

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

**Estimación de la huella hídrica en tres plantaciones de palma aceitera
Elaeis guineensis Jacq. en los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras
Blancas, para el periodo 2013-2016**

Proyecto de graduación para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental

Presentado por

MORA DELGADO, ERICKA

SANTAMARÍA BADILLA, SILVIA

SOLANO VILLALOBOS, ROSIBEL

Heredia, 2019

Tribunal examinador

Estimación de la huella hídrica en tres plantaciones de palma aceitera *Elaeis guineensis Jacq.* en los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas, para el periodo 2013-2016

Como un requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental.

Dr. Jorge Herrera Murillo
Decano, FCTM

M.Sc. José Félix Rojas Marín
Representante Dirección, EDECA

M.Sc. Manfred Murrell Blanco
Director del trabajo

M.Sc. Fabio Chaverri Fonseca
Lector del trabajo

M.Sc. Rocío Loría Bolaños
Lectora del trabajo

Bach. Rosibel Solano Villalobos
Postulante

Bach. Silvia Santamaría Badilla
Postulante

Bach. Ericka Mora Delgado
Postulante

Agosto, 2019

Resumen ejecutivo

En la Zona Sur de Costa Rica una de las principales actividades económicas que se lleva a cabo es el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis Jacq.*), sin embargo su desarrollo se ha visto condicionado por retos para alcanzar un equilibrio entre los beneficios económicos e impactos ambientales en el sitio. En este estudio se calculó la Huella Hídrica en tres fincas del cantón de Osa con el fin de aportar un sustento técnico que evidencie la situación del recurso hídrico respecto a dicha actividad.

Para alcanzar una mejor comprensión de la interacción de este cultivo con la dinámica del sitio se realizó un diagnóstico socioambiental, el cual consistió en la recopilación de información sobre aspectos del lugar y su población. De esta forma se logró evidenciar que la actividad económica de la región es dependiente del monocultivo y que al tomar decisiones relevantes relacionadas al mismo, se incide en la economía de esta población.

La huella hídrica clásica y extendida, fueron calculadas a partir de los procedimientos establecidos por la Red de Huella Hídrica. El componente de huella hídrica verde permitió determinar que la finca ubicada en el distrito de Piedras Blancas es la que tiene mayor consumo, en promedio de $182,72 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. En relación al componente gris de la huella hídrica se logró evidenciar una sobredosificación en las aplicaciones de fertilizantes y herbicidas en la finca localizada en Palmar, donde se aplica un excedente respecto a la dosis recomendada sin generar mayores rendimientos en la producción, de este modo la huella hídrica gris de esta finca constituyó la mayor de las tres con $265,42 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. Es así como se identificó la necesidad de tomar las acciones necesarias para la optimización del manejo del cultivo de manera que se alcancen rendimientos más altos con menor consumo de agua y que se genere un menor impacto por el uso de productos en los cultivos.

Para la huella hídrica extendida la cual corresponde a un indicador económico, se utilizó la productividad aparente del agua verde y la productividad aparente de la tierra, con la primera se determinó el valor de producción económica por unidad de agua consumida (€ m^{-3}), obteniendo resultados superiores al promedio mundial ($115,33 \text{ € m}^{-3}$), para las tres fincas los mejores rendimientos económicos

corresponden al año 2013, después de este periodo la misma disminuyó, en general se mantuvo mayor a 249,79 ¢ m⁻³. Finalmente con la productividad aparente de la tierra, se obtuvo el valor económico por área de palma cultivada, teniendo como resultado una mayor productividad para la finca en Sierpe con valores entre los 1 005,30 ¢ m⁻³ y 473,82 ¢ m⁻³, lo anterior a pesar de que corresponde a la plantación más afectadas por enfermedades, contrarrestado con un manejo más eficiente del cultivo. Por tanto el desarrollo de este proyecto permitió generar conocimiento sobre la situación actual del cultivo de palma, la cual está ligada a las limitaciones económicas y sociales que enfrenta la población de la región, lo que ha provocado un deterioro de los recursos naturales en una zona con gran riqueza de fuentes hídricas y extensas áreas boscosas de alto valor ecosistémico.

Dedicatoria

A Dios por guiar mis pasos, llenarme de sabiduría y fortalecer mi corazón. Por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que fueron soporte para concluir este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres Orlando y Miriam, mi mayor inspiración, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A mis hermanas(os) por estar siempre presentes, acompañándome.

Agradezco a mis compañeras, Rosibel y Silvia, por el esfuerzo entregado en cada etapa del proyecto, que hoy vemos culminado gracias al equipo que formamos.

Mil gracias.

~ Ericka Mora Delgado

A Dios por la vida, por ser luz y guía de mis pasos, por darme la fuerza y salud para salir adelante, por todas sus bendiciones.

A mis padres Tito y Rosibel, por enseñarme el valor del esfuerzo, por educarme y porque su semilla ha dado frutos. A mis hermanos Tito y Luis Roberto. A Juan, por apoyarme y darme consejos.

A mis compañeras Silvia y Ericka, por su empeño, trabajo y esfuerzo durante estos años, porque fuimos un equipo de trabajo. A los compañeros de carrera que estuvieron anuentes a ayudar en temas de estudio.

A todas aquellas personas que a lo largo del camino me ayudaron.

~ Rosibel Solano Villalobos

A mi único Amor, Dueño y Señor de mi vida, en quien vivo, me muevo y existo.

A mi Madre Preciosa, luz en el caminar.

A mis padres Jorge y Zaida, por su apoyo y grandes sacrificios durante todos los años de estudio. A mi hermana Sofía.

A las familias que me acogieron con gran amor y hospitalidad: familia Alvarado Ramírez, familia Solano Villalobos y a mi familia de la Casa de la Madre, por ser una muestra visible del amor de Jesús.

~ Silvia Santamaría Badilla

Agradecimientos

Las autoras agradecen y reconocen el apoyo y colaboración de las siguientes personas:

En primer lugar agradecemos a Dios por concedernos el don de la vida y por permitirnos este proceso de formación profesional, así como la conclusión de este proyecto. Por darnos la fe, la salud, las capacidades y por sostener nuestra perseverancia ante los retos que se presentaron durante el camino.

Al M.Sc. Manfred Murrell Blanco, Ing., nuestro tutor, por haber creído en este proyecto y motivarnos a dar siempre lo mejor, por su paciencia y sus valiosos aportes para ver realizada esta investigación.

A la M.Sc. Rocío Loría Bolaños, por su empeño en ampliar nuestra visión profesional y llevarnos más allá de lo que podíamos ver en las aulas, por su esfuerzo y apoyo durante todo el proceso.

Al M.Sc. Fabio Chaverri Fonseca, Ing., por poner a disposición de este proyecto sus conocimientos y aportes, por haber sido parte de nuestra formación académica.

Al equipo de trabajo del Proyecto Interuniversitario de Palma Aceitera – PIPAL (UNA-TEC) y a los propietarios de las fincas, por abrirnos las puertas y permitirnos aprender de su trabajo y disposición a ayudar. También por sus aportes e información, esenciales para el éxito de este proyecto.

Al Fondo para el Fortalecimiento de las Capacidades Estudiantiles - FOCAES, de la Universidad Nacional de Costa Rica, por el apoyo económico durante el inicio del proyecto, haciendo posible el traslado y giras hasta el sitio de investigación.

Finalmente al cuerpo docente y administrativo de la Escuela de Ciencias Ambientales, por su conocimiento y ayuda a lo largo de la carrera.

Índice general

1. Introducción.....	9
2. Justificación.....	15
3. Objetivos.....	19
3.1. Objetivo general.....	19
3.2. Objetivos específicos.....	19
4. Marco teórico.....	20
4.1. Huella hídrica.....	20
4.1.1. Historia y generalidades.....	20
4.1.2. Antecedentes a nivel global.....	21
4.1.3. Antecedentes a nivel regional.....	22
4.1.4. Antecedentes a nivel local.....	23
4.1.5. Cálculos y modelos.....	24
4.2. Huella hídrica extendida.....	25
4.2.1. Productividad aparente del agua (AWP).....	25
4.2.1.1. Productividad aparente del agua azul (AWP azul).....	26
4.2.1.2. Productividad aparente del agua verde (AWP verde).....	26
4.2.2. Productividad aparente de la tierra (ALP).....	26
4.3. Implicaciones y oportunidades de mejora a partir de la huella hídrica en la agricultura.....	27
4.4. Aspectos de importancia para las plantaciones de palma aceitera.....	29
4.5. Osa como economía dependiente de la palma aceitera.....	32
4.5.1. Desarrollo histórico y conceptual.....	32
4.5.2. Características de la zona.....	33
5. Metodología.....	35
5.1. Tipo de investigación y enfoque.....	35
5.2. Procedimiento metodológico.....	35
5.2.1. Selección del sitio y plantaciones en estudio.....	35

	2
5.2.2.	Fase I. Diagnóstico socioambiental 36
5.2.3.	Fase II. Cálculo de la huella hídrica clásica..... 38
5.2.3.1.	Huella hídrica clásica 38
5.2.3.2.	Huella hídrica verde 39
5.2.3.3.	Huella hídrica gris 47
5.2.4.	Fase III. Cálculo de la huella hídrica extendida (HHE)..... 50
5.2.4.1.	Productividad aparente de la tierra (ALP)..... 50
5.2.4.2.	Productividad aparente del agua verde (AWP) 51
6.	Resultados..... 52
6.1.	Diagnóstico socioambiental 52
6.2.	Síntesis socioeconómica de cada distrito 76
6.3.	Relación interlocal y huella hídrica..... 80
6.3.1.	Análisis distrital de la huella hídrica..... 80
6.3.1.1.	Huella hídrica verde 80
6.3.1.2.	Huella hídrica gris 82
6.3.1.3.	Huella hídrica extendida..... 87
6.3.1.4.	Huella hídrica clásica 90
6.3.2.	Perspectiva socioeconómica de la HH..... 91
6.3.2.1.	Finca Palmar 91
6.3.2.2.	Finca Sierpe 92
6.3.2.3.	Finca Piedras Blancas 93
7.	Conclusiones..... 94
8.	Recomendaciones 96
9.	Limitaciones 98
10.	Referencias..... 99
11.	Apéndices..... 110
12.	Anexos 125

Índice de figuras

Figura 1. Rendimiento de cultivos oleaginosos	9
Figura 2. Área sembrada de palma aceitera en Costa Rica (1996-2016).....	10
Figura 3. Extensión de palma aceitera en los distritos bajo estudio.	11
Figura 4. Vista aérea del humedal Térraba-Sierpe	16
Figura 5. Producción anual de palma aceitera en Costa Rica (1996-2016).....	17
Figura 6. Distribución sectorial de la huella hídrica de la producción global	28
Figura 7. Diagrama del proceso productivo de la palma aceitera.....	30
Figura 8. Ubicación fincas en las que se realizó el estudio	37
Figura 9. Etapas de crecimiento de acuerdo al tipo de cultivo	42
Figura 10. Interfaz del programa de propiedades hidráulicas Soil Water Characteristics...	44
Figura 11. División administrativa del cantón de Osa.....	52
Figura 12. Proyección de población en cada distrito (2000-2025)	54
Figura 13. Posición de la población en el empleo en los distritos	57
Figura 14. Habitantes según tipo de seguro social en el cantón de Osa	59
Figura 15. Tenencia de la vivienda en los distritos.....	60
Figura 16. Cobertura de alcantarillado sanitario en Costa Rica	62
Figura 17. Órdenes de suelos en la Región Brunca	70
Figura 18. Sistema de eliminación de residuos en el cantón de Osa y los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas	71
Figura 19. Separación de residuos en el cantón de Osa y los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas	72
Figura 20. Comportamiento de la HHV ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$) (2013-2016)	82
Figura 21. Resultados de la HHG promedio ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$) (2013-2016)	82
Figura 22. Porcentaje de nitrógeno y fósforo contenido en las formulaciones de fertilización de cada finca	83

Figura 23. Comparación de las dosis promedio de aplicación y dosis recomendada de fórmula completa entre los años 2013 y 2016, en las diferentes fincas ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)	84
Figura 24. Comparación entre las dosis promedio de aplicación de herbicidas en las diferentes fincas, respecto a la dosis recomendada ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) entre los años 2013 y 2016.	85
Figura 25. Rendimiento de cultivo en las diferentes fincas	87
Figura 26. Productividad aparente de la tierra (€ ha^{-1}) (2013-2016).....	88
Figura 27. Productividad aparente del agua verde (€ m^{-3}) (2013-2016).....	89
Figura 28. Huella hídrica total por finca para el periodo 2013-2016	90
Figura 29. Comparación de resultados obtenidos de HHC con datos de estudios para la provincia de Puntarenas de la WFN.	91

Índice de tablas

Tabla 1. Enfoque espacial y temporal de la huella hídrica	21
Tabla 2. Huella hídrica del cultivo de palma aceitera en Costa Rica (1996-2005)	22
Tabla 3. Huella hídrica promedio de la producción agrícola en el Tempisque (2001-2011)	23
Tabla 4. Huella hídrica promedio de importantes cultivos en Costa Rica (2008-2011).....	24
Tabla 5. Densidad del cultivo en los distritos del cantón de Osa para el 2017.....	33
Tabla 6. Aspectos incluidos en el diagnóstico socioambiental.....	36
Tabla 7. Coordenadas geográficas de las fincas	39
Tabla 8. Datos de las estaciones meteorológicas utilizadas.....	40
Tabla 9. Datos técnicos de la palma aceitera	41
Tabla 10. Porcentajes de arena, limo y arcilla según la textura del suelo	43
Tabla 11. Datos para el cálculo de HSDT	44
Tabla 12. Dato para la tasa máxima de infiltración	45
Tabla 13. Datos de producción obtenidos para cada finca	46
Tabla 14. Rendimiento promedio de la palma aceitera en las fincas bajo estudio (t ha ⁻¹)...47	
Tabla 15. Fracción de lixiviación y esorrentía mínima, promedio y máxima para nutrientes, metales y pesticidas.....	48
Tabla 16. Agroquímicos utilizados en las fincas bajo estudio.....	49
Tabla 17. Aplicación anual promedio de fórmula completa por hectárea (kg ha ⁻¹)	49
Tabla 18. Límites máximos permisibles para vertido de agua residual en un cuerpo receptor en Costa Rica.	49
Tabla 19. Carreras ofrecidas con transversalidad en el tema ambiental	58
Tabla 20. Medios de suministro de agua	61
Tabla 21. Resultados del IPS relacionados accesibilidad telefónica y de internet	63
Tabla 22. Infraestructura vial y de comunicación.....	64

Tabla 23. Cobertura de uso del suelo en los cantones de Osa	65
Tabla 24. Afluentes de la cuenca del río Península de Osa	66
Tabla 25. Afluentes de la cuenca del río Esquinas	66
Tabla 26. Áreas silvestres protegidas	67
Tabla 27. Organizaciones conservacionistas en el área	68
Tabla 28. Tipos de suelos presentes en el cantón de Osa	69
Tabla 29. Conflictos ambientales del contexto local	74
Tabla 30. Antecedentes socioambientales a nivel distrital	76
Tabla 31. Agua verde en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	80

Lista de acrónimos

ALP	Apparent land productivity (Productividad aparente de la tierra)
ASADA	Asociación Administradora de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados
AV	Agua virtual
AWP	Apparent water productivity (Productividad aparente del agua)
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CCC	Cámara Costarricense de la Construcción
CCSS	Caja Costarricense del Seguro Social
EPIC	Erosion-Productivity Impact Calculator (Calculador de impacto erosión-productividad)
EPOA	European Palm Oil Alliance (Alianza Europea del Aceite de Palma)
ET	Evapotranspiración
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
HH	Huella hídrica
HHA	Huella hídrica azul
HHC	Huella hídrica clásica
HHE	Huella hídrica extendida
HHG	Huella hídrica gris
HHV	Huella hídrica verde
INS	Instituto Nacional de Seguros
IRET	Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MEP	Ministerio de Educación Pública
NTotal	Nitratos totales
PIPAL	Proyecto Interuniversitario de Palma Aceitera (UNA-TEC)
pp	Puntos porcentuales
RH	Recurso hídrico
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil (Mesa Redonda sobre el Aceite de Palma Sostenible)

TAA	Tribunal Ambiental Administrativo
TEC	Instituto Tecnológico de Costa Rica
UCR	Universidad de Costa Rica
UFCo	United Fruit Company
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica
WFN	Water Footprint Network (Red de Huella Hídrica)

1. Introducción

La palma aceitera *Elaeis guineensis* Jacq. es ampliamente cultivada en diferentes partes del mundo. Los mayores productores de aceite de palma son Indonesia y Malasia; otra parte importante proviene del sur y centro de América. La producción mundial de aceite de palma se incrementó de 15,2 millones de toneladas en 1995 a 62,6 millones de toneladas en el 2015 (European Palm Oil Alliance [EPOA], 2016), situándose como el cultivo oleaginoso de mayor volumen de producción en el mundo, se incorpora en productos comestibles, cosméticos y biodiésel. Ese auge se debe a la productividad permanente de la palma oleaginosa: posee el rendimiento de aceite más alto por hectárea de terreno en comparación con la colza, el girasol y la soya (Figura 1).

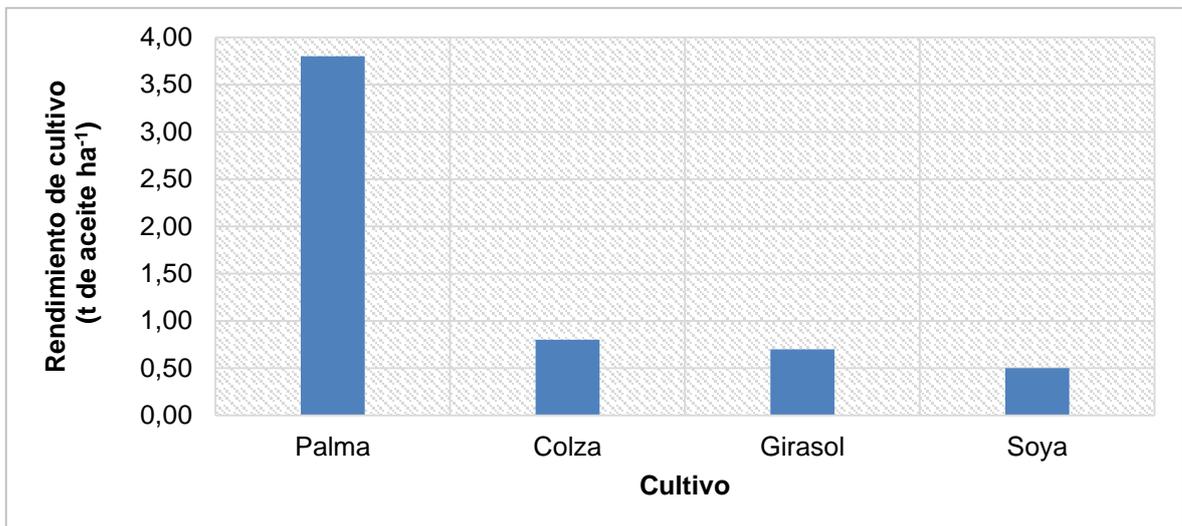


Figura 1. Rendimiento de cultivos oleaginosos

Fuente: EPOA, 2016.

Se debe considerar que a pesar de estos rendimientos la palma aceitera posee impactos importantes por ser cultivada en bosques tropicales con altos valores de conservación (EPOA, 2016; Uniting Food, Farm and Hotel Workers World-Wide, CH., 2015), lo que conlleva el cambio de uso del suelo y la deforestación, aunado a los efectos adversos que estos cambios provocan.

Nuestro país se ha caracterizado por poseer un modelo agroexportador desde que se consolidó el café como único producto nacional de exportación (1850-1890), dando paso al capitalismo agrario. A finales del siglo XIX las exportaciones comenzaron a diversificarse con la expansión del cultivo de banano, incentivada

por la construcción del ferrocarril en el Atlántico. Debido a la aparición del mal de Panamá en 1890 –enfermedad que aqueja al banano–, el cultivo sufrió grandes pérdidas y se abandonaron las tierras; se trasladó la siembra del banano a la región sur del país, donde pronto la enfermedad aquejaría nuevamente las plantaciones. A raíz de esto, el cultivo de palma aceitera llega al país por tres motivos: interés de la compañía bananera en diversificar su producción, investigaciones desarrolladas por la compañía con numerosas variedades de palma provenientes de todo el planeta y, finalmente, la búsqueda de un cultivo alternativo para retornar la inversión referente al acondicionamiento de la selva virgen a terrenos bananeros (Molina, 2005; Clare, 2005 y 2012 (Associação Dos Municípios Do Alto Vale Do Itajaí [AMAVI], 2015)).

Desde la década de los años 80 hasta el 2013, la palma tuvo un auge económico en Costa Rica debido a la alta productividad de aceite por hectárea (Clare, 2012), lo que impulsó a productores a apostar por este cultivo, conllevando a la inversión y expansión del mismo. Actualmente, la palma es el segundo cultivo permanente más importante en el país, antecedido por el café (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2015 a). Lo anterior se ha visto reflejado con el incremento de tierras dedicadas a su producción (Figura 2). De esta forma, el cultivo de palma se consolida en el Pacífico Sur, región en la cual se ubican los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas, convirtiéndose en una de las principales actividades económicas de subsistencia para sus pobladores.

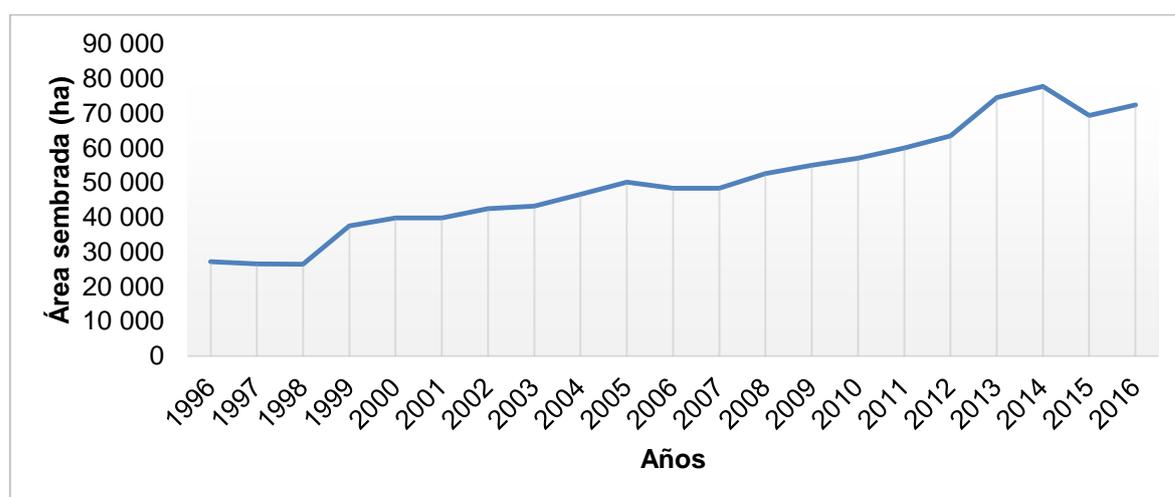


Figura 2. Área sembrada de palma aceitera en Costa Rica (1996-2016)

Fuente: Elaboración propia basada en datos de FAO (2017).

Un factor determinante para esta extensión han sido las condiciones climáticas de nuestro país, las cuales son propicias para el desarrollo de la planta. El crecimiento de este tipo de plantaciones es óptimo en tierras tropicales de baja altitud, entre los 3 y 700 m.s.n.m., que presenten además abundantes precipitaciones, entre los 1 800 mm y 2 200 mm anuales (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2006).

La Zona Sur reúne estas características de clima favorable para el desarrollo de la actividad, con una precipitación anual de 5 500 mm y radiación solar de 360 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$, lo que permite cosechas de hasta 17,5 t año^{-1} sin necesidad de irrigación, constituyéndose como el producto agrícola de mayor importancia en el área (Universidad Nacional de Costa Rica [UNA] e Instituto Tecnológico de Costa Rica [TEC], 2015; Beggs & Moore, 2013). De esta forma, los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas poseen la mayor densidad de palma en el cantón de Osa, una de las mayores zonas productoras del país. En el año 2017 solo el distrito de Palmar contenía el 28,8% de las hectáreas dedicadas al cultivo de palma del cantón, Sierpe el 42,5% y Piedras Blancas el 19,7% (G. Moraga, comunicación personal, 30 de marzo de 2016). También se observan patrones de aumento en la densidad de cultivo: Osa presentaba 4 281 ha en el 2014 y para el 2017 se registraron 7 864 ha, en el caso de Palmar pasó de 1 239 ha a 2 261 ha, Sierpe de 1 167 ha a 3 345 ha y Piedras Blancas de 1 528 ha a 1 549 ha (Figura 3) (L. Córdoba, comunicación personal, 10 de abril de 2018).

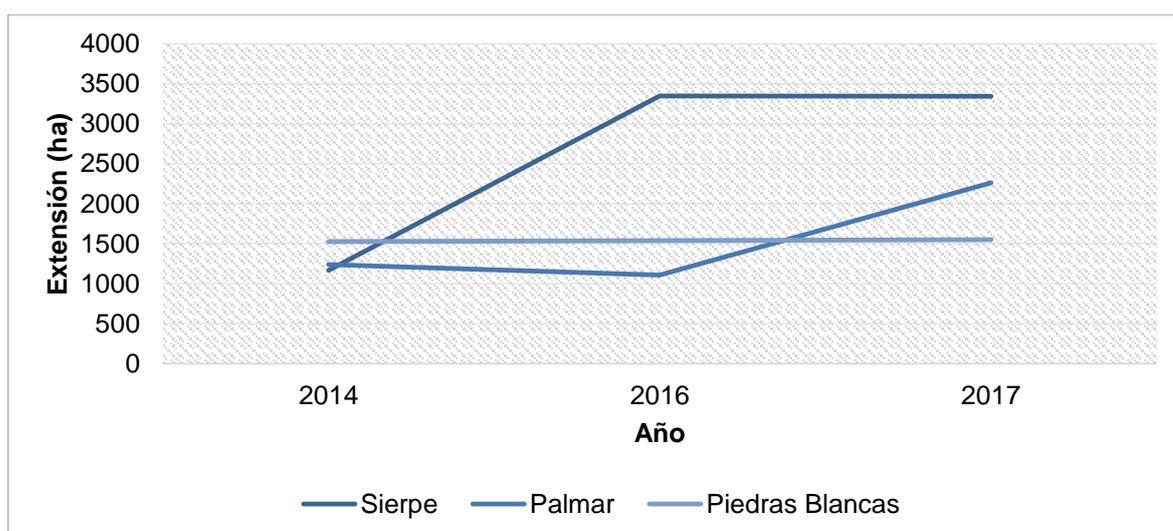


Figura 3. Extensión de palma aceitera en los distritos bajo estudio.

Fuente: PIPAL (UNA-TEC), 2017.

Sin embargo, para el 2013 la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA) reportó bajas en la producción, que pasó de generar 1,3 millones de toneladas en ese año a 816 000 toneladas en el 2015, con una leve recuperación en el 2016 de 1,08 millones de toneladas. La baja en el rendimiento del último periodo es consecuencia de una enfermedad causada por agentes patógenos que afecta a las plantas: la llamada “flecha seca”, problemática grave para los productores debido a que reduce la productividad de 18 toneladas métricas por hectárea a 10 toneladas (Barquero, 24 febrero, 2018; *La Nación*, 09 de julio, 2013); también es afectada por el anillo rojo (*Bursaphelenchus cocophilus*) y el picudo (*Rhynchophorus palmarum*) (Leiva, 2015).

De acuerdo al Instituto Nacional de Fomento Cooperativo (INFOCOOP, 2015), variaciones en los precios internacionales han repercutido en el precio local de la fruta. Por ejemplo, durante el 2011 se pagaban más de ¢90 000 por tonelada, pero a agosto del 2015 ese precio disminuyó a menos de ¢40 000. Aunado a esto, a finales del 2015 comenzó a regir la norma internacional de la Mesa Redonda sobre el Aceite de Palma Sostenible (RSPO, siglas en inglés), misma que establece dentro de sus requisitos el pago de cargas sociales como las cuotas patronales de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), Instituto Nacional de Seguros (INS), aguinaldos, vacaciones, entre otros. Esto repercutiría en un aumento significativo de los costos de producción, ya que muchos trabajadores solo laboran un día a la semana y cubrir estas obligaciones, bajo tales condiciones, no es rentable para los productores. En el país un 65% de la producción es para exportación, y la certificación RSPO resultará obligatoria para mantenerse en el mercado internacional (INFOCOOP, 2015).

La necesidad de oportunidades laborales en el cantón y el éxito económico del cultivo han sido factores que históricamente marcaron el rumbo del mismo hacia su expansión, convirtiéndose en un cultivo de subsistencia característico de la Zona Sur. Esta realidad ha condicionado el bienestar de los pobladores mediante una serie de situaciones sociales tales como la dependencia de la economía local, vulnerabilidad de los productores ante cambios en los precios internacionales y situaciones ambientales como la contaminación del recurso hídrico por el uso de plaguicidas, desastres naturales y el deterioro de áreas protegidas por la invasión de las plantaciones y drenado de humedales.

Otra dificultad que enfrentan los productores de palma es la situación de pobreza y subdesarrollo que persiste en el cantón de Osa. En el 2014 la Región Brunca presentaba un nivel de pobreza de 36,2% (INEC, 2014); además el Índice de Competitividad Cantonal, herramienta que permite analizar la productividad de los cantones para apoyar las decisiones privadas de inversión y la asignación espacial de recursos públicos (Observatorio del Desarrollo-UCR, s.f.), pasó de “bajo” a “muy bajo” del 2006 al 2011. A pesar de las condiciones críticas, la población continúa creciendo: aumentó en 3 572 habitantes del 2000 al 2011, con una tasa de 1,2% (Róman & Angulo, 2013). Las oportunidades laborales son escasas y es común escuchar a los vecinos del área decir que la palma “es lo único que hay”, siendo una de las pocas actividades que genera ingreso constante (Beggs & Moore, 2013).

En lo que respecta a la realidad ambiental, la extensión de la palma ha provocado impactos ambientales por el cambio del uso de suelo, de modo que la mayor preocupación actual es la invasión del Humedal Nacional Térraba-Sierpe, condición que causa cambios en los ecosistemas (Blanco, 2015). Debido a que el exceso de humedad no es favorable para las plantas, la intrusión ha conllevado la creación de drenajes con el fin de bajar el nivel freático y contribuir con el desagüe, resultando en una notoria alteración del hábitat natural de las especies que habitan el sitio, aunado a esto la escorrentía de contaminantes por el uso de productos como plaguicidas y herbicidas hacia cuerpos de agua (Astorga, 2013; R. Bolaños, comunicación personal, 2016).

Según el *Informe del Estado de la Nación* (Programa Estado de la Nación [PEN], 2017), entre los años 2008 y 2016 se desaguaron 1 310 ha para dedicarlas a la ganadería, arroz y palma aceitera. Esto se da a pesar de que el sitio fue declarado Humedal Nacional en 1991 y Humedal de Importancia Internacional según la Convención Ramsar en 1995, momento en el que Costa Rica asumió un compromiso internacional hacia su conservación y uso sustentable (Museo Nacional de Costa Rica, 2013; Arroyo, 2013).

Es así como las necesidades socioeconómicas del sitio y la urgencia de proteger estas áreas de alta vulnerabilidad ecosistémica han llevado a que el manejo del recurso hídrico represente un verdadero reto. En este contexto, la presente investigación desarrolló la estimación de un indicador ambiental —la huella hídrica

(HH)— en tres plantaciones de palma aceitera en el cantón de Osa, con el fin de diagnosticar el impacto de la actividad sobre el recurso hídrico.

El concepto de HH surgió en el 2002 por el profesor neerlandés Arjen Hoekstra, cofundador de la Red de Huella Hídrica (WFN, 2016), y propone una metodología estándar la cual es aplicada en este proyecto. Se consideró en el cálculo de la huella hídrica clásica (HHC), los subcomponentes verde (HHV) y gris (HHG). La HHV se refiere al agua de lluvia consumida por el cultivo a través de la evapotranspiración, mientras que la HHG se define como el volumen de agua dulce necesario para asimilar una carga de contaminante hasta concentraciones que cumplan con la normativa de calidad de cada país (Vázquez del Mercado & Buenfil, 2012). También se ha incluido el cálculo de la huella hídrica extendida (HHE), que permitió relacionar la HHC con aspectos económicos como el precio y la rentabilidad del producto (Arévalo & Campuzano, 2013).

Para enfrentar la situación del cantón, es necesario generar información científica con indicadores que evidencien la realidad de la actividad y que a su vez sean de utilidad para la toma de decisiones y la elaboración de políticas contextualizadas. De modo que estas puedan basarse en resultados técnicos para atender con soluciones la realidad social, ambiental y económica de los palmeros.

2. Justificación

En Costa Rica la palma aceitera se ha extendido a gran velocidad (Figura 2): en un lapso de 30 años presentó un incremento del 294,6%. En el año 1984 el área sembrada alcanzaba las 16 830,2 ha, y para el 2014 el INEC reportaba 66 419,8 ha sembradas, de las cuales un 66,32% se ubicaban en la Región Brunca (INEC, 2015a). Esta extensión ha estado ligada a procesos nulos de control o planificación por parte de las autoridades locales y nacionales, de modo que ha satisfecho patrones de demanda del producto y su éxito económico, sin contemplar estrategias de desarrollo sustentable (UNA y TEC, 2015). Pese a que se conoce esta realidad, Beggs & Moore (2013) aseguran que permanecen vacíos significativos de información para la comprensión del impacto socioeconómico y ambiental de la expansión del cultivo.

Es común que los pobladores se refieran a esta actividad como un cultivo “ambientalmente sustentable” en comparación con otros como el arroz, que tienen mayor exigencia hídrica. Sin embargo, aspectos como el cambio de uso de suelo y el dragado del Humedal Nacional Térraba-Sierpe ponen en jaque tal afirmación (Beggs & Moore, 2013; PEN, 2017). Astorga (2013) indica que el área de protección del río Grande de Térraba, uno de los principales ríos del sector, está siendo impactada por las malas prácticas agrícolas llevadas a cabo en las plantaciones de palma. Además, las proyecciones futuras del clima debido al cambio climático establecen que para el periodo 2011-2040 el cantón de Osa tendrá un aumento considerable en sus precipitaciones (0-5% promedio anual) (Retana, 2012). Según F. Chaverri (comunicación personal, 2016), este aumento demandará mayor aplicación de fertilizantes, debido al deslave del suelo por las lluvias y la escorrentía, lo que a su vez provocaría mayor contaminación en sitios aledaños. Lo anterior en el entendido de que no se apliquen nuevas técnicas para mejorar la eficacia de los fertilizantes.

Dicha realidad denota uno de los aspectos de mayor urgencia: la generación de información técnica para la toma de decisiones respecto al impacto que ejerce la agricultura sobre los recursos naturales de la zona, sobre todo el hídrico. En el 2011 el Tribunal Ambiental Administrativo (TAA) inspeccionó un total de 16 casos de daño en Sierpe, donde la mayor parte de situaciones correspondían a afectación de humedales, bosques y manglares, por actividades agrícolas mal

manejadas (Figura 4); estimando así para el 2013 una pérdida entre 2 000 ha y 3 000 ha de bosque de manglar (Neotrópica, 2011; García, 2013). La vulnerabilidad hídrica en la zona trasciende hasta la disponibilidad de agua potable, de modo que un 18,0% de la cobertura en el cantón no es potable. Para el efecto, se tiene referencia de obras en construcción paralizadas por falta de garantía de abastecimiento de agua (Angulo, 2015).



Figura 4. Vista aérea del humedal Terraba-Sierpe

Fuente: Sánchez (2014) citado por O'neal (2017).

Estas situaciones ambientales se entrelazan con una compleja situación socioeconómica que comprende dos problemáticas principales, la primera de ellas: el rezago social que caracteriza a la zona. Según INEC (2014), para el 2014 la Región Brunca presentaba un nivel de pobreza del 36,2%, el cual se incrementó 2,5 pp respecto al 2013, situándose 13 pp más alto que el promedio nacional. Además, el 11,6% de los hogares de la región tenían un ingreso per cápita que no superaba el costo de la canasta básica alimentaria; esto representa el segundo valor más alto de pobreza extrema en el país.

Según Beggs & Moore (2013), las escasas oportunidades laborales y económicas llevan a que muchos de los terratenientes apunten al cultivo de palma como medio de subsistencia, a pesar de las dificultades que han encarado durante los últimos años. Para muchos, este cultivo no demanda tantas horas de trabajo y esfuerzo físico, en comparación con actividades como la ganadería de leche;

además la producción de coyol es permanente a lo largo del año y las labores realizadas en las plantaciones son cubiertas, generalmente, por los mismos integrantes de las familias productoras.

La segunda problemática está determinada por el último quinquenio, que suma una serie de dificultades a la producción de palma aceitera en la Zona Sur de Costa Rica. Esta generaba en el 2012 más de 8 000 empleos directos y 31 000 indirectos (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2012); sin embargo, desde el 2013 los productores enfrentan una serie de situaciones que han afectado la productividad. La enfermedad de la flecha seca ocasionó que para setiembre del 2015 el 30% del área cosechada por los asociados de Coopeagropal R.L se encontrara bajo un grado intermedio de afectación, y el restante 70% se encontrara en un estado de recuperación, impactando a más de 10 000 personas y 4 000 fuentes de trabajo (Infocoop, 2015). Adicional a esto, la caída en los precios internacionales del petróleo y la aprobación de la norma internacional de la RSPO ha resultado en una menor producción y, a la vez, en un incremento de los costos de operación (Figura 5).

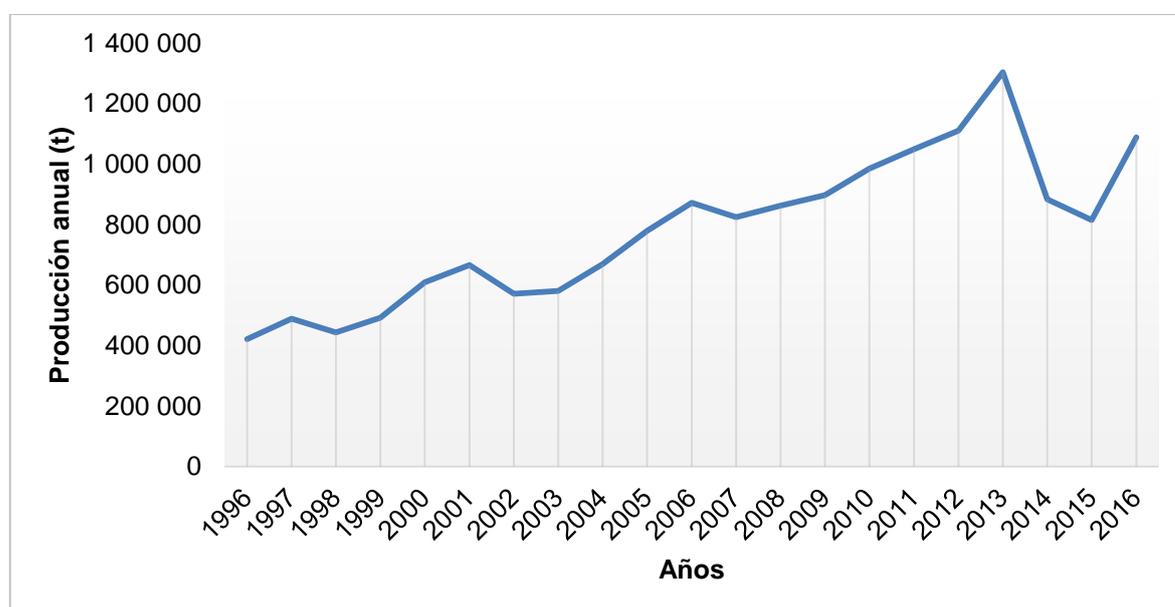


Figura 5. Producción anual de palma aceitera en Costa Rica (1996-2016)

Fuente: Elaboración propia basada en datos de FAO (2017), 2018.

En un contexto donde la principal actividad agrícola del área conlleva la destrucción del humedal más importante del país, pero a su vez representa una de las únicas posibilidades de subsistencia de una población que históricamente viene enfrentando un rezago recrudecido por el desempleo y la falta de oportunidades, se torna imperativo tratar el tema desde una óptica de desarrollo sustentable. Es así como se propuso la HH para el diagnóstico de patrones de comportamiento del cultivo respecto al uso y contaminación del agua, sustentando la estimación desde el acercamiento a la realidad local, alcanzada por un diagnóstico socioambiental. Según Vázquez del Mercado & Buenfil (2012), este indicador se creó con el fin de alcanzar un cambio en el paradigma de las políticas hídricas y el proceso de toma de decisiones. Para el efecto, se desarrolla un resumen de política que incluye los principales hallazgos de la investigación; se espera que este sea considerado y gestionado por los tomadores de decisiones como referencia para la formulación de políticas que se propongan para el manejo hídrico de la zona.

Adicionalmente, es importante mencionar que esta investigación desde su origen se vinculó con el Proyecto Interuniversitario de Palma Aceitera (PIPAL) (UNA-TEC), que inició en el 2016 y se ha extendido hasta el año actual, y que es desarrollado por el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional (IRET-UNA) y la Escuela de Química del Tecnológico de Costa Rica. De modo que los resultados obtenidos en el proyecto suman al objetivo general de PIPAL (UNA-TEC), que plantea identificar los riesgos e impactos asociados al cultivo en el Pacífico Sur del país, considerando aspectos físico-químicos, económicos, laborales y socioculturales, para la generación de evidencia que pueda aplicarse en la toma de medidas correctivas y/o protectoras hacia el encadenamiento de una producción sustentable y segura (UNA & TEC, 2015).

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Estimar la huella hídrica clásica y extendida de la palma aceitera, en tres plantaciones ubicadas en los distritos: Palmar, Sierpe y Piedras Blancas del cantón de Osa, en el periodo 2013-2016, a través de la metodología establecida por la Red de Huella Hídrica para la identificación de oportunidades de mejora en la gestión del recurso hídrico.

3.2. Objetivos específicos

- 3.2.1.** Realizar un diagnóstico socioambiental en los tres distritos de estudio, a través de la recopilación de información *in situ* y revisión bibliográfica, para la caracterización de la presión originada por el cultivo de palma aceitera sobre el entorno.
- 3.2.2.** Determinar las huellas hídricas verde y gris según la metodología correspondiente, en las tres plantaciones de palma aceitera bajo estudio, para la cuantificación del consumo y contaminación del recurso agua derivado de la actividad.
- 3.2.3.** Calcular la huella hídrica extendida de tres plantaciones de palma aceitera de la zona, a través de la metodología correspondiente, para la identificación de la rentabilidad del cultivo respecto a los requerimientos hídricos.

4. Marco teórico

4.1. Huella hídrica

4.1.1. Historia y generalidades

En el 2002 Arjen Hoekstra denominó “huella hídrica” a la cantidad de agua dulce necesaria para producir bienes y servicios, a lo largo de una cadena de suministros, y creó una metodología para cuantificarla. El concepto surgió como resultado del análisis del agua virtual (término introducido en 1993 por el profesor Tony Allan), que se refiere al consumo virtual de bienes o servicios producidos en un sitio y consumidos en otro. Lo anterior impulsó un cambio en la gestión integrada del recurso hídrico y en las políticas hídricas, agropecuarias y comerciales en el mundo; así surgió la Water Footprint Network o Red de Huella Hídrica en el 2008, cuyo fin es demostrar cómo la cuantificación puede ayudar a mejorar el uso insustentable del recurso (Vázquez del Mercado & Buenfil, 2012; WFN, 2016).

Inicialmente la metodología solo consideraba el cálculo de la huella hídrica azul y verde. La primera de ellas se refiere al recurso procedente de ríos, lagos y acuíferos; la segunda a la que queda empapando el suelo a consecuencia de la lluvia, en la zona no saturada, esencial para la existencia de la vegetación natural o cultivada. Esta última puede diferenciarse de la otra porque se evapora en forma directa desde el suelo por transpiración de las plantas (Llamas, 2005; Chapagain & Hoekstra, 2004). Años después, se incluyó el concepto de huella hídrica gris, esto es, la cantidad de agua dulce requerida para asimilar una carga de contaminantes (Mekonnen & Hoekstra, 2010a). La evaluación puede efectuarse desde tres niveles, según la ubicación espacial, temporal y el grado de detalle de un estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Enfoque espacial y temporal de la huella hídrica

Nivel	Espacio	Tiempo	Información requerida sobre uso del agua	Uso típico de la información
A	Promedio global	Anual	Literatura y bases de datos sobre el consumo típico y contaminación por producto o proceso.	Sensibilización; desarrollo de las proyecciones mundiales del recurso
B	Nacional, regional o cuenca	Anual o mensual	Igual al anterior, pero utiliza datos a nivel nacional o regional.	Identificación aproximada de la extensión y variabilidad espacial. Conocimiento base para la toma de decisiones en la distribución del agua
C	Local o específico	Mensual, semanal o diaria	Datos empíricos o mejores estimaciones sobre el consumo y contaminación, especificada por ubicación y durante el año.	Conocimientos base para llevar a cabo una evaluación de la sostenibilidad de HH; formulación de una estrategia para reducirla e impactos locales asociados.

Fuente: Adaptado de Hoekstra, Chapagain, Aldaya & Mekonnen (2011) y Murrell (2012).

Un estudio en nivel A es menos detallado, utiliza información global promedio de literatura y bases de datos. Por su parte, el nivel B utiliza valores promedio a nivel país o regional, por lo que es más exacto que el anterior. Y finalmente, el nivel C hace mejores estimaciones de consumo y contaminación, de preferencia determinadas en campo, es más detallado y más adecuado para formular estrategias que reduzcan la huella hídrica (Hoekstra et al., 2011).

Debido a la importancia de la huella hídrica como indicador del uso del recurso y a la necesidad de cambios en su gestión, se han desarrollado estudios a diferente escala espacial y temporal en los últimos años; los mismos tienen gran valor en regiones donde existe una presión ambiental y social por el suministro del recurso, y a través de ellos se busca lograr un cambio en las políticas hídricas, agropecuarias y comerciales (Arévalo, 2012; Vázquez del Mercado & Buenfil, 2012; Chapagain & Orr, 2009).

4.1.2. Antecedentes a nivel global

El primer estudio fue realizado por Hoekstra & Hung en el 2002. Consistió en la cuantificación de los flujos de agua virtual de comercio internacional de cultivos,

entre naciones, para el periodo 1995-1999. Determinó que los cinco primeros países con mayor exportación fueron: Estados Unidos, Canadá, Tailandia, Argentina e India; y los de mayor importación fueron: Sri Lanka, Japón, Países Bajos, República de Corea y China. Dicho estudio consideró la estimación de la huella hídrica para obtener el flujo de agua virtual (Hoekstra & Hung, 2002).

Según Chapagain & Hoekstra (2004), el volumen global del recurso respecto a la producción de cultivos, incluyendo el agua de lluvia efectiva y de riego, es de 6 390 Gm³ año⁻¹; los productos agrícolas oleaginosos representan el 2% de este total. Esta información se obtuvo en un estudio donde se cuantificó la huella hídrica de cada país para el periodo 1997-2001.

Mekonnen & Hoekstra (2011) presentan una tercera investigación, más amplia y detallada, para el periodo de 1996-2005. Estudiaron 126 cultivos desde la perspectiva de producción y consumo como resultado del comercio internacional e introdujeron la huella hídrica gris dentro del análisis. El dato obtenido a nivel mundial fue de 9 087 Gm³ año⁻¹: el 74% es verde, 11% es azul y 15% es gris. La agricultura es responsable del 92% del total, la industria de un 4,4% y un 3,6% correspondiente a uso doméstico. Se incluyó también la estimación de este dato para la palma aceitera en el país (Tabla 2).

Tabla 2. Huella hídrica del cultivo de palma aceitera en Costa Rica (1996-2005)

Cultivo	Mm ³ año ⁻¹
HHV	429,70
HHA	0,00
HHG	8,58
Total	438,28

Nota: Datos como parte de un estudio realizado a nivel global. Fuente: Adaptado de Mekonnen y Hoekstra (2010 b).

4.1.3. Antecedentes a nivel regional

España y Colombia presentan investigaciones a nivel país. En España, Olcina & Sotelo (2013) realizaron un análisis denominado “Las demandas de “Huella Hídrica” y su precio, en España: Diferencias territoriales”, que arrojó como resultado un incremento de 10 000 hm³, del 2001 al 2008, en la oferta de huella hídrica. Dicho aumento fue proporcionado por la demanda creciente en cada sector económico y de la población en general; sin embargo, se dio de manera

desigual, influenciado por las características como el clima, las prácticas agrícolas, hábitos y volumen de consumo de cada territorio.

Colombia realiza en forma periódica el Estudio Nacional de Agua (ENA) en el que han incluido, en los últimos años, el indicador para el análisis de la sostenibilidad del territorio; incluso realizaron una proyección de las áreas sembradas de los principales productos agrícolas para el periodo 2012-2022 con el fin de proyectar el dato al 2022. Incluye la palma aceitera para el año 2012, donde el área cultivada fue de 445 805 ha con una huella hídrica verde de 5 928,9 millones de m³ y azul de 975,7 millones de m³. Para el 2022 proyectan un total de 3 066 428 ha sembradas con una huella verde de 39 886,8 millones de m³ y una huella azul de 6 564,1 millones de m³ (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015a & 2015b).

4.1.4. Antecedentes a nivel local

El país cuenta con una serie de investigaciones locales. Murrell (2012) realizó un estudio para arroz, caña de azúcar, melón (Tabla 3) y la actividad ganadera en la cuenca del río Tempisque. Incluye resultados de la huella extendida, en los cuales obtuvo que la productividad aparente del agua ($\$ \text{ m}^{-3}$) mejoró a lo largo de los años para cada cultivo, mientras que la productividad aparente de la tierra ($\$ \text{ ha}^{-1}$) se mantuvo constante, a excepción de la caña de azúcar –en esta la productividad aumentó de manera importante a partir del 2008–.

Tabla 3. Huella hídrica promedio de la producción agrícola en el Tempisque (2001-2011)

Cultivo	HH azul (m ³ t ⁻¹)	HH verde (m ³ t ⁻¹)	HH gris (m ³ t ⁻¹)	Total (m ³ t ⁻¹)
Arroz	973	2 227	153	3 354
Caña de azúcar	132	136	4,1	273
Melón	142	14	24	181

Fuente: Adaptado de Murrell (2012).

Golcher (2013) realizó estimaciones para los cultivos de banano en las regiones Pacífico y Caribe, de café en la zona del Valle Central y Occidental, Pérez Zeledón, Turrialba y Los Santos, y de arroz anegado y de seco en las zonas productoras Brunca y Chorotega (Tabla 4).

Tabla 4. Huella hídrica promedio de importantes cultivos en Costa Rica (2008-2011)

Cultivo	HH azul (m ³ t ⁻¹)	HH verde (m ³ t ⁻¹)	HH gris (m ³ t ⁻¹)	Total (m ³ t ⁻¹)
Café	0,00	1 606,54	450,07	2 056,61
Banano	0,00	1 697,2	65,3	1 762,27
Arroz anegado	1 532,81	487,89	75,57	2 096,27
Arroz de secano	0,00	2 703,59	82,37	2 785,96

Fuente: Adaptado de Golcher (2013).

4.1.5. Cálculos y modelos

El *Manual para la evaluación de la huella hídrica: Ajuste de la norma global*, elaborado por Hoekstra et al. (2011) incluye la metodología para el cálculo en la agricultura. Las huellas azul y verde incluyen la estimación del uso de agua del cultivo (CWU), que se calcula con la acumulación diaria de evapotranspiración (ET, mm día⁻¹); esto resulta tan complicado que incluso no se acostumbra hacer. En su lugar se manejan modelos que utilizan datos climáticos, de propiedades del suelo y características del producto cultivado. Como parte de estos, el manual menciona:

- EPIC: Creado para estimar el impacto en el crecimiento de un producto cuando el suelo ha sido dañado por la erosión (Soil & Water Assessment Tool [SWAT], 2016).
- CropWat: Desarrollado por la FAO, para calcular la evapotranspiración y el uso de agua de los cultivos. Ofrece dos formas de calcular la ET; se recomienda utilizar la “irrigation schedule option” (opción de programación de riego), que aplica cuando el crecimiento sucede en condiciones óptimas y cuando no. Además, tiene una mayor precisión (Hoekstra et al., 2011; United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2005).
- AquaCrop: Desarrollado por la FAO para la estimación del crecimiento de cultivos y el cálculo de la ET bajo condiciones de escasez de agua. Solo se ha probado y validado para 12 cultivos herbáceos (Terán, 2015).

4.2. Huella hídrica extendida

La huella hídrica extendida (HHE) es un indicador complementario de la clásica. Contrasta con ella en aspectos sociales, económicos y ambientales, otorgando un valor cuantitativo y económico al recurso hídrico (Díaz, Martínez, Willaarts, Hernández, & Llamas, 2015). Se presentó por primera vez en el 2011 cuando se calculó la HHE para la cuenca del Guadalquivir en España. Utiliza las herramientas de: “valor económico del agua” y “valor económico de la tierra”; para la agricultura se toma en cuenta el concepto de “productividad aparente del agua” (Salmoral et al., 2011).

En el 2013 se presentó la *Evaluación de la huella hídrica en la cuenca del río Porce, Colombia*; consideró el cálculo de la “productividad aparente de la tierra” y la “productividad aparente del agua”; y a diferencia de Salmoral et al. (2011), divide el cálculo, proponiendo la “productividad del agua azul” y la “productividad del agua verde” por separado. Además introduce el indicador de “costos de la descontaminación del agua” (Arévalo y Campuzano, 2013).

En Cantabria, España se calcularon la HH y el AV en el 2015; en esta ocasión se incluyó únicamente la “productividad aparente del agua” para todos los sectores, incluido el agropecuario. A pesar de los existentes avances en el tema, Díaz et al. (2015) describe el desarrollo y estandarización metodológica como incipiente.

La huella hídrica extendida permite analizar la sostenibilidad económica en el uso del recurso en la agricultura a través de dos indicadores: la productividad aparente del agua y la productividad aparente de la tierra. El fin de estas herramientas en la agricultura es facilitar la toma de decisiones para dejar de elaborar productos que no son eficientes en el uso del recurso en sitios donde hay escasez del mismo (Zárate Torres, Fernández Poulussen & Kuiper, 2017).

4.2.1. Productividad aparente del agua (AWP)

Este indicador facilita la estimación del ingreso económico por metro cúbico de agua que se consume (Zárate Torres, Fernández Poulussen, & Kuiper, 2017). De acuerdo a datos de la FAO, se dice que la productividad aparente del agua a nivel mundial para los productos agrícolas es de 0,19 \$ m⁻³ (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia [CTA], 2017). Conocer y determinar este indicador

permite analizar la rentabilidad de los productos y a sustituir los mismos, así como optimizar el uso del recurso para su producción (Angulo Z, 2014).

En el sector agrícola, según características del cultivo (regadío o seco) se dispone de dos tipos de indicadores:

4.2.1.1. Productividad aparente del agua azul (AWP azul)

Su propósito estimar el valor de producción según el precio en el mercado del producto (P_m , €) por unidad de agua consumida, por lo que utiliza el valor obtenido de huella hídrica azul (V_{HA} , m^3). Se calcula cuando el cultivo demanda riego y se expresa en unidades de € m^{-3} (Salmoral et al., 2011; Arévalo y Campuzano, 2013).

4.2.1.2. Productividad aparente del agua verde (AWP verde)

Hace referencia a la apropiación de un recurso disponible en el ambiente que no requiere de un coste económico pero que genera beneficios económicos importantes. Su cálculo se basa en la utilización del dato de la huella verde (V_{HV} , m^3). De igual forma sus unidades son € m^{-3} (Arévalo y Campuzano, 2013).

4.2.2. Productividad aparente de la tierra (ALP)

Se expresa en unidades de € ha^{-1} , representa el valor económico a precios constantes por hectárea cultivada. El cálculo es posible para sistemas de regadío y seco. Este indicador evoluciona con el tiempo debido a la toma de medidas en los campos agrícolas tales como: mejoras tecnológicas, recurso hídrico utilizado y cambios a nivel de plantaciones; también cambia por factores externos que modifican la economía y producción tales como: subvenciones recibidas, disponibilidad hídrica o cambios en los precios del producto (Salmoral et al., 2011; Arévalo y Campuzano, 2013).

4.3. Implicaciones y oportunidades de mejora a partir de la huella hídrica en la agricultura

Este indicador está llamado a cumplir un papel fundamental en el campo de la agricultura, dado que existe poca información acerca de cuánta agua se encuentra incorporada en los productos, el volumen requerido por un agricultor para su actividad, de cuánta agua dispone de manera natural y la calidad de la misma una vez utilizada. Por otra parte, la disponibilidad del recurso para el sector agrícola está siendo presionada por la demanda de otros sectores económicos como el turístico, comercial, industrial y doméstico. Aunado a eso, el planeta Tierra se ve afectado por el cambio climático que trae consecuencias en el rendimiento agrícola, afectando también la seguridad alimentaria (Ortiz, Naranjo, García & Villamizar, 2015).

Según Cameron (2014), los países en vías de desarrollo son los de mayor riesgo ante los efectos del cambio climático, y los pequeños agricultores con deficiencias en el manejo financiero, tecnológico y cognitivo poseen menos destrezas para adaptarse. Factores sociales como la pobreza y desigualdad, junto a factores ambientales como la erosión de suelos, contaminación del agua, cambios en las precipitaciones y ciclos hidrológicos influyen en la disponibilidad de los recursos acuíferos y la calidad de los mismos, poniendo en riesgo la producción agrícola.

En los países más pobres un patrón común es que la huella hídrica sea muy alta, debido a condiciones climáticas desfavorables y al uso ineficiente del recurso, provocando que la productividad descienda (Hoekstra & Chapagain, 2006). La producción agrícola y ganadera son las actividades de mayor consumo de agua a nivel mundial (Figura 6), por lo cual conocer este indicador ayuda a planificar el uso del recurso en toda una región hidrográfica, ayudando incluso a abastecer un territorio con escasez de agua a partir de otro con suficiente oferta. Permite identificar la necesidad de realizar ajustes en la producción y en las estrategias de abastecimiento (Cameron, 2014; Díaz et al., 2015).

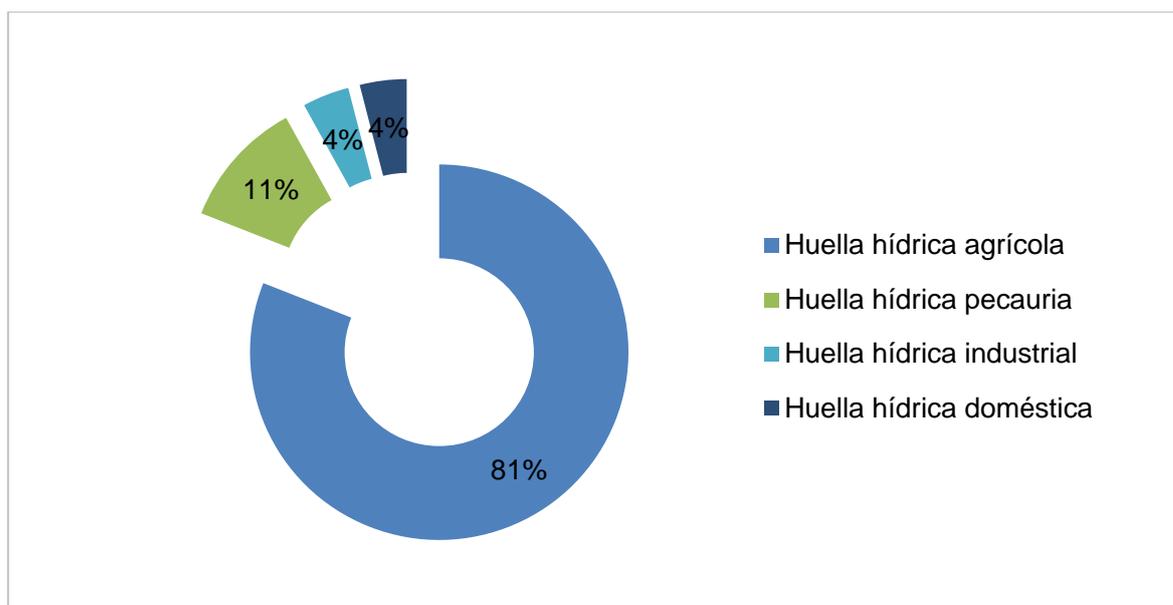


Figura 6. Distribución sectorial de la huella hídrica de la producción global

Fuente: Arévalo, 2012, con base en datos de *National Water Footprint Accounts*, 2011.

En el caso específico de los campos agrícolas, a través la determinación de la huella hídrica se hace posible establecer oportunidades de mejora que logren promover un uso racional del agua, mediante de la adaptación de los sistemas de producción agrícola, haciendo que se gestione de forma sostenible. Adicional a esto, el conocer y determinar el indicador en esta actividad facilita la comprensión del impacto que tiene la agricultura sobre el recurso. De modo que el objetivo que persigue al obtener el dato no es reducir la huella hídrica, sino mejorar la gestión del recurso disponible. Cabe destacar que estas mejoras en la gestión del agua deben emprenderse solo para ese sitio, ya que lo ideal es la toma de decisiones que mejoren la gestión a nivel de cuenca, tomando en cuenta los diferentes actores aledaños al lugar y datos de huella hídrica específicos de la cuenca. Siendo así, las oportunidades de mejora que se pueden incorporar en un campo agrícola son (IICA, 2017):

- Mejorar las prácticas agrícolas para aumentar la productividad de cultivos de secano, reduciendo así la HHV.
- Optimizar la aplicación de fertilizantes para facilitar reducción de la HHG.
- Elegir cultivos apropiados, de acuerdo a las condiciones locales.
- Mejorar la gestión del recurso hídrico ante las amenazas del cambio climático, lo que permite asignar un uso adecuado del mismo.

4.4. Aspectos de importancia para las plantaciones de palma aceitera

El cultivo en sí conlleva una serie de etapas, las cuales son: establecimiento, mantenimiento y producción (Figura. 7) (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite [FEDEPALMA], 2011). El manejo durante la etapa de producción es clave; de un adecuado manejo depende el buen rendimiento en la cosecha.

El cultivo de palma consiste en una serie de procesos agrícolas necesarios para la obtención del coyol. Los primeros procesos se dan en la fase del establecimiento de la plantación, mismo que conlleva una etapa inicial de planeación, dónde se identifica la finca o propiedad adecuada para la plantación y el diseño de la misma, identificando las zonas con mayor aptitud para siembra. En el proceso de adecuación de tierras, se ejecuta la limpieza de lotes y cobertura vegetal, preparación de terrenos, infraestructura vial y adecuación de vías, nivelación, adecuación de canales para drenaje o riego (cuando se requiera), así como el vivero, ahoyado y siembra. Una vez establecida la plantación se avanza a la fase de mantenimiento la cual incluye la siembra de arvenses que consiste en una cobertura vegetal para la protección del suelo y mejor retención de la humedad. El proceso de plateo y desyerbe, se ejecutan de manera permanente y consisten en la eliminación de malezas y limpieza periódica de la base de cada planta, conocida como “platos” o “rondas”, esto para disminuir la competencia por agua y nutrientes y facilitar la recolección del cultivo (FEDEPALMA, 2011).

En nuestro país respecto al riego y drenaje, la palma no utiliza sistema de regadío durante su etapa de producción por lo que los sistemas de drenaje en los terrenos son utilizados para desaguar el exceso de humedad de los suelos, característicos de una zona con abundantes precipitaciones. La fertilización se realiza para asegurar las necesidades nutricionales de la planta respecto a los requerimientos del suelo, así como el control de plagas y enfermedades, dichos controles se realizan a partir de tratamientos físicos, mecánicos, químicos o biológicos. La última fase consiste en la cosecha a través de la corta de los racimos, conlleva también la erradicación y renovación de las plantaciones que cumplen su ciclo productivo, mismo que suele extenderse entre 25 a 30 años (FEDEPALMA, 2011).

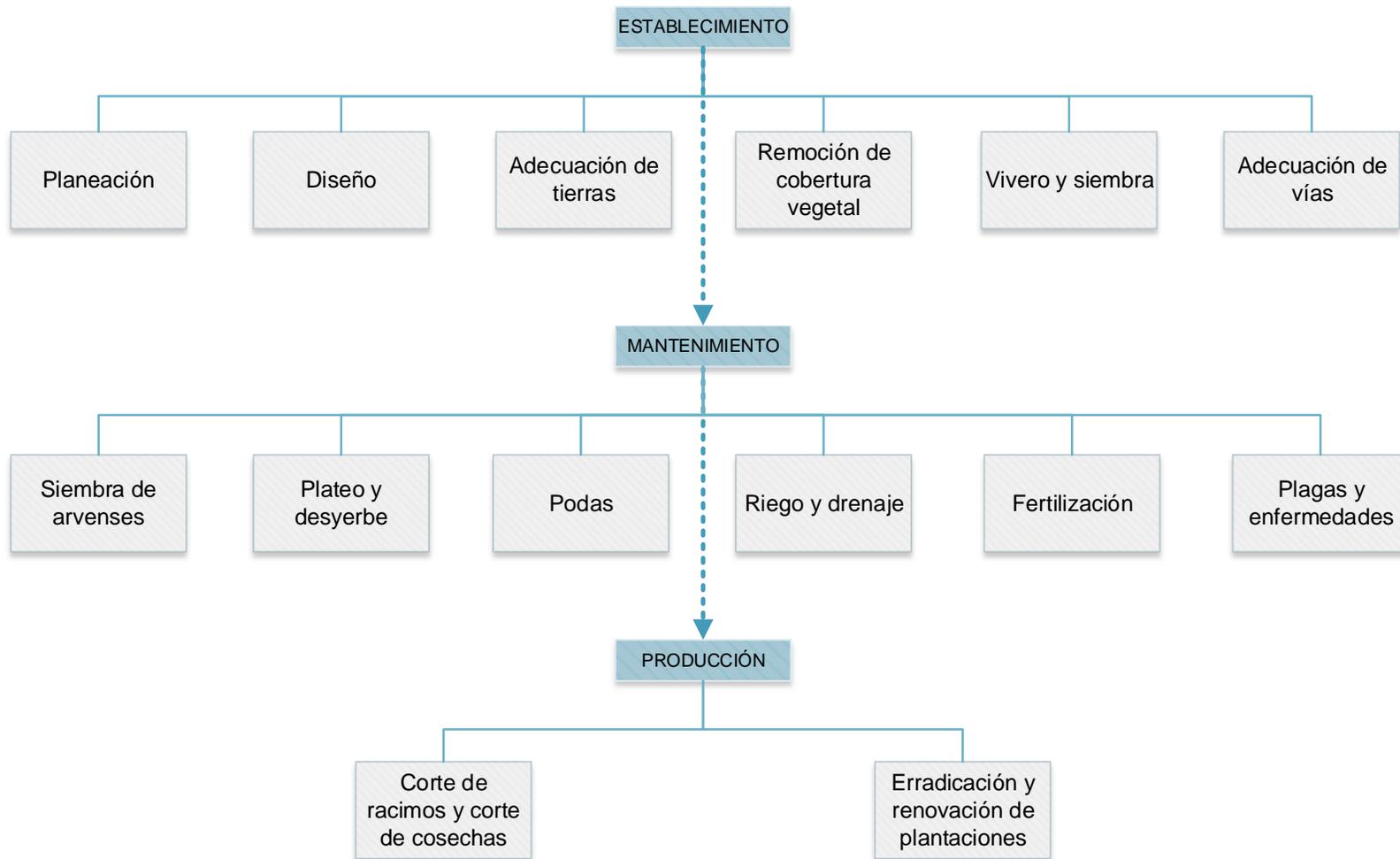


Figura 7. Diagrama del proceso productivo de la palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia basado en FEDEPALMA, 2011.

Los suelos tienen un protagonismo ineludible cuando se trata de la palma. Estos deben ser muy fértiles, con nutrientes y materia orgánica. El tipo idóneo son los limosos, bien drenados; otras texturas como la arcillosa impiden un drenaje adecuado, mientras que la textura arenosa origina problemas de retención de agua y un inadecuado balance nutricional. Es importante que no posean ningún impedimento para el desarrollo de las raíces, las cuales se extienden en forma horizontal y no a profundidad; es por ello que la palma constituye un monocultivo, ya que si se pasara un arado en donde hay palma se dañaría la raíz y se destruiría la retención de humedad en ese suelo. Tampoco es posible la ganadería junto con la palma, porque dicha actividad causa el daño de las raíces secundarias, necesarias para la absorción de nutrientes del suelo, y provoca que se compacte (Quesada, s.f.; Durán, Salas, Chinchilla, Peralta, s.f.; MAG, 2007).

Debe hacerse énfasis en que la plantación requiere de un sistema de nutrición, el cual se realiza a través del reciclaje de subproductos, tal como racimos y hojas secas, junto con abono orgánico. Aunado a esto, se debe evitar el estrés hídrico y de nutrientes para así impedir la pérdida del fruto (coyol) y por ende bajos rendimientos. También las condiciones climáticas juegan un papel preponderante: ayudan a determinar las prácticas agrícolas necesarias para una adecuada producción, ya que tienen influencia sobre el rendimiento. Un mes con precipitación baja no tiene potencial para reducirlo; varios meses de mucha sequedad sí afectan (Quesada, s.f.).

4.5. Osa como economía dependiente de la palma aceitera

4.5.1. Desarrollo histórico y conceptual

La primera siembra de palma aceitera en Costa Rica se da en el año 1950, cuando es traída al Pacífico Sur del país tras la caída del banano, que había sido propiedad de la United Fruit Company (UFCo), por causa de la sigatoka, una enfermedad para cuyo tratamiento se aplicó, como fungicida, sulfato de cobre. Esa sustancia dejó gran parte de los suelos limitados a la siembra de cultivos de alta tolerancia al cobre. De este modo, la empresa decidió aprovechar los terrenos para la producción de palma aceitera. Cuando se realizaron las primeras siembras se acostumbraba sembrar maíz y frijol dentro de las plantaciones, ya que se desconocía sobre aspectos técnicos y científicos; no fue sino hasta la década de 1960 cuando se dejó de hacer, en vista de que esta práctica afectaba la fragilidad de las raíces de la palma. Sin otras plantas coexistentes, se convirtió en monocultivo (Clare, 2012).

En la década de 1980 la producción tuvo un cambio drástico, promovido por las nuevas políticas económicas mundiales que influyeron en el país, relacionadas a la apertura comercial y desarrollo mediante la exportación. En 1983 se declaró estado de emergencia en el país, producto de la combinación de factores climáticos, el cierre de las operaciones bananeras de la UFCo y la caída del precio del aceite. Las tierras que ocupaba la empresa se vendieron al Estado, con la condición de que no se utilizaran exclusivamente para producir banano; es así como en unas se produjo cacao y palma, otras banano y palma y en otras solamente palma. Los terrenos fueron adjudicados bajo esquema de cooperativas. Es en esta misma década cuando la rama de la UFCo dedicada a la producción de palma aceitera pasa a ser Palma Tica (Clare, 2012).

Así, se convirtió en el cultivo de mayor importancia en la Zona Sur: se estima que genera 8 000 empleos directos y 31 000 indirectos al año, y ha sido clave en el desarrollo de estas comunidades. El cantón de Osa posee 7 864 ha de palma aceitera: los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas es donde más se concentra (Tabla 5) (Cámara Nacional de Productores de Palma [Canapalma], 2014a; MAG, 2012; UNA & TEC, 2015).

Tabla 5. Densidad del cultivo en los distritos del cantón de Osa para el 2017

Distrito	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bahía Ballena	1	0,0
Bahía Drake	192	2,4
Puerto Cortés	516	6,6
Piedras Blancas	1 549	19,7
Palmar	2 261	28,8
Sierpe	3 345	42,5
Total	7 864	100

Fuente: Adaptado de L. Córdoba, comunicación personal, 10 de abril de 2018.

Nota: Datos proporcionados por el Proyecto Interuniversitario de Palma Aceitera (PIPAL) (UNA-TEC).

Por otra parte, la actividad palmera del año 2014 al 2015 se encontró entre las actividades agrícolas del país con mayor variación porcentual en su producción con -7,7% pasando de producir 884 406 toneladas métricas a 816 000 toneladas métricas. Sin embargo, es importante destacar que para el año 2015 el sector agropecuario tuvo una participación del 8,0% en el producto interno bruto (PIB), representando la agricultura el 75,9% del valor agregado de la actividad en esta categoría, en la cual la palma africana contó con una participación del 2,5% (Bórbon & Mora, 2016; Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria [SEPSA], 2016).

4.5.2. Características de la zona

La zona del Pacífico Sur ha sido reconocida por el desarrollo de diversas actividades económicas a través de la historia, como lo fueron la minería artesanal de oro y la producción de diferentes cultivos. Además existe un rasgo de identidad definido y arraigado en la zona que predomina sobre los demás: su biodiversidad. Posee el 2,5% de la biodiversidad mundial, y es el hogar de importantes sitios ecosistémicos, que además se encuentran bajo alguna modalidad de protección (Áreas Protegidas y Parques Nacionales de Costa Rica, 2018; Román y Angulo, 2013).

Actividades económicas mal gestionadas, tales como el turismo y los monocultivos, ejercen gran presión sobre los recursos naturales en el cantón de Osa, afectación a manglares y recursos hídricos, cambios del uso del suelo,

apertura de caminos en áreas de bosque, invasión de las zonas de protección y movimientos de tierra (Municipalidad de Osa, 2012; Román y Angulo, 2013).

Esta es la realidad que coloca al cantón de Osa ante un enorme reto: lograr el desarrollo económico paralelamente a la conservación. Destaca una crítica situación de pobreza y desempleo en la zona, una creciente necesidad de oportunidades de crecimiento y de desarrollo sustentable. Es bajo este contexto que el cultivo de palma ha surgido como una actividad “de gran rentabilidad económica”, proporcionando a muchas familias un medio de subsistencia. Sin embargo, el desafío es transformar dicha rentabilidad de manera integral, considerando a su vez los aspectos ambientales y sociales (Román y Angulo, 2013; Canapalma 2014a).

5. Metodología

5.1. Tipo de investigación y enfoque

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, en el cual se integraron, analizaron y vincularon datos cualitativos y cuantitativos para el diagnóstico, las estimaciones y elaboración de propuestas de mejora (resumen de política), basadas en la situación de huella hídrica del cultivo de palma, analizada en tres distritos: Palmar, Sierpe y Piedras Blancas, durante un periodo de cuatro años: 2013, 2014, 2015 y 2016. Mediante la indagación se obtuvieron los datos correspondientes al desarrollo de la actividad del cultivo de palma aceitera para proceder a calcular las HHC y HHE de la actividad bajo análisis.

5.2. Procedimiento metodológico

5.2.1. Selección del sitio y plantaciones en estudio

Las fincas estudiadas fueron elegidas por el equipo PIPAL (UNA-TEC) mediante un estudio previo, en el cual se determinó la densidad de palma en cada distrito del cantón de Osa (Tabla 5) a través de mapeos geográficos. La geógrafa del proyecto, utilizando el software Google Earth, realizó inicialmente polígonos del territorio cubierto de palma, el cual fue posible identificar por el tipo de textura que muestran las imágenes; dichos polígonos fueron posteriormente validados en campo mediante visitas al cantón y obtención de puntos en GPS de las plantaciones de palma. Con esta información y utilizando el software ArcGIS, se determinó la cantidad de hectáreas de palma en cada distrito. Para el efecto se eligieron los de mayor densidad de palma: Palmar, Sierpe y Piedras Blancas. Sobre esa base, se realizaron visitas a múltiples fincas y se eligieron aquellas con características de interés para el proyecto PIPAL (UNA-TEC); entre ellas: disposición de los propietarios a permitir los estudios en sus terrenos, tipo de adscripción organizativa, proximidad a cuerpos de agua, seguridad de la finca para realizar muestreos y dejar el equipo en campo durante un periodo. En total, para el cálculo de la HH se trabajó en tres fincas, ubicadas una en cada distrito, y el factor determinante para su selección fue, en los tres casos, la cercanía a cuerpos de agua.

5.2.2. Fase I. Diagnóstico socioambiental

a. Actividades:

Para el desarrollo del diagnóstico socioambiental en primera instancia se hizo una minuciosa indagación en medios electrónicos sobre la información disponible acerca del cantón, considerando principalmente aspectos económicos y ambientales (Tabla 6). Posterior a esto se realizaron dos visitas de campo al cantón de Osa, concretamente al Área Rectora de Salud de Osa, a los Asistentes Técnicos en Atención Primaria (ATAPS) y a la Municipalidad de Osa, a quienes se le solicitó información tal como el Análisis de Situación Integral de Salud (ASIS), planes de desarrollo cantonal, planes de manejo de residuos, entre otros. Se realizó un recorrido por cada distrito bajo estudio para identificar mediante la técnica de observación las instituciones públicas presentes en el lugar, su ubicación espacial y las facilidades de acceso de los pobladores a zonas de comercio y servicios, así como presencia de espacios recreativos.

Tabla 6. Aspectos incluidos en el diagnóstico socioambiental

Aspecto	Detalle
Datos generales del cantón	Aspectos históricos y culturales, ubicación geográfica, mapas, población, otros.
Descripción de los aspectos económicos	Principales actividades productivas (agricultura, turismo, servicios), índice de empleo, otros.
Aspectos sociales y de salud	Índices de educación, índice de salud, migración, vivienda, que se consideren importantes.
Infraestructura y servicios generales	Sistema de agua, alcantarillado, energía y telecomunicaciones, caminos, edificaciones (escuelas, salones comunales, clínicas, otros).
Aspectos organizativos	Organizaciones existentes, participación, redes, alianzas, mapeo de actores sociales: comunidades, instituciones, empresas, otros.
Aspectos ambientales	Uso del suelo, cobertura, zonas de protección, recurso hídrico, cuencas hidrográficas, delimitación de cuencas, red de drenajes, zonas de protección, manejo de residuos sólidos y aguas residuales, proyectos e iniciativas existentes en las comunidades.
Contexto ambiental	Caracterización y análisis de los principales problemas ambientales del contexto local.

Fuente: Adaptado de AMAVI, (2015).

Se visitaron las tres fincas seleccionadas, para conocer en detalle el sitio de estudio y manejo del cultivo de palma aceitera (Figura 8). Los motivos por los cuales se optó por cada finca fueron: en Palmar el área de la finca cuenta con una naciente, en Sierpe hay una quebrada cerca de la propiedad, y en Piedras

Blancas hay nacientes aguas arriba de la propiedad. Se conversó con cada uno de los tres propietarios para conocer la situación económica y agrícola de cada uno de ellos y de la actividad en general. Además, se les solicitaron registros de producción de coyol del periodo 2013-2016, así como la cantidad y tipo de agroquímicos utilizados. La información recopilada se procesó utilizando una versión libre de los programas de Word y Excel de Microsoft Office.

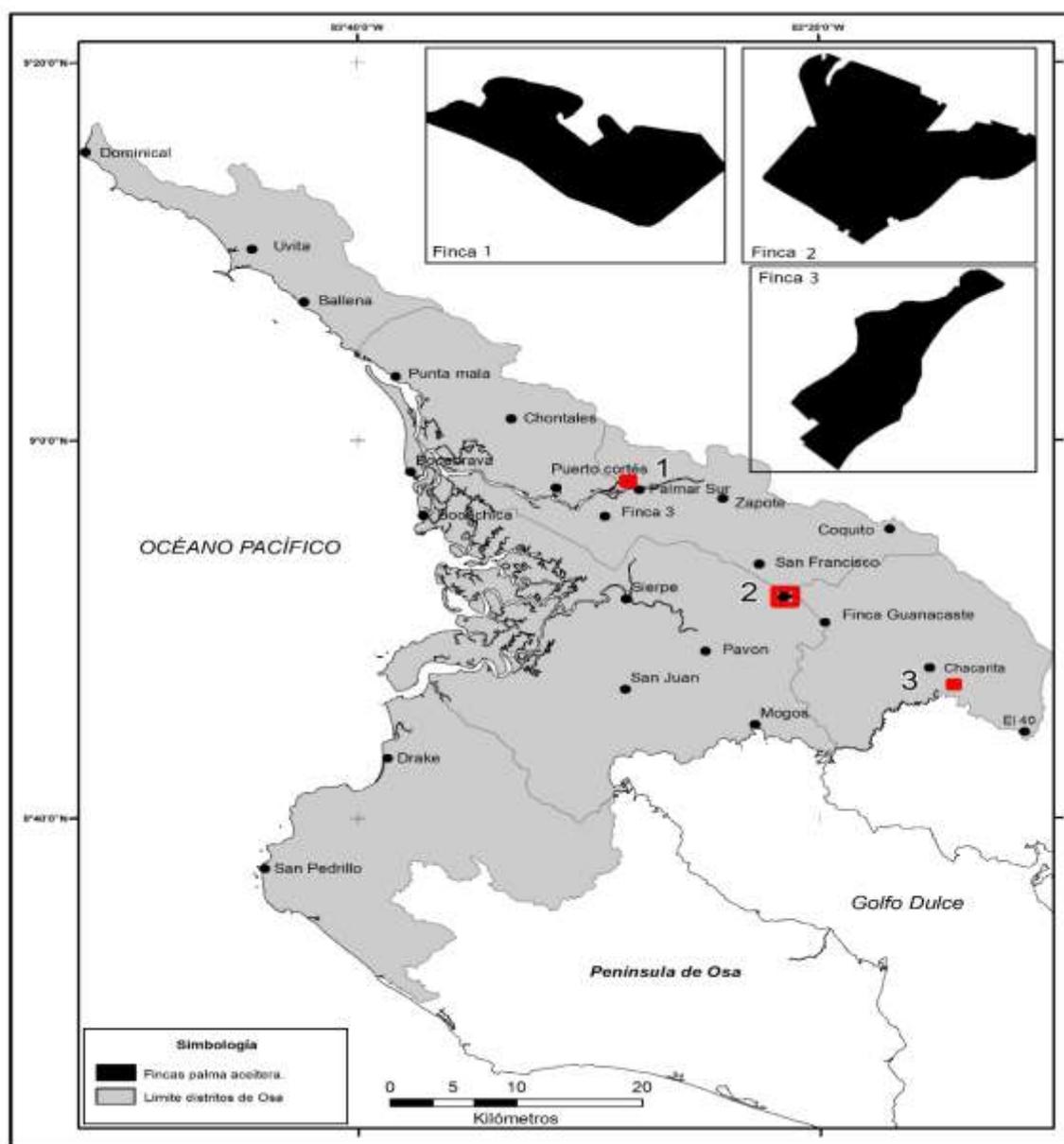


Figura 8. Ubicación fincas en las que se realizó el estudio

Fuente: PIPAL (UNA-TEC), 2019.

5.2.3. Fase II. Cálculo de la huella hídrica clásica

a. Actividades:

1. Se visitó el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y se le solicitó la información climática de las estaciones más cercanas a las fincas de estudio para obtener datos de: temperaturas máximas, mínimas y precipitación durante el periodo 2013-2016. La información fue procesada mediante una versión libre de Microsoft Excel para ser utilizada posteriormente en el programa CropWat 8.0 (Anexo 6 y 7).
2. El cálculo para la HHV se realizó mediante el programa CropWat 8.0 desarrollado por la FAO para la obtención del CWU_{verde} , la utilización de las ecuaciones que se muestran en los siguientes apartados y la recopilación de datos necesarios a través de indagación bibliográfica.
3. La HHG se realizó mediante el procesamiento de la información recopilada en el campo: dosis y tipo de agroquímicos utilizados, revisión bibliográfica y la aplicación de las ecuaciones.
4. Los resultados obtenidos de HHC se analizaron y relacionaron a los resultados del diagnóstico socioambiental, mediante el criterio de experto.

5.2.3.1. Huella hídrica clásica

El valor total de la huella hídrica (Apéndice 15) se obtuvo sumando los valores de HHV y HHG (Ecuación 1), cuyos cálculos se detallan en los apartados 4.2.2.2. y 4.2.2.3.

$$HH_{Hídrica} = HH_{Verde} + HH_{Azul} + HH_{Gris} \quad (1)$$

Donde:

$$HH_{Hídrica} = \text{Huella hídrica}$$

$$HH_{Verde} = \text{Huella hídrica verde } (m^3 t^{-1})$$

$$HH_{Azul} = \text{Huella hídrica azul } (m^3 t^{-1})$$

$$HH_{Gris} = \text{Huella hídrica gris } (m^3 t^{-1})$$

En el caso del componente azul, este no se calculó debido a que la palma aceitera en Costa Rica es un cultivo de secano (no se realiza riego) en la fase de producción de coyol, por lo cual se sustenta del componente verde (Díaz Alcaide, Martínez Santos, Willaarts, Hernández Moreno & Llamas Madurga, 2015). De modo que la ecuación utilizada integró los componentes verde y gris (Ecuación 2).

$$HH_{Hídrica} = HH_{Verde} + HH_{Gris} \quad (2)$$

Donde:

$$HH_{Hídrica} = \text{Huella hídrica}$$

$$HH_{Verde} = \text{Huella hídrica verde (m}^3 \text{ t}^{-1}\text{)}$$

$$HH_{Gris} = \text{Huella hídrica gris (m}^3 \text{ t}^{-1}\text{)}$$

5.2.3.2. Huella hídrica verde

El programa se compone de cinco módulos. A continuación se explica la metodología para obtener la información para la corrida de cada módulo.

- **Módulo I. Clima/Eto**

Para correr este módulo se requirió información climática, la cual se solicitó al Instituto Meteorológico Nacional (IMN), institución en Costa Rica que registra las actividades meteorológicas y climáticas. En la solicitud se requirieron las coordenadas geográficas (Tabla 7), las cuales fueron tomadas con GPS en cada finca, así como la especificación de los datos requeridos: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura promedio (°C), humedad (%), velocidad del viento (m s⁻¹), insolación (h) y precipitación (mm).

Tabla 7. Coordenadas geográficas de las fincas

Distritos	Coordenadas	
	Latitud norte	Longitud oeste
Palmar	8° 57.849'	83° 28.041'
Sierpe	8° 51.749'	83° 20.928'
Piedras Blancas	8° 46.957'	83° 14.317'

Nota: Se muestran las coordenadas geográficas de las fincas bajo estudio, en grados, minutos y segundos. Fuente: Elaboración propia, 2017.

De acuerdo a las coordenadas geográficas bridadas se recibió información de varias estaciones climáticas. Hoekstra et al. (2011) sugiere utilizar las estaciones más cercanas y representativas para el campo de estudio. De modo que para la finca ubicada en Palmar, y también para la de Sierpe, se utilizó la estación “Palmar Sur”; para la de Piedras Blancas la estación de “Río Claro”. Ambas estaciones cumplen con la recomendación (Anexo 6 y 7) (Tabla 8).

Tabla 8. Datos de las estaciones meteorológicas utilizadas

Datos	Estaciones	
	Palmar Sur	Río Claro
Número	98 099	100 643
Latitud norte	08° 56' 48" (8,95)	08° 40' 29" (8,67)
Longitud oeste	83° 28' 04" (-83,47)	83° 03' 43" (-83,06)
Altitud (m.s.n.m)	15	45
Temperatura promedio (°C)	X	X
Temperatura máxima (°C)	X	X
Temperatura mínima (°C)	X	X
Humedad (%)	X	X
Viento (m s⁻¹)		X
Insolación (h)		
Lluvia (mm)	X	X

Nota: Datos brindados por el IMN para las estaciones de Palmar Sur y Río Claro en Costa Rica, para los años 2013-2016. Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (comunicación personal, 15 de marzo, 2017).

Este módulo facilitó la obtención de la radiación y la evapotranspiración de referencia (ET_o) a través del método Penman-Monteith, el cual es recomendado por la FAO, debido a que proporciona datos consistentes, además de que supera las deficiencias encontradas en otros métodos para el cálculo de la ET_o (FAO, s.f.).

Para correr el programa se utilizaron temperaturas máximas y mínimas, debido a que las medias generan datos válidos pero con posibilidad de subestimar la ET_o (Allen, Pereira, Raes & Smith, 2006).

Se utilizó la configuración para el cálculo de ET_o denominada “ET_o Penman Monteith” calculada a partir de datos de temperatura (otros datos estimados), ya que no fue posible obtener los datos de la velocidad del viento ni la insolación de la estación Palmar Sur (Tabla 8) (Apéndice 9).

- **Módulo II. Precipitación**

Se contó con los datos de precipitación de cada estación (Tabla 8) (Anexos 6 y 7) y se introdujeron en el módulo del mismo nombre; con ello se obtuvo la precipitación efectiva (Pef). Se utilizó por defecto el método USDA Soil Conservation Service, que consiste en una ecuación que facilita el cálculo de la Pef a partir de datos de precipitación por década o por mes. Este dato se refiere a la cantidad de lluvia que las plantas utilizan en forma efectiva, ya que no toda la precipitación es utilizada por la planta: una parte se pierde por la escorrentía superficial y percolación profunda (FAO, s.f.).

- **Módulo III. Cultivo**

Este módulo requirió la introducción de datos específicos (Tabla 9), cuya recopilación se explica en los siguientes párrafos.

Tabla 9. Datos técnicos de la palma aceitera

Nombre del cultivo	Palma aceitera			
Fecha de siembra y cosecha	Siembra: 01/enero Cosecha: cálculo automático			
Coefficiente del cultivo (Kc)	Kc_{inicial}	Kc_{media}	Kc_{final}	
	0,95	1,00	1,00	
Etapas (días)	Inicio	Desarrollo	Media	Final
	90d	90d	90d	90d
Profundidad radicular (m)	Etapas inicial		Desarrollo	
	0,70 m		1,10 m	
Agotamiento crítico (fracción) (p)	0,65			
Factor de respuesta de rendimiento (Ky)	1,00			
Altura del cultivo (m)	8 m			

Nota: Se muestran los datos requeridos para el módulo de cultivo de CropWat. Fuente: Allen et al. (2006), FAO (s.f.).

En ninguna de las tres fincas hubo claridad con respecto a la fecha exacta de siembra; aunque sí se conocen las edades de las plantas, no se tiene registro del día y el mes específicos en que se realizó la siembra. Los productores en general manejan la información de los años de siembra de memoria. Tampoco fue posible hallar referencias acerca de las etapas de crecimiento de la planta. Este último dato se refiere a las variaciones en el área del suelo, altura del cultivo y área foliar debidas al desarrollo del cultivo (Allen et al., 2006). Sin embargo, para cultivos perennes como lo es la palma aceitera, es posible suponer como fecha de

siembra el 1° de enero y considerar que las etapas del cultivo son de 90 días cada una (Figura 9); esto debido a que la fases de crecimiento en este tipo de cultivos no suelen coincidir con las etapas planteadas por el programa ni con las de los demás cultivos, por eso el procedimiento a realizar en el programa varía (FAO, s.f.).

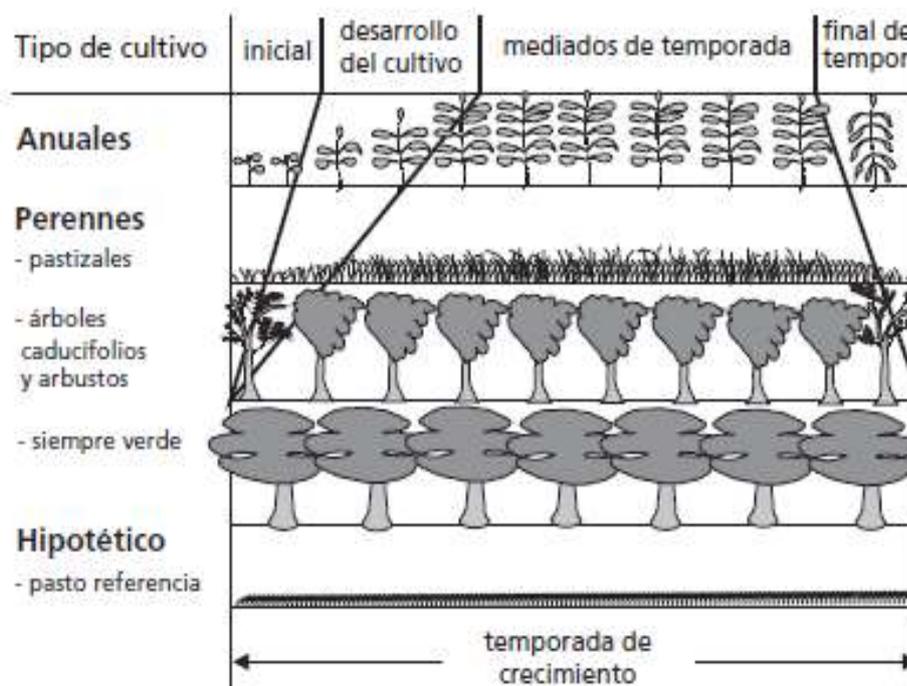


Figura 9. Etapas de crecimiento de acuerdo al tipo de cultivo

Fuente: Allen et al. (2006).

Con respecto al coeficiente del cultivo (K_c), el mismo fue tomado de Allen et al. (2006), como indicador de los cambios en la vegetación y cobertura del suelo durante el crecimiento del cultivo. El valor varía según el tipo de cultivo y, en menor grado, de factores como el clima y la evapotranspiración.

La profundidad radicular específica se refiere a la capacidad que tiene la planta de sacar provecho del agua que almacena en el suelo, mientras que el factor de agotamiento crítico (p) indica el momento crítico de humedad en el cual empieza a existir estrés por falta de agua, afectando así la evapotranspiración del cultivo y por ende la producción (FAO, s.f.). Tales parámetros se extrajeron del cuadro 22 de Allen et al. (2006).

El factor de respuesta de rendimiento (Ky) indica la disminución del rendimiento, producto del déficit de evapotranspiración relativa (FAO, s.f.). Cuando se desconoce este valor, se atribuye 1,00 (Allen et al., 2006).

- **Módulo IV. Suelo**

El módulo requirió el ingreso de los datos:

- Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)

Para su cálculo se utilizó la fórmula:

$$HSDT = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pr \quad (3)$$

Donde:

HSDT = Humedad del suelo disponible total (mm m⁻¹)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente (g cm⁻³)

Pr = Profundidad radicular (mm)

(Romero, Quintero & Monserrate, 2016)

Los valores de Da, CC y PMP (Ecuación 3) se adquirieron a través de la calculadora de propiedades hidráulicas “Soil Water Characteristics 6.02.74” (Figura 10), recomendada por FAO (s.f.). Se trata de una herramienta desarrollada en conjunto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Washington State University, la cual requirió incluir el porcentaje de arena y arcilla de los terrenos. Estos datos se obtuvieron a través de un muestreo de suelo y análisis realizado por el equipo del proyecto PIPAL (Tabla 10).

Tabla 10. Porcentajes de arena, limo y arcilla según la textura del suelo

Finca	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Tipo de suelo
Palmar	65	20	15	Franco arenoso
Sierpe	65	10	25	Franco arcilloso arenoso
Piedras Blancas	52	30	18	Franco arenoso

Nota: Se muestran los porcentajes de arena, limo y arcilla según la textura del suelo de las fincas en estudio según L. Hernández (comunicación personal, 14 de marzo, 2017).

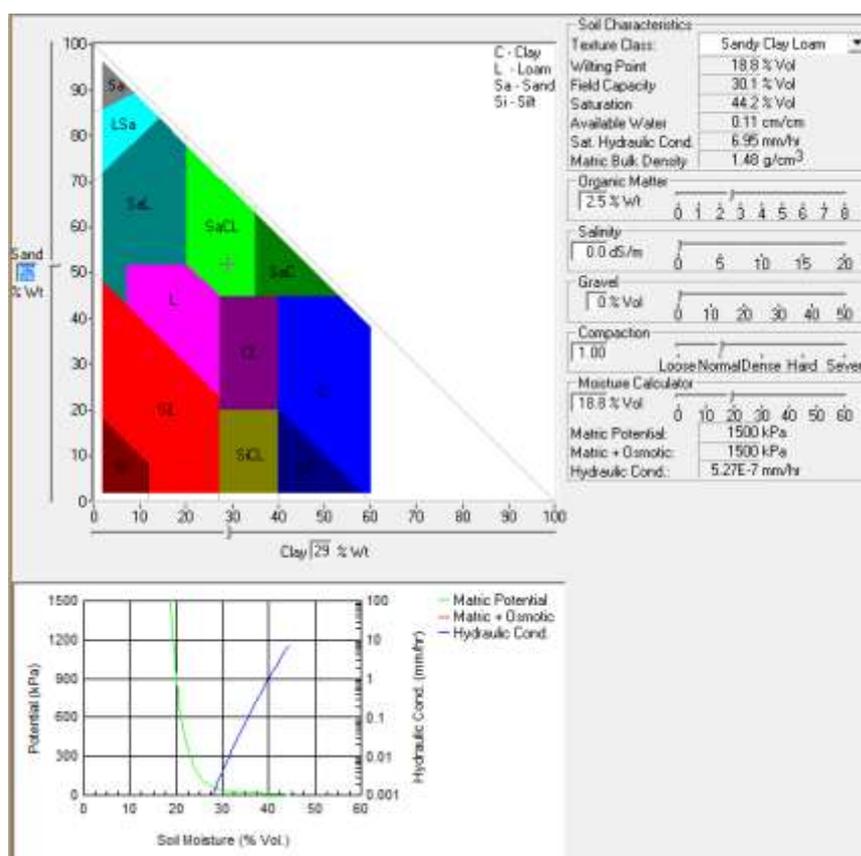


Figura 10. Interfaz del programa de propiedades hidráulicas Soil Water Characteristics

Fuente: Soil Water Characteristics.

Los datos se utilizaron para cálculo de la HSDT (Tabla 11), junto con la profundidad radicular, la cual corresponde a 1100 mm (Tabla 9).

Tabla 11. Datos para el cálculo de HSDT

Finca	CC (%)	PMP (%)	Da (g cm ⁻³)	HSDT (mm m ⁻¹)
Palmar	20,5	10,9	1,48	156,3
Sierpe	25,9	16,6	1,52	155,5
Piedras Blancas	24,6	12,6	1,46	192,7

Fuente: Elaboración propia. Se muestran los datos necesarios para el cálculo de la HSDT, así como el cálculo de la misma, para cada sitio en estudio (Apéndice 3).

▪ Tasa máxima de infiltración de la precipitación

FAO (s.f.) indica que este dato solicitado por CropWat se refiere a la cantidad de agua capaz de infiltrarse en un periodo de 24 horas; dicho valor depende del tipo de suelo, la pendiente del terreno y la intensidad de la lluvia o riego, y tiene el mismo valor que la conductividad hidráulica a saturación. Asimismo, Romero et al. (2016) y Builes (2013) sugieren la utilización del valor de conductividad hidráulica

como tasa máxima de infiltración. Para obtenerlo se utilizó el link recomendado por FAO (s.f.) (Tabla 12).

Tabla 12. Dato para la tasa máxima de infiltración

Finca	Tasa máxima de infiltración cm h ⁻¹	Tasa máxima de infiltración mm d ⁻¹
Palmar	1,33	319,20
Sierpe	0,40	96,00
Piedras Blancas	0,97	232,80

Nota: Se muestra la tasa máxima de infiltración en cm h⁻¹ y en mm día⁻¹, para las tres fincas bajo estudio (Apéndice 4). Fuente: FAO, s.f.

El programa CropWat no admite datos mayores a 300 mm d⁻¹ como valores para la tasa máxima de infiltración; por tanto, se utilizó este valor para el terreno ubicado en el distrito de Palmar.

- Profundidad radicular máxima

En el programa se utiliza el valor por defecto de 900 cm, el cual indica que el suelo no posee características que limiten el desarrollo radicular. Los valores menores al 900 sí indicarían restricciones al desarrollo radicular (FAO, s.f.).

- Agotamiento inicial de la humedad de suelo (% de ADT)

Este dato indica la aridez del suelo cuando inicia la época de siembra. Se utiliza un valor por defecto de 0% cuando el suelo está húmedo a capacidad de campo, es decir hay agua (humedad) contenida posterior al drenaje. Y en el otro extremo, se emplea un 100% cuando está en punto de marchitez permanente, es decir cuando el agua que contiene no es suficiente y provoca el marchitamiento definitivo de la planta (FAO, s.f.). Romero et al. (2016) indica que para determinar este valor en la mayoría de ocasiones solo es posible realizar una estimación, y que en general se utiliza un valor entre 0 y 30%.

En este caso se utilizó el valor de 0% debido a que en la zona de estudio hay predominancia de humedales; además, la mayor parte del año los suelos están saturados (Rosero, Maldonado & Bonilla, 2002). También se sabe que las fincas bajo estudio poseen canales de drenaje cuyo fin es eliminar el exceso de humedad, por lo cual se asume que su suelo está húmedo a capacidad de campo.

- **Módulo V. Programación de riego del cultivo**

Para la obtención de la HHV se utilizó el módulo V - Programación de riego del cultivo. El programa proporciona una ventana de totales, en la cual se debe elegir el valor mínimo de requerimiento hídrico del cultivo (mm) y la precipitación efectiva (P_{ef}) (mm); sin embargo, cuando el suelo tiene déficit es preciso sumar el valor del déficit de humedad en la cosecha (mm). El valor obtenido se presenta en milímetros (mm), se debe multiplicar por 10 para obtener metros cúbicos por hectárea ($m^3 ha^{-1}$). Si se desea obtener el valor en metros cúbicos por tonelada ($m^3 t^{-1}$), se debe dividir entre el rendimiento de cultivo (R_c), como se puede apreciar en la ecuación 4. Los cálculos se pueden ver en el apéndice 9.

$$HH_{verde} = \frac{CWU_{verde}}{R_c} \quad (4)$$

Donde:

CWU_{verde} = Componente verde del uso de agua del cultivo ($m^3 ha^{-1}$)

R_c = Rendimiento del cultivo ($t ha^{-1}$)

El rendimiento del cultivo se obtuvo dividiendo la producción de cada finca entre el área total de siembra (Ecuación 5).

$$R_c = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Donde:

P = Producción total ($t año^{-1}$)

A = Área total de siembra (ha)

Los datos de rendimiento proporcionados por los productores fueron insuficientes, ya que no se contó con la información para ciertos años (Tabla 13).

Tabla 13. Datos de producción obtenidos para cada finca

Finca	2013	2014	2015	2016
Palmar			X	X
Sierpe	X	X	X	X
Piedras Blancas				X

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, para obtener los datos de rendimiento de los años faltantes se utilizaron los resultados del *Boletín Agropecuario Estadístico* en su edición N° 26 (SEPSA, 2016) para la estimación del rendimiento nacional promedio de la palma aceitera (Tabla 14).

Tabla 14. Rendimiento promedio de la palma aceitera en las fincas bajo estudio ($t\ ha^{-1}$)

Distrito	2013	2014	2015	2016
Palmar	17,50	11,37	14,82	18,89
Sierpe	15,51	18,07	21,02	23,34
Piedras Blancas	17,50	11,37	11,75	15,16

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SEPSA (2016) y otros suministrados por los productores.

Los resultados obtenidos para la HHV se pueden apreciar en el apartado de resultados.

5.2.3.3. Huella hídrica gris

La estimación de la HHG se realizó según el nivel 1 de complejidad, citado por el documento "Grey Water Footprint Accounting, Tier 1 Supporting Guidelines", elaborado por Franke, Boyacioglu & Hoekstra, 2013. El cálculo se desarrolló con la fracción de lixiviación, utilizada para determinar la carga contaminante que llega hasta los cuerpos de agua; para este fin se utilizó la ecuación 6.

$$HH_{Gris} = \frac{(\alpha * AR)/(C_{max} - C_{nat})}{Rc} \quad (6)$$

Donde:

α = Fracción de lavado y escorrentía

AR = Cantidad de fertilizante por hectárea ($kg\ ha^{-1}$)

C_{max} = Concentración máx. del contaminante permitida en el agua ($kg\ m^{-3}$)

C_{nat} = Concentración natural del contaminante en el agua ($kg\ m^{-3}$)

Rc = Rendimiento del cultivo ($t\ ha^{-1}$)

- **Contaminantes en las fincas bajo estudio**

La HHG varía según el contaminante que se desee analizar. Según la recomendación de Arévalo & Campuzano (2013) para el sector agrícola, se

calculó la HHG para fósforo y nitrógeno tomando como definitiva la que registró el mayor valor. La información de aplicación de agroquímicos suministrada por los agricultores no se encontraba completa para todos los años del periodo de estudio, por lo que se calculó un único valor de HHG para cada contaminante en cada una de las fincas bajo estudio, a partir de los valores promedio de aplicación entre 2013 y 2016.

- **Fracción de lavado y escorrentía**

Respecto a este valor se consideró que una parte de los productos agroquímicos aplicados no se aprovecha, y en cambio se moviliza hasta los cuerpos de agua por lixiviación y/o escorrentía. Esta cantidad de contaminante no se mide con facilidad, pues se incorpora a los cuerpos de agua de manera difusa, imposibilitando la medición en un punto específico. En vista de lo anterior, se determinó la cantidad de sustancia química que ingresó al sistema durante el periodo en estudio y se asumió un porcentaje del mismo que alcanza los cuerpos de agua, siendo este la fracción de lixiviación y escorrentía (α). Tomando en cuenta la sugerencia de Franke et al. (2013), se utilizó un valor de 10% para fertilizantes nitrogenados y un 3% para fosforados (Tabla 15).

Tabla 15. Fracción de lixiviación y escorrentía mínima, promedio y máxima para nutrientes, metales y pesticidas.

Fracción de lixiviación y escorrentía	Nitrógeno	Fósforo
Fracción de lixiviación y escorrentía mínima α_{\min}	0,01	0,0001
Fracción de lixiviación y escorrentía promedio α_{prom}	0,1	0,03
Fracción de lixiviación y escorrentía máxima α_{\max}	0,25	0,05

Fuente: Franke et al. (2013).

- **Cantidad de agroquímico por hectárea**

Entre el 2013 y el 2016, en las fincas bajo estudio se aplicaron tres tipos de agroquímicos:

- Fórmula completa (varió en cada sitio debido al tipo de suelo)
- Dicloruro de paraquat 20 SL
- Glifosato 35,6 SL

Se detalla el tipo de agroquímico y su composición química (Tabla 16).

Tabla 16. Agroquímicos utilizados en las fincas bajo estudio

Nombre	Tipo	Composición química
FC #1 Palmar	Fertilizante	10% (NH ₄)(NO ₃), 15% P ₂ O ₅ , 28% K ₂ O
FC #2 Palmar	Fertilizante	12% (NH ₄)(NO ₃), 10% P ₂ O ₅ , 2% K ₂ O
FC Sierpe	Fertilizante	15% (NH ₄)(NO ₃), 10% P ₂ O ₅ , 22% K ₂ O
FC Piedras Blancas	Fertilizante	24% (NH ₄)(NO ₃), 11% P ₂ O ₅ , 8% K ₂ O
Paraquat 20 SL	Herbicida	C ₁₂ H ₁₄ Cl ₂ N ₂
Glifosato 35,6 SL	Herbicida	C ₃ H ₈ N ₁ O ₅ P ₁

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad aplicada de cada agroquímico fue suministrada por los productores, con los valores que se presentan a continuación (Tabla 17).

Tabla 17. Aplicación anual promedio de fórmula completa por hectárea (kg ha⁻¹)

Finca	Fórmula completa #1	Fórmula completa #2	Paraquat	Glifosato
Palmar	568,00	568,00	7,500	11,709
Sierpe	340,80	-	-	0,202
Piedras Blancas	145,00	-	3,685	0,850

Fuente: Elaboración propia.

- **Concentración máxima permitida en el agua**

Se consideró como C_{max} los límites máximos establecidos por el Decreto N° 33601: Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE] & Ministerio de Salud [MinSa], 2007), para aguas residuales vertidas a un cuerpo receptor (Tabla 18).

Tabla 18. Límites máximos permisibles para vertido de agua residual en un cuerpo receptor en Costa Rica.

Parámetro	C_{max} (mg l ⁻¹)	C_{max} (kg m ⁻³)
Fosfatos	25	0,000025
Nitrógeno total	50	0,000050

Fuente: MINAE & MinSa, 2007.

- **Concentración natural del contaminante en el agua**

Ante la ausencia de datos locales, tales como informes de monitoreo en la cabecera de la cuenca evaluada, esta variable tiene un valor de cero según lo establecido por Franke et al. (2013).

- **Rendimiento del cultivo**

Se utilizaron los mismos valores de rendimiento de cultivo disponibles en el cálculo de la HHV (Tabla 14).

5.2.4. Fase III. Cálculo de la huella hídrica extendida (HHE)

a. Actividades:

En la estimación de la HHE se incluyó la productividad aparente de la tierra (ALP) y productividad aparente del agua verde (AWP_{verde}), a partir de las ecuaciones 7 y 8 respectivamente, según metodología utilizada por Salmoral et al. (2011) y Arévalo y Campuzano (2013). Los datos necesarios fueron obtenidos de las visitas de campo (rendimiento del cultivo), de la revisión bibliográfica (datos faltantes del rendimiento del cultivo y precio en el mercado del producto) y de los resultados de la HHV. Ambos indicadores económicos fueron analizados bajo criterio de experto.

5.2.4.1. Productividad aparente de la tierra (ALP)

$$ALP = P_m * R_c \quad (7)$$

Donde:

$ALP =$ Productividad aparente de la tierra (€ ha^{-1})

$P_m =$ Precio en el mercado del producto (€ t^{-1})

$R_c =$ Rendimiento del cultivo (t ha^{-1})

- **Rendimiento del cultivo (R_c)**

Se utilizaron los mismos valores de rendimiento de cultivo indicados en el cálculo de la HHV (Tabla 14).

- **Precio en el mercado del producto (P_m)**

Los datos se obtuvieron de la Cámara Nacional de Palma (Canapalma), organización encargada de la fijación mensual del precio del fruto de la palma

(coyol) junto con los industriales, basado en el promedio mensual del aceite crudo de palma C.I.F. Rotterdam (Cuéllar, 2016). Estos precios son publicados mensualmente en la página de Canapalma. Se determinó el promedio anual para cada año en estudio (Apéndice 13).

5.2.4.2. Productividad aparente del agua verde (AWP)

Se calculó conforme a la ecuación respectiva de AWP (Ecuación 8).

$$AWP_{verde} = \frac{Pm}{HH_{verde}} \quad (8)$$

Donde:

AWP_{verde} = Productividad aparente del agua verde (€ m^{-3})

Pm = Precio en el mercado del producto (€ t^{-1})

HH_{verde} = Huella hídrica verde ($\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$)

- **Precio en el mercado del producto (Pm)**

Se utilizaron los mismos datos del apartado anterior (productividad aparente de la tierra).

- **Huella hídrica verde**

Corresponde a los resultados obtenidos para la HHV (Figura 20, Apéndice 9) en la fase II. Apartado 4.2.2.1: Huella hídrica verde.

Los resultados obtenidos para la HHE se pueden apreciar en el apartado de resultados.

6. Resultados

6.1. Diagnóstico socioambiental

6.1.1. Contexto cantonal

Con el fin de situar el contexto local en el cual se estimó el indicador de HH, se realizó un diagnóstico de las condiciones sociales y ambientales de Osa como cantón, seguido por un análisis de las características más importantes de los tres distritos en estudio y sus implicaciones con los resultados de cada una de las huellas hídricas.

El cantón de Osa se ubica al sur de la provincia de Puntarenas. Está conformado por seis distritos: como cabecera Puerto Cortés, seguido por Palmar, Sierpe, Piedras Blancas, Bahía Ballena y Bahía Drake (Figura 11) (Municipalidad de Osa, 2016). Sus límites son al norte con el río Barú, al oeste con el océano Pacífico, al sur con el río Esquinas y al este con quebrada La Iguana. Limita con los cantones de Aguirre al norte, Buenos Aires y Pérez Zeledón al noreste, Golfito y Golfo Dulce al sureste, y el océano Pacífico al suroeste (Municipalidad de Osa, 2016). Posee una extensión de 1 930,24 km² (Fallas, Quirós, Gamboa & Viales, 2006). Es una zona de gran diversidad ecosistémica y de suelos fértiles.



Figura 11. División administrativa del cantón de Osa

Fuente: Municipalidad de Osa (2016).

6.1.2. Dinámica poblacional y aspectos económicos

6.1.2.1. Dinámica poblacional

Con un total de 29 433 habitantes, la realidad socioeconómica de la región, principalmente en lo relacionado con el empleo, ha ocasionado que la dinámica poblacional se caracterice por un crecimiento cercano a nulo con tendencias a disminuir, situación que demuestra un bono demográfico. Es decir, actualmente el cantón cuenta con un gran potencial de individuos productivos; sin embargo, con el paso del tiempo será cada vez menor esta cantidad, y mayor la de personas dependientes (INEC, 2011, citado por Municipalidad de Osa, 2012). Al comparar los dos anteriores censos realizados por el INEC, se puede observar que la población joven (menor de 14 años) decreció en 1067 personas, mientras que la población mayor a 65 años aumentó en 606 pobladores; esto significa que hay menos nacimientos y la población está envejeciendo (Román y Angulo, 2013). Por otra parte, al ser una región con migración local en diferentes periodos, aunque cuenta con población arraigada, el promedio de habitantes depende mucho de la oferta de trabajo, lo cual es determinante a la hora de definir procesos de ordenamiento y distribución de los recursos, incluyendo el hídrico.

Para el 2011 había un saldo de migración neta de -4 450 personas; es decir, la diferencia entre los emigrantes y los inmigrantes internos era negativa (INEC, 2012). Este comportamiento no es ajeno a los distritos bajo estudio, principalmente Palmar, y según proyecciones realizadas en el 2010 para el periodo 2010-2025, este comportamiento seguiría presentándose (Figura 12) (INEC, 2010).

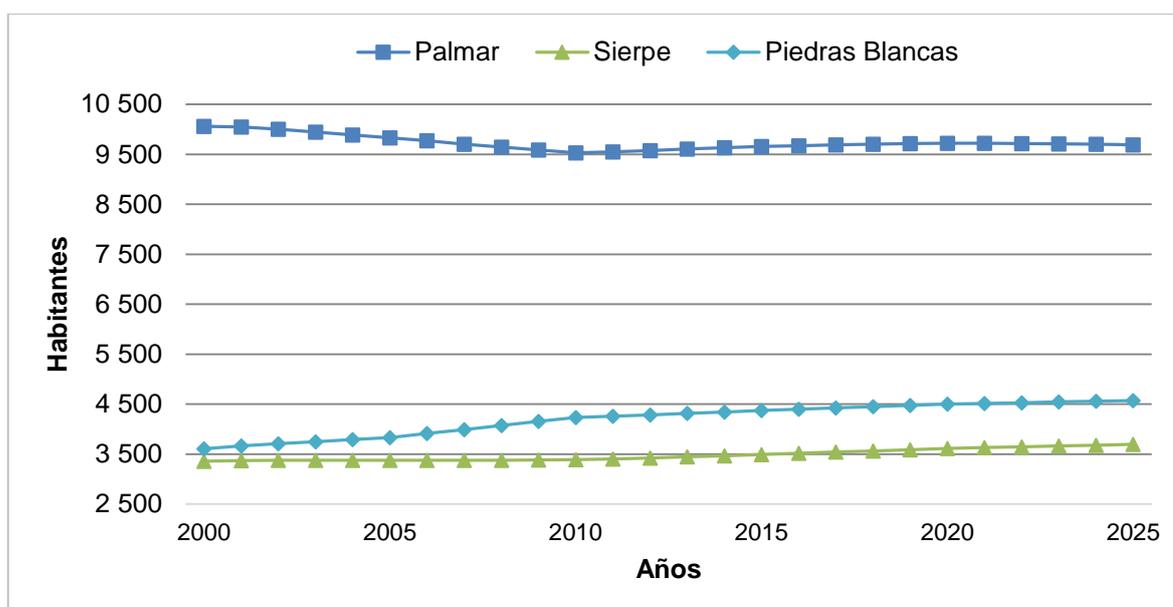


Figura 12. Proyección de población en cada distrito (2000-2025)

Fuente: Elaboración propia basada en datos de INEC (2010), 2018.

La emigración poblacional en el cantón, aunada al descenso de población joven, es una realidad que refleja nuevas generaciones en búsqueda de oportunidades de superación personal y posibilidades de empleo de calidad, que no les ofrece la zona. Cabe resaltar que son estos mismos individuos los que han desarrollado mayor conciencia y sensibilidad sobre la importancia de los temas ambientales, debido a que en los últimos años se ha involucrado de manera transversal en los diferentes sectores económicos y educativos del país, así como por las diferentes campañas y actividades de grupos ambientalistas. Por consiguiente, la población potencial que podría tener un papel preponderante en las decisiones y manejo de los recursos naturales de la región está saliendo de la zona, o bien se desempeñan en cualquier oportunidad laboral por la falta de oportunidades, sin ser estratégicos en estos procesos de manejo.

La región se ve afectada por el movimiento de inmigrantes procedentes de otros países y cuyo compromiso y necesidades con el recurso de la región cambia considerablemente. Según el censo del 2011, en Osa se contabilizó un total de 1196 personas inmigrantes extranjeras (INEC, 2012); esta población enfrenta dificultades para acceder a la tierra, por lo que es común que habiten en asentamientos irregulares. Desde allí abogan por el acceso al agua ya que la necesitan, pero no asumen un compromiso de responsabilidad sobre el manejo

del recurso. Además, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y las ASADAS no pueden distribuir agua potable en territorios en disputa, lo que a su vez genera una exclusión hacia esta población y limita el vínculo responsable para con el recurso.

6.1.3. Actividades productivas y empleo

El desarrollo de esta región ha sido marcado por un contexto donde las políticas públicas, dadas por el Gobierno Central, se han visto influenciadas por intereses de grupos económicos nacionales y extranjeros. Tal injerencia ha llevado a una realidad de contradicciones entre el crecimiento, la conservación y un Estado que desde finales de los años treinta ha promovido el crecimiento de monocultivos. Reservaba grandes territorios bajo modalidades de conservación, a la vez que otorgaba grandes extensiones de tierra a compañías transnacionales (Román y Angulo, 2013).

Según la Encuesta Nacional de Hogares del año 2015, levantada por el INEC, la Región Brunca presenta el ingreso mensual promedio por hogar más bajo del país: ₡674 560,00 y el segundo promedio más bajo de ingreso per cápita del hogar, el cual suma a un total de ₡294 224,00. En lo que respecta a la incidencia de la pobreza total de dicha región, históricamente esta ha presentado los porcentajes más altos del país: para el 2015 se registró un 35,4% de hogares en pobreza, de los cuales un 13,7% se clasifican bajo pobreza extrema (INEC, 2015 b). Para el 2014 se estimó que el 11,6% de los hogares tenían un ingreso que no superaba el costo de la canasta básica alimentaria (INEC, 2014).

Las principales actividades económicas son la agricultura (se destacan productos como la palma aceitera, arroz y banano), la ganadería de carne (para consumo local principalmente), la pesca a pequeña escala (no como fuente principal de empleo) y otras, como la prestación de servicios y el comercio (Municipalidad de Osa, 2012). Es importante considerar que el 51,45% de la población de 15 años o más son individuos fuera de la fuerza de trabajo, ya sea porque se encuentran pensionados o jubilados, viven de rentas o alquileres, son estudiantes, se dedican a los quehaceres del hogar u otra situación. El restante 48,55% de los habitantes ocupados mayor a los 15 años de edad se desenvuelve en ocupaciones

elementales, es decir, tareas sencillas y rutinarias tales como: limpiadores y asistentes de limpieza, peones agropecuarios, pesqueros y forestales, peones mineros, la construcción, la industria manufacturera y el transporte, ayudantes de preparación de alimentos, vendedores ambulantes de servicios y afines, recolectores de desechos y otros (Anexo 1). De este porcentaje de población ocupada, se observa un 84,2% de ella en el sector privado y un 15,8% en el público; a su vez un 30,7% trabaja por cuenta propia y un 61,0% es asalariada (INEC, 2012).

De los anteriores grupos ocupacionales, la actividad palmera toma parte en una mayoría de ellos, considerando que son muchos los empleos tanto directos como indirectos que genera. Directamente se incluyen los propietarios de las fincas, los arrendadores, peones agrícolas y manufactureros, mientras que a nivel indirecto se ubican los transportistas, técnicos y profesionales que dan apoyo a los productores, administrativos, comerciantes y otros que se ven beneficiados por la actividad. Se puede analizar cómo la realidad productiva de cada distrito varía según la posición de la población en el empleo (Figura 13). Palmar es el distrito de los tres bajo estudio con una menor densidad de cultivo (G. Moraga, comunicación personal, 30 de marzo de 2016); al mismo tiempo muestra un porcentaje mucho más significativo de población asalariada por cuenta propia, pudiéndose deber a que es más urbanizado que los demás, y así cuenta con mayor cantidad de comercios, instituciones y empresas privadas que ofrecen oportunidades de empleo. Por su parte, Sierpe presenta la mayor densidad de cultivo de los tres y el menor porcentaje de población asalariada; es completamente rural y las oportunidades son escasas, lo que presiona a los habitantes a buscar sus propios métodos de subsistencia, y es allí donde sale a relucir la palma. En el caso de Piedras Blancas, también se observa una disminución en el porcentaje de personas asalariadas, pudiéndose deber a las mismas razones.

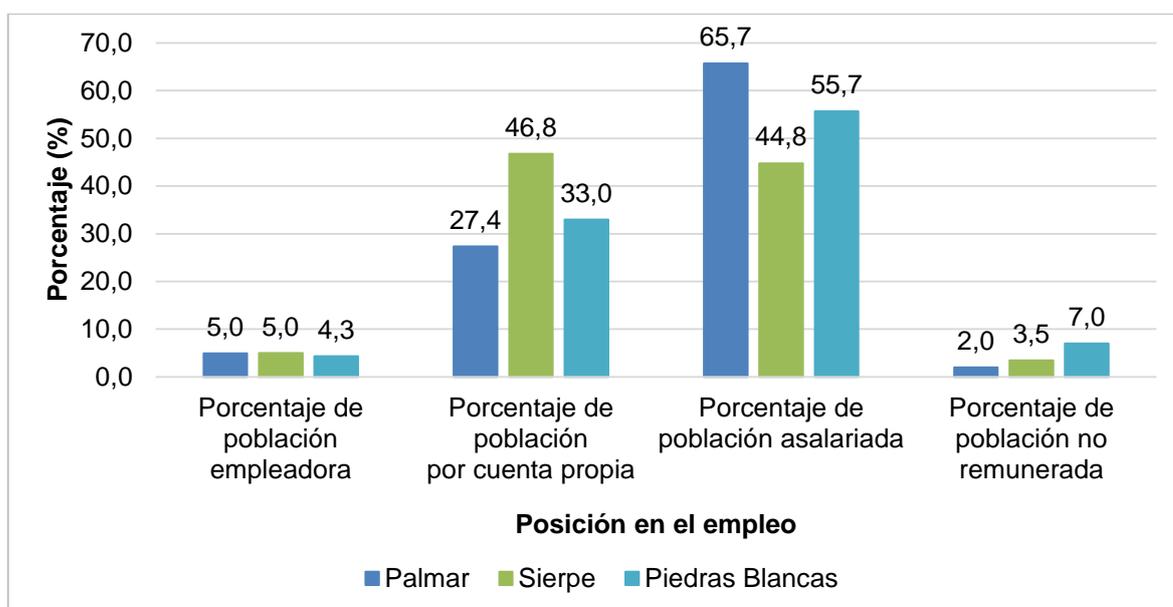


Figura 13. Posición de la población en el empleo en los distritos

Fuente: Elaboración propia basada en datos de INEC (2012), 2017.

6.1.4. Aspectos sociales y de salud

6.1.4.1. Educación

La escolaridad promedio de esta área es de 6,8%, una de las más bajas del país (INEC, 2011). Cuenta con un total de 81 centros públicos de educación primaria y uno privado; asimismo, ocho centros de educación secundaria. Destacan el Colegio Técnico Profesional (CTP) de Osa y el CTP Nocturno de Osa, como los únicos centros de formación técnica media que ofrece el MEP (Ministerio de Educación Pública [MEP], 2016). Una de las debilidades en este tema radica en la dispersión geográfica de las escuelas de la región, que aunada a una red de caminos en mal estado repercute en que los niños y niñas enfrenten grandes retos educativos (Pujol, 2008). El Índice de Progreso Social observa las siguientes situaciones en Osa, respecto de los promedios nacionales: mayor cantidad de analfabetismo, menor asistencia a centros educativos de niños y jóvenes, casi un 50% menos de población que accede a la educación superior, menor formación técnica y un mayor rezago escolar (Anexo 2).

Las oportunidades para optar por estudios superiores en el cantón son restringidas, principalmente porque en el mismo se ubica únicamente la Universidad Nacional a Distancia (UNED). Otras opciones, como el Recinto de Golfito de la UCR, el Campus Pérez Zeledón de la UNA y el Campus Coto de la

UNA, implican un viaje de entre una y dos horas, considerando además que el servicio de transporte público hacia esas localidades es complejo. Dentro de la oferta académica en estos centros destacan las carreras relacionadas al inglés, informática y sistemas, comercio y negocios internacionales. Algunas carreras relacionadas al turismo y la agricultura (Tabla 19) se enfocan en los recursos naturales como un atractivo turístico y económico, pero no se ofrecen carreras específicas en el manejo ambiental responsable y estratégico de los mismos.

En cuanto a la educación ambiental, el esfuerzo por educar a niños y jóvenes se ha desarrollado mayoritariamente en zonas costeras por iniciativa de fundaciones, organismos no gubernamentales (ONG) y programas de las universidades, pero se ha impartido de manera muy focalizada, sin que exista un compromiso regional en educar a la población en el uso y manejo del recurso en los ámbitos doméstico, comercial y agrícola.

Tabla 19. Carreras ofrecidas con transversalidad en el tema ambiental

Universidad	Sede / ubicación	Oferta académica
UCR	Recinto de Golfito de la Sede del Pacífico, Golfito	Turismo Ecológico, Economía Agrícola y Agronegocios, Agroambiente
UNA	Campus Pérez Zeledón	Gestión Empresarial del Turismo Sostenible
	Campus Coto, Ciudad Neilly	Curso libre de Desarrollo Rural

Fuente: Universidad de Costa Rica (2018); Universidad Nacional de Costa Rica (2018).

6.1.4.2. Salud

El cantón cuenta con el número de Equipos Básicos de Atención Integral en Salud (EBAIS) adecuado para sus necesidades; sin embargo, se afrontan dificultades en el tema de disponibilidad de espacios. Es común que los pobladores manifiesten que “no hay campo” para ser atendidos. Se cuenta únicamente con 10 equipos básicos de atención primaria para un total de 29 433 habitantes (Caja Costarricense del Seguro Social [CCSS], 2012). Cabe resaltar que el 84,85% de la población se encuentra asegurada, con el seguro de tipo familiar como el más común (Figura 14).

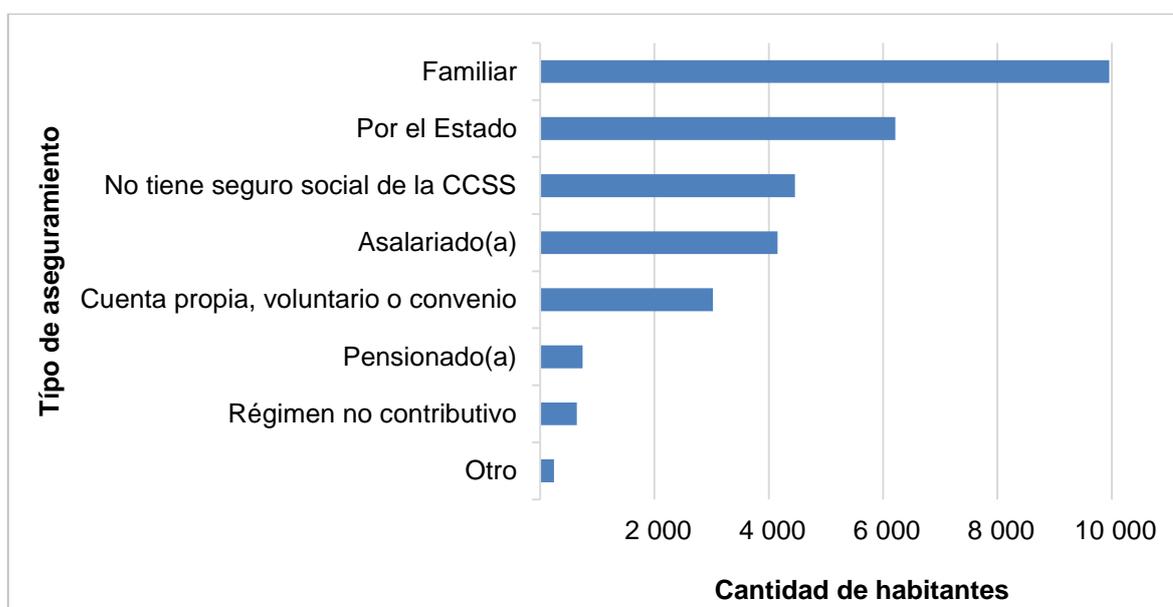


Figura 14. Habitantes según tipo de seguro social en el cantón de Osa

Fuente: Elaboración propia basada en datos de INEC (2012), 2017.

Los accidentes laborales se identifican como una de las principales causas de morbilidad tratada en el hospital del cantón (CCSS, 2012); si bien estos no se pueden asociar a la actividad palmera, se han identificado posibles consecuencias sobre la salud dadas por la actividad: problemas respiratorios (por el uso de agroquímicos), trastornos músculo-esqueléticos y fatiga física debido a posturas forzadas o incómodas, entre otros (Anexo 3). Al ser un trabajo de campo, los riesgos a los que se someten los trabajadores son diversos y altos, por lo que la salud y seguridad de las personas que desarrollan la actividad se ven continuamente comprometidas, constituyendo un riesgo latente tanto hacia la calidad de vida como al sustento económico del hogar.

6.1.4.3. Vivienda

El 60,1% de las viviendas en Osa son propias y totalmente pagadas; un 3,9% son propias pero las familias se encuentran pagándolas a plazos. Otro 12,4% son alquiladas, 19,7% prestadas, 1,5% en estado de precario y 2,3% bajo otro tipo de tenencia (INEC, 2012). En los distritos bajo estudio la situación varía un poco respecto a los promedios cantonales; así, en el caso de Palmar hay una menor

cantidad de casas propias totalmente pagadas y mayor cantidad de prestadas (Figura 15).

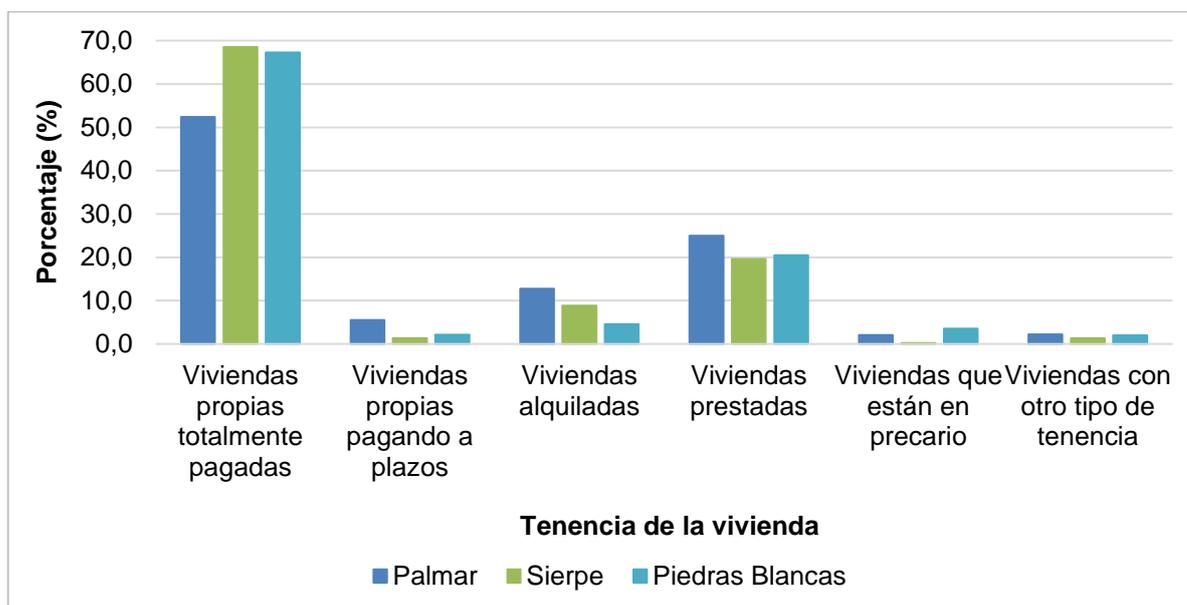


Figura 15. Tenencia de la vivienda en los distritos

Fuente: Elaboración propia basada en datos de INEC (2012), 2017.

Se observó que en el sitio es común que familias trabajen fincas agropecuarias, para el cultivo de diferentes productos, de modo que los propietarios de los terrenos contratan un capataz que se encarga del cuidado del lugar, y dentro de sus beneficios se les incluye el préstamo de una vivienda.

Desde la década de los 30, debido la apropiación de tierras por parte del Estado y de la United Fruit Company para la producción bananera y posterior producción de palma africana, así como por la invasión de las fincas por parte de los pobladores tanto en presencia de la compañía como tras el abandono de esta, la Zona Sur aún en la actualidad enfrenta conflictos socioambientales por la tenencia de las tierras.

6.1.5. Saneamiento básico y servicios generales

6.1.5.1. Sistema de agua y alcantarillado

Mejorar el servicio de agua potable en las fincas de Palmar Sur, Sierpe y Piedras Blancas se encuentra entre las líneas que se catalogaron como prioritarias para el cantón. Se estima un rezago de los sistemas de abastecimiento cuyo mejoramiento implica la inversión de más de cinco millones de dólares. Cabe resaltar que el principal medio de suministro del recurso es a través de las ASADAS (Tabla 20) (Municipalidad de Osa, 2012; González, 2012; CCSS, 2012).

En cuanto al suministro de agua potable, el AyA realizó en el país un estudio de desigualdades por cantones en el acceso a agua para consumo humano, y Osa presentó porcentajes muy bajos, categorizado en “total desigualdad (TD)” (Mora & Portuguez, 2012). Se distinguen como aspectos críticos la cobertura de agua con calidad potable, la cobertura de agua sometida a cloración y la cobertura de agua que recibe control de calidad (Anexo 4). Si bien el suministro de agua potable aún enfrenta desafíos, en general el acceso ilimitado al recurso y la presencia de numerosos cuerpos de agua en la región hace que la población no tome conciencia de la importancia de cuidar tan preciado y vital recurso.

Tabla 20. Medios de suministro de agua

Medio	Porcentaje (%)
ASADA	43
AyA	36
Río o quebrada	15
Pozos	4
Otros	2

Nota: Las ASADAS de la zona cuentan con un total de 28 sistemas de suministro, mientras que el AyA con tres sistemas. Los que se catalogan como “otros” incluyen fuentes como lluvia, camión cisterna e hidrantes.

Fuente: Adaptado de CCSS (2012).

En cuanto a los sistemas de alcantarillado, la cobertura no existe en ningún distrito del cantón (Figura 16). La inversión necesaria para implantar estos sistemas está entre un rango de un millón a diez millones de dólares, y la inversión en saneamiento requiere un monto similar al estimado para alcantarillado. Aunado a la carencia de infraestructura, los niveles de

crear planes para la distribución adecuada del recurso hídrico en la zona, destinando los porcentajes necesarios de uso para cada actividad que se desarrolla (Instituto Meteorológico Nacional [IMN], s.f.; IICA, 2011).

6.1.5.2. Energía y telecomunicaciones

Esta región es abastecida en materia de electrificación y telecomunicación por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) (Tabla 21), ente encargado de contribuir en el desarrollo económico y social del territorio nacional. Este ha buscado mejorar la calidad de vida de la población mediante importantes programas de proyección comunitaria. La energía suministrada procede de diferentes plantas generadoras en otras áreas del país, debido a que no se cuenta con ninguna de ellas en la zona (Fallas et al., 2006).

La electrificación desempeña un papel estratégico en el desempeño agrícola puesto que ha favorecido la innovación en el uso de equipos de producción, así como la comunicación para comercializar los productos agrícolas y reducir algunos costes asociados a transacciones. A pesar de que se tiene disposición de estos servicios, es importante la modernización y expansión de los mismos debido a las exigencias de la agricultura y agroindustria (IICA, 2011; Rivas, 2015).

Tabla 21. Resultados del IPS relacionados accesibilidad telefónica y de internet

Aspecto	Osa (%)	Promedio Nacional (%)
Cobertura eléctrica	95,52	99,13
Cobertura de telefonía móvil 3G	87,75	74,88
Hogares con acceso a Internet	28,49	41,64
Hogares con telefonía móvil	65,72	70,12
Población que usó computadoras en los últimos 3 meses	30,91	45,00

Nota: *Índice de Progreso Social. Fuente: Adaptado de *Costa Rica propone* (s.f.).

6.1.5.3. Infraestructura vial y de comunicación

En Osa coinciden dos de las principales rutas nacionales: la Vía 2 (Interamericana Sur) y la Vía 34 (Costanera Sur); sin embargo, a nivel de los tres distritos estudiados hay implementación de vías en un rango de 150 a 200 km, los kilómetros cubiertos con asfalto son muy pocos y hay mayor presencia de caminos de lastre o tierra, lo cual refleja la necesidad de invertir en la construcción de rutas tanto en centros poblados como fuera de ellos (Tabla 22). El desarrollo de estas infraestructuras y vías de comunicación, incluyendo la creación de una ciclovía, es indispensable para el transporte de los productos e insumos agrícolas, ya que la carencia de ello conlleva el aumento de costos en la comercialización de productos (Pujol, 2008; IICA, 2011; CCSS, 2012; Instituto de Desarrollo Rural [INDER], 2014).

En cuanto a las vías aéreas, Palmar presenta una cantidad considerable de aeródromos (Tabla 22), tanto de uso público como privado, y además existe un proyecto futuro para la construcción de aeropuerto internacional cuyo fin es aumentar el turismo en la zona. Sierpe y Piedras Blancas no cuentan con infraestructura aérea (INDER, 2014).

Tabla 22. Infraestructura vial y de comunicación

Distrito	Vial			Aérea (Nombre de los aeródromos)
	Longitud (km)			
	Total	Asfalto	Lastre o tierra	
Palmar	175,05	8,63	166,42	- Palmar Sur (Público, 1.400 m x 12 m) - El Palmar, uso agrícola (privado de uso público, mide 900 m x 18 m) - Dieciocho (privado de uso público, mide 900 m x 12 m) - Finca Delicias (privado de uso público, mide 800 m x 6 m)
Sierpe	189,68	0	189,68	- Finca 10 (privado, 1.000 m x 15 m). Otro: estudios para la construcción de un aeropuerto internacional en Finca 9 y 10 de Sierpe.
Piedras Blancas	117,9	0,7	117,2	--

Fuente: Adaptado de INDER (2014).

6.1.6. Aspectos ambientales

6.1.6.1. Uso del suelo y cobertura vegetal

Por tratarse de una zona rural, el uso de suelo es muy diverso; sin embargo la mayor cobertura es de otros usos no relacionados a la agricultura y solamente hay 5 465 ha de terreno para cultivos agrícolas (Tabla 23).

Tabla 23. Cobertura de uso del suelo en los cantones de Osa

Tipo de uso del suelo	Total (ha)
Cobertura boscosa	86 425
Sin cobertura boscosa	58 511
Manglar y suamos	19 246
Plantaciones forestales	8 155
Nubes y no clasificado	7 502
Cultivos agrícolas	5 465
Ríos y lagunas	1 489

Nota: Los datos fueron obtenidos aplicando un modelo SIG, de manera que la clasificación "Nubes y no clasificado" se refiere a la presencia de nubes en los mapas o a la dificultad en determinar y clasificar los usos.

Fuente: Adaptado de Murillo & Ávila (2011).

6.1.6.2. Hidrografía

La zona posee gran cantidad de cuerpos de agua, por lo que la adecuada gestión a nivel de cuencas es trascendental. Esto implica también el fomento de la agricultura sostenible en las fincas de producción que están ubicadas dentro de las cuencas. Un adecuado manejo del agua y uso de la tierra, la conservación de los suelos y ejecutar programas de reforestación permiten controlar y conservar el recurso hídrico (Rivera, s.f.; Comisión Nacional de Emergencias [CNE], s.f.)

El cantón de Osa está conformado por cuatro cuencas principales:

- *Cuenca del río Península de Osa*

Los cuerpos de agua nacen en las filas Aguacate, Sábalo, Cal, Ganado, Cerro Brujo y Cerro Chocuaco, y descienden en diferentes direcciones (Tabla 24).

Tabla 24. Afluentes de la cuenca del río Península de Osa

Drenada	Afluentes	Desembocadura
Río Sierpe	Ríos: Salamá, Cañablanca, Chocuaco, su afluente San Juan, Tigre, Sábalo, Bonita, Tinoco, Culebra, su afluente Brujo	Océano Pacífico
	Quebradas: Sábalo, Salto y Porvenir Ríos: Drake, Agujas, Llorona, Corcovado	
	Ríos: Rincón con su afluente Pavón Quebradas: Aparicio y Chacal	Golfo Dulce

Fuente: Adaptado de Municipalidad de Osa (2012).

- *Cuenca del río Barú*

Los cuerpos de agua de esta cuenca son los ríos Barú, Coronado, Punta Mala, Balso, Tortuga, Media Luna y Uvita, sus afluentes Ballena y Cortesal. Todos provienen de las laderas sur de las filas Cariblanco, Guagara, Alivio, La Sierra, Margarita, Marítima y Alta, y descienden de noreste a suroeste.

- *Cuenca del río Esquinas*

Los afluentes nacen en las filas Cruces y Esquinas y descienden con sentido norte a sur (Tabla 25).

Tabla 25. Afluentes de la cuenca del río Esquinas

Drenada	Afluentes	Desembocadura
Río Esquinas	Ríos: Piedras Blancas, Olla 5 y Ballestera Quebradas: Quinto, Guabo y Sambo	Golfo Dulce

Fuente: Adaptado de Municipalidad de Osa (2012).

- *Cuenca del río Térraba*

Esta cuenca es irrigada por los ríos Térraba, Shaobrá y Caño Bravo, los cuales nacen en la fila Huacas, Sankraua y Coquito, descendiendo en sentido ya sea sureste a noroeste o de este a oeste (Municipalidad de Osa, 2012).

Se observa una problemática general que radica en la contaminación de las cuencas en los sectores medio y bajo de estos ríos. Un ejemplo de ello es el río Grande de Térraba: un estudio realizado por la UCR en el 2006 indicaba que, debido a la deforestación con fines agropecuarios, se observaba en las partes

bajas, tales como Palmar, un aumento de la turbidez y de los sólidos suspendidos totales (Umaña & Springer, 2006).

Un estudio más reciente revela que la situación continúa siendo preocupante, pues se ha determinado que trazas de herbicidas provenientes de los cultivos de piña en los cantones de Buenos Aires y Pérez Zeledón en la cuenca alta son transportados por los sedimentos hasta el Humedal Térraba-Sierpe (O'neal, 2017). De modo que la problemática trasciende más allá de los límites cantonales, recibiendo contaminación en la cuenca alta debido a la piña, y en la cuenca baja debido al arroz y la palma aceitera (Anexo 5).

6.1.6.3. Zonas de protección

Se considera que al menos un 42% del cantón tiene grado de protección: junto con Golfito y Corredores conforma lo que es el Área de Conservación de Osa. La misma comprende un total de 4 304,80 km² (Instituto Nacional de Biodiversidad [INBio], s.f.), de los cuales Osa posee la mayor cantidad de kilómetros cuadrados. Destacan la Reserva Forestal Golfo Dulce, el Parque Nacional Corcovado, el Humedal Nacional Térraba-Sierpe y el Parque Nacional Piedras Blancas dentro de las áreas silvestres protegidas que tienen extensión en los distritos de estudio (Tabla 26).

Tabla 26. Áreas silvestres protegidas

Nombre	Distritos ubicados en el área	Hectáreas (Ha)
Reserva Forestal Golfo Dulce	Sierpe y Piedras Blancas	61 702
Parque Nacional Corcovado	Sierpe	42 469
Humedal Nacional Térraba-Sierpe	Sierpe	22 208
Parque Nacional Piedras Blancas	Piedras Blancas	14 025
Refugio de Vida Silvestre Aguabuena (Privado)	Sierpe	182

Nota: Parte de algunas áreas silvestres protegidas está dentro de los distritos del cantón de Osa.
Fuente: Adaptado de INBio (s.f.).

La problemática entre la agricultura y las zonas de protección en el área es crítica. Los cuerpos de agua presentan trazas de fungicidas, insecticidas y herbicidas utilizados en el cultivo de la piña y el arroz; y en cuanto a la palma aceitera, muchas de las fincas improductivas y grandes plantaciones de arroz son

sustituidas por palmares, desembocando en la pérdida de biodiversidad, ya que se invaden los terrenos del humedal, cuya área no está bien delimitada (Blanco, 2015). Esta situación ha llevado a que se levanten organizaciones conservacionistas en el área (Tabla 27).

A pesar de que existe gran cantidad de organizaciones pro ambiente, la falta de articulación entre ellas, la ausencia de integración de los pobladores y de los diferentes sectores económicos causa que sus esfuerzos hayan tenido poco impacto en el adecuado manejo y conservación de los recursos.

Tabla 27. Organizaciones conservacionistas en el área

Organización	Misión
Asociación Conservación de la Naturaleza (ASCONA)	Trabaja para defender los recursos naturales y las áreas protegidas de Osa por medio de la educación ambiental y el apoyo a estilos de vida sostenibles. Además busca servir como ente activo y participativo en la defensa y conservación de la riqueza natural presente en la Península, para formar una generación educada que respete los recursos naturales y se informe sobre la importancia de preservar sus tierras.
Asociación Ambientalista (ASANA)	Mantiene y mejora la biodiversidad y la conectividad del Corredor Biológico Paso de la Danta (CBPD), ubicado en la Zona Sur y las áreas naturales asociadas que este conecta.
Asociación Conservacionista Tesoro Verde	Su objetivo es contribuir a la protección y conservación de la biodiversidad del Parque Nacional Corcovado y áreas aledañas, con el propósito de controlar la cacería furtiva y otros ilícitos, a la vez que se contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.
Coalición Técnica del Corredor Biológico de Osa	Es la unión de organizaciones conservacionistas nacionales y locales que incluye cinco grupos bien establecidos de conservación que trabajan en la Península de Osa.
Comisión Local del Corredor Biológico de Osa	Se creó con el objetivo de mantener la continuidad de los paisajes funcionales entre el bosque lluvioso, los manglares y el bosque nuboso de la zona.
FICOSA	Apoya a las organizaciones ambientales y comunales en el Área de Conservación Osa.
Fundación Amigos de Osa	Conserva la diversidad biológica marina y terrestre de importancia mundial de la península de Osa de Costa Rica mediante la implementación de la gestión de los ecosistemas, la mejora de la comprensión científica, la educación y la capacitación, y la creación de oportunidades económicas sostenibles.

Organización	Misión
Fundación Corcovado	Promueve la educación ambiental, el turismo responsable y la participación de las comunidades mediante el uso sostenible de los recursos naturales en el Pacífico Sur de Costa Rica.
Fundación Keto	Su misión es garantizar la gestión del conocimiento necesario para promover el uso responsable de los ecosistemas marino-costeros. Con este fin desarrolla el proyecto “Monitoreo Participativo Comunal de Ballena Jorobada en Osa, Costa Rica”.
Fundación Marviva	Impulsa la conservación y el uso sostenible de los recursos marinos y costeros en el Pacífico Tropical Oriental. Desarrolla el proyecto “Alternativas Productivas en ACOSA”.
Fundación Neotrópica	Contribuye al desarrollo sustentable de la región tropical latinoamericana, mediante la investigación, ejecución y difusión de acciones que generen opciones viables al uso sostenible de los recursos naturales. Puntualmente en el área trabaja en el proyecto “Turismo Rural Comunitario para la conservación de los bosques en el Área de Conservación Osa”.
Fundación Vida Marina	Busca combinar el turismo y la conservación de ballenas y delfines.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], Sistema Nacional de Conservación [SINAC] & Agencia de Cooperación Internacional de Japón [JICA], 2017.

6.1.7. Características físicas

6.1.7.1. Suelos

Existen tres tipos de suelo en la Región Brunca: inceptisoles, ultisoles y entisoles. Los primeros dos son aptos para la agricultura, a diferencia del tercero, que corresponde a suelos húmedos y no es útil para la agricultura sino más bien para cobertura forestal y de protección (Tabla 28).

Tabla 28. Tipos de suelos presentes en el cantón de Osa

Clasificación	Características	Uso
Inceptisoles	Suelos mal drenados requieren de prácticas de avenamiento, las cuales, son económicamente viables siempre y cuando la frecuencia de inundaciones sea baja.	Útiles en la agricultura, en ellos es posible cultivar banano, palma aceitera, caña de azúcar, cacao, café y granos básicos.
Ultisoles	Deben tener una fertilización a base de calcio, para corregir problemas de acidez. El exceso de humedad por la mucha precipitación provoca que se laven las	Para el cultivo de piña, cítricos, tubérculos, raíces, caña de azúcar y palmito. También se produce ganado de carne.

Clasificación	Características	Uso
	bases como sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).	
Entisoles	Son poco profundos, radicales, con exceso de humedad y susceptibles a la erosión. Presentan fertilidad baja. Cuando presentan fuerte hidromorfismo, podrían estar asociado a ecosistema de humedal.	Son propicios para actividades forestales o de protección. No son recomendados para actividad agrícola intensiva.

Fuente: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA-COSTA RICA], 2016.

Palmar y Piedras Blancas albergan en su mayoría inceptisoles y utilisoles, mientras que Sierpe presenta entisoles (Figura 17). Este hecho es destacable, ya que se observa en Sierpe el tipo de suelo menos apto para la agricultura, debido a su poca profundidad y exceso de humedad, susceptibilidad a la erosión y cercanía a ríos (Tabla 28), en contraste con el valor de mayor densidad de cultivo en el cantón (Moraga, 2016).

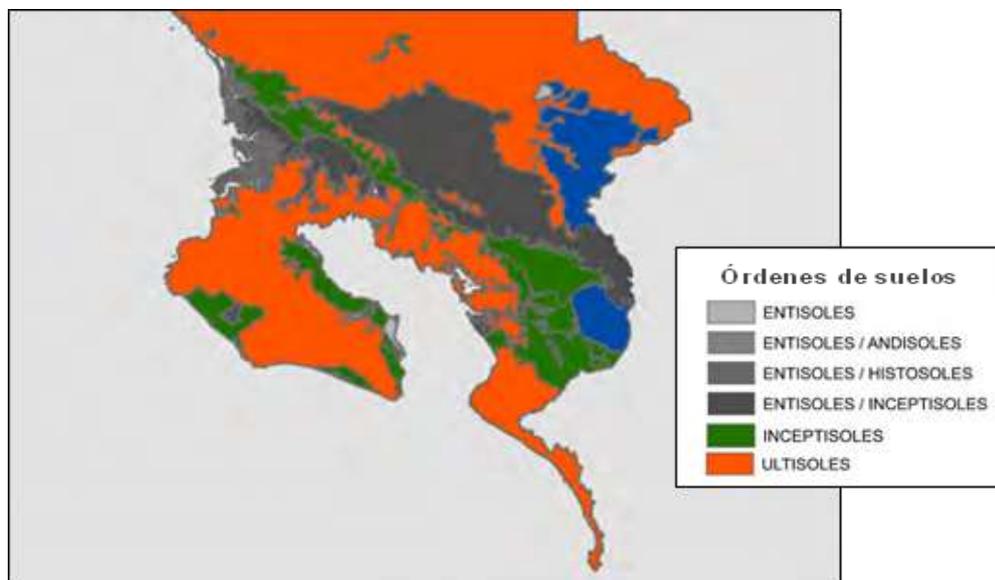


Figura 17. Órdenes de suelos en la Región Brunca

Fuente: Adaptado de Mata, Rosales, Vásquez, & Sandoval, 2013.

6.1.8. Manejo de residuos sólidos

En el cantón los principales sistemas para eliminar los residuos son el camión recolector (63,9%) y otros altamente problemáticos, como la eliminación en sitios clandestinos o huecos (18,9%), la quema (16,3%) y la eliminación en cuerpos de agua (1,0%). A este respecto, se observa Palmar como el distrito bajo estudio con mayor cantidad de viviendas que eliminan sus residuos a través del camión recolector (67,6%), en contraste los distritos de Sierpe y Piedras Blancas donde solamente un 33,7% y un 17,5% de las viviendas respectivamente los eliminan de este modo (Figura 18) (INEC, 2012). Los riesgos sanitarios y la contaminación ambiental aumentan enormemente por metodologías inadecuadas de eliminación.

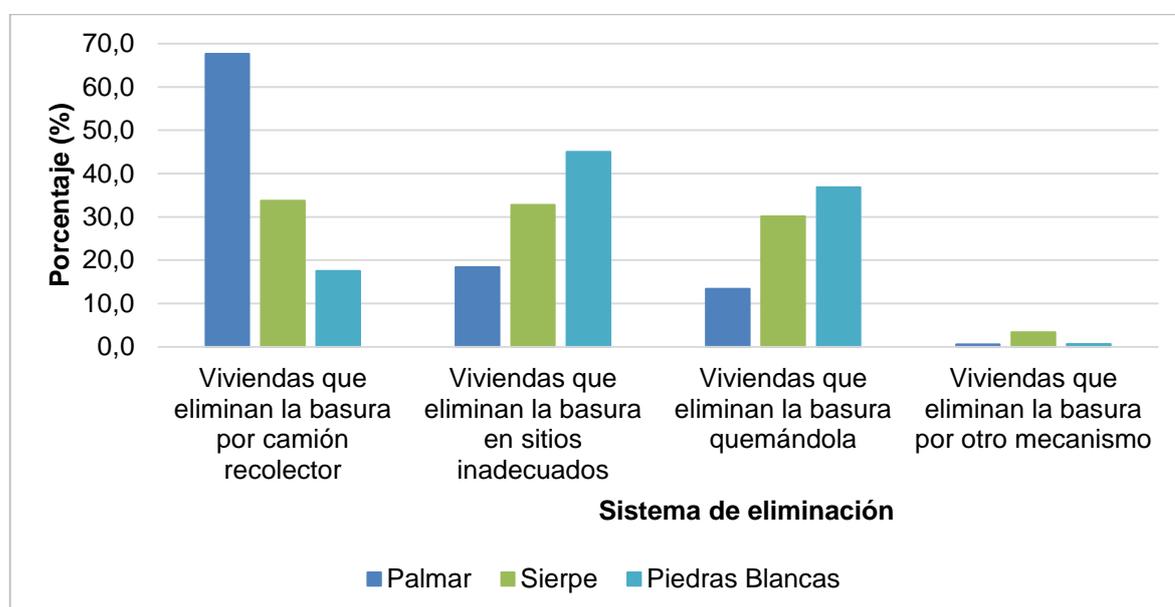


Figura 18. Sistema de eliminación de residuos en el cantón de Osa y los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas

Fuente: Elaboración propia basada en datos de INEC (2012), 2017.

Adicionalmente, para el 2011, menos de la mitad de la población en el cantón separaba materiales valorizables. Curiosamente, en los distritos se registraba un mayor porcentaje de separación en Piedras Blancas, respecto a porcentajes muy bajos de separación en Palmar, donde la población cuenta con mayores facilidades (Figura 19).

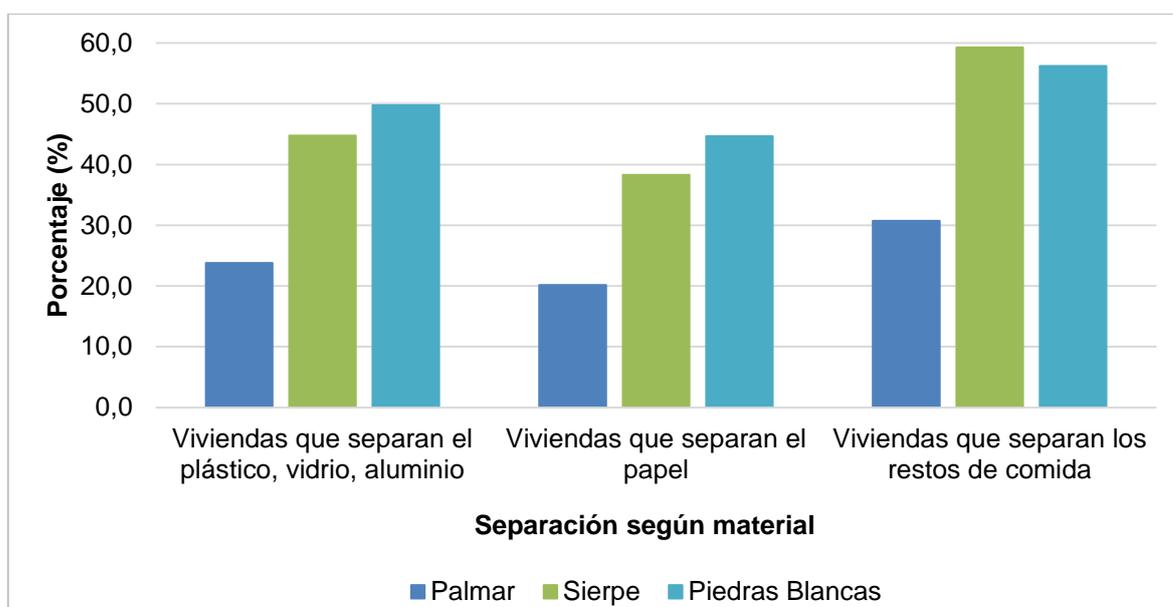


Figura 19. Separación de residuos en el cantón de Osa y los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas

Fuente: Elaboración propia basada en datos de INEC (2012), 2017.

En este tema la Municipalidad ha trabajado el Proyecto “TAMMY Osa Recicla”, una iniciativa que busca orientar a los habitantes del cantón de Osa sobre la separación de residuos valorizables y sus rutas de recolección en las comunidades, las cuales varían según el distrito (TAMMY Osa Recicla, 2018). Adicionalmente, se han impulsado iniciativas como la campaña “Osa libre de plásticos” de la Cámara de Turismo de Osa, que busca la eliminación del plástico de un solo uso en el cantón (Villalobos, 2017). Sin embargo, no ha habido un sistema de planificación temprana, por lo cual es un tema con muchos retos y trabajo por delante.

La Municipalidad cuenta con un Reglamento para la Gestión de Residuos Sólidos Ordinarios cuyo objetivo es la protección de la salud pública y del ambiente mediante de la gestión integral de dichos residuos. Entre los objetivos específicos que plantea el Plan de Desarrollo Humano local 2013-2023 del cantón de Osa está: “Desarrollar proyectos para el adecuado manejo de los desechos sólidos, que a su vez permita mejorar y ampliar el servicio de recolección de basura en todo el cantón”. De manera que, entre las líneas de acción prioritarias, se menciona que en Palmar Sur es necesario eliminar los botaderos clandestinos así como la realización de quemas. Adicionalmente, se puntualiza la necesidad de

brindar el servicio de recolección de basura a toda la población de Piedras Blancas y Palmar Sur (Municipalidad de Osa, 2012).

En cuanto a la disposición final, la Municipalidad cuenta con una propiedad de 18 hectáreas que se utiliza como vertedero municipal. Este es el mismo sitio en el que se desarrollará el proyecto “Relleno Sanitario de Osa”, ubicado en el sector de El Silencio de Palmar Sur, cuyo número de expediente es 1095-2008-SETENA y cuenta con viabilidad ambiental otorgada por medio de la Resolución N° 1039-2009-SETENA. No obstante, se encuentra actualmente en cierre técnico, a la espera de la pronta apertura de la primera celda de disposición final como parte del nuevo relleno (S. Monge, comunicación personal, 22 de noviembre de 2016). Por lo cual un tema tan delicado e importante como la disposición final futura de los residuos aún está pendiente.

6.1.9. Aguas residuales

La población de Osa no cuenta con tratamiento de aguas residuales. En esta región se utilizan los sistemas de tanques séptico, alcantarillado o cloaca y letrina para el vertido de estas aguas; incluso se han observado casos en los que se evacúan las aguas a calles o lotes baldíos. Entre los proyectos de saneamiento en aguas residuales que requiere desarrollar el país, según el *Vigesimoprimer Informe Estado de la Nación*, se localiza uno en el distrito de Palmar (Angulo, 2015). Se estima que un 2,8% de las viviendas del cantón disponen sus aguas residuales a través de alcantarillado sanitario, un 89,8% por tanque séptico, 0,3% tiene salida directa a acequia, zanja, río o estero, un 5,8% a través de hueco, de pozo negro o letrina y un 1,3% no tiene servicio sanitario (INEC, 2012; CCSS, 2012).

Este es ciertamente un tema vulnerable ante la realidad de contaminación hídrica que se ha descrito. Blanco (2015), según estudio realizado en el Humedal Térraba-Sierpe por el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) de la Universidad de Costa Rica, reporta la presencia de coliformes fecales en tres sitios de muestreo superiores a los 2 000 NMP/100mL, categorizándolos en estado de contaminación severa, lo que convierte a sus aguas en no aptas para consumo humano, acuicultura, actividades recreativas ni

como fuente de conservación de las comunidades acuáticas. Además, en la laguna de Sierpe se identificó una cantidad de 1 986,3 NMP/100 mL de *E. coli*, una bacteria que se debe a contaminación por materia fecal, lo que refleja un serio problema con la disposición de las aguas residuales de manera que está afectando la calidad del recurso hídrico y su disponibilidad para el aprovechamiento.

6.1.10. Problemas ambientales del contexto local y destrucción del Humedal Nacional Térraba-Sierpe (HNTS)

La gran riqueza biológica de la zona le coloca en una posición de gran vulnerabilidad ambiental. Se han registrado situaciones que involucran el recurso natural como foco de conflicto (Tabla 29).

Tabla 29. Conflictos ambientales del contexto local

Denunciado	Afectación
José Luis Molina Agüero y otros Exp: 253-05-01-TAA Mogos, Sierpe, Osa.	Construcción de camino en ecosistema boscoso, introducción de plantas ornamentales exóticas dentro del bosque.
Noé Castro Exp: 99-12-03-TAA Mogos, Sierpe, Osa.	Obras en cauce sin permisos correspondientes, extracción ilegal de materiales, afectación en área de humedal con la construcción de drenajes artificiales, invasión por construcción de drenajes dentro del HN Térraba-Sierpe. A la espera de criterio de la Dirección de Aguas del MINAE.
Inversiones Bejuco S.A Exp: 98-12-02-TAA Mogos, Sierpe, Osa.	Apertura de un camino en área boscosa, aprovechamiento de aguas de una quebrada de dominio público de carácter permanente sin los permisos correspondientes de la Dirección de Aguas del MINAE. Obras en cauce de dicha quebrada. A la espera de criterio de la Dirección de Aguas del MINAE.
Víctor León Beita Hinrichs Exp. 353-10-02-TAA Camíbar, Palmar Sur	Quema de humedal manglar, siembra de pastos, construcción de drenajes, cambio de uso del suelo, desacato a orden del TAA.
Grande de Térraba Costa Rica Exp. Oficio. Salamá, Palmar.	Quema y drenaje en área de humedal cerca de laguna Sierpe, cambio de uso del suelo.
Javier y Martha Oficio Ajuntaderas, río Sierpe	Corta de manglar, construcción de sendero aéreo y atracadero, invasión de zona marítimo-terrestre, zona inalienable y área silvestre protegida, cambio de uso del suelo.

Denunciado	Afectación
Instituto Costarricense de Electricidad Proyecto Hidroeléctrico Diquís Exp: D1-843-2007-SETENA Río Grande de Térraba, Palmar	Inundación, degradación del paisaje, deforestación y pérdida de vegetación, afectación de pueblos indígenas, sitios arqueológicos y del Humedal Nacional Térraba-Sierpe.
Dirección General de Aviación Aeropuerto Internacional para el Sur Exp: D1-1752-2013-SETENA Finca 9 y 10, Sierpe	Afectación de sitios arqueológicos y Humedal Nacional Térraba-Sierpe.

Fuente: Adaptado de Murillo (2012), Tribunal Ambiental Administrativo ([TAA], 2012) & Umaña (2013).

El Humedal es de gran importancia en el cantón de Osa debido a su gran riqueza natural; se encuentra protegido bajo la convención Ramsar y posee una extensión de 22 208 ha², lo que lo posiciona como el más grande de Centroamérica. Se estima que produce servicios ambientales valorados en \$10 000 ha al año⁻¹, tales como control de inundaciones, control de erosión, mitigación del cambio climático, carga de acuíferos y vida silvestre, situaciones que se han identificado como amenazas de agravio a la zona de estudio. Dicho humedal presenta afectaciones relacionadas al mal manejo de cultivos como la palma africana, la cual también ha provocado la pérdida de vegetación. Dentro de los daños encontrados están: deterioro por erosión debido al dragado en afluentes (construcción de drenajes), desraizado de árboles, fumigación de cultivos y pérdida de fauna (Municipalidad de Osa, 2012). Adicionalmente, lo amenazan iniciativas como el Megaproyecto Hidroeléctrico Diquís y el Aeropuerto Internacional para el Sur, mismos que por su magnitud dictan cambios drásticos para la región (Murillo, 2012; Umaña, 2013).

6.2. Síntesis socioeconómica de cada distrito

Uno de los grandes retos para este sitio de estudio es la existencia de información específica para cada distrito. En función de la más relevante para esta investigación se realizó un análisis que compara las condiciones socioeconómicas de cada uno (Tabla 30).

Tabla 30. Antecedentes socioambientales a nivel distrital

	Palmar		Sierpe		Piedras Blancas	
Descripción general	Posee legados arqueológicos, se caracteriza por sus tierras muy fértiles y gran diversidad de flora y fauna.		Distinguido por un maravilloso ecosistema marino, allí se ubica el Humedal Nacional Térraba-Sierpe.		Caracterizado por su gran riqueza forestal, en él se ubica el Parque Nacional Piedras Blancas.	
Ubicación	Se extiende desde Camaronal, Quebrada La Iguana, Villa Colón a Finca 12 de Sierpe.		Sus límites geográficos son de Finca 12, Corcovado y Riyito al océano Pacífico.		Se extiende desde Villa Colón a río Esquinas.	
Área (km ²)	264,40		1 021,00		257,89	
Total habitantes	9 815		4 138		4 205	
Porcentaje hombres/ mujeres	50,60% H	49,40% M	50,27% H	49,73% M	53,48% H	46,52% M
Actividades productivas	Agricultura, destacándose la agroindustria de palma aceitera, agroproducción campesina, cultivo de plátano Pesca artesanal Agroturismo Oferta de servicios		Predomina la pesca artesanal y el piangüeo (extracción de piangua). Agroproducción campesina Turismo de baja intensidad Cultivos de palma aceitera y arroz Actividades forestales		Agricultura predominante de palma aceitera Cultivo de granos básicos y de plátano Extracción de madera Actividades comerciales	
Relación de dependencia económica	181,6		189,8		214,9	
Tasa de ocupación	47,1		46,1		41,8	
Tasa de ocupación (hombres/ mujeres)	66,3 H	27,9 M	65,3 H	23,2 M	65,1 H	17,1 M

		Palmar		Sierpe		Piedras Blancas	
Tasa de desempleo abierto		3,4		2,4		3,5	
Tasa de desempleo (hombres/mujeres)		3,8 H	2,5 M	2,8 H	0,9 M	3,7 H	2,7 M
Porcentaje de población ocupada (sector privado/sector público)		81,3	18,7	94,1	5,9	90,9	9,1
Cantidad de escuelas (públicas/privadas)		20	0	16	0	19	0
Cantidad de colegios (públicos/privados)		3	0	2	0	1	0
Porcentaje de viviendas con agua acueducto		88,1		52,2		72,4	
Índice de cobertura eléctrica		97,67		80,18		90,72	
¹ Área de cultivo de palma al 2017 (ha)		2 261		3 345		1 549	

Nota: ¹Las hectáreas de palma corresponden a resultados del proyecto interuniversitario de Palma Aceitera (PIPAL) (UNA-TEC).

Fuente: Elaboración propia, 2018 con base en Fallas et al. 2006; INEC, 2012; INEC 2011 citado por Municipalidad de Osa 2012, L. Córdoba (Comunicación personal, 10 de abril de 2018); MEP, 2016; Municipalidad de Osa, 2012.

De los distritos bajo estudio, Palmar concentra mayor cantidad de personas: posee en promedio 2 352 habitantes por cada 1000 habitantes de Sierpe y Piedras Blancas. La extensión territorial de Sierpe es cuatro veces la de los otros dos distritos, pero al ser zonas rurales las densidades poblacionales de todos ellos son bajas: la de Palmar es de 37,1 hab km⁻², la de Sierpe es solamente de 4,1 hab km⁻² y la de Piedras Blancas corresponde a 16,3 hab km⁻². Lo anterior tiene como consecuencia que el desarrollo industrial, comercial y de infraestructura sea poco, y limite las posibilidades laborales. Según el Ministerio

de Planificación Nacional y Política Económica ([MIDEPLAN], 2018), los distritos de Osa, en una comparativa con todos los distritos del país, se encuentran en el I y II quintil del Índice de Desarrollo Social. Estos corresponden a territorios de baja densidad poblacional, en contraste con los del IV y V quintil cuyas densidades son superiores a los 412,6 hab km⁻², y que a su vez presentan superiores condiciones sociales debido a mejores servicios urbanos y fuentes de empleo asalariado.

En los tres distritos el porcentaje entre hombres y mujeres es equilibrado, con aproximadamente el 50% de cada uno (Tabla 30). Sin embargo, la tasa de ocupación femenina es mucho menor a la masculina debido a que la mayoría de actividades productivas en la zona son agrícolas, ejercidas en mayor cantidad por hombres. Existe además un gran porcentaje de mujeres dedicadas al trabajo doméstico, el cual no es remunerado, por lo cual los ingresos económicos familiares dependen de su cónyuge o del manejo familiar de la propiedad.

Los cultivos más desarrollados –la palma aceitera y el arroz– necesitan poca mano de obra, en comparación con otros cultivos como el banano (Pujol, 2008). El cuidado de las plantaciones de palma se hace en su mayoría por medio del núcleo familiar, lo que a su vez conlleva que los hijos en edad responsable se hagan cargo o laboren junto a sus padres en las fincas, y terminen dedicándose a lo mismo. De los tres distritos, Piedras Blancas es el que posee mayor razón de dependencia económica, es decir, existe mayor cantidad de población inactiva (personas menores de 14 años y aquella mayor de 15 años que se encuentra desempleada) en relación a la población activa. Sin embargo, en los tres distritos se presenta el mismo escenario. Lo anterior reafirma la falta de oportunidades laborales.

Las actividades productivas conllevan además una serie de problemáticas ambientales. La producción agrícola mediante el uso de agroquímicos es causa de contaminación tanto del recurso hídrico como del suelo. Los sitios en estudio colindan con ríos, por lo que en época lluviosa los contaminantes se lavan y acaban depositándose en los cuerpos de agua cercanos. Además, la amplificación de estos plantíos es preocupante por la afectación que les inflige a las áreas protegidas como parques nacionales y humedales.

Palmar se presenta como el distrito con mayores facilidades para la población. Ofrece servicios de salud públicos y privados, establecimientos odontológicos,

farmacia, guardia rural, cancha de fútbol, cancha de básquetbol, parque, bancos estatales y un banco privado, servicio de recolección de basura, supermercados grandes (cadenas), ventas de electrodomésticos, ferretería, veterinaria, tiendas de ropa y zapatos, bazar, librería, gasolinera y sitios de hospedaje. Además, se encuentran ahí las sedes de algunas instituciones como el Ministerio de Salud, MINAE, ICE e IMAS. Todas estas organizaciones diversifican las oportunidades laborales en una mayor escala que en los otros distritos; eso explica que una menor cantidad de habitantes se dedique al cultivo de palma. Existen en este distrito 0,23 ha de palma por cada habitante, en contraste con 0,81 en Sierpe y 0,37 en Piedras Blancas.

En el caso de Sierpe, es donde se presenta la mayor cantidad de hectáreas de cultivo: en el 2017 poseía el 42,5% del área plantada en el cantón. A su vez, en este distrito se sitúa el Humedal Nacional Térraba-Sierpe y colinda con el Parque Nacional Corcovado, de modo que el distrito donde es más extensivo el cultivo es también donde se ubican los ecosistemas más vulnerables. Es relevante mencionar que Sierpe es el distrito con menor porcentaje de viviendas con agua de acueducto: únicamente un 52,2% de las casas tiene acceso a la misma. Igualmente presenta el menor índice de cobertura eléctrica con un 80,18%.

Piedras Blancas presenta los valores más críticos en la mayoría de los parámetros. Posee la mayor tasa de dependencia económica, la menor tasa de ocupación femenina, la mayor tasa de desempleo abierto –misma que analiza el porcentaje de la población desocupada de 15 años y más, respecto a la población en fuerza de trabajo– y la menor cantidad de colegios y de facilidades para la población.

Algunas de las problemáticas comunes en los tres distritos son el desempleo, la carencia de planificación territorial, el difícil acceso a agua potable y a saneamiento ambiental: nulo tratamiento de aguas residuales y dificultades en la gestión de residuos, la baja accesibilidad a educación superior y a oportunidades laborales y de superación en el área.

6.3. Relación interlocal y huella hídrica

Como parte de los resultados se elaboró la síntesis que se incluye en este apartado, dirigida a presentar, discutir e interrelacionar los datos técnicos de la huella hídrica con la información del diagnóstico socioambiental, brindando al lector una idea más amplia de cómo se gestionan ambos recursos (la palma y el agua) actualmente, desde el punto de vista técnico y el estado situacional de cada zona.

6.3.1. Análisis distrital de la huella hídrica

6.3.1.1. Huella hídrica verde

Al analizar la cantidad de metros cúbicos por hectárea en cada finca, se determina que la ubicada en Piedras Blancas posee una mayor cantidad de agua verde, con el valor más alto de 2 749 m³ ha⁻¹ en el 2014, seguido de la situada en Palmar y por último la de Sierpe, que presenta el valor más bajo (1 220 m³ ha⁻¹ en el 2016) (Tabla 31).

Tabla 31. Agua verde en m³ ha⁻¹

Finca	2013	2014	2015	2016	Promedio
Palmar	1 626	1 641	1 654	2 151	1 768
Sierpe	1 648	1 804	1 691	1 220	1 591
Piedras Blancas	2 566	2 749	2 034	2 569	2 480

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El limo es la textura más apta para el adecuado desarrollo del cultivo de palma aceitera. Los suelos arenosos no retienen el agua adecuadamente, por lo que generan estrés hídrico, mientras que los suelos arcillosos ocasionan problemas de drenaje y por tanto humedad excesiva. Según la información obtenida (Tabla 10), ninguna de las fincas tiene el suelo ideal. Palmar tiene menor porcentaje de arcilla, seguido de Piedras Blancas y por último Sierpe. De las tres fincas, la que tiene mayor capacidad de infiltración de agua (tasa máxima de infiltración) (mm día⁻¹) (Tabla 12) es Palmar, seguida de Piedras Blancas y por último Sierpe. Esta característica también está en función de la textura del suelo. Otro factor importante es que Piedras Blancas presenta la mayor humedad del suelo

disponible total; Palmar y Sierpe presentan valores similares (Tabla 11). La precipitación recomendada para el cultivo está entre los 1 700 y 2 000 mm año⁻¹, con distribución de 150 mm mes⁻¹ (Quesada, s.f.).

En la finca ubicada en Palmar se tiene un término medio de uso de agua por tonelada de coyol producido, en comparación con Piedras Blancas y Sierpe, a excepción del año 2013 donde presentó valores de HHV menores, por causa de una baja precipitación y un rendimiento más alto en comparación con los otros años. Esta finca presenta una cantidad considerable de arena; sin embargo, de las tres fincas es la que posee menor cantidad de arcilla, y en consecuencia tiene mayor capacidad de infiltración de agua.

En el caso de la finca ubicada en Sierpe, presenta la textura del suelo con el mayor porcentaje de arcilla y la tasa máxima de infiltración más baja de las tres fincas, es decir que el suelo tiende a acumular más humedad por la poca capacidad de infiltrar. Sin embargo, es posible afirmar que en el sitio existe un mejor manejo del cultivo, puesto que se requiere menor cantidad de agua verde por tonelada producida y, pese a que las condiciones físicas no son las idóneas, es la finca que tiene el mejor rendimiento. Aunado a esto la precipitación que recibe es de 2 500,4 mm año⁻¹ en promedio, con distribución promedio mensual de 217,4 mm mes⁻¹, valor que se desvía ligeramente del recomendado. Es decir, el sitio presenta una precipitación un poco más cercana a la idónea.

En la finca de Piedras Blancas se asigna una mayor cantidad de agua por tonelada (Figura 20), dato que está claramente influenciado por un drenaje inadecuado del terreno, que provoca mayor humedad en el suelo. A esto se suma una precipitación abundante de 4 322,43 mm año⁻¹ en promedio, con distribución promedio mensual de 360,2 mm mes⁻¹, lo que claramente excede la precipitación adecuada para el cultivo. Todos estos factores mencionados anteriormente desencadenan en un rendimiento bajo, en comparación con las otras dos fincas (Tabla 14), y la urgencia de la toma de acciones necesarias para optimizar el manejo del cultivo, regularizar el drenaje y reducir la huella hídrica verde en el sitio.

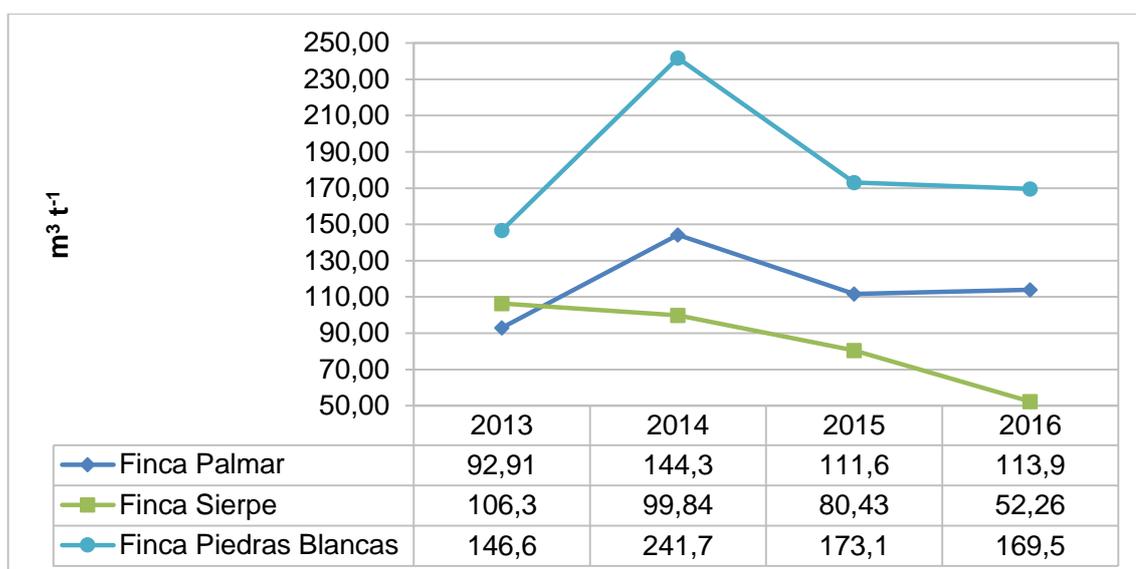


Figura 20. Comportamiento de la HHV ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$) (2013-2016)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

6.3.1.2. Huella hídrica gris

En el caso de la HHG, se observaron diferentes patrones de aplicación de agroquímicos y diferencias significativas en las fórmulas de fertilización utilizadas en cada finca, explicando así los resultados tan variables entre una y otra (Figura 21). Adicionalmente en las tres fincas se utilizan los mismos productos herbicidas (glifosato y paraquat); no obstante, la cantidad de aplicaciones durante el año y las dosis son distintas para cada una.

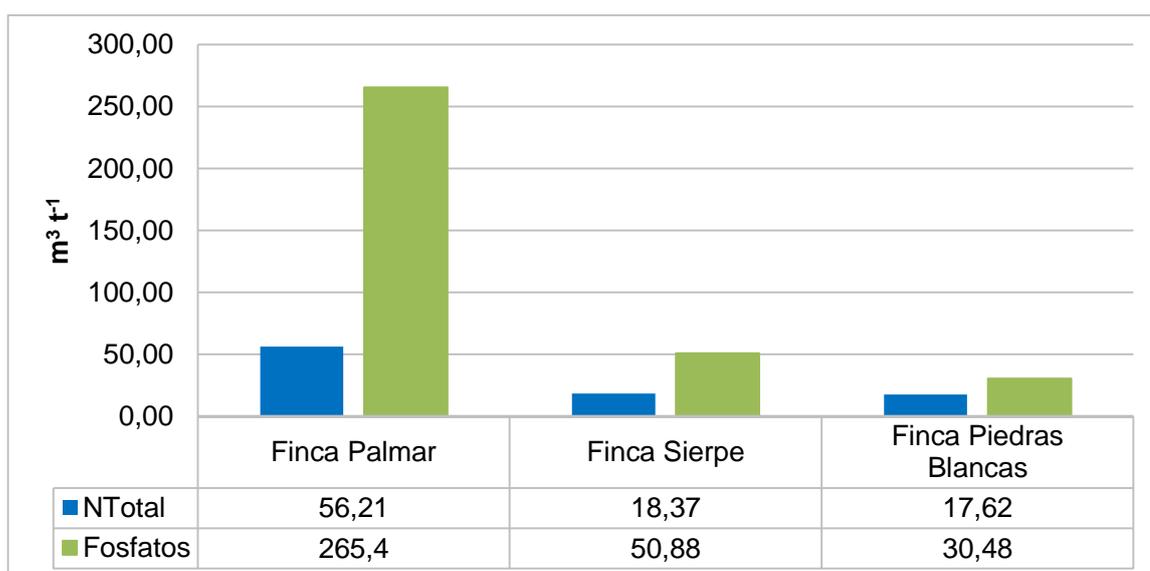


Figura 21. Resultados de la HHG promedio ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$) (2013-2016)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La finca ubicada en Palmar presentó los valores más altos de HHG; en el caso de los fosfatos registró un valor de $265,4 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, mismo que es cinco veces mayor al obtenido para la finca ubicada en Sierpe y ocho veces más que el obtenido en Piedras Blancas (Figura 21). En el caso de los nitratos totales el resultado fue de $56,21 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, triplicando el de las otras dos fincas. Estos resultados parten de los patrones de aplicación de fertilizante reportados por el productor de Palmar, según los cuales, para el periodo bajo estudio, se fertilizaba con dos formulaciones distintas en el año, aplicando cada una en cuatro fechas, es decir, ocho aplicaciones por año en total. La primera de ellas aportaba un 10% de nitrógeno y un 15% de fósforo, la segunda 12% de nitrógeno y 10% de fósforo, presentando en su primera formulación el porcentaje de fósforo más alto de las tres fincas, esto de acuerdo a los requerimientos nutricionales del suelo propios de cada una (Figura 22).

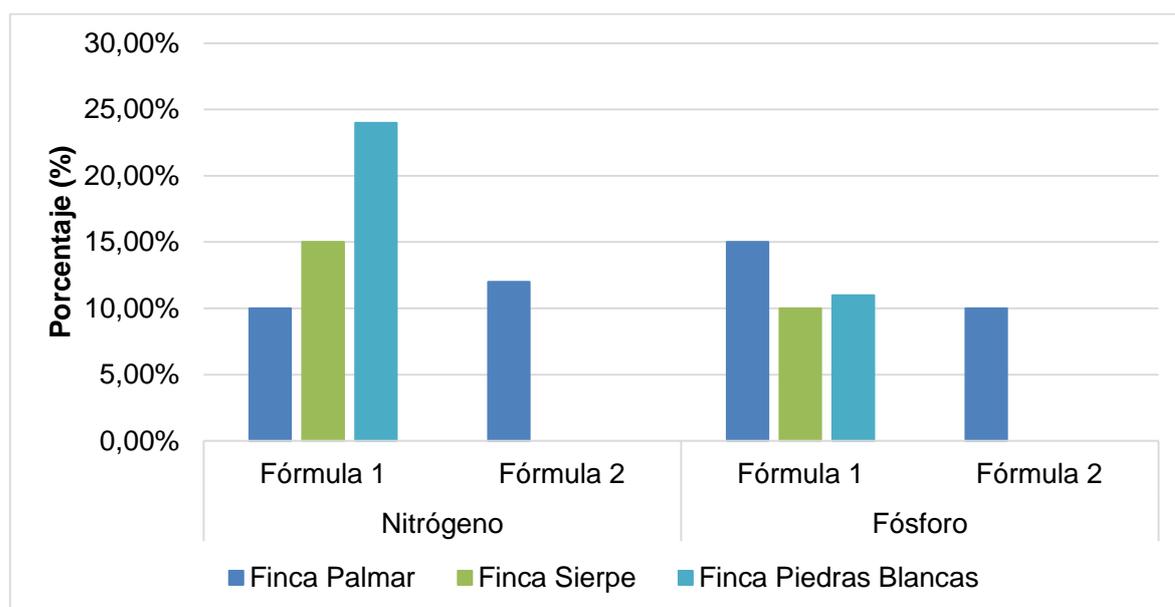


Figura 22. Porcentaje de nitrógeno y fósforo contenido en las formulaciones de fertilización de cada finca

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se observó que estos patrones de fertilización son particulares de este productor y que podría existir una sobredosificación. Se aplicaron en promedio $850,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de fertilizante de más, respecto a la recomendación técnica (Figura 23), en ocho fechas de fertilización cada año, mientras que la recomendación técnica son

dos por año (IICA, 2006). Respecto a los herbicidas, durante los años 2013 y 2014, se realizaron tres aplicaciones anuales de glifosato y cinco de paraquat; para los años 2015 y 2016 únicamente tres de glifosato, y se aplicó como dosis 3 L ha⁻¹ de ambos. De modo que se agregaron 7,380 kg ha⁻¹ año⁻¹ más de paraquat en función de la dosis recomendada de este herbicida y 11,09 kg ha⁻¹ año⁻¹ más de glifosato (Figura 24). A pesar de la aplicación intensiva de agroquímicos, no se observa un mayor rendimiento de producción en esta finca en función de la cantidad de fertilizante y herbicidas aplicados, sino que se detecta un rendimiento promedio, incluso por debajo de la finca ubicada en Sierpe, cuya fertilización es mucho menor (Figura 25).

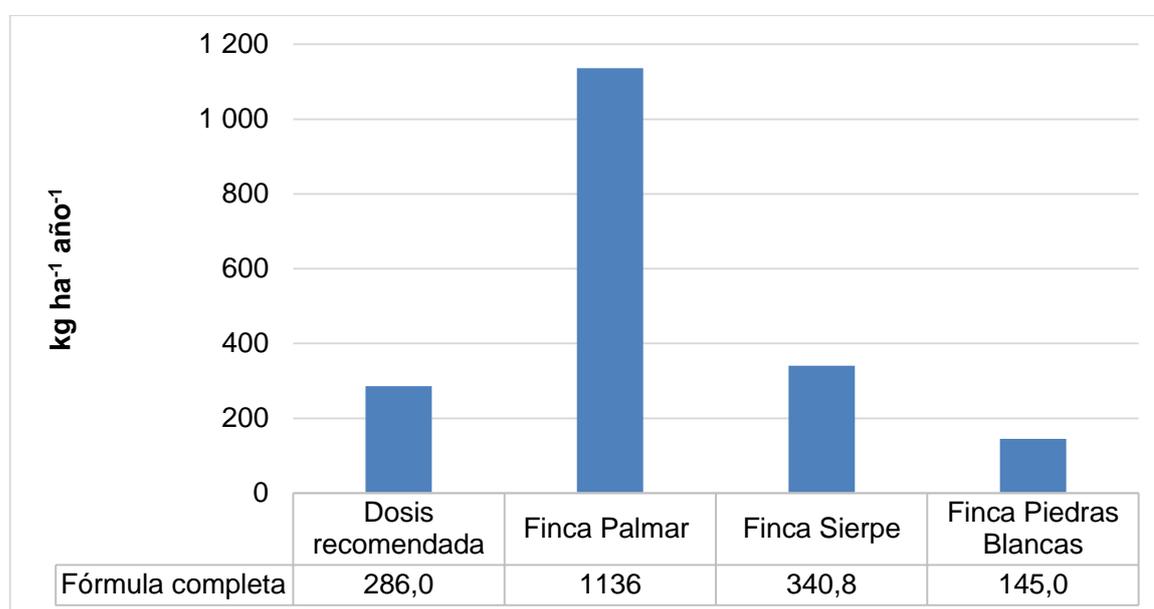


Figura 23. Comparación de las dosis promedio de aplicación y dosis recomendada de fórmula completa entre los años 2013 y 2016, en las diferentes fincas (kg ha⁻¹ año⁻¹)

Fuente: Elaboración con resultados propios y datos de IICA (2006).

Sierpe presenta los segundos valores más altos de HHG, pues allí se obtuvo un valor de 50,88 m³ t⁻¹ para fosfatos, superando el valor obtenido en la finca ubicada en Piedras Blancas por 20,39 m³ t⁻¹. Asimismo, se obtuvo un valor de 18,37 m³ t⁻¹ para NTotales. Tales resultados son coherentes respecto a la aplicación de agroquímicos que reportó el productor (Figura 22). En este terreno se realizaron tres fertilizaciones durante el año 2013 y 2014, dos en el 2015 y 2016, utilizando una fórmula que aportaba un 15% de nitrógeno, segundo valor más alto de este nutriente respecto al porcentaje aplicado en las otras fincas, y un 10% de fósforo,

siendo este el porcentaje menor aplicado en las tres (Figura 22). De modo que se aplicaron $54,80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ más que la dosis recomendada (Figura 23). Asimismo, se reportó una única aplicación de glifosato durante cada año bajo estudio, con una dosis de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$, es decir, la mitad de la dosis aplicada en la finca de Palmar. El promedio de aplicación anual de herbicidas es menor al recomendado para ambos productos; en este caso no se registraron aplicaciones de paraquat y se aplicó solo el 33% de glifosato respecto a la dosis recomendada, como promedio durante el periodo (Figura 24). La propietaria de esta finca manifestó que debido a la situación que enfrentaban, refiriéndose específicamente a las variaciones en el precio y las afectaciones de la flecha seca, habían trabajado con pérdidas y no les había sido suficiente el presupuesto para realizar la tercera fertilización durante los años 2015 y 2016.

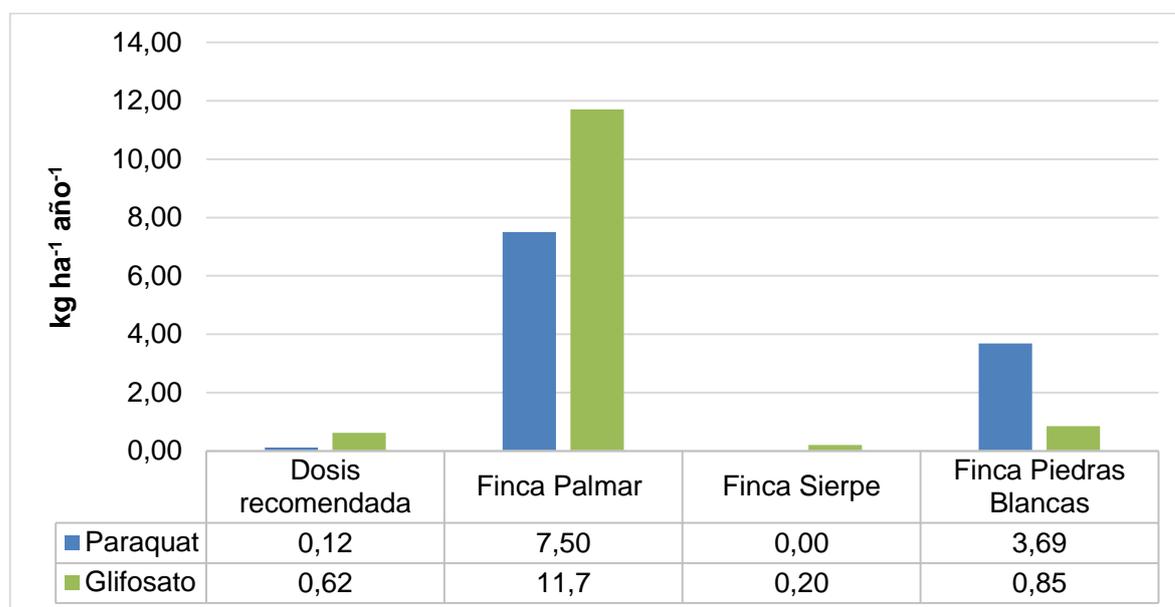


Figura 24. Comparación entre las dosis promedio de aplicación de herbicidas en las diferentes fincas, respecto a la dosis recomendada ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) entre los años 2013 y 2016.

Fuente: Elaboración con resultados propios y datos de F. Ramírez-IRET (comunicación personal, 2018).

La plantación ubicada en Piedras Blancas presentó los valores más bajos de HHG (Figura 21): $30,48 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para fosfatos y $17,62 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para NTotales, esto a pesar de presentar el porcentaje más alto de nitrógeno en su formulación de fertilizante (Figura 22). Se reportó una fertilización anual durante cada año en el periodo de estudio, con una formulación que aportó 24% de nitrógeno y 11% de fósforo, resultando en $141,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ menos que la dosis recomendada (Figura 23). A

su vez, se registró un promedio de cuatro aplicaciones de paraquat por año y una de glifosato, utilizando para ambos un promedio de $0,6 \text{ L ha}^{-1}$, es decir $2,4 \text{ L ha}^{-1}$ menos que en Palmar y $0,9 \text{ L ha}^{-1}$ menos que en Sierpe. Sin embargo, se observa un total de $3,57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de paraquat que se están aplicando de más, respecto a la dosis recomendada, y un exceso de $0,23 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de glifosato (Figura 24).

De manera general, se evidencia la necesidad de aplicar en las fincas las dosis estrictamente necesarias para un buen rendimiento de las plantaciones, que asegure además un uso eficiente de los recursos. También debe tenerse en cuenta que aquellas fertilizaciones que se realicen durante el invierno poseen una efectividad mucho menor, puesto que el producto se lava por la escorrentía y termina en los cuerpos de agua y canales de drenaje. En esta línea se observa cómo Sierpe presenta los patrones de fertilización y herbicidas más cercanos a las recomendaciones técnicas y es, a la vez, la finca con el mejor rendimiento productivo (Figura 25). En contraste, Palmar muestra una aplicación de agroquímicos mayor en todos los aspectos y un rendimiento promedio, reflejándose en una HHG muy alta, e insostenible tanto por el daño ambiental que representa como por el uso ineficiente de los recursos, pudiendo significar pérdidas económicas para el productor. Por último, la finca de Piedras Blancas muestra una fertilización muy por debajo de las recomendaciones técnicas, evidenciando un rendimiento ineficiente en su producción. De modo que, si bien presenta la HHG más baja, no se puede afirmar que esta sea la situación idónea, ya que al analizarse integralmente, pese al menor impacto ambiental, no hay sostenibilidad económica para el productor. En síntesis, Sierpe presenta valores convenientes en comparación con las demás fincas.

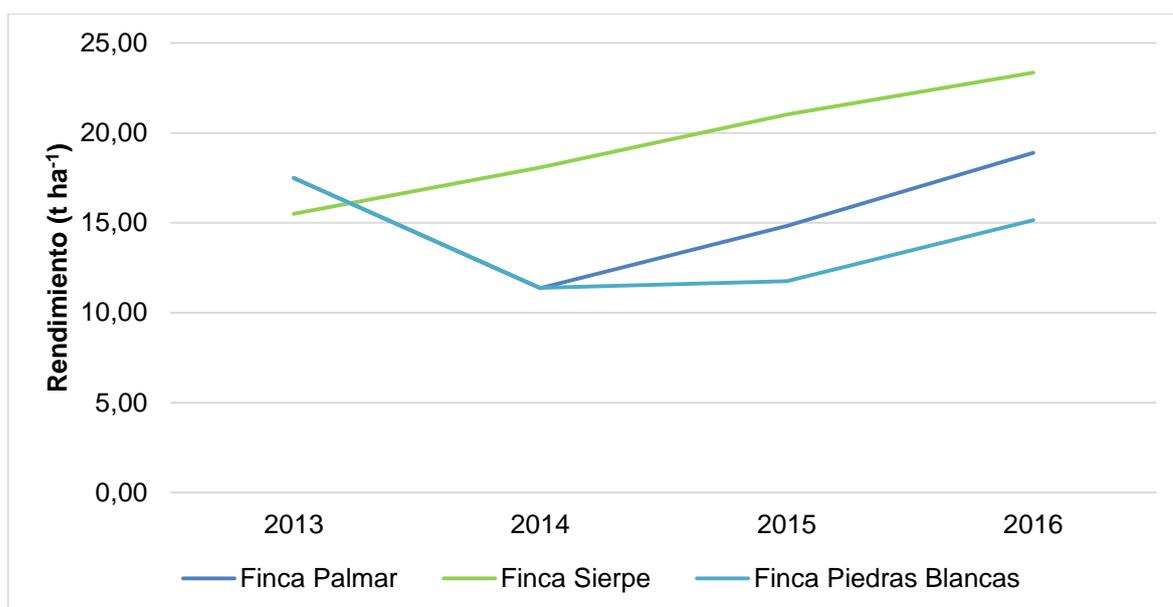


Figura 25. Rendimiento de cultivo en las diferentes fincas

Fuente: Elaboración con resultados propios y datos de SEPSA (2016), 2018

6.3.1.3. Huella hídrica extendida

Productividad aparente de la tierra

Respecto a la productividad en cada finca según los rendimientos por hectárea, la finca en Sierpe mostró una tendencia creciente, con una productividad superior a las otras dos fincas, obteniendo ganancias entre los $\text{C}\$800\,000\text{ ha}^{-1}$ y $\text{C}\$1\,100\,000\text{ ha}^{-1}$ por año. La producción en la finca de Palmar fue en promedio 8% menor que en la de Sierpe, con una variación aproximada entre los $\text{C}\$632\,000\text{ ha}^{-1}$ y $\text{C}\$900\,000\text{ ha}^{-1}$ (Figura 26). Piedras Blancas tuvo una producción en promedio del 12% inferior que la de Sierpe; decayendo en el 2015 a los $\text{C}\$500\,000\text{ ha}^{-1}$.

Estos rendimientos se deben a diferentes factores como el clima, tipo de suelo, manejo agrícola, así como la afectación por enfermedades, principalmente la flecha seca, con la cual el rendimiento de las plantas decae. Sin embargo, la plantación de Sierpe fue la más afectada por la enfermedad y aun así registra los mejores rendimientos, mostrando mayor resiliencia ante esta afectación a través de un manejo más eficiente del cultivo. En el caso de Piedras Blancas, su rendimiento menor se asocia con la insuficiente aplicación de fertilizante, con una dosis poco efectiva. Además, se identificó que con el fin de evitar la presencia de roedores y serpientes se incurre en prácticas agrícolas no tan favorables para el cultivo, como la limpieza constante de sus suelos, eliminando la materia orgánica

de las hileras que proviene de las mismas palmas, necesaria como fuente de nutrientes. Durante el 2015 el precio en el mercado del producto bajó considerablemente afectando los beneficios económicos, a pesar de que en el año 2016 se mantuvo un bajo valor en los precios, el rendimiento aumentó en comparación al año anterior lo que refleja mejoras en el manejo del cultivo en las tres fincas.

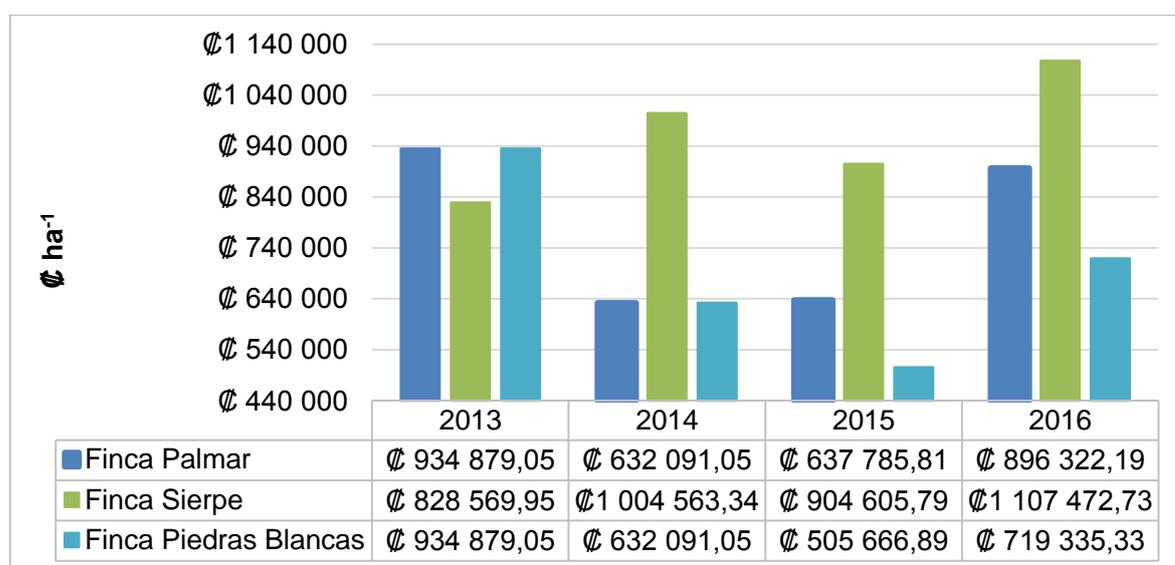


Figura 26. Productividad aparente de la tierra (C/ ha⁻¹) (2013-2016)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Productividad aparente del agua verde

La producción respecto a la disponibilidad del agua de lluvia varía mucho de una finca a otra (Figura 27). Según los datos de precipitación para el año 2013, hubo menor cantidad de lluvia en comparación a los demás, por lo que puede resultar que estas condiciones climáticas le favorezcan a las fincas en Palmar y Piedras Blancas, en tanto que un exceso de lluvias resultaría en menor ganancia para el productor. Los siguientes años las precipitaciones aumentaron y la productividad decayó considerablemente con un valor que se mantuvo relativamente constante, tomando en consideración que la composición del suelo de ambas fincas corresponde a franco arenoso lo cual puede ocasionar mayor deslave de nutrientes en época de lluvia. La finca en Sierpe se mantuvo con valores similares durante los primeros tres años y con aumento significativo en el 2016, año de mayores precipitaciones generando mayor aprovechamiento económico del agua durante este periodo.

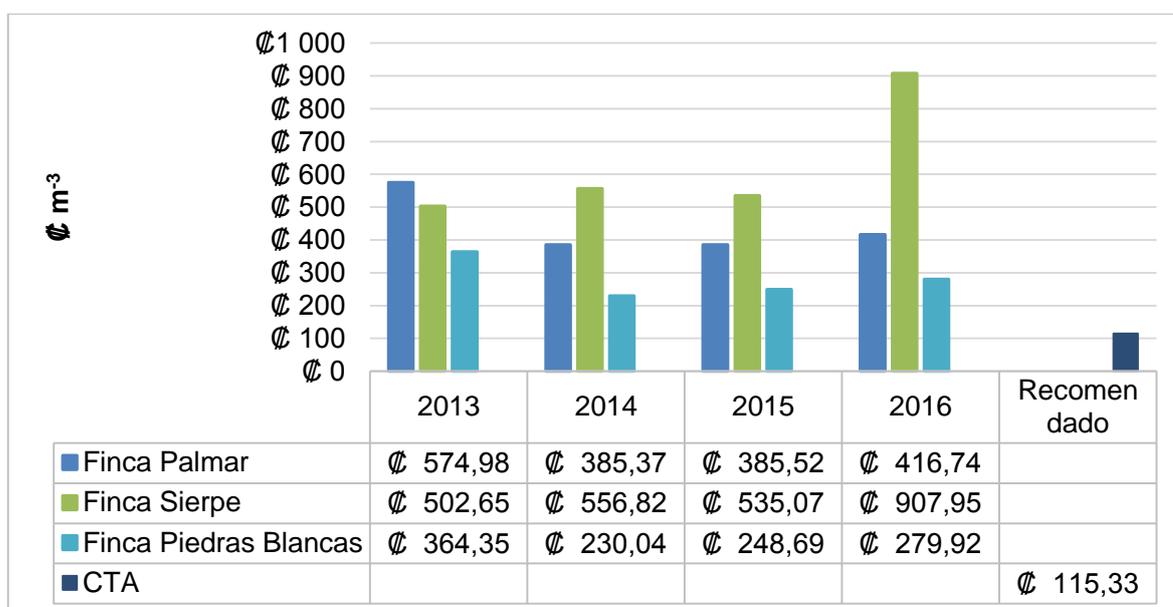


Figura 27. Productividad aparente del agua verde (€/m³) (2013-2016)

Nota: La productividad aparente del agua a nivel mundial para productos agrícolas es de \$0,19 (CTA, 2017). Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el caso específico de cada finca, la de Palmar tuvo su mayor productividad en el año 2013 con ganancias de €574,98 m⁻³; los siguientes periodos mantuvo una tendencia menor y constante con promedio de €440,65 m⁻³. La finca en Piedras Blancas es la que presenta la menor productividad aparente del agua de las tres fincas: fluctúa entre los €364,35 m⁻³ y €230,04 m⁻³, lo que puede estar influenciado por el tipo de suelo, ya que el mismo es muy arenoso y la mayor parte del agua se infiltra, lo cual reduce la disponibilidad de agua para la planta y afecta con ello su rendimiento. La de Sierpe es la que presenta el mayor aprovechamiento del agua verde, manteniendo los mayores beneficios en la mayoría de los años, alcanzando en el 2016 los €907,95 m⁻³; sus suelos presentan arcilla en su composición, lo que ayuda en la retención de agua de manera que esté disponible para la planta.

Por otra parte, según CTA (2017) la productividad aparente del agua a nivel mundial para productos agrícolas es de \$0,19 m⁻³ (equivalentes en nuestro país a €115,33 m⁻³ a inicios del 2019), y el rendimiento obtenido con la palma en las tres fincas es mucho mayor a este valor. Además, se debe considerar que proviene del agua de lluvia, por lo cual los productores no incurren en gastos por riego, y esto les significa grandes beneficios.

6.3.1.4. Huella hídrica clásica

Para obtener el resultado final de la HHC se sumaron la HHV y la HHG (Ecuación 2). En el caso de la HHV se realizó, para cada finca, un promedio de los cuatro años estudiados; en el caso de la HHG se optó por utilizar el dato del contaminante que presentó el valor más alto –en todos los casos fue el de fosfatos–. Las tendencias de cada finca son muy variadas: en el caso de la de Palmar se observa el dato más alto de HHC, seguido por la de Piedras Blancas y por último la de Sierpe (Figura 28). Es importante destacar que cada componente del valor total tiene diferente porcentaje de aporte. En la de Sierpe y la de Piedras Blancas la HHV tiene mayor peso, caso contrario a la de Palmar.

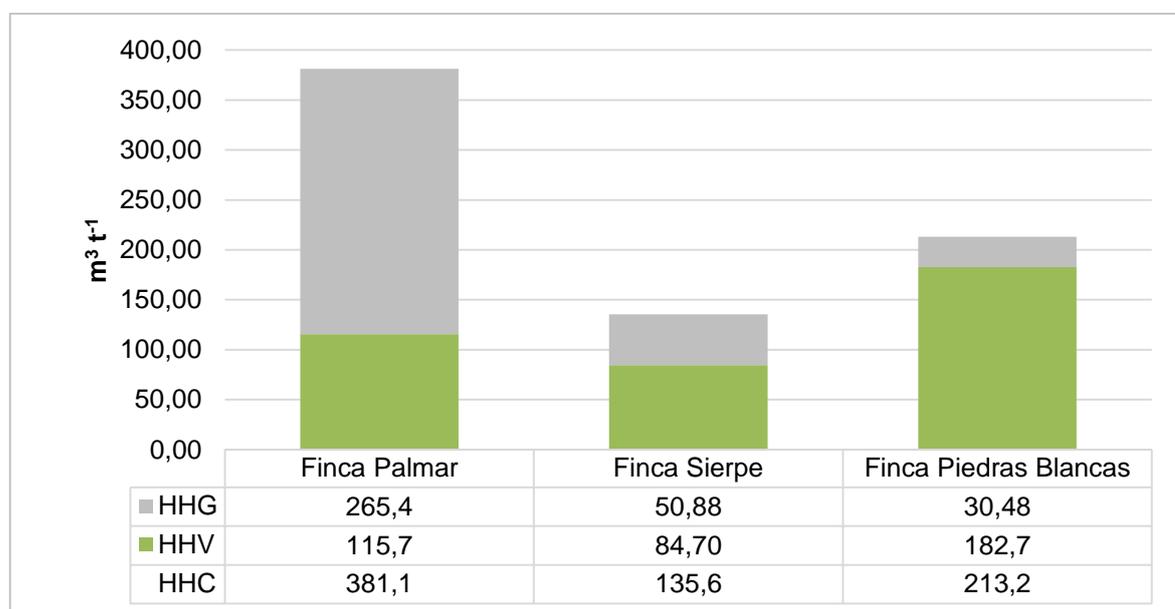


Figura 28. Huella hídrica total por finca para el periodo 2013-2016

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Mekonnen & Hoekstra (2010b) realizaron una estimación por provincia para ciertos cultivos producidos en Costa Rica, incluido el cálculo para palma aceitera en Puntarenas, para el año 2010. Al analizar el aporte de cada componente (HHV y HHG) a la HHC, se evidencia un comportamiento muy diferente a los resultados obtenidos para las fincas. En el estudio estimaron una HHG de 68,00 m³ t⁻¹ y una HHV 3 719,00 m³ t⁻¹, que resultan en una HHC de 3 787,00 m³ t⁻¹. Se observa así que en el caso de Puntarenas el porcentaje de aporte de la HHG respecto a la HHC es de 1,80%, mientras que en la finca de Palmar es de 69,65%, en la de

Sierpe 37,53% y en la de Piedras Blancas 14,30%, siendo este último el más cercano a los patrones presentados por los autores (Figura 29).

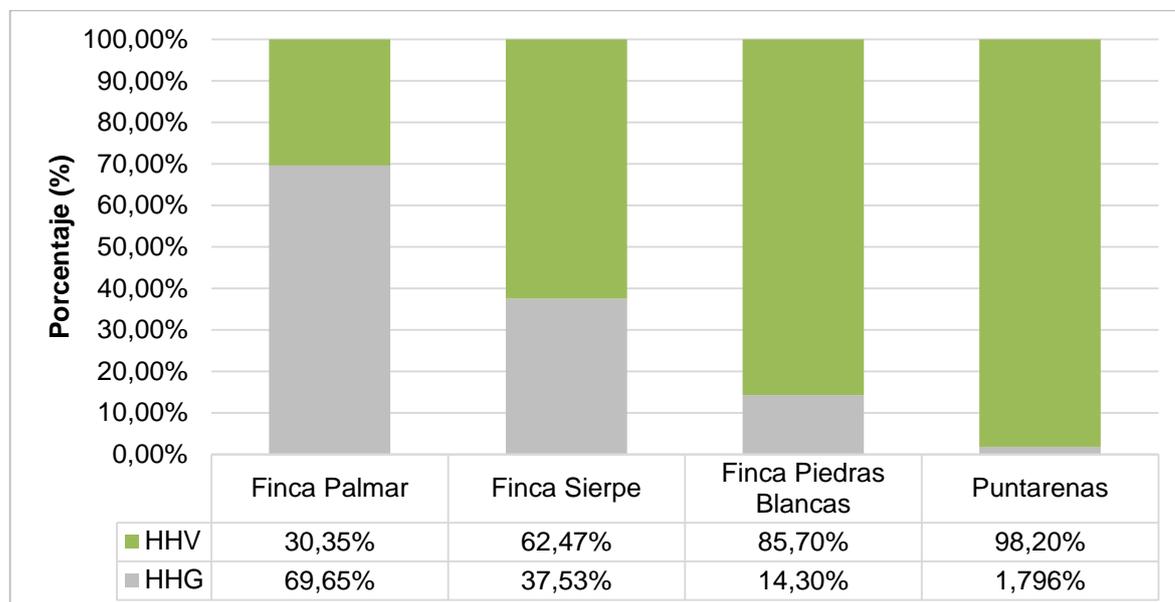


Figura 29. Comparación de resultados obtenidos de HHC con datos de estudios para la provincia de Puntarenas de la WFN.

Fuente: Elaboración con resultados propios y datos de Mekonnen & Hoekstra (2010 b), 2018.

6.3.2. Perspectiva socioeconómica de la HH

6.3.2.1. Finca Palmar

Esta finca, en comparación con las demás, presenta la HHC más alta de las tres, desglosándose en un valor intermedio de HHV y el mayor valor de HHG, así como valores intermedios de ALP y AWP. El resultado más crítico del indicador es el de HHG, dado que es mucho mayor que los valores observados en los otros sitios. En el mismo se requiere un mayor volumen de agua de los cuerpos receptores, para llevar la carga contaminante hasta niveles aceptables de fosfatos y nitratos totales. Esta situación, en particular, se presenta en un distrito en el que hay una mayor facilidad en cuanto a oferta, distancia y accesibilidad para adquirir agroquímicos, lo que podría aportar a esta realidad.

Asimismo, el tratamiento de las aguas residuales es prácticamente inexistente. Los antecedentes de saneamiento ambiental se remontan a mediados del siglo pasado, cuando dicha labor era responsabilidad total de la empresa bananera, la cual se hizo cargo mediante la utilización de canales. Cuando esta partió, los

pobladores no estaban formados en el tema, por lo que la poca conciencia ambiental se refleja en que el manejo no sea el adecuado. Aunado a esto, se presenta gran preocupación en temas paralelos como lo es el manejo de residuos. En la actualidad son comunes prácticas como la eliminación de residuos a través de la quema o botadero clandestino; a pesar de que se cuenta con recolección y rutas ya establecidas, no se cubre toda la población, lo que contribuye a dicha situación.

El cultivo tiene gran rentabilidad en las fincas en general. En el caso de Palmar, la menor afectación de flecha seca influye en el valor de ALP, que durante el periodo estudiado obtuvo un valor promedio de ₡775 269,52 por hectárea; es decir, para esta finca cuya extensión de siembra es de 22 ha, el ingreso promedio mensual fue de ₡1 421 327. Al comparar el mismo con el ingreso promedio por hogar registrado para la región Brunca según la Encuesta Nacional de Hogares (₡663 789), se observa que el ingreso por palma es mucho mayor; sin dejar de lado que con este ingreso el productor debe cubrir todos los gastos propios de las plantaciones. En todo caso, queda demostrado por qué el cultivo de palma ha sido y es una opción atractiva en cuanto a su rentabilidad económica.

6.3.2.2. Finca Sierpe

Esta plantación presentó la HHC más positiva de las tres. En ella se obtuvo la menor HHV, una HHG intermedia y los valores más altos de ALP y AWP. En el manejo de la plantación se identificaron prácticas destacables como registros muy ordenados de rendimiento y fertilización, así como mantenimiento de las plantaciones y aplicación de herbicidas conforme a las recomendaciones técnicas. Asimismo, cabe resaltar que fue el sitio donde se observó una mayor afectación de la flecha seca, por lo que no se esperaban resultados tan positivos de ALP y AWP; estos pueden estar relacionados con el buen manejo que se le da a la plantación. Aunado a estos resultados, el dato obtenido de HHV es positivo ya que se utiliza menor cantidad de agua verde por tonelada de coyol producido; vale decir, el uso del recurso es más eficiente.

La ALP refleja ingresos mensuales de ₡3 684 995 en esta finca, la cual posee una extensión de 46 ha de siembra. El éxito productivo de esta plantación podría

también estar relacionado a las condiciones climáticas, que propician la expansión masiva de las plantaciones en este distrito específico.

Se obtuvo también para esta finca la mayor AWP, con un promedio de ¢665,64 por m³. En otras palabras, esta finca presenta el ingreso económico más alto por metro cúbico de agua que se consume. Ante tal dato, no se puede ignorar que Finca Sierpe se ubica en el distrito donde el tema del recurso hídrico es más vulnerable, donde se desarrolla la invasión al Humedal Nacional Terraba-Sierpe y existe una realidad en la que solamente un 52,2% de las viviendas poseen agua de acueducto.

6.3.2.3. Finca Piedras Blancas

Presentó el valor intermedio de HHC, que se desglosa en una mayor HHV pero los valores de HHG, ALP y AWP son los más bajos. El resultado de la HHV está directamente relacionado a la mayor cantidad de agua disponible y los rendimientos de coyol más bajos, lo que hace que el dato sea el más alto. Una característica importante es que la plantación se encuentra conformada por plantas de edad avanzada, que con más de 20 años han alcanzado su máxima edad productiva, aspecto que incide directamente sobre el rendimiento.

El ingreso promedio mensual en esta finca es de ¢814 325, el más bajo de los tres, puesto que cuentan solamente con 14 ha de siembra. Es así como se observaron los valores más críticos, en concordancia con lo observado respecto a las condiciones sociales del distrito en que se ubica. El acceso limitado a formación técnica en ese recinto podría ser uno de los motivos de las anomalías notadas en el manejo de la plantación.

7. Conclusiones

- Según datos del diagnóstico socioambiental, la región presenta afectación en sus zonas protegidas, una problemática común documentada por el Tribunal Ambiental Administrativo según denuncias realizadas. Tales daños pueden estar asociados a la falta de regulación en el uso del suelo, que repercute negativamente en la disponibilidad y calidad de los recursos de la zona. La actividad de palma aceitera no es ajena a este comportamiento; se han invadido humedales con el propósito de dragarlos y cambiar el uso del suelo.
- La HHC determinada es una estimación propia para cada finca en los años estudiados, la cual no puede ser extrapolada a otra zona o región, ya que se ve influida por factores como el manejo del cultivo y el tipo de suelo, específico de cada sitio. Esto se evidencia en casos como el de la finca de Palmar, donde el alto uso de fertilizantes provoca que el porcentaje de la HHG sea mayor en su aporte a la HHC.
- La cantidad de fertilizante aplicado en las fincas estudiadas debería basarse en estudios técnicos de suelo. En la práctica se observó que los productores aplican la fórmula completa conforme a sus posibilidades económicas. Este modo de fertilización es ineficaz, dado que si el productor incurre en una aplicación insuficiente, se refleja en niveles bajos de producción; o si se da un segundo escenario en el que se propicia una sobredosificación, esta no necesariamente significa una mayor productividad, sino que constituye un desperdicio de recurso para el productor y además una fuente de contaminación.
- La productividad a nivel mundial de los productos agrícolas, de acuerdo con datos de la FAO, es de \$0,19 m⁻³. Los resultados de AWP (¢ m⁻³) para las tres plantaciones muestran que existe un beneficio económico en el desarrollo de la actividad palmera a partir del agua de lluvia, con un aporte mayor al promedio mundial. Esto quiere decir que se hace aprovechamiento de un recurso fácilmente disponible en una región con características de abundante precipitación. En cuanto a la ALP (¢ ha⁻¹), se

puede concluir que la rentabilidad se ve favorecida cuando se tiene una mayor cantidad de hectáreas; esto explicaría la tendencia a la expansión del cultivo.

- La actividad agrícola de la palma aceitera representa una oportunidad de acceso económico para los habitantes que son propietarios de tierras, sin embargo los habitantes que no poseen tierras quedan encerrados en un monocultivo, con pocas opciones laborales. Adicional a esto, el dragado del Humedal Nacional Térraba Sierpe ha afectado los beneficios ecosistémicos que brinda el mismo, valorados en \$10 000 ha año⁻¹, los cuales son mucho mayores en comparación con el ALP obtenido que en promedio es de ₡811 521 ha año⁻¹. Lo anterior deja en cuestionamiento si realmente es beneficiosa la actividad palmera en comparación con los servicios ambientales ofrecidos por el humedal.

8. Recomendaciones

- En el proceso de formulación del Plan de Ordenamiento Territorial del cantón de Osa, debe contemplarse la tendencia a la expansión del monocultivo de palma aceitera, relacionada con la conveniencia económica del desarrollo de la actividad para las condiciones sociales vulnerables del sitio. También resulta necesario el establecer mecanismos de regulación para evitar problemáticas ambientales.
- En los escenarios proyectados por el IMN, sobre los efectos del cambio climático, la región donde se localizan las fincas estudiadas llegará a caracterizarse por el aumento en cantidad e intensidad de las lluvias. No se puede asegurar que tales condiciones representen un panorama favorable para la producción de palma aceitera. Es importante valorar la elaboración de proyecciones de la HH para el sitio y para las fincas, tomando en consideración estos efectos y el crecimiento o decrecimiento del cultivo, para así promover una adecuada gestión del recurso hídrico y de la actividad.
- Para mejorar la exactitud de la estimación de la HH en futuras investigaciones, es recomendable utilizar datos de estaciones aún más cercanas a cada finca; esto porque la localización del cantón de Osa (cerca de la línea costera) inevitablemente influye en los datos climáticos del sitio. También se hace necesaria la existencia de estudios técnicos, que contribuyan a generar datos para mejorar la gestión de las plantaciones.
- Es recomendable la elaboración de un estudio de HH a nivel de cuenca, que a su vez considere la articulación de estudios existentes de la región elaborados por entes reguladores y universidades públicas. La integración de dicha información podría utilizarse como referencia para la toma de decisiones, formulación de políticas e identificación de actividades productivas que favorezcan el desarrollo de la región de manera sostenible, previniendo así futuras problemáticas en términos de uso de agua y tierra.

- Es conveniente el acompañamiento de las estimaciones de HH con otros estudios de tipo social y económico, que confieran al investigador una visión integral de las causas que inciden sobre las variables en estudio. Lo anterior puede ayudar a plantear estrategias técnicas acordes a la realidad ambiental, social y económica del sitio.

9. Limitaciones

Incertidumbre

La incertidumbre de los datos obtenidos es un valor desconocido y complejo de obtener, está asociado a gran cantidad de datos de diferentes procedencias y al uso de un software libre. En el caso de esta investigación para aproximarnos más al valor real se utilizó información de datos climáticos de las estaciones más cercadas a las fincas de estudio suministradas por el IMN, además se utilizó información de rendimiento directamente suministrado por los productores propietarios de las fincas. A la fecha se desconoce de estudios en huella hídrica donde se haya incluido la estimación de la incertidumbre, realizarlo conlleva a cálculos complejos lo cuales demandan mayor tiempo, adicional a esto no existe una metodología establecida y estandarizada para hacerlo.

Económicas

Para la obtención de datos aún más cercanos a la realidad se requiere llevar a cabo toma de muestras y análisis en laboratorio, lo cual incrementa los costos de un estudio en huella hídrica. Es así como la variable económica puede afectar la aproximación a la realidad, para subsanar esta limitación se recurre al uso de información disponible y de factores teóricos recomendados en las metodologías.

Social y ambiental

La huella hídrica es un indicador que debe ser complementado con estudios e información social y ambiental de la zona o el entorno del sitio donde se lleva a cabo el estudio, esto permitirá alcanzar un mayor conocimiento y una adecuada toma de decisiones en cuanto al uso y distribución del recurso hídrico disponible. La huella hídrica no considera factores como la pobreza y el acceso al agua, así como el uso y contaminación del agua de mar.

10. Referencias

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia: Estudio FAO Riego y Drenaje N°56.
- Angulo Z., F. (2014). Global Water Partnership Central America. *GIRH Hablemos sobre el agua. Apuntes sobre la historia futura del agua que ya consumimos*. Obtenido de <https://gwpcam.wordpress.com/tag/girh/>
- Angulo Zamora, F. (2015). *Gestión del recurso hídrico y saneamiento en Costa Rica (XXI Informe)*. San José: Programa Estado de la Nación.
- Áreas Protegidas y Parques Nacionales de Costa Rica (2018). *Osa (ACOSA)*. Obtenido de <https://areasyparques.com/osa/>
- Arévalo Uribe, D. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica*. WWF.
- Arévalo Uribe, D. & Campuzano Ochoa, C. (2013). *Guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca: Huella hídrica cuenca Porce*. Medellín, Colombia: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.
- Arias Zúñiga, L. (2010). *Situación de potabilización y saneamiento en Costa Rica (XVI Informe)*. San José: Programa Estado de la Nación.
- Arroyo Mora, D. (2013). Humedal Nacional Terraba-Sierpe. Nuevos pasos en nuestra acción social e investigación. *Crisol* (27), 11-14.
- Associação Dos Municípios Do Alto Vale Do Itajaí [AMAVI] (2015). *Manual técnico de orientación para la elaboración de diagnóstico socioambiental*. Rio Grande do Sul: Brasil.
- Astorga, Y. (2013). *Gestión del recurso hídrico (XIX Informe)*. San José, Costa Rica: Programa Estado de la Nación.
- Barquero, M. (24 de febrero de 2018). Coopeagropal afronta problemas financieros por baja en cosecha de palma. *La Nación*. Obtenido de

<https://www.nacion.com/economia/agro/coopeagropal-afrenta-problemas-financieros-por/HXWOBHTMHNBZBGCU6YMSWKOH6U/story/>

- Beggs , E. & Moore, E. (2013). *El paisaje social de la producción de aceite de palma africana en la región de Osa y Golfito*. San José, Costa Rica: INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment.
- Blanco, P. (2015). Plaguicida usado en piña presente en Humedal Térraba-Sierpe. *Crisol* (29), 12-17.
- Bórbon Muñoz, M. & Mora Ramírez, S. (2016). *Desempeño sector agropecuario 2012-2015*. San José, Costa Rica: SEPSA.
- Builes, E. D. (2013). *Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce*. Medellín: Universidad Nacional Colombia.
- Caja Costarricense del Seguro Social [CCSS] (2012). *Análisis de Situación de Salud Osa*. Puntarenas, Costa Rica.
- Cámara Nacional de Productores de Palma [CANAPALMA] (2014 a). *Libro Información CANAPALMA octubre 2014*. Costa Rica.
- Cameron, E. (2014). *Cambio climático: Implicaciones para la agricultura*. University of Cambridge. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo.
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia [CTA] (2017). *Misión Crecimiento Verde*. Informe de Avance, Medellín: Colombia.
- Chapagain, A. K. & Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management* (90), 1219-1228. doi:10.1016/j.jenvman.2008.06.006
- Chapagain, A. & Hoekstra, A. (Noviembre de 2004). Water Footprints of Nations Volume 1: Main Report. *UNESCO-IHE Dft(16)*.

- Clare, P. (2005). El desarrollo del banano y la palma aceitera en el Pacífico costarricense desde la perspectiva de la Ecología Histórica. *Diálogos*, revista electrónica de Historia, 6(1), 308-346.
- Clare, P. (2012). Poder y medio ambiente. La palma aceitera en el Pacífico costarricense, 1950-2007. *Historia Agraria* (56), 135-166.
- Comisión Nacional de Emergencias [CNE]. (s.f.). *Amenazas de origen natural Cantón de Osa*. Obtenido de <https://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/OSA.htm>
- Costa Rica Propone (s.f.). *Índice del Progreso Social: Osa*. Obtenido de <http://www.costaricaproponer.go.cr/canton/osa>
- Cuéllar, E. (2016). *Sondeo de precios de la fruta fresca y del aceite de la palma aceitera*. La Lima, Cortés, Honduras: Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA.
- Díaz Alcaide, S., Martínez Santos, P., Willaarts, B., Hernández Moreno, E. & Llamas Madurga, R. (2015). *Huella Hídrica y Agua Virtual de Cantabria*. España: Aqualia/Fundación Botín.
- Durán, N., Salas, R., Chinchilla, C. & Peralta, F. (s.f.). *Manejo de la nutrición y fertilización en palma aceitera en Costa Rica*.
- European Palm Oil Alliance [EPOA] (2016). *Producción del aceite de palma*. Obtenido de <http://www.palmoilandfood.eu/es/produccion-del-aceite-de-palma>
- Fallas Hidalgo, G., Quirós Valverde, M., Gamboa Quesada, M. & Viales Araya, E. (2006). *Diagnóstico socioeconómico de la Región Brunca*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica .
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite [FEDEPALMA]. (2011). *Guía ambiental de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Bogotá.
- Food and Agricultural Organization [FAO] (2017). FAOSTAT: Cultivos. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Food and Agricultural Organization [FAO] (s.f.). *Manual CROPWAT 8.0*.

- Franke, N. A., Boyacioglu, H. & Hoekstra, A. Y. (2013). *Grey Water Footprint Accounting: Tier 1 Supporting Guidelines*. Delft, the Netherlands: Value of Water Research Report Series No. 65, UNESCO-IHE.
- García, D. (13 de abril de 2013). Humedal Térraba-Sierpe perdió alrededor de 3 mil hectáreas por invasión de cultivos ilegales. *CR Hoy*. Obtenido de <http://www.crhoy.com/archivo/humedal-terraba-sierpe-perdio-alrededor-de-3-mil-hectareas-por-invasion-de-cultivos-ilegales/>
- Golcher, C. (2013). Aplicación del cálculo de Huella Hídrica para regiones de cultivos de café, banano y arroz en Costa Rica. *Cálculo de huella hídrica: Aplicaciones para el sector agropecuario de América Latina*, 30. Liberia: Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe.
- González Ramírez, E. (2012). Distribución geográfica de la disponibilidad e inversión en infraestructura de sistemas de agua potable y saneamiento en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* (49), 103-132.
- Hoekstra, A. Y. & Chapagain, A. K. (2006). *Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern*. *Water Resour. Manage.* doi:10.1007/s11269-006-9039-x
- Hoekstra, A. Y. & Hung, P. Q. (Setiembre de 2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *National Institute for Public Health and the Environment* (11).
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Washington D.C: Earthscan Ltd.
- Instituto de Desarrollo Rural [INDER] (2014). *Informe de caracterización básica. Territorio Sur Bajo (Corredores, Golfito, Osa)*. Río Claro: CR.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2015 a). *Estudio Nacional de Agua 2014*. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2015 b). *Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por*

subzonas hidrográficas en el marco del estudio nacional del agua 2014.
Bogotá, Colombia.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] (2006). *Guía técnica: Cultivo de palma africana.* Managua, Nicaragua.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] (2011). *La agricultura de Costa Rica: Situación al 2010, su evolución y prospectiva.* San José: IICA Costa Rica.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] (2017). *Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica.* San José, Costa Rica.

Instituto Meteorológico Nacional [IMN] (s.f.). *El ENOS y sus efectos en Costa Rica.* San José: IMN.

Instituto Nacional de Biodiversidad [INBio] (s.f.). *Área de Conservación Osa.* Obtenido de <http://www.inbio.ac.cr/ecomapas/acosau/generalidades.htm>

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2010). *Proyección de población.* Obtenido de <http://www.inec.go.cr/proyeccionpoblacion/FrmProyec.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2011). *Censo 2011. Escolaridad promedio según Dirección Regional de Educación.* Obtenido de <http://www.inec.go.cr/documento/censo-2011-escolaridad-promedio-segun-direccion-regional>

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2012). *X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011: Características económicas.* San José: Costa Rica.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2014). *Encuesta Nacional de Hogares Julio 2014: Resultados generales.* San José, Costa Rica.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2015 a). *VI Censo Nacional Agropecuario.* San José, Costa Rica: INEC.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2015 b). *Encuesta Nacional de Hogares Julio 2015: Resultados generales*. San José: Costa Rica.
- Instituto Nacional de Fomento Cooperativo [INFOCOOP] (Octubre de 2015). *Palma aceitera: entre la "flecha seca" y la variación de precios internacionales*. Obtenido de http://www.infocoop.go.cr/enterese/noticias/2015/octubre/octubre_1.html
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA] (2016). *Suelos de Costa Rica. Boletín Técnico*. San José.
- La Nación (09 de julio de 2013). Enfermedad y baja en precios afectan a la palma aceitera. *La Nación*. Obtenido de <https://www.nacion.com/economia/enfermedad-y-baja-en-precios-afectan-a-la-palma-aceitera/TYTN2ODCGFAZVGUGUUCEWCAOP4/story/>
- Leiva, C. (1 de mayo de 2015). Opinión: El problema de los productores de palma africana. *CR Hoy*. Obtenido de <http://www.crhoy.com/archivo/opinion-el-problema-de-los-productores-de-palma-africana/opinion/el-lector-opina/>
- Llamas Madurga, R. (2005). Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. *Revista Académica Ciencias Exactas Físicas Naturales*, 99(2), 369-389.
- Mata, R., Rosales, A., Vásquez, A. & Sandoval, D. (2013). Órdenes de Suelo de Costa Rica.
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2011). Main Report of National Water Footprint Accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption. *UNESCO-IHE Institute for Water Education*(50).
- Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2010 a). *A Global and High-Resolution Assessment of the Green, Blue and Grey*. doi:10.5194/hess-14-1259-2010
- Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2010 b). *The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. Volumen 2: Appendices*. The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2007). *Plan Estratégico de la Cadena Productiva*.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2012). “Flecha seca” en palma africana: Estrategias de manejo. *Boletín de Actualidad Fitosanitaria* (51), 4.
- Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE] & Ministerio de Salud [MinSa] (2007). Decreto N° 33601: Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], Sistema Nacional de Conservación [SINAC] & Agencia de Cooperación Internacional de Japón [JICA] (2017). *Informe producto del Proyecto para la Promoción del Manejo Participativo en la Conservación de la Biodiversidad (MAPCOBIO)*. San José.
- Ministerio de Educación Pública [MEP] (2016). *Buscador de Centros Educativos, C.R.* . Obtenido de SIGMEP: <http://sigmep.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e5588a81e7744161a149608a773f23f2>
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN] (2018). *Costa Rica, Índice de Desarrollo Social 2017*. San José: C.R.
- Molina Jiménez, I. (2005). *Del legado colonial al modelo agroexportador. Costa Rica (1821-1914)*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Mora Alvarado, D. & Portuguez Barquero, C. (2012). *Desigualdades por cantones en el acceso a agua para consumo humano en Costa Rica en el año 2011 y su comparación con el periodo 2006*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Laboratorio Nacional de Aguas.
- Municipalidad de Osa (2012). *Plan de desarrollo humano local del cantón de Osa 2013-2023*. Costa Rica.
- Municipalidad de Osa (2016). *Sitio Oficial de la Municipalidad de Osa*. Recuperado de Reseña Histórica del Cantón de Osa: <https://www.gobiernolocalosa.go.cr/>
- Murillo Aguilar, K. (2012). *El proyecto de Aeropuerto Internacional para el Sur: Contexto, percepciones y perspectivas*. San José: CR: INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment.

- Murillo Cruz, R., & Ávila Arias, C. (2011). *Mejoramiento de la Capacidad Productiva de Pequeños y Medianos Reforestadores de la Zona Sur*. San José: CONARE.
- Murrell Blanco, M. (2012). *Análisis de la huella hídrica de los principales cultivos y la actividad ganadera en la cuenca del río Tempisque (Costa Rica)*. Karlsruhe Institute of Technology (Tesis de maestría). Karlsruhe, Alemania.
- Museo Nacional de Costa Rica (2013). *Diversidad biológica del Humedal Térraba-Sierpe*. Obtenido de <http://ecobiosis.museocostarica.go.cr/ecosistemas/sierpe%20terraba/index.aspx>
- Neotrópica (25 de octubre de 2011). Tribunal Ambiental lanza alarma sobre destrucción ambiental en Térraba-Sierpe. Obtenido de <http://neotropica.org/en/tribunal-ambiental-lanza-alarma-sobre-destruccion-ambiental-en-terraba-sierpe/>
- Observatorio del Desarrollo-UCR. (s.f.). *Tendencias del desarrollo costarricense: Índice de competitividad*. Obtenido de <http://www.odd.ucr.ac.cr/proyectos/tendencias-del-desarrollo-costarricense/indice-de-competitividad-cantonal>
- Olcina Cantos, J. & Sotelo Pérez, M. (2013). Las demandas de “Huella Hídrica” y su precio, en España: Diferencias territoriales. *Anales de Geografía*, 33(2), 41-79. doi:10.5209/rev_AGUC.2013.v33.n2.43001
- O'neal Coto, K. (15 de mayo de 2017). UCR advirtió presencia de plaguicida usado en piña en Humedal Térraba-Sierpe. *Noticias UCR*. Obtenido de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/05/15/ucr-advirtio-presencia-de-plaguicida-usado-en-pina-en-humedal-terraba-sierpe.html>
- Ortiz Rodríguez, O., Naranjo, C., García Cáceres, R. & Villamizar Gallardo, R. (Setiembre de 2015). Water footprint assessment of the Colombian cocoa production. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(9), 823-828. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p823-828
- Programa Estado de la Nación [PEN] (2017). *Estado de la nación en desarrollo humano sostenible: Armonía con la naturaleza*. San José, Costa Rica.

- Pujol, R. (2008). *Decimocuarto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Osa: Oportunidades y desafíos territoriales*. San José: Costa Rica: Programa Estado de la Nación.
- Quesada, G. (s.f.). *Tecnología de palma aceitera: Cultivo e industria de la palma aceitera (Elaeis guineensis)*.
- Retana, J. (2012). *Riesgo futuro del sector hídrico de Costa Rica ante el cambio climático*. San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional.
- Rivas Mora, L. J. (2015). *Índice de cobertura eléctrica 2015*. San José: Instituto Costarricense de Electricidad.
- Rivera, N. (s.f.). *La situación de manejo de cuencas en Costa Rica*. San José: Red Nacional de Cuencas.
- Román, M. & Angulo, E. (2013). *Panorama socioeconómico de los cantones de Osa y Golfito: tendencias y desafíos para el desarrollo sostenible*. San José, Costa Rica: INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment.
- Róman, M. & Angulo, E. (2013). *Panorama socioeconómico de los cantones de Osa y Golfito: tendencias y desafíos para el desarrollo sostenible*. San José, Costa Rica: INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment.
- Romero, M., Quintero, M. & Monserrate, F. (2016). *Elementos técnicos para la medición de huella hídrica en sistemas agrícolas*. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Rosero, L., Maldonado Ulloa, T. & Bonilla Carrión, R. (2002). Bosque y población en la península de Osa. *Biología Tropical*, 50(2), 585-598.
- Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M., Rodríguez, R., Garrido, A. & Llamas, M. (2011). *Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir*. España: Fundación Botín. Observatorio del Agua.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria [SEPSA] (2016). *Boletín Estadístico Agropecuario N°26*. San José, Costa Rica.

- Soil & Water Assessment Tool [SWAT] (2016). *The EPIC crop growth model*.
Obtenido de https://www.card.iastate.edu/swat_articles/show_details.aspx?id=319
- Municipalidad de Osa (2018). *TAMMY Osa Recicla*. Obtenido de <https://www.facebook.com/TAMMY-Osa-recicla-1116015431817661/?ti=as>
- Terán Chaves, C. A. (2015). *Determinación de la huella hídrica y modelación de la producción de biomasa de cultivos forrajeros a partir del agua en la Sabana de Bogotá (Colombia)* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica Valencia.
- Tribunal Ambiental Administrativo [TAA] (2012). *Informe de barrida ambiental Febrero-Marzo 2012*. San José: CR.
- Ulate, A., Madrigal, G., Ortega, R. & Jiménez, E. (2012). *Índice de Competitividad Cantonal Costa Rica 2006-2011*. San José: Costa Rica: Observatorio del Desarrollo de la Universidad de Costa Rica. Obtenido de <http://www.odd.ucr.ac.cr/proyectos/tendencias-del-desarrollo-costarricense/indice-de-competitividad-cantonal>
- Umaña Quesada, Á. (2013). *El Proyecto Hidroeléctrico El Diquís y el Humedal Nacional Térraba-Sierpe: Análisis de impactos potenciales y viabilidad futura*. San José: CR: INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment.
- Umaña Villalobos, G. & Springer, M. (2006). Variación ambiental en el río Grande de Térraba y algunos de sus afluentes, Pacífico Sur de Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 54, 265-272.
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC] (2005). *Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change*. Stratus Consulting Inc.
- Uniting Food, Farm and Hotel Workers World-Wide, CH. (2015). *Documento informativo*. Bogotá, Colombia: UIF.
- Universidad de Costa Rica (2018). Carreras. Obtenido de <https://www.ucr.ac.cr/>
- Universidad Nacional de Costa Rica [UNA] & Tecnológico de Costa Rica [TEC] (2015). *Tendencias, riesgos e impactos asociados al cultivo de palma*

aceitera en el Pacífico Sur, como insumo para la previsión de prácticas y políticas que promuevan una producción sustentable y segura de Costa Rica. Heredia: CONARE.

Universidad Nacional de Costa Rica [UNA] (2018). Sedes, facultades y centros.

Obtenido de: <https://www.una.ac.cr/>

Vázquez del Mercado Arribas, R. & Buenfil Rodríguez, M. (Marzo de 2012). Huella Hídrica de América Latina: Retos y oportunidades. *Aqua-LAC*, 4(1), 41-48.

Villalobos, N. (10 de noviembre de 2017). Cantón de Osa se declara zona libre de plástico. *El País*. Obtenido de <https://www.elpais.cr/2017/11/10/canton-de-osa-se-declara-zona-libre-de-plastico/>

Water Footprint Network [WFN] (2016). *Aims & history*. Obtenido de <http://waterfootprint.org/en/>

Zárate Torres, E., Fernández Poulussen, A. & Kuiper, D. (2017). *Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José: Costa Rica: IICA.

11. Apéndices

Apéndice 1. Resumen de política.

Huella hídrica, indicador para la toma de decisiones.



Vista aérea del humedal Terraba-Sierpe
Fuente: Sánchez (2014) citado por O'neal.

Estimación de la huella hídrica en tres plantaciones de palma aceitera *Elaeis guineensis* Jacq. en los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas, para el periodo 2013-2016

Resumen ejecutivo

En la Zona Sur de Costa Rica una de las principales actividades económicas que se llevan a cabo es el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). Sin embargo, su desarrollo se ha visto condicionado por retos para alcanzar un equilibrio entre los beneficios económicos e impactos ambientales en el sitio. Se calculó la huella hídrica en tres fincas del cantón de Osa con el fin de aportar un sustento técnico que evidencie la situación del recurso hídrico.

Descripción del contexto y el problema

- En Costa Rica la palma aceitera es el segundo cultivo permanente más importante, antecedido por el café.
- El cultivo se ha extendido a gran velocidad. En 30 años presentó un incremento del 294,6%, ya que en 1984 el área sembrada alcanzaba las 16 830,2 ha, y para el 2014 el INEC reportó 66 419,8 ha sembradas, de las cuales un 66,32% se ubicaban en la Región Brunca.
- La expansión no ha sido planificada, no ha incorporado principios de planificación territorial, ni principios de protección ambiental.
- Las plantaciones están alcanzando áreas de protección de gran vulnerabilidad ecosistémica, entre ellas el humedal más importante del país —Terraba-Sierpe—, mismo que representa para Costa Rica un compromiso de trascendencia internacional a través de la Convención Ramsar.
- La región presenta una realidad de desempleo y carencia de oportunidades en la que se desarrolla la población; el cultivo de palma es una de las pocas actividades que brinda ingresos a las familias locales.
- En los últimos años los productores de palma aceitera han enfrentado dificultades en cuanto al precio del producto por enfermedades y plagas en sus plantaciones. Estas han significado retos importantes para la rentabilidad y subsistencia de las mismas. Durante el 2011 se pagaban más de ₡90 000 por tonelada de coyol, pero a agosto del 2015 ese precio disminuyó a menos de ₡40 000.

“Se lucha por el desarrollo sustentable en un contexto dónde la principal actividad agrícola del área conlleva la afectación del humedal más importante del país, pero que representa una de las principales posibilidades de subsistencia de la población, que históricamente ha enfrentado un rezago recrudescido por el desempleo y la falta de oportunidades”.



Problemas de saneamiento ambiental en el distrito de Piedras Blancas, Osa.

Enero, 2016.



Plantación de palma aceitera en el cantón de Osa.

Enero, 2016.

La realidad con la que han tenido que lidiar los palmicultores en el último quinquenio se ha visto caracterizada por:

- Disminución en la remuneración por tonelada de coyol, asociada a cambios en el precio mundial del petróleo.

- Plagas y enfermedades.

- Pobreza en el cantón de Osa

Hallazgos

- La región presenta afectación en sus zonas protegidas, una problemática común documentada por el Tribunal Ambiental Administrativo según denuncias realizadas. Tales daños pueden estar asociados a la falta de regulación en el uso del suelo, que repercute negativamente en la disponibilidad y calidad de los recursos de la zona. La actividad de palma aceitera no es ajena a este comportamiento; se han invadido humedales con el propósito de dragarlos y cambiar el uso del suelo.
- La HHC determinada es una estimación propia para cada finca en los años estudiados, la cual no puede ser extrapolada a otra zona o región, ya que se ve influida por factores como el manejo del cultivo y el tipo de suelo, específico de cada sitio. Esto se evidencia en casos como el de la finca de Palmar, donde el alto uso de fertilizantes provoca que el porcentaje de la HHG sea mayor en su aporte a la HHC.
- La cantidad de fertilizante aplicado en las fincas estudiadas debería basarse en estudios técnicos de suelo. En la práctica se observó que los productores aplican la fórmula completa conforme a sus posibilidades económicas. Este modo de fertilización es ineficaz, dado que si el productor incurre en una aplicación insuficiente, se refleja en niveles bajos de producción; o si se da un segundo escenario en el que se propicia una sobredosisificación, esta no necesariamente significa una mayor productividad, sino que constituye un desperdicio de recurso para el productor y además una fuente de contaminación.
- La productividad a nivel mundial de los productos agrícolas, de acuerdo con datos de la FAO, es de $\$0,19 \text{ m}^{-3}$. Los resultados de AWP (€ m^{-3}) para las tres plantaciones muestran que existe un beneficio económico en el desarrollo de la actividad palmera partir del agua de lluvia, con un aporte mayor al promedio mundial. Esto quiere decir que se hace aprovechamiento de un recurso fácilmente disponible en una región con características de abundante precipitación. En cuanto a la ALP (€ ha^{-1}), se puede concluir que la rentabilidad se ve favorecida cuando se tiene una mayor cantidad de hectáreas; esto explicaría la tendencia a la expansión del cultivo.

Descripción del contexto y el problema

- La Municipalidad de Osa, junto a otras instituciones vinculantes como el Ministerio de Salud y Ministerio de Ambiente y Energía, deben considerar en sus esfuerzos de educación ambiental la concientización de la población respecto a los efectos de los monocultivos sobre los recursos naturales, así como las afectaciones y las consecuencias específicas en el humedal Térraba-Sierpe.
- La Municipalidad de Osa debe dar prioridad en los procesos de planificación territorial a la regulación del cultivo de palma aceitera, de modo que se controle su expansión, ya sea a través de límites del cultivo, vedas u otras medidas de control, tanto en los sitios cercanos al Humedal como en las partes altas de la región. Asimismo, urge que este proceso atienda el tema de límites de propiedades y propiedades sin escritura, para así establecer consecuencias legales al incurrir en estas situaciones.
- Las diferentes partes del sector palmero, es decir la empresa privada (Palma Tica, Coopeagropal R.L, etc.), instituciones públicas (MAG, INDER, MINAE, etc.) y otros organismos (Fecopalma), deben articular sus procesos de asesoría técnica y capacitación en materia de buenas prácticas, así como realizar una revisión de los mismos, para asegurar que sean inclusivos y se adecuen a las necesidades de los pequeños productores.
- Adicionalmente, en los procesos de asesoría técnica y capacitación en materia de buenas prácticas que se ejecuten debe considerarse el seguimiento en el tiempo que, a la vez, sean un apoyo para los palmicultores, especialmente para los más pequeños y su persistencia ante los procesos de estandarización.

Recomendaciones

Contemplar en los procesos de planificación territorial la extensión del monocultivo de palma.

Realizar proyecciones de HH considerando escenarios futuros del clima.

Elaborar un estudio de HH a nivel de cuenca.

Integrar esfuerzos de investigación y articulación de estimaciones de HH con otros estudios técnicos (sociales, económicos, entre otros).

Limitaciones y mayor investigación

- Al realizar estudios utilizando el indicador de huella hídrica en la agricultura, es importante determinar el alcance desde el nivel global, regional o local y verificar si se cuenta con información al nivel requerido, debido a que mucha información se encuentra de manera general o es inexistente. La carencia de esta información dificulta la aplicación de la metodología y provoca cierto grado de inexactitud en los resultados, por lo cual los estudios de HH generalmente consisten en estimaciones. Para nuestro estudio, la HH se muestra en forma detallada, con indicación de los datos tomados y las fuentes accesadas.
- Para mejorar la exactitud de la estimación de la HH en futuras investigaciones, es recomendable utilizar datos de estaciones aún más cercanas a cada finca; esto porque la localización del cantón de Osa (cerca de la línea costera) inevitablemente influye en los datos climáticos del sitio. También se hace necesaria la existencia de estudios técnicos, que contribuyan a generar datos para mejorar la gestión de las plantaciones.

Universidad Nacional de Costa Rica

Escuela de Ciencias Ambientales

Facultad de Ciencias de la Tierra y el
Mar

Proyecto final de graduación para optar
por el grado de Licenciatura en
Ingeniería en Gestión Ambiental

erickamora10@hotmail.com

ssantamaria23@gmail.com

solano.villalobos.r@gmail.com



Este proyecto de investigación se elaboró en colaboración con el Proyecto Interuniversitario de Palma Aceitera (PIPAL) (UNA-TEC).

2016-2019

Agradecimientos:

- M.Sc. Manfred Murrel Blanco
- M.Sc. Rocío Loría Bolaños
- M.Sc. Fabio Chaverri Fonseca
- Proyecto Interuniversitario de Palma Aceitera (PIPAL) (UNA-TEC).

Lecturas recomendadas:

- Beggs, E. & Moore, E. (2013). *El paisaje social de la producción de aceite de palma africana en la región de Osa y Golfito*. San José, Costa Rica: INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Washington D.C: Earthscan Ltd.
- Programa Estado de la Nación [PEN] (2017). *Estado de la nación en desarrollo humano sostenible: Armonía con la naturaleza*. San José, Costa Rica.
- Román, M. & Angulo, E. (2013). *Panorama socioeconómico de los cantones de Osa y Golfito: tendencias y desafíos para el desarrollo sostenible*. San José, Costa Rica: INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment.

Apéndice 2. Aspectos históricos y culturales del cantón de Osa

En tiempos coloniales este territorio estaba habitado por el grupo étnico brunca, cuyo máximo líder era el cacique Osa, de donde procede el nombre. El cantón se creó en 1914 bajo la ley N°31 del 26 de junio, con un área de 7 623 km² (aproximadamente el 15% del territorio nacional). Sólo un año después, en 1915, se construyeron las primeras dos escuelas: la Nieborowsky y la Escuela Castañeda (actual Eduardo Garnier Ugalde) en Palmar. La constitución del cantón se ha caracterizado por constantes modificaciones, a partir de su gran extensión inicial. En 1940 se acordó la separación de Buenos Aires del territorio de Osa, bajo la ley N° 185 del 29 de julio de 1940, con lo que dicha región quedó dividida en dos unidades administrativas (Arias, 2008; CCSS, 2012; Ramírez y Quesada, 1990). La decisión se toma debido a que existían dificultades administrativas respecto a la región, aunadas al considerable crecimiento de la industria bananera que había tomado las planicies costeras (Arias, 2008; Ramírez y Quesada, 1990). El 13 de agosto de este mismo año se dispone por la ley N° 227 que este sería el cantón número cinco de la provincia de Puntarenas, y simultáneamente se crea su municipalidad (Municipalidad de Osa, 2016). Posteriormente, en 1949 Osa quedó conformado por los distritos de Cortés, Palmar y Sierpe, tras independizarse lo que hoy conocemos como Golfito, Coto Brus y Corredores. Para 1991 se agregó Bahía Ballena mediante la división del distrito de Cortés. En 1995 se estableció Piedras Blancas, y finalmente, en el 2012, se crea el último de los distritos, denominado Bahía Drake (CCSS, 2012), finiquitando así la distribución administrativa actual.

Apéndice 3. Estimación de la humedad de suelo disponible para cada distrito bajo estudio.

Se utiliza la fórmula:

$$HSDT = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pr$$

HSDT = Humedad del suelo disponible total (mm m⁻¹)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente (g cm⁻³)

Pr = Profundidad radicular (mm)

Fuente: Romero, Quintero y Monserrate (2016).

- **Palmar**

$$HSDT = \frac{20,5\% - 10,9\%}{100} * 1,48 \frac{g}{cm^3} * 1100mm = 156,29 \frac{mm}{m}$$

- **Sierpe**

$$HSDT = \frac{25,9\% - 16,6\%}{100} * 1,52 \frac{g}{cm^3} * 1100mm = 155,50 \frac{mm}{m}$$

- **Piedras Blancas**

$$HSDT = \frac{24,6\% - 12,6\%}{100} * 1,46 \frac{g}{cm^3} * 1100mm = 192,72 \frac{mm}{m}$$

Apéndice 4. Cambio de unidades de la tasa máxima de infiltración

- **Palmar**

$$= 1,33 \frac{cm}{h} * \frac{10 mm}{1cm} * \frac{24 hr}{1 d} = 319,20 \frac{mm}{d}$$

- **Sierpe**

$$= 0,40 \frac{cm}{h} * \frac{10 mm}{1cm} * \frac{24 hr}{1 d} = 96,00 \frac{mm}{d}$$

- **Piedras Blancas**

$$= 0,97 \frac{cm}{h} * \frac{10 mm}{1cm} * \frac{24 hr}{1 d} = 232,80 \frac{mm}{d}$$

Apéndice 5. Rendimiento de cultivo en Palmar Sur, para los años 2015-2016

Rendimiento mensual (t ha⁻¹)		
Mes	2015	2016
Enero	1,05	0,73
Febrero	1,23	1,55
Marzo	1,23	1,34
Abril	1,23	0,73
Mayo	1,23	1,57
Junio	1,23	1,57
Julio	0,49	2,62
Agosto	1,70	1,73
Setiembre	1,42	2,62
Octubre	1,84	1,78
Noviembre	1,37	1,42
Diciembre	0,77	1,23

Apéndice 6. Rendimiento de cultivo en Sierpe, para los años 2013-2016

Rendimiento mensual (t ha⁻¹)				
Mes	2013	2014	2015	2016
Enero	0,95	1,14	1,22	2,15
Febrero	1,48	1,69	2,12	1,53
Marzo	1,60	1,38	2,12	2,90
Abril	1,32	1,29	2,15	2,47
Mayo	1,43	1,29	2,35	2,22
Junio	1,62	1,92	0,24	2,82
Julio	1,22	1,60	2,62	2,54
Agosto	1,20	1,83	2,92	2,13
Setiembre	1,48	1,60	2,05	1,36
Octubre	1,03	1,53	1,71	1,15
Noviembre	1,25	1,43	1,53	1,13
Diciembre	0,91	1,38	1,29	0,94

Apéndice 7. Rendimiento de cultivo en Piedras Blancas, para el año 2016

Rendimiento mensual (t ha ⁻¹)	
Mes	2016
Enero	0,85
Febrero	1,50
Marzo	1,05
Abril	1,26
Mayo	1,15
Junio	1,26
Julio	1,44
Agosto	2,03
Setiembre	1,21
Octubre	1,16
Noviembre	1,05
Diciembre	1,21

Apéndice 8. Rendimiento promedio nacional para palma aceitera (2013-2015)

Finca	2013	2014	2015
Producción anual (t métricas)	1 303 960,00	884 406,00	816 000,00
Área sembrada (ha)	74 512,00	77 750,00	69 426,00
Rendimiento (t ha ⁻¹)	17,50	11,37	11,75

Fuente: Elaboración propia a partir de SEPSA (2016), 2018.

Apéndice 9. Estimación de la HHV

$$ET_{Verde} = \min (\text{Requerimiento hídrico del cultivo}, \text{Precipitación efectiva}) + \text{Déficit}$$

$$HH_{verde} = \frac{CWU_{verde}}{Rc}$$

CWU_{Verde} = Componente verde del uso de agua del cultivo (m³ ha⁻¹)

Rc = Rendimiento del cultivo (t ha⁻¹)

- Palmar
 - 2013

$$ET_{Verde} = 73,2 \text{ mm} + 89,4 \text{ mm} = 162,6 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 162,6 \text{ mm} * 10 = 1 626,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{1 626,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{17,50 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 92,91 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2014

$$ET_{Verde} = 80,8 \text{ mm} + 83,3 \text{ mm} = 164,1 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 164,1 \text{ mm} * 10 = 1\,641,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{1\,641,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{11,37 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 144,26 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2015

$$ET_{Verde} = 76,3 \text{ mm} + 89,1 \text{ mm} = 165,4 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 165,4 \text{ mm} * 10 = 1\,654,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{1\,654,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{14,82 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 111,63 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2016

$$ET_{Verde} = 103,4 \text{ mm} + 111,7 \text{ mm} = 215,1 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 215,1 \text{ mm} * 10 = 2\,151,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{2\,151,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{18,89 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 113,86 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

▪ Sierpe

- 2013

$$ET_{Verde} = 75,5 \text{ mm} + 89,3 \text{ mm} = 164,8 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 164,8 \text{ mm} * 10 = 1\,648,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{1\,648,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{15,51 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 106,28 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2014

$$ET_{Verde} = 77,8 \text{ mm} + 102,6 \text{ mm} = 180,4 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 180,40 \text{ mm} * 10 = 1\,804,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{1\,804,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{18,07 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 99,84 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2015

$$ET_{Verde} = 80,0 \text{ mm} + 89,1 \text{ mm} = 169,1 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 169,1 \text{ mm} * 10 = 1\,691,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{1\,691,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{21,02 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 80,43 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2016

$$ET_{Verde} = 94,6 \text{ mm} + 27,4 \text{ mm} = 122,0 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 122,0 \text{ mm} * 10 = 1\,220,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{1\,220,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{23,34 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 52,26 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

▪ Piedras Blancas

- 2013

$$ET_{Verde} = 127,5 \text{ mm} + 129,1 \text{ mm} = 256,6 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 256,6 \text{ mm} * 10 = 2\,566,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{2\,566,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{17,50 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 146,63 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2014

$$ET_{Verde} = 147,0 \text{ mm} + 127,9 \text{ mm} = 274,9 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 274,9 \text{ mm} * 10 = 2\,749,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{2\,749,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{11,37 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 241,67 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2015

$$ET_{Verde} = 127,5 \text{ mm} + 75,9 \text{ mm} = 203,4 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 203,4 \text{ mm} * 10 = 2\,034,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{2\,034,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{11,75 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 173,05 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- 2016

$$ET_{Verde} = 160,0 \text{ mm} + 96,9 \text{ mm} = 256,9 \text{ mm}$$

$$ET_{Verde} = 256,9 \text{ mm} * 10 = 2\,569,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$HH_{verde} = \frac{2\,569,00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{15,16 \text{ t ha}^{-1}}$$

$$HH_{verde} = 169,52 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

Apéndice 10. Porcentaje por componente específico de cada agroquímico

Porcentaje por componente		
Fórmula completa	Palmar (FC1)	
	(NH ₄)(NO ₃)	10,0%
	P ₂ O ₅	15,0%
	Palmar (FC2)	
	(NH ₄)(NO ₃)	12,0%
	P ₂ O ₅	10,0%
	Sierpe	
	(NH ₄)(NO ₃)	15,0%
	P ₂ O ₅	10,0%
	Piedras Blancas	
	(NH ₄)(NO ₃)	24,0%
	P ₂ O ₅	11,0%
Dicloruro de paraquat	20,0%	
Glifosato	35,6%	

Apéndice 11. Cálculos previos para la estimación de la HHG

Se utilizó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de cada componente específico.

$$\frac{\text{Dosis total aplicada de agroquímico}}{100\%} = \frac{\text{Dosis aplicada por componente específico}}{\text{Porcentaje por componente específico}}$$

$$\text{Dosis aplicada por componente específico} = \frac{\text{Dosis total aplicada de agroquímico} \times \text{Porcentaje por componente específico}}{100\%}$$

Se obtuvieron los resultados aportados a continuación para la dosis aplicada por componente específico en unidades de kg ha⁻¹.

Componente específico	Palmar	Sierpe	Piedras Blancas	
FC 1	(NH ₄)(NO ₃)	0,568	0,511	0,348
	P ₂ O ₅	0,852	0,341	0,145
FC 2	(NH ₄)(NO ₃)	0,682	-	-
	P ₂ O ₅	0,568	-	-
Dicloruro de paraquat	0,015	-	0,007	
Glifosato	0,042	0,001	0,003	

Posteriormente se utilizaron las siguientes fórmulas para la obtención de aporte de nitrato total y fosfatos por cada componente específico.

Componente	Fórmula
(NH ₄)(NO ₃)	$kg\ ha^{-1}\ (NH_4)(NO_3) \times \frac{1\ mol\ (NH_4)(NO_3)}{Peso\ molecular\ (NH_4)(NO_3)} \times \frac{2\ mol\ N}{1\ mol\ (NH_4)(NO_3)} \times \frac{Peso\ molecular\ N}{1\ mol\ N} = kg\ ha^{-1}\ N_{total}$
P ₂ O ₅	$kg\ ha^{-1}\ P_2O_5 \times \frac{1\ mol\ P_2O_5}{Peso\ molecular\ P_2O_5} \times \frac{2\ mol\ P}{1\ mol\ P_2O_5} \times \frac{1\ mol\ PO_4^{3-}}{1\ mol\ P} \times \frac{Peso\ Molecular\ PO_4^{3-}}{1\ mol\ PO_4^{3-}} = kg\ ha^{-1}\ PO_4^{3-}$
C ₁₂ H ₁₄ Cl ₂ N ₂	$kg\ ha^{-1}\ C_{12}H_{14}Cl_2N_2 \times \frac{1\ mol\ C_{12}H_{14}Cl_2N_2}{Peso\ molecular\ C_{12}H_{14}Cl_2N_2} \times \frac{2\ mol\ N}{1\ mol\ C_{12}H_{14}Cl_2N_2} \times \frac{Peso\ molecular\ N}{1\ mol\ N} = kg\ ha^{-1}\ N_{total}$
C ₃ H ₈ N ₁ O ₅ P ₁	$kg\ ha^{-1}\ C_3H_8N_1O_5P_1 \times \frac{1\ mol\ C_3H_8N_1O_5P_1}{Peso\ molecular\ C_3H_8N_1O_5P_1} \times \frac{1\ mol\ N}{1\ mol\ C_3H_8N_1O_5P_1} \times \frac{Peso\ molecular\ N}{1\ mol\ N} = kg\ ha^{-1}\ N_{total}$
	$kg\ ha^{-1}\ C_3H_8N_1O_5P_1 \times \frac{1\ mol\ C_3H_8N_1O_5P_1}{Peso\ molecular\ C_3H_8N_1O_5P_1} \times \frac{1\ mol\ P}{1\ mol\ C_3H_8N_1O_5P_1} \times \frac{1\ mol\ PO_4^{3-}}{1\ mol\ P} \times \frac{Peso\ Molecular\ PO_4^{3-}}{1\ mol\ PO_4^{3-}} = kg\ ha^{-1}\ N_{total}$

A partir de las ecuaciones anteriores se obtuvieron los siguientes resultados en unidades de kg ha⁻¹ para nitrógeno total.

Componente	Palmar	Sierpe	Piedras Blancas
(NH ₄)(NO ₃)	0,437	0,179	0,122
C ₁₂ H ₁₄ Cl ₂ N ₂	0,002	-	0,001
C ₃ H ₈ N ₁ O ₅ P ₁	0,003	0,000	0,000
Nitrógeno total	0,442	0,179	0,123

Y los siguientes para fosfatos.

Componente	Palmar	Sierpe	Piedras Blancas
P ₂ O ₅	3,439	0,825	0,351
C ₃ H ₈ N ₁ O ₅ P ₁	0,042	0,001	0,003
Fosfatos	3,482	0,826	0,354

Apéndice 12. Cálculo de la HHG

- Palmar

$$HH_{G\ NTtotal} = \frac{(0,1 * 0,442 \text{ kg ha}^{-1}) / (0,000050 \text{ kg m}^{-3} - 0 \text{ kg m}^{-3})}{15,74 \text{ t ha}^{-1}} = 56,213 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

$$HH_{G\ Fosfatos} = \frac{(0,03 * 3,482 \text{ kg ha}^{-1}) / (0,000025 \text{ kg m}^{-3} - 0 \text{ kg m}^{-3})}{15,74 \text{ t ha}^{-1}} = 265,420 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- Sierpe

$$HH_{G\ NTtotal} = \frac{(0,1 * 0,179 \text{ kg ha}^{-1}) / (0,000050 \text{ kg m}^{-3} - 0 \text{ kg m}^{-3})}{19,49 \text{ t ha}^{-1}} = 18,369 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

$$HH_{G\ Fosfatos} = \frac{(0,03 * 0,826 \text{ kg ha}^{-1}) / (0,000025 \text{ kg m}^{-3} - 0 \text{ kg m}^{-3})}{19,49 \text{ t ha}^{-1}} = 50,877 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

- Piedras Blancas

$$HH_{G\ NTtotal} = \frac{(0,1 * 0,123 \text{ kg ha}^{-1}) / (0,000050 \text{ kg m}^{-3} - 0 \text{ kg m}^{-3})}{13,95 \text{ t ha}^{-1}} = 17,618 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

$$HH_{G\ Fosfatos} = \frac{(0,03 * 0,354 \text{ kg ha}^{-1}) / (0,000025 \text{ kg m}^{-3} - 0 \text{ kg m}^{-3})}{13,95 \text{ t ha}^{-1}} = 30,483 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$$

Apéndice 13. Precio de la palma por mes según promedio del aceite crudo de palma C.I.F. Rotterdam

Mes	2013	2014	2015	2016
	Tm Colones	Tm Colones	Tm Colones	Tm Colones
Enero	52 719,45	55 243,45	46 973,09	39 914,40
Febrero	53 923,77	61 502,74	47 041,21	44 204,33
Marzo	53 140,41	64 748,95	45 899,58	46 977,87
Abril	52 490,32	61 955,01	45 214,86	49 317,97
Mayo	52 858,27	61 401,74	45 189,62	48 394,96
Junio	53 528,14	58 054,10	45 980,19	47 846,12
Julio	51 961,64	56 587,81	43 796,07	46 083,87
Agosto	51 945,73	51 992,57	38 667,18	51 519,48
Setiembre	51 317,74	48 708,84	37 978,28	52 787,01
Octubre	53 541,79	49 542,92	40 636,59	-
Noviembre	56 933,19	49 670,10	39 002,16	-
Diciembre	56 699,44	47 706,30	40 046,94	-
Promedio anual	53 421,66	55 592,88	43 035,48	47 449,56

Fuente: Elaboración propia utilizando datos de CANAPALMA, 2018.

Apéndice 14. Cálculos de la HHE

Productividad aparente de la tierra

- Palmar
 - 2013

$$ALP = 53421,66 \text{ ¢ } t^{-1} \times 17,50 \text{ t } ha^{-1} = 934879,05 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2014

$$ALP = 55592,88 \text{ ¢ } t^{-1} \times 11,37 \text{ t } ha^{-1} = 632091,05 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2015

$$ALP = 43035,48 \text{ ¢ } t^{-1} \times 14,82 \text{ t } ha^{-1} = 637785,81 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2016

$$ALP = 47449,56 \text{ ¢ } t^{-1} \times 18,89 \text{ t } ha^{-1} = 896322,19 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
- Sierpe
 - 2013

$$ALP = 53421,66 \text{ ¢ } t^{-1} \times 15,51 \text{ t } ha^{-1} = 828569,95 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2014

$$ALP = 55592,88 \text{ ¢ } t^{-1} \times 18,07 \text{ t } ha^{-1} = 1004563,34 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2015

$$ALP = 43035,48 \text{ ¢ } t^{-1} \times 21,02 \text{ t } ha^{-1} = 904605,79 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2016

$$ALP = 47449,56 \text{ ¢ } t^{-1} \times 23,34 \text{ ton } ha^{-1} = 1107472,73 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
- Piedras Blancas
 - 2013

$$ALP = 53421,66 \text{ ¢ } t^{-1} \times 17,50 \text{ t } ha^{-1} = 934879,05 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2014

$$ALP = 55592,88 \text{ ¢ } t^{-1} \times 11,37 \text{ t } ha^{-1} = 632091,05 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2015

$$ALP = 43035,48 \text{ ¢ } t^{-1} \times 11,75 \text{ t } ha^{-1} = 505666,89 \text{ ¢ } ha^{-1}$$
 - 2016

$$ALP = 47449,56 \text{ ¢ } t^{-1} \times 15,16 \text{ t } ha^{-1} = 719335,33 \text{ ¢ } ha^{-1}$$

Productividad aparente del agua verde

- Palmar

- 2013

$$AWP = \frac{53421,66 \text{ € } t^{-1}}{92,91 \text{ m}^3 t^{-1}} = 574,96 \text{ € } m^{-3}$$

- 2014

$$AWP = \frac{55592,88 \text{ € } t^{-1}}{144,26 \text{ m}^3 t^{-1}} = 385,36 \text{ € } m^{-3}$$

- 2015

$$AWP = \frac{43035,48 \text{ € } t^{-1}}{111,63 \text{ m}^3 t^{-1}} = 385,53 \text{ € } m^{-3}$$

- 2016

$$AWP = \frac{47449,56 \text{ € } t^{-1}}{113,86 \text{ m}^3 t^{-1}} = 416,75 \text{ € } m^{-3}$$

- Sierpe

- 2013

$$AWP = \frac{53421,66 \text{ € } t^{-1}}{106,28 \text{ m}^3 t^{-1}} = 502,63 \text{ € } m^{-3}$$

- 2014

$$AWP = \frac{55592,88 \text{ € } ton^{-1}}{99,84 \text{ m}^3 ton^{-1}} = 556,81 \text{ € } m^{-3}$$

- 2015

$$AWP = \frac{43035,48 \text{ € } t^{-1}}{80,43 \text{ m}^3 t^{-1}} = 535,06 \text{ € } m^{-3}$$

- 2016

$$AWP = \frac{47449,56 \text{ € } t^{-1}}{52,26 \text{ m}^3 t^{-1}} = 907,89 \text{ € } m^{-3}$$

- Piedras Blancas

- 2013

$$AWP = \frac{53421,66 \text{ € } t^{-1}}{146,62 \text{ m}^3 t^{-1}} = 364,33 \text{ € } m^{-3}$$

- 2014

$$AWP = \frac{55592,88 \text{ € t}^{-1}}{241,67 \text{ m}^3\text{t}^{-1}} = 230,03 \text{ € m}^{-3}$$

- 2015

$$AWP = \frac{43035,48 \text{ € t}^{-1}}{173,05 \text{ m}^3\text{t}^{-1}} = 248,68 \text{ € m}^{-3}$$

- 2016

$$AWP = \frac{47449,56 \text{ € t}^{-1}}{169,51 \text{ m}^3\text{t}^{-1}} = 279,91 \text{ € m}^{-3}$$

Apéndice 15. Huella hídrica clásica

	Palmar (m ³ t ⁻¹)	Sierpe (m ³ t ⁻¹)	Piedras Blancas (m ³ t ⁻¹)
HHV	115,67	84,70	182,72
HHG	265,42	50,88	30,48
HH total	381,09	135,58	213,20

Nota: Se decidió calcular la huella hídrica clásica para cumplir con la metodología propuesta en el apartado 5.2.2.1. Con ese fin se calculó el promedio de la huella hídrica del periodo bajo estudio.

12. Anexos

Anexo 1. Grupo ocupacional que emplea a la población mayor de 15 años para el año 2011

Actividad	Porcentaje de la población
Ocupaciones elementales	38,11%
Venta en locales y servicios directos	20,42%
Agropecuario y pesca calificada	11,03%
Producción artesanal; otros oficios calificados	8,93%
Nivel profesional y científico	7,84%
Nivel técnico profesional medio	6,57%
Operación de maquinaria y ensamblaje	5,15%
Apoyo administrativo	3,95%
Nivel directivo público y privado	0,68%

Fuente: Adaptado de Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2012).

Anexo 2. Datos del IPS relacionados a educación en el cantón.*

Aspecto	Osa (%)	Promedio nacional (%)
Analfabetismo en adultos	4,70	2,88
Asistencia en edades de 13 a 17 años a centros de estudio	71,00	75,49
Asistencia en edades de los 5 a 12 años a centros de estudio	89,76	91,73
Población con educación superior	11,82	20,06
Población con educación técnica	3,52	5,57
Rezago escolar o cantidad de alumnos de primaria y secundaria que no están en su año correspondiente	28,9	23,14

Nota: *Índice de Progreso Social. Fuente: Adaptado de *Costa Rica Propone* (s.f.).

Anexo 3. Factores de riesgo, fuentes generadoras y posibles consecuencias en el cultivo de palma aceitera

Factor de riesgo	Fuente generadora	Posible consecuencia en la salud
Ruido y vibraciones	Bombas usadas para la aplicación de plaguicidas, tractores y motosierras	<ul style="list-style-type: none"> · Disminución de la capacidad auditiva · Efectos psicológicos, en el sueño y la atención.
Condiciones termohigrométricas	Condiciones climáticas (temperatura, humedad y ventilación)	<ul style="list-style-type: none"> · Aumento en la temperatura corporal · Dolor de cabeza · Insolación · Quemaduras en la piel
Riesgos químicos	Agroquímicos	<ul style="list-style-type: none"> · Problemas respiratorios · Intoxicaciones · Quemaduras

Factor de riesgo	Fuente generadora	Posible consecuencia en la salud
		· Muerte
Riesgos biológicos	Gusanos, hormigas, avispas, serpientes, roedores, animales domésticos y plantas	· Alergias · Picaduras · Mordeduras · Lesiones de la piel · Zoonosis
Riesgos asociados a la topografía del terreno	Topografía irregular del terreno, zanjas, canales, fosas, hoyos y drenajes	· Resbalones · Golpes · Caídas · Fatiga
Derivados del ambiente y ecosistema	Trabajar en condiciones lluviosas o en terrenos suamposos	· Lesiones de piel · Caídas · Golpes
Riesgos mecánicos	Herramientas manuales (pala, espeque, cuchillo), maquinaria agrícola (tractores con carreta) y motosierra	· Heridas · Golpes · Amputaciones
Riesgos asociados al transporte	Medios de transporte (camiones, autos, tractores, motocicletas, bicicletas). Camiones en malas condiciones	· Choques · Vuelcos · Atropellos
Exigencias derivadas de la actividad física	Posturas forzadas o incómodas, desplazamientos, levantamiento o transporte de carga	· Trastornos músculo-esqueléticos · Fatiga física · Lesiones por esfuerzos repetitivos

Fuente: OIT (2004).

Anexo 4. Datos del IPS respecto a la cobertura de agua potable en el cantón

Rubro evaluado	Porcentaje (%)	Puesto dentro de los 81 cantones de Costa Rica¹
Cobertura de población con agua intradomiciliar	83,2	5
Cobertura con agua de calidad potable	60,0	9
Cobertura de agua sometida a cloración	62,0	14
Cobertura que recibe agua con control de calidad	53,4	27

¹ Los porcentajes obtenidos para cada cantón fueron ordenados de menor a mayor en el estudio, de manera que en los puestos los números más bajos corresponden a los porcentajes más críticos. Fuente: Adaptado de Mora y Portugués (2012).

Anexo 5. Uso de suelo en el área de estudio



Fuente: O'neal (2017).

Anexo 6. Datos climáticos promedio de la estación Palmar Sur brindados por el Instituto Meteorológico Nacional

Mes	Temperatura mínima (°C)			
	2013	2014	2015	2016
Enero	22,69	22,20	21,92	23,52
Febrero	22,33	22,14	22,32	23,07
Marzo	23,28	22,77	22,55	24,15
Abril	23,45	22,78	23,20	23,98
Mayo	23,11	22,78	23,45	24,05
Junio	23,39	23,61	23,82	23,13
Julio	22,98	23,64	23,44	23,23
Agosto	22,85	22,64	23,47	23,22
Setiembre	22,78	22,63	23,10	23,03
Octubre	22,86	22,71	23,02	22,98
Noviembre	22,71	22,70	23,01	23,21
Diciembre	22,41	22,79	23,61	22,80

Temperatura máxima (°C)				
Mes	2013	2014	2015	2016
Enero	34,74	34,62	34,31	34,95
Febrero	36,00	35,71	34,77	35,68
Marzo	36,24	35,88	35,99	36,79
Abril	36,08	34,45	35,98	35,34
Mayo	34,98	34,45	34,66	34,41
Junio	34,26	34,82	34,93	33,55
Julio	34,05	35,17	34,26	32,30
Agosto	34,15	34,45	34,46	33,17
Setiembre	33,54	34,00	34,38	32,82
Octubre	33,38	33,43	34,17	31,71
Noviembre	32,80	32,94	32,96	29,83
Diciembre	33,63	33,50	34,26	30,82

Precipitación (mm)				
Mes	2013	2014	2015	2016
Enero	0,43	0,72	0,76	1,51
Febrero	0,65	2,03	1,63	0,00
Marzo	1,80	0,61	1,50	1,69
Abril	3,36	6,82	3,60	0,46
Mayo	9,65	6,82	8,39	10,02
Junio	7,63	7,71	10,61	13,65
Julio	10,95	5,92	5,00	7,72
Agosto	13,19	8,44	7,64	12,42
Setiembre	8,85	13,37	14,07	16,45
Octubre	10,61	18,46	15,07	15,27
Noviembre	9,36	8,37	15,15	15,63
Diciembre	0,75	2,55	1,86	12,13

Anexo 7. Datos climáticos promedio de la estación Río Claro brindados por el Instituto Meteorológico Nacional

Temperatura mínima (°C)				
Mes	2013	2014	2015	2016
Enero	21,71	21,45	20,93	22,45
Febrero	21,55	21,30	21,43	21,66
Marzo	22,35	21,89	21,54	23,14
Abril	22,59	22,46	22,28	23,00
Mayo	22,14	22,17	22,57	23,04
Junio	22,61	22,55	22,93	22,25
Julio	22,04	22,76	22,56	22,18
Agosto	22,17	21,91	22,62	22,27
Setiembre	21,99	22,07	22,38	21,96
Octubre	22,13	21,99	22,11	22,07
Noviembre	21,83	21,91	22,17	22,34
Diciembre	21,51	21,97	22,65	21,85

Temperatura máxima (°C)				
Mes	2013	2014	2015	2016
Enero	33,15	32,97	32,64	33,78
Febrero	33,77	33,52	32,84	34,50
Marzo	33,92	33,65	33,60	34,69
Abril	33,44	33,37	33,74	33,69
Mayo	32,03	32,74	33,18	33,08
Junio	31,61	32,57	33,02	32,49
Julio	31,80	32,71	32,55	31,76
Agosto	31,54	31,99	32,88	32,04
Setiembre	31,68	31,71	32,98	32,06
Octubre	31,54	31,38	32,80	30,85
Noviembre	31,37	31,43	32,15	29,22
Diciembre	31,94	31,72	33,56	30,71

Precipitación (mm)				
Mes	2013	2014	2015	2016
Enero	0,87	7,61	1,65	3,71
Febrero	1,91	2,82	3,52	1,52
Marzo	4,22	7,82	4,94	1,36
Abril	11,42	3,97	4,52	8,99
Mayo	15,97	22,32	9,67	19,59
Junio	13,74	21,70	15,64	13,55
Julio	16,38	6,10	14,18	14,46
Agosto	14,31	15,71	8,03	22,51
Setiembre	18,68	22,30	17,22	17,92
Octubre	18,51	22,83	22,22	20,28
Noviembre	11,48	12,81	19,68	25,35
Diciembre	3,34	5,27	8,05	15,93