

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS CON ENFASIS EN
ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Tesis

Efecto del cambio climático y variabilidad climática en la distribución de áreas aptas para la producción de arroz en secano para Costa Rica.

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento Territorial.

Luis Eduardo Quesada Hernández

Heredia, Costa Rica

2017

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento Territorial.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Decano Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

M.Sc. Lilliam Quirós Arias

Directora de la Escuela de Ciencias Geográficas

M.Sc Ligia Hernando Echeverría

Catedrática Universidad Nacional

Tutora de la tesis

Ing. Jose Alberto Retana Barrantes

Instituto Meteorológico Nacional

Lector

M.Sc Irina Katchan

Observatorio Climatológico, Centro Nacional de Alta Tecnología

Lectora

A mi madre y mis hermanos

Resumen

En el presente trabajo se analiza el efecto que tiene la variabilidad climática en la producción y el efecto que provoca el cambio climático en el cultivo de arroz en Costa Rica, específicamente en la distribución de áreas aptas para la siembra del mismo. Para ello se analiza el impacto que tiene el fenómeno del Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la producción de arroz en distintas regiones del país, así mismo, se propone una zonificación en la que se analiza la aptitud de distintas regiones para la producción arrocerera, además se incluye un escenario de cambio climático generado por el Instituto Meteorológico Nacional con el fin de reconocer el cambio de la distribución espacial de las áreas aptas para la producción arrocerera.

El arroz es un grano básico que es consumido por un importante porcentaje de la población costarricense, y genera ingresos a miles de productores que se distribuyen a lo largo del país.

La mayor parte del arroz en Costa Rica se produce en secano, esto significa que los requerimientos hídricos del cultivo dependen del agua de lluvia. Por esta razón es indudable el efecto que tiene la variabilidad climática en la agricultura de este grano básico. Por ejemplo el efecto del fenómeno ENOS en Costa Rica, se asocia con fuertes sequías principalmente en la vertiente del Pacífico de Costa Rica, provocando una gran cantidad de pérdidas en la producción y por ende daños económicos a los productores, de los cuales cientos son pequeños y medianos, cuyos ingresos dependen en gran parte de la actividad arrocerera (Bonilla, 2014).

Por lo anterior, generar mecanismos de planificación que tengan en cuenta la variable climática e identifiquen cuales son las zonas donde existe una mayor aptitud desde este enfoque, se hace de suma importancia, dado a que ésta tiene la capacidad de influir de gran forma en la producción del arroz.

Agradecimientos

Quisiera iniciar agradeciendo a mi tutora Ligia Hernando Echeverría por todo su tiempo, dedicación, buenos consejos y luchas libradas para que yo pudiera concluir esta tesis. Le estaré eternamente agradecido.

A mis lectores José Alberto Retana e Irina Katchan gracias por sus consejos y tiempo, sé que ambos son personas con muchas responsabilidades laborales por lo que aprecio de sobremanera dedicaran su tiempo para leer mi trabajo.

Al Instituto Meteorológico Nacional por haberme dado una nueva oportunidad para desarrollar esta tesis, así como facilitar los datos necesarios para concluirla.

A la Corporación Arrocera Nacional por todo el interés y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A mis colegas Estefanía, Leiver, Henry y Alberto por escucharme, apoyarme y animarme.

Índice

| | |
|--|----|
| Capítulo I. Introducción | |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 5 |
| 1.2 Justificación del problema de investigación | 9 |
| 1.3 Importancia | 11 |
| 1.4 Fundamentación..... | 12 |
| 1.5 Contexto..... | 14 |
| 1.6 Caracterización | 15 |
| 1.7 Localización espacial y temporal..... | 16 |
| 1.8 Ámbito de acción | 16 |
| Objetivos..... | 18 |
| Objetivo General..... | 18 |
| Objetivos Específicos: | 18 |
| Capítulo II. Marco Teórico:..... | 19 |
| 2.1 Planificación | 19 |
| 2.2 Planificación Agraria en Costa Rica y Metodologías para hacerla..... | 19 |
| 2.3 Zonificación como herramienta para la planificación y el ordenamiento territorial .. | 21 |
| 2.4 Cambio Climático y la necesidad de planificar | 24 |
| 2.5 Mitigación o Adaptación al Cambio Climático | 26 |
| Capitulo III. Metodología..... | 28 |
| 3.1 Tipo de Investigación..... | 28 |
| 3.3 Fuentes de información..... | 31 |
| 3.4 Variables que se utilizan | 32 |
| 3.5 Operacionalización de variables | 33 |
| 3.6 Técnicas | 37 |
| 3.6.1 Análisis histórico de la producción de arroz | 37 |
| 3.6.2 Identificación de áreas aptas para la producción de arroz..... | 37 |
| 3.6.3 Zonificación utilizando escenarios de cambio climático | 40 |
| Capítulo IV. Resultados..... | 44 |
| 4.1 Variabilidad climática e impacto en la producción arrocerá | 44 |

| | |
|--|----|
| 4.2 Zonificación de áreas aptas para la producción de arroz en Costa Rica..... | 54 |
| 4.3 Posible efecto del cambio climático en la distribución de áreas aptas para la producción | 68 |
| V Discusión de resultados | 81 |
| 5.1 Efecto del ENOS en la producción de arroz en Costa Rica..... | 81 |
| 5.2 ¿Se ha cultivado arroz en las regiones adecuadas?..... | 81 |
| 5.3 ¿Cuales zonas son las más apropiadas para la actividad arrocera?..... | 82 |
| VI. Recomendaciones..... | 86 |
| VI Conclusiones | 87 |
| Bibliografía..... | 89 |
| VII Anexos | 96 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Pérdidas globales por actividad económica, atribuidas al impacto de eventos extremos 1998-2006 | 9 |
| Tabla 2: Requerimientos agroecológicos según el MAG, Costa Rica | 29 |
| Tabla 3: Requerimientos según estudio realizado en Colombia..... | 30 |
| Tabla 4: Requerimientos utilizados para generar la zonificación de áreas aptas para la producción de arroz. | 31 |
| Tabla 5: Operacionalización de variables del objetivo 1..... | 34 |
| Tabla 6: Operacionalización del objetivo 2..... | 35 |
| Tabla 7: Operacionalización del objetivo 3..... | 36 |
| Tabla 8: Categorización de áreas según su idoneidad para la producción de arroz | 38 |
| Tabla 9: Categorización de áreas según su idoneidad para la producción de arroz según los niveles de precipitación | 39 |
| Tabla 10: Niveles de aptitud utilizados para generar la zonificación para la producción de arroz en Costa Rica..... | 40 |
| Tabla 11: Producción promedio en toneladas para el periodo 1980-2006 y el efecto del ENOS en ella para algunos cantones de la región Chorotega | 47 |
| Tabla 12: Producción promedio en toneladas para el periodo 1980-2006 y el efecto del ENOS en ella para algunos cantones de la región Pacífico Central | 49 |

Tabla 13: Producción promedio en toneladas para el periodo 1980-2006 y el efecto del ENOS en ella para algunos cantones la región Brunca 51

Tabla 14: Producción promedio en toneladas para el periodo 1980-2006 y el efecto del ENOS en ella para algunos sitios la región Huetar Norte 53

Índice de gráficos:

Gráfico 1: Anomalías de Producción asociadas al efecto del fenómeno del ENOS 8

Gráfico 2: Producción arroceras en Costa Rica para el periodo 1980 al 2006 44

Gráfico 3: Producción de arroz vs anomalía de temperatura superficial del mar en la región 3.4 de El Niño para el periodo 1980-2006..... 45

Gráfico 4: Producción anual en toneladas para algunos cantones de la región Chorotega en el periodo 1980-2006..... 46

Gráfico 5: Producción de arroz en toneladas para algunos cantones de la región Pacífico Central en el periodo 1980-2006. 48

Gráfico 6: Producción de arroz en toneladas para algunos cantones de la región Brunca en el periodo 1980-2006..... 50

Gráfico 7: Producción de arroz en toneladas para Upala y Pocosol en la región Huetar Norte en el periodo 1980-2006..... 52

Índice de Figuras

Figura 1: Escenario de precipitación para el periodo del 2071-2100..... 41

Figura 2: Escenario de temperatura para el periodo 2071-2100..... 42

Figura 3: Zonificación de áreas aptas para la producción de arroz en la actualidad..... 55

Figura 4: Zonificación actual para la producción de arroz en la región Chorotega..... 56

Figura 5: Zonificación actual para la producción de arroz en la región Pacífico Central..... 59

Figura 6: Zonificación actual para la producción de arroz en la región Brunca..... 62

Figura 7: Zonificación actual para la producción de arroz en la región Huetar Atlántica..... 65

| | |
|--|----|
| Figura 8: Zonificación actual para la producción de arroz en la región Huetar Norte..... | 67 |
| Figura 9: Zonificación de áreas aptas para la producción para el año 2080..... | 69 |
| Figura 10: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 en la región Chorotega..... | 71 |
| Figura 11: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 en la región Pacífico Central..... | 73 |
| Figura 12: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 en la región Brunca..... | 75 |
| Figura 13: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 en la región Huetar Atlántica..... | 77 |
| Figura 14: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 en la región Huetar Norte..... | 79 |
| Figura 15: Áreas que en la actualidad y para el 2080 mantienen una aptitud alta o muy alta..... | 84 |

Capítulo 1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

La agricultura a nivel mundial ha enfrentado una serie de problemas asociados a la variabilidad climática y eventos hidrometeorológicos extremos, sus impactos ponen en riesgo todo el sistema agrícola y la seguridad alimentaria de pueblos enteros. El ser humano se ha tenido que adaptar a estas condiciones climáticas cambiantes que han puesto a prueba los sistemas de producción. Estos procesos de adaptación no son nuevos, la historia de las civilizaciones evidencian estas acciones. Por ejemplo, en las civilizaciones antiguas se crearon grandes sistemas de regadíos e idearon diferentes formas para mejorar la producción; a partir de variedades que se ajustaron mejor a ciertos tipos de climas. Actualmente mediante laboratorios especializados se optimizan genéticamente las semillas, lo que permite generar cultivos más resistentes a la falta de agua e incluso el efecto de alguna plaga que pueda poner en riesgo toda la producción agrícola (CEPAL, 2011).

Pese al desarrollo que ha tenido la agricultura gracias a la mejora en tecnologías y mecanismos para sembrar y cosechar, la civilización moderna debe de enfrentar un nuevo reto asociado a los elementos climáticos, mismas que están sufriendo un cambio muy acelerado a causa de la contaminación que generan las actividades socio-económicas, en particular la acumulación gases de efecto invernadero (GEI), situación que impide la salida de la radiación acumulada por la tierra, provocando un desequilibrio que se ve representado por un aumento en la temperatura del planeta (IPCC, 2007) (IPCC, 2001).

Toda esa variación en el sistema atmosférico está provocando que haya un aumento en la temperatura del planeta, lo cual genera fluctuaciones extremas en el campo de la presión, viento y precipitación, traducándose en sequías o eventos hidrometeorológicos extremos (IFPRI, 2009).

Los efectos del cambio climático se van a percibir de diferente forma alrededor del mundo, pese a esto, los impactos más claros de este fenómeno se podrán observar en los países en desarrollo, dadas las condiciones socio-económicas y al generar este fenómeno cambios en la precipitación y la temperatura, los países que tengan una economía más ligada a la agricultura sufrirán los impactos más claros, como es el caso de las naciones

centroamericanas donde según datos de CEPAL la agricultura representa alrededor de un 18% del PIB total de los países centroamericanos (CEPAL, 2010).

Con el fin de reconocer cuales pueden ser los posibles cambios que van a ocurrir en el sistema climático, organizaciones internacionales como el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), han desarrollado metodologías para definir los posibles escenarios de este fenómeno. Para realizar estos procedimientos se hace un análisis de las condiciones socio-económicas donde se proyectan las principales emisiones que se pueden generar por estas actividades y tomando como línea base el clima del periodo 1960-1990 se procede a proyectar cómo se podría comportar el clima en el futuro. Estos estudios facilitan la comprensión de la fluctuación que tendrían variables como la temperatura y la precipitación. A partir de estas proyecciones, es posible desarrollar estrategias de adaptación para minimizar el impacto negativo y generar políticas para la disminución de gases de efecto invernadero (IMN, 2011).

Los escenarios que se han desarrollado para Centroamérica siguiendo las metodologías propuestas por el IPCC, muestran aumentos en la temperatura de hasta 2.8 °C para el año 2050 y hasta 4.1°C para el año 2080 (CEPAL, 2011). Además de cambios en la temperatura, se estima que la precipitación en ciertos países del istmo disminuya de forma importante como en Honduras y Nicaragua y las épocas lluviosas disminuyan temporalmente lo que provocaría que las actividades agrícolas se tengan que adaptar a nuevas condiciones.

Los escenarios de cambio climático desarrollados para Costa Rica por parte del Instituto Meteorológico Nacional (2011), concuerdan con los elaborados por el CEPAL. Se estima que se producirá un cambio en la temperatura, principalmente un aumento en las temperaturas mínimas, además, en la región Pacífico Norte y Huetar Norte se verán reducciones importantes en la precipitación. Esto pondría en serios problemas la producción agrícola nacional, ya que estas dos regiones tienen una economía muy ligada a esta actividad (IMN, 2011).

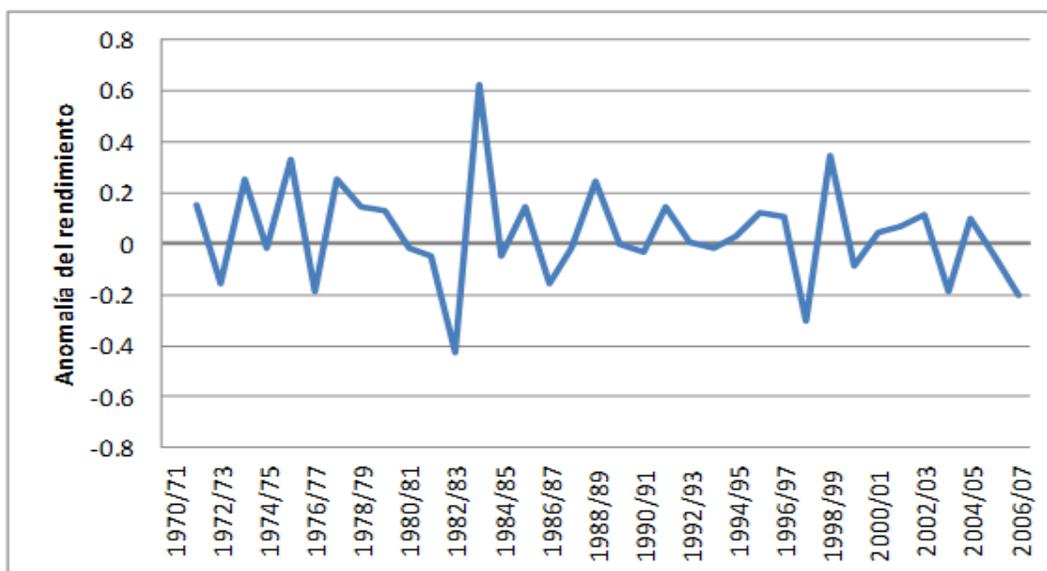
Los cambios en las variables climáticas en las regiones Pacífico Norte y Zona Norte tendrían un efecto directo en la producción de arroz, dado que estas son dos de las

principales zonas productoras del grano en Costa Rica (CONARROZ, 2014). El arroz es un cultivo que depende en gran medida de las temperaturas para desarrollarse óptimamente (INTA, 2008), de existir un aumento en la temperatura tendrá un efecto directo en toda la actividad agrícola, dado a que los rendimientos de los cultivos empiezan a decaer (Villalobos & Retana, 1997). Sumado a eso, un aumento en la temperatura máxima superior a 35 °C puede generar bajo crecimiento de la planta, rendimientos por hectáreas bajos y en algunos casos esterilización, dado a que el rango óptimo para la producción son 25°C a 30°C (Yoshida, 1981). Los escenarios para el año 2080 indican que en el Pacífico Norte la temperatura máxima puede alcanzar los 40 °C (IMN, 2011).

Pese a que los escenarios de temperatura resultan alarmantes para la producción arroceras, se debe de sumar a esto la variación que tendrá la precipitación en la región Pacífico Norte y Zona Norte, áreas en las cuales se prevé un intervalo de lluvias que rondan los 500 mm a 1500 mm anuales. Estos niveles de precipitación impedirían la producción si no se cuenta con un sistema de riego que permita cubrir la necesidad hídrica de la planta, ya que precipitaciones inferiores a los 1500 mm ponen en riesgo la producción por lo que habría pérdidas importantes (IMN, 2011).

Sin embargo, el cambio climático no sería el único evento que puede poner en riesgo la producción arroceras en el país, fenómenos de variabilidad climática regional como lo es El Fenómeno del Niño-Oscilación del Sur (ENOS) provoca cambios importantes en el régimen de precipitación principalmente en la región Chorotega (CRRH, 2008), Siendo esta la principal zona productora del grano en el país, la producción en años en los que fenómeno el ENOS se encuentra en su fase cálida tiende a disminuir (Retana, 2015), esto se puede observar en el gráfico 1 donde se comparan años en los que se encuentra un fenómeno del ENOS ya sea en su fase positiva o negativa y como se relaciona con las anomalías en los rendimientos:

Gráfico1: Anomalías de Producción asociadas al efecto del fenómeno del ENOS



Tomado de Retana J, 2015

Los años con rendimientos bastante bajos, como por ejemplo 1982 y 1997, son años en los que se encontraba El Niño. Estos años fueron catalogados como años Niño de una intensidad que sobrepasa la media para años bajo estas condiciones de anomalía (Wolter & Timlin, 1998). Además de que existe una ligera tendencia a mejores rendimientos en años en los que este fenómeno se encuentra en su fase fría, es decir en años Niña.

Dados los cambios mencionados en el clima, el Estado costarricense tiene el deber de iniciar procesos de planificación en los diversos sectores productivos de la sociedad. Se deben identificar las zonas que presentarán mayor impacto y aquellas que por el contrario podrían ser consideradas como alternativas para una mejor adaptación al cambio climático y el desarrollo de la agricultura. La adecuada lectura de los escenarios de cambio de clima y su impacto en el agro nacional, puede ser la diferencia entre la seguridad y la inseguridad alimentaria básica. Realizar un proceso de planificación que inicie en el corto plazo, permitiría a Costa Rica ser un país líder en adaptación al cambio climático, donde exista una adecuada mitigación de los impactos, mediante la adaptación y se pueda contar con una seguridad alimentaria para toda la población (IMN, 2014).

1.2 Justificación del problema de investigación

La agricultura en Costa Rica se encuentra en una situación productiva compleja, donde la variabilidad climática genera cada vez más efectos negativos en los niveles de producción de diferentes cultivos, esto se ve reflejado en los fenómenos hidrometeorológicos extremos, variabilidad climática principalmente asociada al ENOS y en un futuro los posibles efectos que genere el cambio climático en el país se deberán de tomar en cuenta (IICA, 2014).

Dentro de los diferentes sectores productivos presentes en el país, el sector agropecuario es uno de los que presentan más pérdidas asociadas a eventos extremos, ya que la mayoría de las actividades se realizan en secano, por lo que las variaciones positivas o negativas en la precipitación pueden tener un impacto importante en la producción. Además al haber pérdidas en las cosechas o malos rendimientos, estos se traducen en menos ingresos a la población. Es por ello que la agricultura es una de las actividades más sensibles ante cambios en las condiciones atmosféricas, esto queda demostrado en el siguiente cuadro, donde se presentan las pérdidas en millones de dólares asociadas a eventos extremos

Tabla 1: Pérdidas globales por actividad económica, atribuidas al impacto de eventos extremos 1998-2006

| Categorías o Sectores | Total millones US \$ | Distribución % |
|---------------------------|----------------------|----------------|
| MOPT | 696,9 | 38,22 |
| Agricultura | 396,9 | 21,77 |
| Energía | 329,1 | 18,05 |
| Vivienda | 206,5 | 11,33 |
| Ambiente | 54,3 | 2,98 |
| AyA y Acueductos Rurales | 45,4 | 2,49 |
| Atención de la Emergencia | 35,5 | 1,95 |
| Salud | 28,9 | 1,59 |
| Educación | 18,5 | 1,02 |
| Sociales | 6,2 | 0,34 |
| Edificaciones Públicas | 2,5 | 0,14 |
| Industrias | 1,2 | 0,07 |
| Ferrovías | 0,8 | 0,05 |
| Obras Privadas | 0,098 | 0,01 |
| Total | 1822,798 | 100 |

Fuente: IICA, 2010

A los diferentes procesos naturales de variabilidad climática como el ENOS se le debe de agregar el efecto potencial que el cambio climático tiene en la agricultura y en especial en los granos básicos, los cambios en la precipitación y la temperatura generarán una disminución en las áreas aptas para la producción desde un punto de vista climático que consecuentemente produzca impactos para los distintos actores involucrados, además pondría en juego la seguridad alimentaria de los diferentes países y haría que fluctúe el precio en el mercado (IPCC, 2014) .

Es por ello que es de gran importancia desarrollar estudios en los cuales se valore la condición actual y futura de las variables climáticas (precipitación y temperatura) asociadas con eventuales impactos en los sectores socio-productivos, las cuales permitan entender cómo se van a distribuir las áreas aptas para producir y de forma temprana se puedan tomar decisiones que busquen disminuir el impacto del cambio climático en la producción no solo de arroz, sino, de todos aquellos productos vulnerables y que forman parte de la dieta de los costarricenses como los frijoles y el maíz.

Esto deja en evidencia lo sensible que es el sector agrícola a los cambios en variables como la temperatura, precipitación o la humedad. Al conocer la problemática que debe enfrentar la agricultura relacionada con los aspectos climáticos, el Estado costarricense ha generado diversas políticas, programas e investigaciones con el fin de reducir el impacto de estos eventos (CCAFS-MAG, 2014).El presente proyecto llega a cooperar en esta línea de investigación evaluando las principales áreas en las que se puede producir arroz bajo las condiciones climáticas actuales y futuras mediante escenarios de cambio climático.

Los resultados que se presentan en este proyecto, puede considerarse una referencia para los diferentes entes encargados de la planificación agrícola de Costa Rica, con la cual puedan tener una herramienta que les facilite iniciar un proceso de adaptación al cambio climático ya que se establece las áreas en las que se podrá incentivar el cultivo valorando la situación actual y futura de las variables climáticas mediante mapas que faciliten la visualización de los escenarios que se deberán enfrentar.

Al identificar las áreas más aptas y las más limitadas climáticamente, se podrán generar políticas o programas específicos para cada una de ellas, ya que la situación será distinta

para las diferentes regiones productoras del país. Por ello las acciones técnicas en campos como la genética o manejo de cultivos, tendrán una base más robusta y serán diferenciadas para cada una de las regiones del país dadas las condiciones climáticas de cada una de ellas. Todo esto tendrá como resultado una mejora en los rendimientos y mayor ganancia para los distintos actores involucrados en la producción.

Al iniciar un proceso temprano de adaptación al cambio climático, haría que los efectos socio-económicos de este fenómeno no sea tan fuerte como se está previendo (CEPAL, 2010).

1.3 Importancia

La producción agrícola en Costa Rica es una de las principales actividades económicas del país, siendo un generador de empleo para un grupo de personas que ronda el 11,7% de la población ocupada del país (BCIE, 2012) . La producción, proceso y comercialización de los diferentes bienes agrícolas generan ingresos gracias al comercio local o las exportaciones de diversos productos, según datos de la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER), el sector agrícola genera en exportaciones 2574.4 millones de dólares para el año 2014, poniendo en evidencia la importancia económica de la agricultura en Costa Rica (PROCOMER, 2014).

Para el caso particular del arroz (*Oriza sativa*), siendo este un producto que forma parte de la canasta básica, resulta de gran importancia tener cosechas que permitan suplir la demanda, ya que este grano es consumido por un grupo importante de la población, la cual puede llegar a consumir hasta 50 kilogramos por persona al año, además la población que más invierte en este grano es la que menos recursos económicos tiene (IICE, 2013). Pese a la importancia del arroz en la dieta y economía del país, este enfrenta serios problemas relacionados con los aspectos productivos, específicamente los asociados a las variabilidad climática (Villalobos, 2001).

En un país como Costa Rica donde los diferentes escenarios de cambio climático establecen variaciones importantes en la temperatura y la precipitación, provocan una situación bastante compleja para la producción arrocerá y agrícola en general, dado a que este grano depende de ciertos niveles de precipitación para poder germinar y una temperatura que le permita poder obtener mayores rendimientos. Sumado a esto, se encuentran los fenómenos

de variabilidad climática como lo es El Niño, el cual hace que hayan importantes sequías en la vertiente del Pacífico principalmente en la provincia de Guanacaste, impidiendo que el grano pueda obtener el agua necesaria para poder germinar, creando pérdidas económicas importantes (Villalobos & Retana, 1997)

Pese a todas las barreras que impone la variabilidad y el cambio climático, la clave para superar esta clase de evento, se encuentra en la adaptación y mitigación, planificar todas las actividades económicas de forma en que los cambios en las variables climáticas sean tomados en cuenta, de esta forma se podrá generar procesos de planificación agraria donde se puedan potenciar ciertas zonas del país en las que el cambio climático provoque menos impactos negativos, utilizando variedades de semillas resistentes a extremos climáticos, y mejorando la predicción climática (CDKN, 2014).

1.4 Fundamentación

La producción agrícola, a nivel mundial, enfrenta una serie de problemas relacionados con la intensa variabilidad climática que en las últimas décadas ha repercutido en la cantidad y calidad de las cosechas de diversos productos agrícolas que son esenciales en la dieta de las personas (FAO, 2015). Esto genera una serie de problemas económicos y sociales que afectan principalmente a los países en desarrollo y a las poblaciones con menos recursos económicos. Además, por el constante crecimiento de la población, se requieren más recursos para suplir las necesidades de las personas. Por esta razón se deben de buscar alternativas que ayuden a mejorar la planificación de los cultivos, que genere un aumento en las cosechas y así los países puedan cubrir las necesidades alimenticias de su población (FAO, 2009).

Por lo mencionado anteriormente, diversas instituciones estatales como el Ministerio de Agricultura y Ganadería por medio del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agraria (INTA), además de entes internacionales como el Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola (IICA) y la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), han generado metodologías que permitan planificar la producción agrícola, buscando zonas en las que se encuentren condiciones climáticas y edáficas, lo cual genere un aumento en la producción y en los rendimientos (FAO, 1997).

Una de las metodologías más comunes para la planificación de cultivos es mediante zonificaciones a partir de variables físicas, por lo que se pueden aplicar a una gran cantidad de cultivos. Esta clase de metodologías se ha tratado de implementar en los últimos años en diversos países del mundo, sobre todo en aquellos países cuya economía depende de la producción agrícola o tienen problemas relacionados a variables físicas subyacentes a la producción (erosión, degradación de suelos, baja fertilidad, sequías) como por ejemplo Mozambique, Kenia, Filipinas, Nigeria, Tailandia y Malasia (FAO, 1997).

Dentro de los entes internacionales que se han encargado de generar zonificaciones de áreas aptas para la producción agrícola se puede mencionar a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la cual en el año 1997 diseña el manual para Zonificaciones Agro-Ecológicas (ZAE), además brinda asesoría técnica a diversos Estados para la mejora en la planificación de la producción agrícola. También se puede mencionar al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura quienes han desarrollado manuales para las ZAE (IICA, 1986) y han aplicado esta metodología en distintos países del istmo como por ejemplo en Costa Rica para el café (*Coffea arabica*) (IICA, 1987) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (IICA, 1983).

En América Latina, se han desarrollado diversas metodologías, a partir de investigaciones que tratan de hacer un análisis integral de las variables físicas, con lo cual se pueda mejorar la planificación agrícola, reduciendo así el riesgo a la hora de producir. Dentro de estas investigaciones se pueden mencionar el estudio de ZAE para el aguacate (*Persea Americana* Mill) realizado en Venezuela (Cortéz, Aveces, Artega, & Vázquez, 2004), ZAE para la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco México (Rivera, y otros, 2012) y la aplicación de la ZAE para cultivos estratégicos (Benitez, Espinosa, & Prado, 2014) realizada en Ecuador. En lo que respecta a zonificaciones concretas para el arroz, se puede mencionar como el principal referente el estudio realizado en Colombia (Lasso, 1991), este estudio es de gran importancia ya que se hace un análisis del efecto de las variables climáticas en la producción, así como los rangos en los que se pueden tener mejores rendimientos.

Si bien es cierto que se han realizado zonificaciones con una amplia cantidad de variables tanto climáticas como edáficas y fisiográficas, son pocas las metodologías que incluyen el

aspecto del cambio climático como un elemento fundamental para la adecuada planificación agrícola a futuro. Dentro de los estudios que se han realizado y que se involucra escenarios de cambio climático existe una deficiencia importante, debido a que solo se utilizan variables climáticas que representan la situación actual, pese a esto, estudios como el realizado para el cedro rojo (*Cedrela odorata L*) en el Estado de Hidalgo, México, son una muestra de la importancia de conocer cómo pueden fluctuar a futuro las diferentes zonas aptas para la producción de un cultivo determinado (Gómez, Monterroso, & Tinoco, 2007).

Para el caso de Costa Rica se han realizado distintas zonificaciones agroecológicas, como las antes mencionadas por el IICA (1986 y 1987). También se puede mencionar los proyectos elaborados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería mediante el Instituto Nacional de Innovación Tecnológica y Transferencia Agropecuaria (INTA) donde establecen diversas zonificaciones para productos como el algodón, arroz, frijol, macadamia y maní entre otros, los cuales se basan en el Índice de Capacidad de Uso del MAG para identificar la aptitud del cultivo a una zona específica (INTA, 2008). Para el caso específico de arroz, existe la zonificación elaborada por SEPSA en el año 1999 (Tinoco & Acuña, 2009)

El auge que han tenido las metodologías de zonificación a nivel internacional viene en crecimiento por el constante desarrollo de la tecnología que facilita el manejo de información climática, edáfica y fisiográfica que se encuentran en bases de datos, además con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es más sencillo hacer los análisis y correlaciones de las diferentes variables antes mencionadas (FAO, 1997). Sin embargo, pese a que existen manuales que establecen los procedimientos para llevar a cabo estos estudios, los investigadores deben hacer cambios en la metodología por distintos factores como por ejemplo una mala cobertura de estaciones meteorológicas, falta de información edafológica de calidad o problemas relacionados con el hardware y software para desarrollar la investigación (Rojas, 1988).

1.5 Contexto

La producción arrocera en Costa Rica durante gran parte del siglo XIX se dedica al autoconsumo, principalmente en el Valle Central, esta situación empieza a cambiar a partir

de los años 40, década en la que se introducen variedades distintas e inician políticas Estatales para propiciar el desarrollo de esta actividad, con mejoras en tecnología e implementación de la producción mecanizada por lo que la producción aumentó de forma considerable (Cortés, 1994).

En la actualidad esta actividad se ha establecido de forma importante en la región Chorotega con 23931 hectáreas sembradas, seguida de la región Huetar Norte 14077 hectáreas y la región Brunca 11707 hectáreas (CONARROZ, 2015), cada año existen ciertas fluctuaciones en los montos de producción, sin embargo las regiones antes mencionadas son las que más área dedican a la siembra del arroz.

En la actualidad el efecto de la variabilidad climática asociada al fenómeno del Niño, ha generado pérdidas importantes en este sector, especialmente en la región Chorotega y parte de la región Brunca, por lo que analizar más a fondo estos efectos se torna fundamental (Bonilla, 2014).

A lo anterior se le debe de agregar el efecto que prevén las diferentes proyecciones de cambio climático, las cuales imponen un nuevo reto para esta actividad, dado el aumento en la temperatura y variaciones de la precipitación, que generarían condiciones complejas para la producción (IMN, 2011). Por lo que procesos de adaptación resultan de mucha importancia para este sector de granos básicos.

1.6 Caracterización

Costa Rica es un país ubicado en Centroamérica, cuya extensión es de 51.000 kilómetros cuadrados y una población de 4.807.050 personas para el año 2015. Dentro de las actividades económicas, se presenta la agricultura como el tercer sector en importancia económica después del sector industrial y el de servicios (Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación, España, S.f).

Dada su ubicación geográfica, Costa Rica tiene un clima tropical que se ve influenciado por una gran cantidad de variables como lo es el relieve, la cercanía a dos grandes masas de agua cálida como lo es el océano Pacífico y mar Caribe, la dinámica de vientos y el efecto que tiene la circulación atmosférica general hacen que la distribución de precipitaciones sea muy variada a lo largo del país (IMN, 2008).

Lo anterior provoca que existan dos regímenes de precipitación muy bien definidos correspondientes al Pacífico y el Caribe. Para el Pacífico de Costa Rica se observa dos estaciones (seca y lluviosa) bien definidas, la estación seca se extiende desde marzo hasta diciembre mientras que la estación lluviosa se desarrolla entre mayo y octubre, siendo abril y noviembre mes de transición entre una estación y otra (Muñoz, Fernández, Gutiérrez, Zárate, 2002). A ésta dinámica se le debe de agregar la disminución en la precipitación que se da para los meses de julio-agosto asociada al veranillo o mid summer drought la cual obedece tanto a factores oceánicos como a la dinámica de los vientos en la región (Magaña, Amador, Medina, 1999).

Respecto a la vertiente del Caribe, esta tiene condiciones lluviosas a lo largo de todo el año y cuando presenta menores precipitaciones cuenta con valores de 200mm a 100mm mensuales siendo estos valores de consideración. El mes más lluvioso se presenta en diciembre, influenciado por el efecto de frentes fríos provenientes del hemisferio norte (IMN, 2008)

1.7 Localización espacial y temporal

El presente trabajo se desarrolla en Costa Rica, específicamente en las siguientes regiones socioeconómicas definidas por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, a saber: Chorotega, Pacífico Central, Brunca, Huetar Atlántica y Huetar Norte, respecto a la región Central se descarta por distintas consideraciones que serán discutidas más adelante.

El desarrollo temporal de la investigación se centra en varias unidades temporales, para el primer objetivo, se analizan datos que abarcan desde el año 1980 hasta el 2014 para los casos en los que se tiene datos. Respecto al segundo objetivo, la información se analiza a partir de datos anuales de precipitación, temperatura y horas luz, los cuales no tienen una fecha específica dado a que son elaborados a partir de promedios de las variables antes mencionadas. El tercer objetivo utiliza datos modelados para el año 2080, por lo que la zonificación se centra para este año.

1.8 Ámbito de acción

Los resultados que exponen en este trabajo, serán de utilidad para los productores de las regiones antes mencionadas, así como distintos tomadores de decisiones pertenecientes a

diferentes entes tanto gubernamentales como no gubernamentales, así como a diversos grupos académicos interesados en la agricultura y el efecto que tiene la variabilidad climática y el posible impacto del cambio climático.

Por lo antes mencionado, esta investigación cuenta con el apoyo tanto en la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ) y el Instituto Meteorológico Nacional, ya que estos entes tienen gran interés en generar procesos de planificación en los que se incluya la variable del cambio climático, ya que de esta forma se pueden potenciar áreas en las que haya una aptitud climática alta para la producción y dar apoyo a las que tienen una mayor dificultad para el desarrollo de la agricultura de este grano básico

Objetivos

Objetivo General

Generar un insumo técnico para la toma de decisiones en la planificación del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en Costa Rica a partir de variables meteorológicas, reduciendo el riesgo de producción.

Objetivos Específicos:

Analizar si las áreas donde se ha producido arroz (*Oryza sativa*) históricamente en Costa Rica han sido las adecuadas desde una perspectiva climática y productiva.

Identificar las zonas aptas para la producción de arroz mediante una zonificación utilizando variables climáticas y escenarios de cambio climático que sea un aporte en el mejoramiento de la producción del grano en Costa Rica

Analizar los cambios espaciales potenciales de las zonas propuestas de producción de arroz (*Oryza sativa*) en Costa Rica mediante la aplicación de escenarios ya establecidos por el IMN, según cambio climático.

Capítulo II. Marco Teórico:

2.1 Planificación

Existen diferentes formas de entender el concepto de planificación, según la Real Academia Española, planificar se entiende como “Plan general, metódicamente organizado y frecuentemente de gran amplitud, para obtener un objetivo determinado, tal como el desarrollo armónico de una ciudad, el desarrollo económico, la investigación científica, el funcionamiento de una industria” (RAE, 2012). Si se revisan otras conceptualizaciones, la planificación es “dominar el futuro desconocido y conocer por adelantado, qué se desea hacer, cómo puede alcanzarse el propósito establecido, cuándo van a ejecutarse cada una de las acciones previstas, quién va a desempeñarlas, qué recursos se utilizarán para su logro y cómo van a evaluarse los resultados conseguidos” (Ruiz, S.f, pág. 1) o bien, “Planificación significa tomar en cuenta las experiencias del pasado y pensar en el futuro con vistas a tomar una acción” (Miller, Ramírez, & Saenz, 1991, pág. 3).

De las conceptualizaciones anteriores, se puede reconocer que, planificar conlleva alcanzar un objetivo futuro a partir de las acciones que se realizan en la actualidad, además estas acciones se generan por un proceso metodológico en el cual se establecen diferentes medidas que se deben de tomar para lograr ese futuro deseado.

Teniendo claro el concepto de planificación se pueden analizar los diferentes factores necesarios para lograr un proceso de planificación exitoso, como analizar la situación actual, lo cual permite a los diferentes involucrados en los procesos de planificación entender las limitantes que se tienen en el presente, qué aspectos se deben de cambiar y qué acciones realizar para obtener los cambios positivos deseados.

Sin embargo la planificación debe responder a un proceso en el tiempo, mediante el cual, se cuenta con diferentes fases en las que se puedan reconocer los progresos, problemas, costos y demás variables que puedan dificultar o facilitar la implementación de las acciones con el fin de alcanzar el objetivo que se busca (Ruiz, S.f).

2.2 Planificación agraria en Costa Rica y metodologías para hacerla

Dentro de la planificación en el sector agrario, se requiere aceptar una serie de incertidumbres que van más allá de aspectos económicos,

El concepto de planificación es utilizado por una gran variedad de ciencias y en lo que respecta al eje de la agricultura siempre está presente, todos los Estados tratan de planificar las distintas áreas para alcanzar objetivos, los cuales se reproduzcan en obras de interés para toda la población y una mejora en la calidad de vida. Dentro de estas intervenciones del Estado en la agricultura, se pueden mencionar los casos del gobierno español al implementar obras de infraestructura que generen sistemas de regadíos en zonas áridas (Balbontin, 1976), o el caso del distrito de riego que se creó en Costa Rica a partir de los años 70 (Edelman, 1987).

Dentro de la planificación agrícola, se deben de tomar siempre en cuenta los insumos gratuitos, los cuales serían todos los aspectos climáticos que van a favorecer los niveles de producción que tenga un determinado cultivo. Pese a que son insumos que se obtienen con facilidad, no siempre se cuenta con la cantidad necesaria en el momento oportuno para que todo el cultivo tenga buenos rendimientos. Por ello es que muchas veces, se fomenta que las actividades agrícolas se desarrollen en áreas en las cuales haya menos riesgo de que los insumos gratuitos presenten alguna variabilidad y esto provoque que se pierdan las cosechas (Galvan, 1981).

Para la planificación de los temas referentes a la agricultura en Costa Rica, se elabora el Plan Sectorial de Desarrollo Agropecuario, este plan es creado por las instituciones que tienen alguna relación con la temática siendo el ente de mayor rango el Ministerio de Agricultura y Ganadería. En este documento se hace un repaso de las metas que se deben cumplir al mediano y largo plazo establecidas por el Plan Nacional de Desarrollo, además se integran las observaciones de organizaciones de productores a lo largo del país (MAG, 2011).

Sin embargo, el proceso resulta bastante complejo debido a la cantidad de actores que se encuentran en el sector (MAG, MIDEPLAN, Instituciones autónomas, sector privado), muchos de ellos con sus propios planes y proyectos, lo que provoca falta de coordinación y un proceso que pueda ser controlado por el ministerio (Estado de la Nación, 2014).

Pese a que existe toda una serie instrumentos bajo los que se debe desarrollar el proceso de planificación agraria en Costa Rica, existen una serie de factores que puede provocar

problemas bastante graves en la agricultura, siendo uno de ellos el cambio climático, tema que será desarrollado posteriormente. Sin embargo se señala que la falta de información referente a la temática y la baja aplicación de instrumentos de planificación territorial pueden conllevar un impacto aún mayor de estos fenómenos en la agricultura (MAG, 2011).

En este punto, es donde surge uno de los componentes más importantes de la planificación, el territorio, el cual cada vez toma una mayor importancia ya que es un elemento que debe ser tomado en cuenta por lo diferentes encargados en la toma de decisiones, ya que las condiciones sociales, físicas, económicas y ambientales son diferentes en cada uno de ellos (Mazurek, 2012).

La planificación territorial es una de las metodologías que podría reducir el impacto de eventos como el cambio climático, dado que se estudian de manera individual las realidades de cada uno de los territorios, las condiciones climáticas que varían de un territorio a otro, así como las características socio-económicas (FAO, S.f,a).

Por ello es que los procesos de zonificación como técnica para la planificación territorial pueden tener un valor trascendental en la actualidad en vista de una adecuada planificación de un sector como el agrícola, que bajo los efectos de cambio climático podría tener serios problemas a mediano y largo plazo, lo que pone en evidencia la necesidad de generar procesos de adaptabilidad que reduzcan ese impacto.

2.3 Zonificación como herramienta para la planificación y el ordenamiento territorial

Al generar procesos de planificación, se deben de tomar en cuenta las condiciones físicas, socio-económicas y ambientales de cada uno de los territorios con el fin de que las medidas que se vayan a implementar a corto, mediano y largo plazo sean efectivas y se adapten de forma adecuada a cada uno de los territorios (FAO, S.f,b)

Por ello, una de las formas en que se puede planificar el sector agrícola, es mediante zonificaciones que permitan tomar decisiones específicas para cada una de las diferentes zonas que se están planteando, por lo tanto “el propósito de zonificar, la planificación del uso de recursos rurales, es separar áreas con similares potencialidades y limitaciones para el desarrollo. Los programas específicos pueden, entonces, formularse para proporcionar el

apoyo más efectivo para cada zona” (FAO, 1997, pág. 12). La ley número 4240 sobre planificación urbana en Costa Rica, establece que zonificar es “la división de una circunscripción territorial en zonas de uso para efecto de su uso racional” (LeyN°4240, 1968).

La metodología específica para desarrollar una zonificación va a depender de la meta que se quiera alcanzar, esto hace que existan zonificaciones para generar procesos de planificación urbana como es el caso de la zonificación utilizada en los planes reguladores de Costa Rica (INVU, 2007) o para identificar áreas susceptibles a inundaciones o riesgo volcánico las cuales son establecidas por la Comisión Nacional de Emergencia como áreas especiales por su riesgo (Soto & Sjöbohm, 2005).

Para el caso puntual de zonificaciones para la planificación en la agricultura existe una variedad de metodologías, las cuales dependen del enfoque que se esté utilizando, sin embargo se reconocen dos enfoques principales, el agro-ecológico y el agro-climático. La diferencia entre ambos enfoques está asociada principalmente a las variables que utilizan para generar las áreas homogéneas, esto se puede observar en dos metodologías de zonificación, como las expuesta por (IICA, 1983) con un enfoque agroecológico o (Lasso L. 1991) con un enfoque agroclimático. Ambas tienen como principal objetivo identificar zonas en las que los cultivos puedan desarrollarse de la mejor forma. A continuación se desarrollan ambos enfoques.

En lo que concierne al enfoque agro-ecológico, utiliza los conocimientos de la agroecología, siendo esta una ciencia que vela por el desarrollo de los sistemas agrícolas de una forma más integral y como una solución a los problemas que vive la producción agrícola asociada a bajos rendimientos, altos costos por agroquímicos y una contaminación de las áreas de cultivo, esto genera un deterioro muy notorio en aspectos económicos, sociales y ambientales (Altieri M, 1999).

Es por ello que este enfoque, utiliza una serie de variables de diversa índole (climáticas, edáficas y fisiográficas) con lo cual se podría pensar que si un área tiene variables óptimas para un cultivo determinado, este podría tener buenos rendimientos sin tener que utilizarse una serie de agroquímicos para fomentar la producción de la planta, además se podrían

cultivar reduciendo el riesgo a las pérdidas asociadas a las variables climáticas o edáficas (Altieri & Nicholls, 2000).

Dentro de los principales precursores de este enfoque a nivel mundial se encuentra la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los cuales desarrollan el principal manual para generar zonificaciones con el enfoque agroecológico. En estos manuales se establecen los procedimientos que se deben de seguir, datos necesarios para generar las áreas y diferentes maneras para implementar estos proyectos en las políticas de los países (FAO, 1997).

Otro enfoque utilizado para las zonificaciones que busca también mejorar los rendimientos y reducir el riesgo de producción es el utilizado por la agroclimatología, la cual se entiende como

La aplicación de los elementos del clima en la agricultura, esta puede ayudar eficientemente a mejorar la agricultura de un país en numerosos campos, entre los que se puede destacar la planificación agrícola, con frecuencia se puede observar que se decide sobre la implementación de ciertos cultivos en vastas regiones, olvidando que una época de excesiva lluvia, la ocurrencia de una helada o granizada, altas humedades atmosféricas, entre otras, pueden echar a perder totalmente los programas, producir pérdidas cuantiosas, y producir serios conflictos sociales, (Boshell, 1981) citado por (Raj & Hugo, S.f)

La aplicación de la agro-climatología tiene como fin poner un mayor peso en variables como la temperatura en el aire y en el suelo, precipitación, evapotranspiración, humedad del suelo y del aire, viento y dirección del mismo, lo cual se traduce en toma de decisiones e información importante en diferentes plazos, siendo el corto plazo más enfocado en los agricultores (mejores formas de producir, qué cultivos se adaptan mejor a las condiciones locales, prevención de enfermedades) y en el largo y mediano plazo para tomadores de decisiones (mejores regiones para producción, procesos para mejorar el recurso hídrico, regular la producción) (Hernández M, 1993).

Al hacer tanto énfasis en los datos climáticos hace que desarrollar zonificaciones con un enfoque agro-climático sea más complejo, principalmente a que no todos los países cuentan

con datos de este tipo o las escalas espaciales y temporales de los mismos no son las adecuadas para planificar la agricultura (Hernández M. , 1993).

Como se puede observar, la agroclimatología y la agroecología son parte de las ciencias que tienen como fin mejorar la producción agrícola estudiando las variables que influyen en la producción de una forma integral.

Por ello, se deja de lado la forma tradicional de abordar los problemas relacionados con la agricultura, ya que se pone más énfasis en un análisis integral de todas las variables que están influyendo en los niveles de producción que ha prevalecido en los estudios agrícolas (Altieri, 1999).

Al enfocarse en la interrelación de las variables hace que estos estudios que utilizan enfoques agro-ecológicos o agro-climáticos generen un insumo para una adecuada planificación y ordenamiento territorial, la cual es vital en procesos de variabilidad climática y cambio climático, los cuales cada vez tienen más influencia en las actividades de todas las personas y más que todo en las que se refieren a la agricultura. Además, esta clase de zonificaciones puede ser integrada a los planes reguladores cantonales, así se tendría otro insumo para poder generar zonificaciones a nivel local que fomenten actividades agrícolas y le permita justificar mejor la decisión de establecer usos de suelo dedicados a la agricultura en ese cantón en específico. También se puede utilizar para diversos cultivos que sean de interés, dado a que la metodología es bastante flexible gracias a que utiliza rangos de aptitud.

2.4 Cambio Climático y la necesidad de planificar

El cambio climático ha sido una preocupación a nivel mundial desde finales del siglo pasado. Instituciones internacionales como la Organización Meteorológica Mundial (OMM) el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) han desarrollado y recopilado diversos estudios alrededor del mundo, como por ejemplo los informes país que se realizan periódicamente sobre el impacto del cambio climático y las observaciones paralelas. Se abordan temas como mitigación, efectos observados y pronosticados del cambio climático en los diferentes sistemas, así como los inventarios de gases de efecto invernadero y metodologías para investigaciones que deberían de realizarse en los países signatarios de la Convención Marco de las Naciones

Unidas. El IPCC elabora un informe a partir de la documentación generada por los países miembros, siendo la versión más actual el quinto informe. En Costa Rica el Instituto Meteorológico Nacional ha coordinado y desarrollado los informes país, Actualmente ha publicado tres comunicaciones nacionales e igual número de inventarios de gases de efecto invernadero que afectan el país.

El cambio climático, de forma general, se entiende como un proceso gradual de cambio en los patrones climáticos a partir del aumento en la temperatura global debido al desequilibrio provocado por el efecto invernadero, dicho proceso es explicado de la siguiente manera:

Los gases de efecto invernadero absorben la radiación infrarroja, emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera debido a los mismos gases, y por las nubes (...) Un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero produce un aumento de la opacidad infrarroja un desequilibrio que sólo puede ser compensado con un aumento de la temperatura del sistema superficie-troposfera (...) (IPCC, 2001, p.180)

El concepto de cambio climático que es utilizado por el IPCC en la actualidad es el siguiente; “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (CMCC, citado por el IPCC, 2001, p.178), de la definición anterior, se puede rescatar que el clima en condiciones naturales tiende a tener variaciones, pese a esto el cambio climático traerá aún más variabilidad a estas condiciones.

Este fenómeno provocará cambios en muchas variables atmosféricas, los escenarios generados por el IMN para Costa Rica prevén cambios importantes en la precipitación y la temperatura, además de cambios en variables como el viento, radiación (IMN, 2011). Estos cambios consecuentemente puede generar variaciones en la humedad en el suelo y la evapotranspiración.

El efecto del cambio climático en Costa Rica es algo que se puede reconocer desde hace varios años, “Los resultados indican que para el 2005 las temperaturas sobrepasaron los umbrales necesarios para el máximo rendimiento de la producción agropecuaria. Lo contrario pasó con las precipitaciones, que fueron menores a las requeridas para la

producción óptima, pero con los mismos efectos sobre la producción” (Vignola, Otárola, & Trevejo, 2014, pág. 7). Esto demuestra que existe un cambio en el clima que se viene dando desde hace varios años por lo que tomar acciones para propiciar una adecuada adaptación al cambio climático es necesario.

2.5 Mitigación o Adaptación al Cambio Climático

Cuando se abordan los posibles impactos que provoca un cambio en el clima y como darles una solución, existen dos posiciones distintas pero no excluyentes sobre como se puede abordar este problema, la adaptación y la mitigación al cambio climático.

La adaptación al cambio climático ha sido definida como “actividades realizadas por individuos o sistemas para evitar, resistir o aprovechar la variabilidad, los cambios y los efectos del clima actuales o previstos, la adaptación disminuye la vulnerabilidad de un sistema o aumento de su capacidad de recuperación ante las repercusiones” (FAO, S.f,a). Desde este enfoque se entiende que es inevitable que el proceso del cambio climático se siga desarrollando, por lo que la mejor opción es generar actividades y políticas con el fin de adaptarse a estas nuevas condiciones que se están presentando. Estas acciones pueden ir en distintas direcciones, como mejoras tecnológicas en la producción creando semillas que se puedan desarrollar mejor en ciertas condiciones de extrema sequía, procesos a corto plazo como cambiar el tipo de siembra que se va a desarrollar o planificando a largo plazo, mejorando los canales de riego o identificando áreas con mejores condiciones para cultivar (CEPAL, 2014).

La mitigación por otra parte se enfoca en tratar de reducir la cantidad de gases de efecto invernadero que se están expulsando a la atmosfera, esto disminuiría la temperatura, ya que está comprobado que estos gases son los principales causantes del cambio climático (IPCC,2014).

Las medidas de mitigación pueden involucrar cambios tecnológicos en la manera de producir en las industrias como por ejemplo utilizar fuentes de energía limpia, medios de transporte amigables con el ambiente que generen menos emisiones, aumentar la cantidad de áreas protegidas boscosas que permitan fijar una mayor cantidad de dióxido de carbono (IPCC,2014).

Al utilizar estos dos enfoques, los países puede generar procesos de planificación para adaptarse y mitigar el cambio climático, sin embargo hay países en los que resulta más importante enfocarse en uno de ellos, como es el caso de Costa Rica, donde la adaptación al cambio climático resulta relevante. Esto se debe a que la ubicación geográfica en la que se encuentra el país y las condiciones socioeconómicas, pueden llegar a promover una condición de vulnerabilidad bastante importante, además Costa Rica no es un país industrializado por lo que la mitigación de gases de efecto invernadero no generaría un impacto tan importante como si lo haría un país industrializado.

Capítulo III. Metodología

3.1 Tipo de Investigación

En el presente proyecto, se desarrolla el tipo de investigación correlacional, este tipo de investigación trata de definir la relación que pueden tener diferentes variables y como estas se comportan entre sí (Hernández, Fernández, & Baptista, 1997).

Se escoge este tipo de investigación ya que pretende encontrar la relación entre variables climáticas y fisiográficas con el fin de identificar áreas en las que se puede producir arroz de una forma más eficiente, lo que se traduce en una herramienta para poder planificar la actividad arrocera, teniendo como principal objetivo mejorar los rendimientos del cultivo. En primer lugar se busca una relación estadística entre la variable producción y la precipitación, así como el efecto que tiene el ENOS en esta actividad, para ellos se aplica una correlación Pearson simple entre dos variables. Luego se genera una zonificación utilizando un Sistema de Información Geográfica, para ello se usan las variables climáticas y de capacidad de uso, en tercer lugar, se elabora una nueva zonificación a partir del cambio de las variables climáticas según los escenarios de clima futuro generados por el (IMN, 2011).

3.2 Los sujetos y unidades de análisis

El presente estudio se realiza para todo Costa Rica, país ubicado en América Central, el cual tiene un importante arraigo a las actividades agrícolas por lo que un porcentaje significativo del Producto Interno Bruto se origina por la exportación de diversos productos como el banano, café y piña (PROCOMER, 2015).

En lo que respecta a la producción de arroz, históricamente se ha dedicado al consumo nacional y en algunos años cuando ha habido cosecha importante se exportó a países como Panamá o Nicaragua. Dentro de las metodologías que se utilizan para la siembra del grano la principal es la modalidad de secano, la cual ocupa un 66% de la producción total del país (CONARROZ, 2014).

El arroz es un producto que requiere ciertas variables climáticas y edáficas para poder tener buenos rendimientos por hectárea, sin embargo la literatura internacional cambia los requerimientos climáticos y fisiográficos con los que se debe contar para el desarrollo

óptimo del arroz, dado que cada país cuenta con rangos diferentes de temperatura, precipitación y radiación que se puedan considerar como óptimos para la producción o bien la planta cambia sus requerimientos según su estado de crecimiento. Si se analizan las tablas 2 y 3, se ve claramente cómo cambian los requerimientos climáticos y fisiográficos, como se menciona con anterioridad, estos requerimientos variarían de acuerdo a las condiciones específicas de cada país o incluso el tipo metodología que se está utilizando para producir el arroz, si se va a utilizar un tipo de siembra bajo condiciones de anegamiento, los niveles de precipitación deberían de ser mayores.

| Tabla 2: Requerimientos agroecológicos según el MAG, Costa Rica | | |
|--|-----------------------|-------------------------------------|
| Variable | Rango Óptimo | Rango con alguna deficiencia |
| Temperatura | 24°C a 28°C | 28°C a 30°C |
| Precipitación | Menor a 3500 | 3500mm a 5000mm |
| Radiación | 250 a 350 cal/cm2/día | no se define |
| Pendiente | de 0 a 10% | 10% a 20% |
| Altitud | 0 a 500msnm | 500msnm a 850msnm |
| | | |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MAG, 2009.

| Tabla 3: Requerimientos según estudio realizado en Colombia | | |
|--|-----------------------|-------------------------------------|
| Variable | Rango Optimo | Rango con alguna deficiencia |
| Temperatura | 30°C a 33 °C | - |
| Precipitación | Superior a los 1500mm | - |
| Radiación | no se define | - |
| Pendiente | 0-4% | - |
| Altitud | 0 a 1000msnm | - |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Lasso L, 1991.

Las condiciones óptimas para la producción del arroz también varían de forma importante según la etapa de crecimiento, en las primeras etapas la radiación y la precipitación es importante para el desarrollo de la planta, sin embargo cuando esta se encuentra más desarrollada requiere temperaturas adecuadas para que no se produzcan bajos rendimientos (Yoshida, 1981).

Como se observa en las tablas dos y tres, la información sobre los requerimientos agroecológicos cambian según el país y según el autor, sin embargo, para fines del presente proyecto se van a utilizar los requerimientos que fueron elaborados utilizando principalmente lo estipulado por el Ministerio de Agricultura de Costa Rica (MAG, 2009) y Yoshida S. (Yoshida 1981). Según estos autores, se elabora la tabla 4, en ella se observan los requerimientos para cuatro diferentes clases de aptitud, donde la aptitud muy alta es la que cuenta con las mejores condiciones climáticas y de capacidad de uso. Según estos requerimientos es que se va a proceder a elaborar la zonificación.

Tabla 4: Requerimientos utilizados para generar la zonificación de áreas aptas para la producción de arroz.

| Variable | Símbolo | Aptitud Muy Alta | Aptitud Alta | Aptitud Media | Aptitud Baja |
|------------------|---------|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|
| Temperatura | T | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Rango | | 30 a 33 °C | 29 a 28 | 24 a 18 | Inferiores a 17 y superiores a 35°C |
| Radiación | R | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Rango | | 7 a 6 horas luz | 5 a 4 horas luz | 3 a 2 horas luz | Inferiores a 2 horas luz |
| Precipitación | P | 1 | 2 | 3 | 6 |
| Rango | | 2000 a 4000mm | 1500mm a 2000mm | 4000mm a 5000mm | 1000 a 1500 mm y 5000mm a 8000mm* |
| Altitud | A | 1 | | | 0 |
| Rango | | Inferiores a 850msnm | | | Inferiores a 1500 mm |
| Capacidad de uso | CU | 1 | 2 | 3 | 6 |
| Rango | | Capacidad de uso 1 | Capacidad de uso 2 | Capacidad de uso 3 | Capacidad de uso 4 en adelante |

*Excesos de precipitación en producción en secano pueden dañar la planta (Yoshida, 1981), por ello se castiga en la zonificación con un mayor peso, al igual que la capacidad de uso menos favorable.

Fuente: Elaboración propia a partir de MAG 2009 y Yoshida S 1981.

3.3 Fuentes de información

La información climática que se utiliza en este trabajo es brindada por el Instituto Meteorológico Nacional, el cual cuenta con una red de estaciones distribuidas en todo el país. Estas se encargan de recolectar diversos tipos de información meteorológica, sin embargo los datos que se requieren para desarrollar este estudio son los valores de temperatura, precipitación y horas luz. Esta información es recolectada tanto diario, semanal y mensualmente, sin embargo para fines de este trabajo se utilizarán totales

anuales, dado a que se cuentan más completos en comparación a las otras escalas temporales.

3.4 Variables que se utilizan

Dentro de las distintas variables que se pueden utilizar para generar una zonificación de áreas aptas para la producción de arroz, se puede mencionar que estas se clasifican en varios grupos, ya sea climática, edáfica y fisiográfica (FAO, 1997), dado que este proyecto utiliza un enfoque agroclimático se le da más importancia a las variables climáticas. A continuación se describen las diferentes variables utilizadas.

Precipitación: El arroz es uno de los granos en los cuales la precipitación juega un papel esencial en su germinación, una vez que la semilla se encuentra en el suelo se requiere de suficiente agua para que inicie su desarrollo, esta variable es de vital importancia en plantaciones donde no se cuenta con sistemas de riego que brinden el agua necesaria para que la planta de desarrolle en sus diferentes estadios fenológicos (Yoshida, 1981). Por el contrario un exceso de precipitación puede fomentar el desarrollo de hongos y ácaros, los cuales pueden afectar de forma importante toda la cosecha, por lo anterior, el cultivo del arroz requiere de precipitaciones de alrededor de 3500mm que estén bien distribuidos a lo largo del año de cultivo (MAG, 2009).

Temperatura: La temperatura junto con la radiación son las dos variables que más influyen en el crecimiento y producción de la planta, aumentos o disminuciones importantes de temperatura pueden conllevar la disminución de la producción e incluso llegan a esterilizar la planta por lo que se perdería completamente la producción, es complejo poder elegir el rango óptimo de temperatura, ya que durante los diferentes estadios de crecimiento la planta requiere distintos rangos de temperatura (Yoshida, 1981). Para este estudio se utilizará un rango de temperatura de 30 a 33 grados centígrados, los cuales pueden generar buenos rendimientos, este rango se utiliza como el promedio de temperatura óptimo según las distintas etapas de crecimiento.

Radiación: Junto con la temperatura, la radiación es la variable que más efectos tiene en la producción de arroz, para que se produzca de forma adecuada se deben de contar con alrededor de 5 a 6 horas luz, excesos de radiación no llegan a afectar los niveles de producción, sin embargo una disminución de la radiación si genera una reducción

significativa de la producción ya que la planta no cuenta con la energía suficiente para desarrollar los procesos de la fotosíntesis (Yoshida, 1981).

Altitud: La altitud juega un papel muy importante en la producción de arroz, ya que al haber un aumento en la altitud, variables como la temperatura tienden a disminuir, por lo que la planta puede entrar en rangos de temperatura que impidan un desarrollo adecuado (Yoshida, 1981). La altitud óptima que se utiliza para el proyecto es de 850 msnm. Se escoge esta altitud ya que históricamente la producción se ha desarrollado en estas condiciones, además se eliminan las áreas superiores a esta altitud para desincentivar a los productores a sembrar en áreas en las que en un país como Costa Rica pueden ser dedicadas a actividades más productivas, económicamente hablando, ya que estas zonas cuentan con la infraestructura y desarrollo urbano más importante del país.

Índice de Capacidad de Uso del Suelo: Según el decreto ejecutivo 23214 MAG-MINEREM, se crea una metodología con la cual se busca clasificar el potencial agrícola que tienen los diferentes suelos del país. Esta metodología utiliza variables como la erosión, suelos, drenaje y el clima para definir las áreas que tienen potencial y debilidades para las actividades agrícolas, pecuarias y forestales. Para fines del proyecto, se escoge como óptima la capacidad de uso 1, la cual es descrita como “tierras con poca o ninguna limitación para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestal adaptadas ecológicamente a la zona” (MAG-MINEREM, 1991).

3.5 Operacionalización de variables

La operacionalización de variables que se realiza se plantea por objetivos, que se describen en los siguientes cuadros.

Tabla 5: Operacionalización de variables del objetivo 1

| Objetivo 1: Analizar la efectividad climática y productiva de las áreas donde se ha producido históricamente arroz en Costa Rica. | | | | | |
|---|---|---|--|--|--|
| Variable | Definición Conceptual | Definición operacional | Indicadores | Técnica | Fuente |
| Efectividad climática | Se refiere a los rangos ideales que necesita la planta de arroz para poder producir de forma eficiente | Se identifica si las variables climáticas han sido las ideales en los sitios donde se ha producido arroz históricamente | Se utiliza unidades según la variable climática Precipitación (mm) Temperatura (Grados Centígrados) Radiación (horas luz) | Estos datos son correlacionados con la producción mediante la técnica de Pearson | Los datos son brindados por el Instituto Meteorológico |
| Efectividad productiva | Los niveles eficiente de producción se refiere a la cantidad de producto que se está generando por cantón | Relacionar la producción con las variables climáticas con el fin de identificar como fluctúa la producción en base a las variables atmosféricas | La producción se usa en toneladas para los diferentes cantones productores de arroz | Se hace la correlación mediante la técnica de Pearson | La Corporación Arrocera Nacional brinda los datos de producción por cantón |
| Sitios donde se ha producido | Reconocer la distribución geográfica de las diferentes áreas productoras de arroz | Se identifican cuales son las principales áreas productoras, lo que permita poder enfocar acciones para mejorar la efectividad productiva | Datos de producción en toneladas por cantón | Se utiliza cartografía que permita visualizar la distribución de los cantones productores en el país | La Corporación Arrocera Nacional brinda los datos de producción por cantón |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 6: Operacionalización del objetivo 2.

| Objetivo 2: Identificar las zonas aptas para la producción de arroz mediante una zonificación a partir de variables climáticas y escenarios de cambio climático que sea un aporte en el mejoramiento de la producción del grano en Costa Rica. | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|
| Variable | Definición Conceptual | Definición operacional | Indicadores | Técnica | Fuente |
| Zona aptas para la producción | Son las áreas en las cuales la producción puede tener diferentes grados de efectividad | Se ubican las diferentes zonas de aptitud para la producción de arroz. | Se generan distintas zonas según su grado de aptitud | Se generan mediante una zonificación utilizando algebra de mapas para variables climáticas, fisiográficas y capacidad de uso del suelo | Elaboración propia |
| Variables climáticas | Son todas las variables climáticas que tienen relación con el crecimiento y desarrollo de la planta de arroz | Se establecen cuales son los diferentes rangos de aptitud según las variables climáticas | Rangos de aptitud climática | Los rangos se definen según la literatura y son integrados a la zonificación | Diferentes textos, principalmente Yoshida J, 1982 y MAG 2012 |
| Variables fisiográficas | Se refiere a los cambios en la altitud que impidan una eficiencia productiva | Rangos en los que la producción se puede ver afectada por los niveles de altitud | Rangos de aptitud fisiográfica | Los rangos se definen según la literatura y son integrados a la zonificación | Atlas digital ITCR, 2008 |
| Capacidad de uso del suelo | Clasificación establecida por el MAG, en la que se abordan las diferentes deficiencias de los suelos | Efecto de las diferentes capacidades de uso del suelo en la producción de arroz | Diferentes capacidades de uso elaboradas por el MAG | Clasificación de las capacidades de uso según su aptitud para la producción de arroz, luego son integradas a la zonificación | Atlas diital del ITCR, 2008 |
| Escenarios de cambio climático | Instrumento mediante el cual se puede analizar como es el cambio que tendrá el clima utilizando los valores medios actuales | Se integran escenarios de cambio climático a la zonificación inicial con el fin de observar los cambios que esta pueda tener a futuro | Se utiliza el escenario del IMN PRECIS para el 2080 | Mediante una zonificación se integra el escenario | Escenarios de cambio climático son brindados por el IMN |
| Mejoramiento en la producción | Se refiere a los aumentos en la producción que pueda tener el país asociadas a una mejora en la planificación de la actividad arrocera | Mediante la zonificación de las aptitudes de Costa Rica para la producción arrocera, se pretenda generar una mejora en la producción de arroz | Planes que puedan ser generados apartir del uso de la zonificación | Análisis de la zonificación de áreas aptas para la producción arrocera en Costa Rica | Elaboración propia |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Operacionalización del objetivo 3

| Objetivo 3: Analizar los cambios espaciales potenciales de las zonas propuestas de producción de arroz (<i>Oryza sativa</i>) en Costa Rica mediante la aplicación de escenarios de cambio del clima futuro | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|
| Variable | Definición Conceptual | Definición operacional | Indicadores | Técnica | Fuente |
| Zonas nuevas donde se pueda producir arroz | Zonas en las que no se ha producido arroz pero que en el futuro si puedan mejorar la producción gracias a los cambios climáticos | Cambios en la distribución de áreas con niveles aptos para la producción de arroz | Áreas en kilómetros cuadrados con potencial para producir arroz | Análisis de la zonificación actual y futura de las áreas productoras de arroz | Elaboración propia |
| Adaptación al cambio climático | Proceso mediante el cual, se generan estrategias para reducir o minimizar el efecto del cambio climático | Estrategias mediante las cuales se pueda reducir el impacto del cambio climático | Diferentes propuestas generadas por el autor | Análisis de documentos y experiencias en otros países para la mejora a la adaptación al | Literatura y entrevistas con actores clave |
| Proceso de planificación | Proceso en el que se piensa a largo plazo, mediante el cual se pretende lograr un objetivo | Iniciativas que se pueden generar para mejorar la producción de arroz | Procesos a corto, mediano y largo plazo que tengan como resultado una mejora en la producción | Dibulgación de información a productores y entes públicos | Literatura y entrevistas con actores clave |

Fuente: Elaboración Propia

3.6 Técnicas

Durante el proceso de investigación, se utilizan diferentes técnicas, ya que el trabajo cuenta básicamente con 3 puntos esenciales, siendo un análisis histórico de la producción asociada a las variables climáticas, la identificación de áreas aptas para la producción y la elaboración de una zonificación utilizando escenarios de cambio climático, con el fin de identificar cuales áreas se mantendrán con una alta aptitud y cuales cambiarán. A continuación se describe el proceso que se realiza para cada uno de los puntos de la investigación.

3.6.1 Análisis histórico de la producción de arroz

Se hace un análisis de datos climáticos históricos de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional, así como registros de producción tomados de la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ) y del Sistema de Información del Sector Agropecuario de Costa Rica (INFOAGRO), para un periodo que abarca desde el año 1980 al 2006. Dado a que hay cantones donde ciertos años no se produce, de cada una de las regiones se escogen cantones en los que no existan vacíos en los datos y haya datos meteorológicos para hacer las comparaciones con datos que representen de forma adecuada el comportamiento climático y productivo de la región.

Se aplica la correlación de Pearson con el fin de identificar la relación entre producción, la precipitación y la anomalía de temperatura en la zona 3.4 de El Niño-Oscilación del Sur. Además se establecen los años donde se encuentra el fenómeno ENOS con el fin de identificar el efecto que este tiene en la producción y hacer su respectivo análisis.

3.6.2 Identificación de áreas aptas para la producción de arroz

Para identificar las áreas en las cuales se va a producir, se trabaja con capas de información que serán analizadas con el programa ArcMap en su versión 10.0, esta información se encuentra en la proyección CRTM05 la cual es la oficial para Costa Rica. La información meteorológica con la que aquí se trabaja fue brindada por el Instituto Meteorológico Nacional y se encuentra en una escala 1:200000, la capacidad de uso fue extraída del atlas del Instituto Tecnológico de Costa Rica y también cuenta con una escala de 1:200000. Cuando se hace la conversión de polígono a raster para introducir los datos al álgebra de mapas, se procura que todos tengan el mismo tamaño de celda, la cual fue de 30 metros, resultando en una zonificación con una escala de detalle de 1:110000.

Cabe resaltar, que el hecho de trabajar con escalas de detalle distintas no generaría ningún inconveniente, más bien, es recomendable para estudiar procesos que así lo requieren, de esta forma se rompe con ideas tradicionales que se limitan al uso de una escala estandarizada para todos sus datos, lo cual limita los análisis dado a que hay fenómenos “que requieren un entrelazado de escalas para explicar la singularidad de un espacio” (Batllori, 2002) que en este caso serían las zonas aptas para la producción. A continuación se describe el proceso que se realizó para la identificación de zonas aptas para la producción.

- Las capas de las variables climáticas se proceden a transformar de formato vector a raster, ya que este paso es necesario para poder introducirlas en la extensión de algebra de mapas porque el programa analiza la información que contiene cada pixel por separado. Las capas raster son reclasificadas según los valores que se presentan en la tabla de requerimientos agrícolas del arroz (tabla 8) y se le asigna un peso a cada variable como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 8: Categorización de áreas según su idoneidad para la producción de arroz

| Valor de pixel | Categoría |
|----------------|---------------------|
| 1 | Aptitud Muy alta |
| 2 | Apta Alta |
| 3 | Aptitud Media |
| 4 | Aptitud muy baja |

Fuente: Elaboración Propia.

Este criterio es utilizado para las variables de temperatura y radiación, sin embargo para la precipitación, capacidad de uso y altitud se utiliza otra jerarquía que se presenta en la tabla número 9. Lo que busca asignar valores mayores a la aptitud muy baja, es ubicar claramente aquellas zonas en las que se encuentran capacidades de uso del suelo que son poco favorables para la producción

Tabla 9: Categorización de áreas según su idoneidad para la producción de arroz según los niveles de precipitación

| Valor pixel | Categoría |
|-------------|---------------------|
| 1 | Aptitud Muy alta |
| 2 | Apta Alta |
| 3 | Aptitud Media |
| 6 | Aptitud muy baja |

Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a la precipitación, la aptitud muy baja se utiliza para los rangos extremos de precipitación; 1000 mm y 1500 mm (rango extremo seco) y el intervalo de 5000mm a 8000 mm (extremo lluvioso). Pese a que es más común que hayan extremos secos, si por el contrario se cuentan con niveles de lluvia muy elevados, esto puede propiciar que la plantación se inunde, provocando bajas importantes en la producción. Es por esa razón que durante la zonificación se resalta la importancia de la precipitación como una variable que limita el desarrollo de las plantaciones.

- Una vez que se tienen todas las capas raster con el peso establecido, se procede a integrarlas mediante algebra de mapas, utilizando la siguiente formula:

$$\text{Aptitud del área} = (P+T+R+Cu)*A \quad (1)$$

Donde:

P= Precipitación

T= Temperatura

R= Radiación

Cu= Capacidad de Uso

A= Altitud

Fuente: Elaboración Propia.

De esta ecuación se obtienen áreas que van a tener valores que van de 4 a 20, dichos valores son clasificados según la aptitud, como se observa en el cuadro 9, con estas categorías definidas es

Tabla 10: Niveles de aptitud utilizados para generar la zonificación para la producción de arroz en Costa Rica

| | |
|---------------------------|----------------|
| Aptitud Alta | 1 a 5 |
| Aptitud Media Alta | 6 a 10 |
| Aptitud Media | 11 a 15 |
| Aptitud Baja | 16 a 20 |
| Aptitud Muy Baja | 0 |

Fuente: Elaboración Propia.

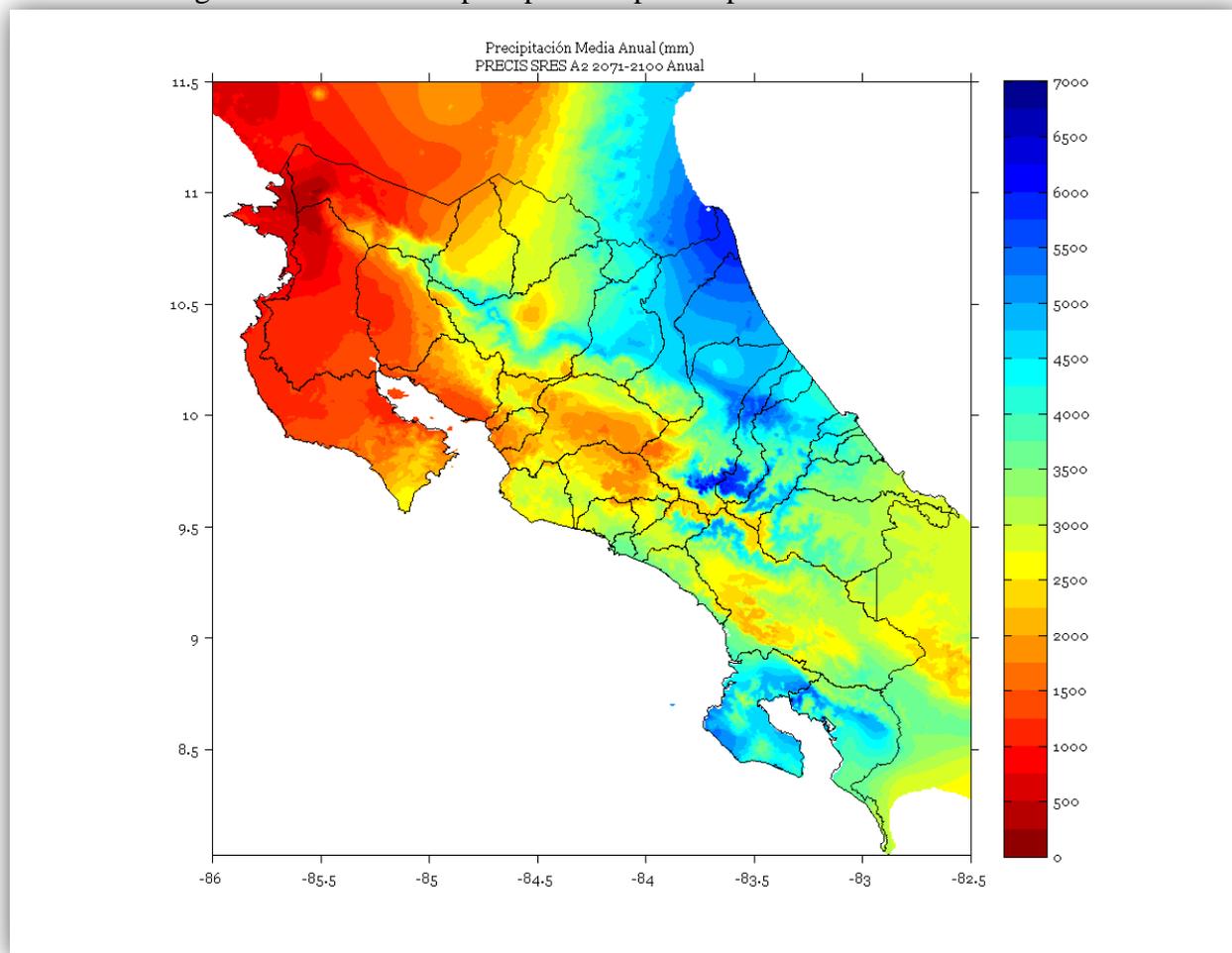
Del cuadro anterior, se observa que la categoría de aptitud muy baja presenta un 0, esto se da debido a que la formula (1) utiliza la altitud como una variable multiplicativa que limita a todas las demás, por lo que la multiplicación de cualquier valor el indicador de altitud para áreas más elevadas a los 850 msnm se obtiene como resultado 0 en el índice integral.

3.6.3 Zonificación utilizando escenarios de cambio climático

En este aspecto se utilizan los escenarios de cambio climático elaborados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2011), la metodología que utiliza la institución en este caso es un proceso de reducción de escala dinámico de modelos Atmósfera-Océano de Circulación General, estos modelos utilizan valores límite generados por los escenarios de emisión A2 y B2 para simular el clima en el horizonte del tiempo 2070-2100. Este modelo genera escenarios para la precipitación y para la temperatura a una resolución horizontal de 1 km, que posteriormente son integrados a la zonificación, para ello se digitalizaron, ya que

se encuentran en formato de imagen. A continuación se pueden observar los escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura que fueron utilizados:

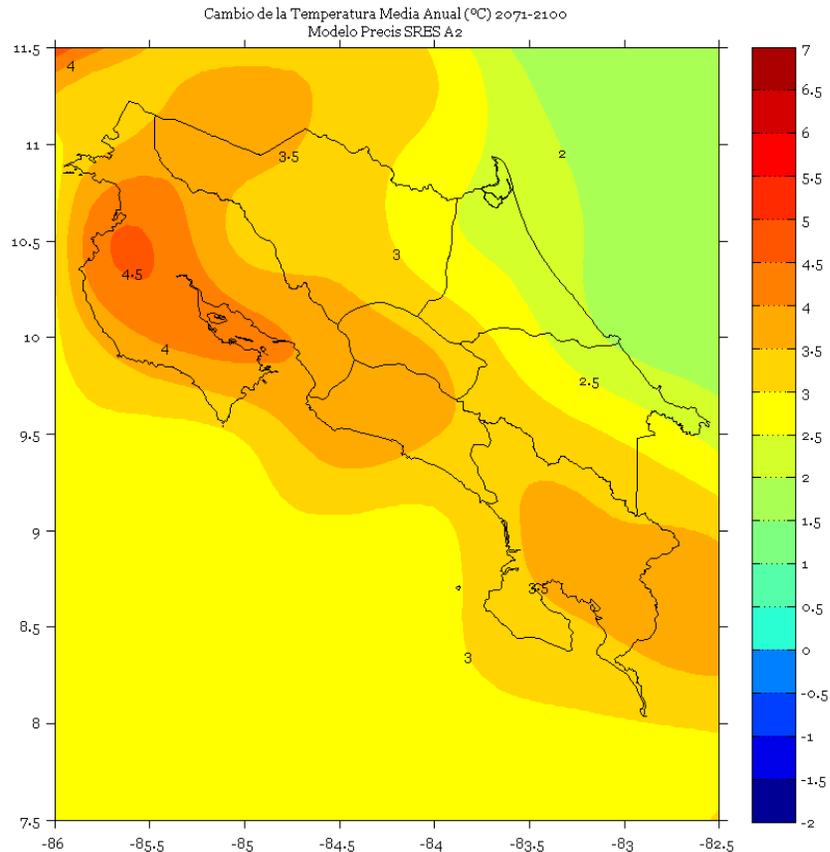
Figura 1: Escenario de precipitación para el periodo del 2071-2100



Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2011

En el escenario de precipitación para el año 2080, se observa como Guanacaste es la provincia que tendrá un fuerte impacto asociado a la reducción de la precipitación, teniendo zonas en las que se podrían esperar precipitaciones que rondan entre los 500 mm y 1000 mm mensuales, poniendo en un estrés hídrico bastante fuerte todas las plantaciones que se desarrollen en estos lugares. Es importante mencionar también que hay áreas en las que se podrían esperar montos de precipitación que se asemejen bastante al promedio actual como lo es la región Caribe Norte y la zona sur de Costa Rica.

Figura 2: Escenario de temperatura para el periodo 2071-2100



Fuente: Instituto Meteorológico Nacional 2011

Respecto a la temperatura (figura 2), según los resultados obtenidos por el IMN, se puede esperar un aumento importante de temperatura, principalmente en la región Chorotega, donde se podría dar un aumento de hasta 5 °C, este incremento de temperatura se observa también para el Pacífico Central y para la Región Brunca.

Como se espera un aumento en la temperatura de todo el país, para obtener la temperatura que se va a presentar para el periodo 2071-2100 se hace una suma de capas utilizando álgebra de mapas con la siguiente fórmula:

$$\text{Temperatura futura} = \text{Temperatura media actual} + \text{Escenario de temperatura} \quad (2)$$

De esta forma se obtuvieron las áreas con una nueva estimación de la temperatura. Una vez que se tiene los escenarios de temperatura y precipitación en formato vectorial se procede a

realizar el mismo proceso, cambiando las capas de temperatura y precipitación actual por las que se elaboraron a partir de los escenarios de cambio climático, estas fueron las capas base para la zonificación a futuro.

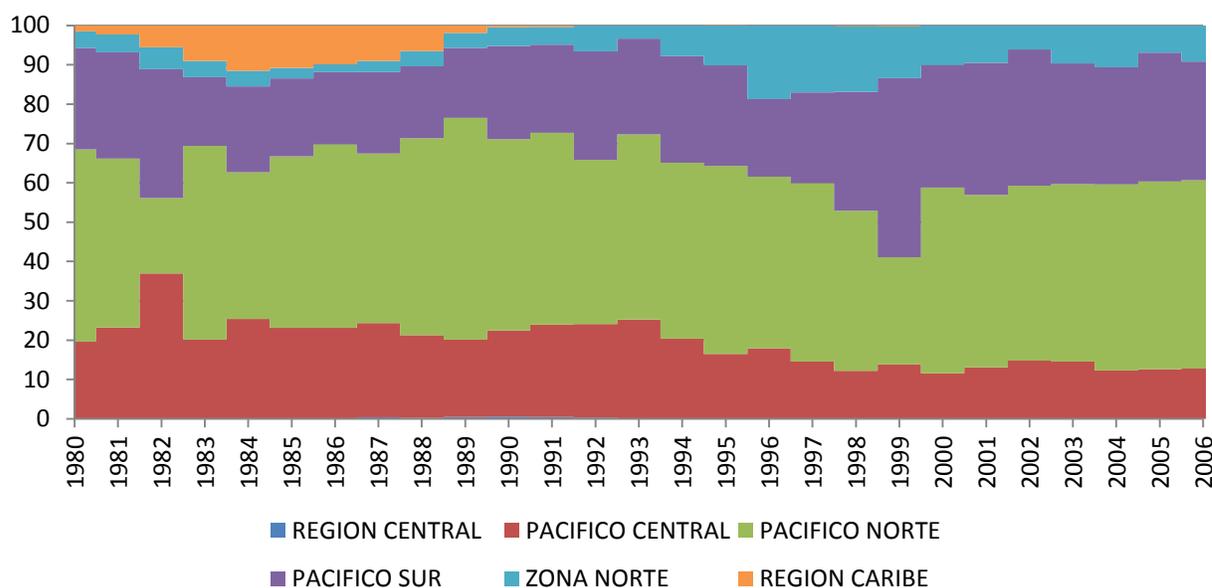
Capítulo IV. Resultados

4.1 Variabilidad climática e impacto en la producción arrocera

La variabilidad climática en Costa Rica tiene un papel muy importante en las actividades agrícolas, principalmente en las que el crecimiento de las plantas, inicio de las siembras y cosechas depende de la precipitación, es decir, la producción en secano. Regiones como la Chorotega o Huetar Norte se han visto más afectadas por El Niño, el cual trae consigo una disminución en la precipitación para estas regiones así como para el resto de la vertiente del Pacífico y Valle Central (Fernández & Ramírez 1991).

Cuando se analizan las series de datos históricos de producción, no es de extrañar que cuando se detecta el fenómeno El Niño, haya una disminución en la producción, sin embargo el efecto de este fenómeno no es uniforme en el espacio ni en el tiempo.

Gráfico 2: Producción arrocera en Costa Rica para el periodo 1980 al 2006

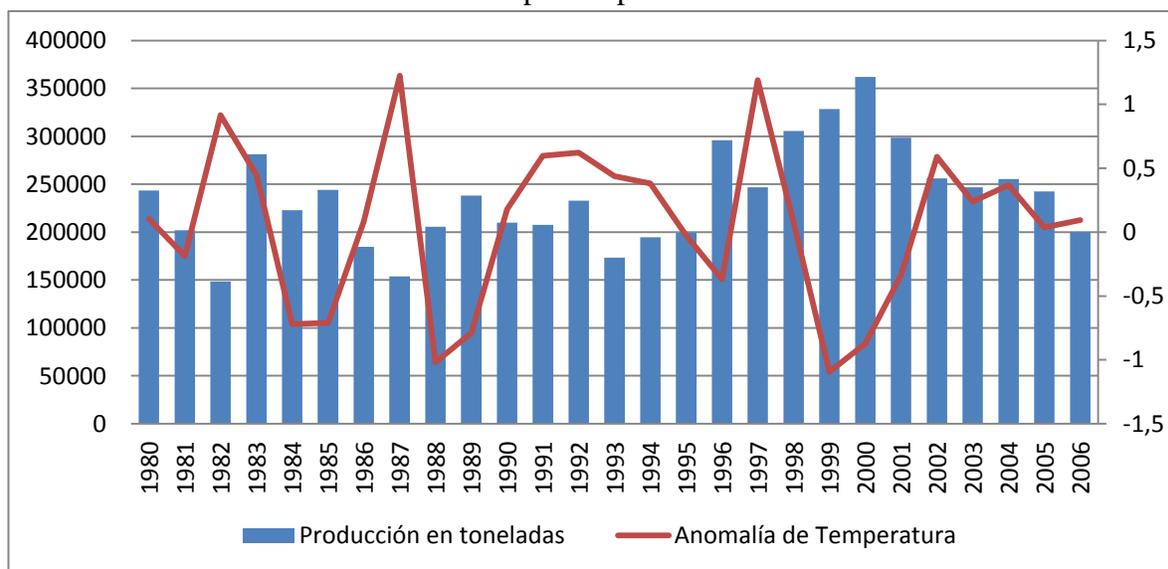


Fuente: IMN, 2014

Para años donde el fenómeno del ENOS se encuentra en una fase positiva, como lo es en 1982, se observa que la región Pacífico Norte (Región Chorotega) es afectada, presentando solo un 20% de la producción total de arroz para ese año. Sin embargo para otros periodos en los que se han clasificado ENOS positivos de una intensidad alta (año 1997) este comportamiento en la reducción de la producción no se observa tan fácilmente (Gráfico 2).

Lo contrario ocurre cuando se presenta La Niña (ENOS en su fase fría) el cual provoca un incremento en la precipitación sobre la vertiente del Pacífico y por consiguiente se tendría la cantidad suficiente de agua para el crecimiento de las plantas, por lo que en esta época se pueden esperar mejores rendimientos. Lo anterior ocurre para el periodo 1999-2001 (Gráfico 3), años en los que se reportaron anomalías de temperatura negativas en la superficie del mar en la región 3.4 de El Niño.

Gráfico 3: Producción de arroz vs anomalía de temperatura superficial del mar en la región 3.4 de El Niño para el periodo 1980-2006



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INFOAGRO y Kaplan et al (1998).

La correlación de Pearson entre la producción de arroz y la anomalía de temperatura en la región 3.4 de El Niño es de -0.48, al haber una relación inversa se corrobora el hecho de que durante años bajo los efectos de El Niño hay una baja en la producción, mientras que en años La Niña la producción tiende a aumentar. Estas mejoras en la producción también fueron reportadas en otros lugares del mundo gracias al aumento en la precipitación en lugares como Java se ven mejoras en las siembras de arroz (Amien, Rejekiningrum, Kartiwa, Estiningtyas, 1998).

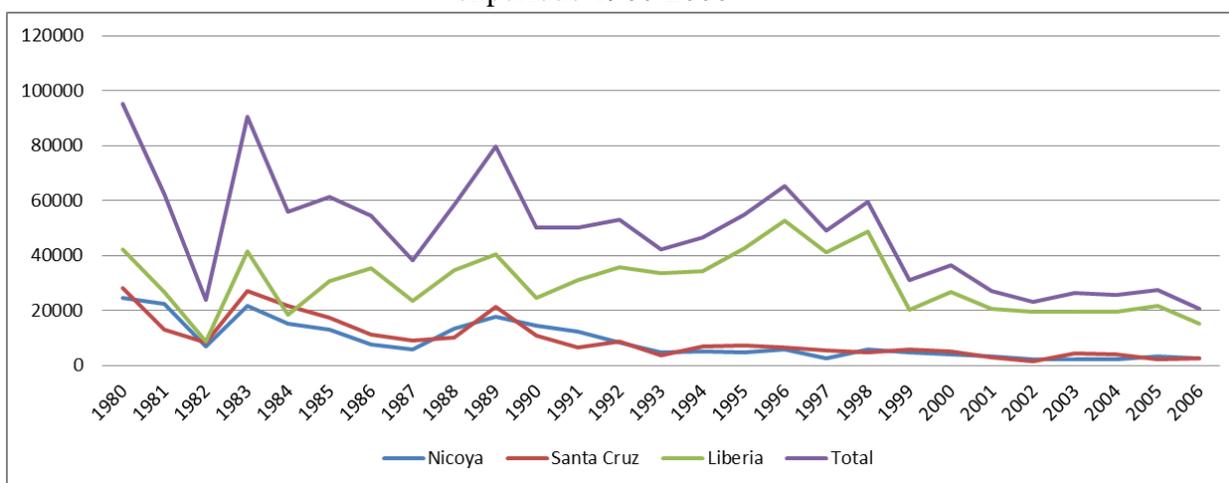
Pese a que Costa Rica parece responder de forma inversa ante el fenómeno del ENOS, esto no ocurre de la misma forma en todas las regiones ya que hay variaciones importantes en la

distribución espacial del efecto del ENOS, por lo que resulta conveniente analizar de forma puntual las distintas regiones del país, con el fin de reconocer los distintos efectos que provoca este fenómeno en la producción.

4.1.1 Región Chorotega

En esta región, para los cantones analizados, el máximo de producción alcanzado es para el año 1980 con 95298 toneladas y el mínimo de producción es 20571 toneladas en el año 2006, la media de producción para la región Chorotega es de 43664 toneladas (gráfico 4).

Gráfico 4: Producción anual en toneladas para algunos cantones de la región Chorotega en el periodo 1980-2006



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INFOAGRO.

Esta es la región más sensible ante los efectos de El Niño, un ejemplo de esto son los años 2014-2015, en los que se desarrolla una sequía sumamente intensa, teniendo tan solo 11 días de lluvias en el 2015 (Hidalgo, Alfaro, Mora, Duran-Quesada, Amador, Muñoz, 2016). Otro ejemplo de la sensibilidad ante el ENOS es la disminución de producción reportada en 1982, año en el que se desarrolla El Niño. Al existir condiciones de sequía en una región en la que históricamente se ha producido este grano (Cortés, 1994), conlleva a disminuciones de producción ya que esto afecta la fisiología de la planta.

La fluctuación de la producción en relación con el fenómeno ENOS es distinta para todos los cantones de esta región (tabla 11). La producción de Liberia durante fases El Niño

presenta una producción promedio de 27247 toneladas, si se compara con la producción durante fases neutras, hay un aumento de 1.07% de la producción. Para el caso de los cantones de Nicoya y Santa Cruz, también se dan menores producciones del grano durante estas fases, presentando en promedio reducciones de 65.38% y 45.28% respectivamente.

Tabla 11: Producción promedio en toneladas para el periodo 1980-2006 y el efecto del ENOS en ella para algunos cantones de la región Chorotega

| Cantón | Producción promedio años Niño | Producción promedio años Niña | Producción promedio años Neutros | Diferencia de producción entre años Niño y Neutro | Diferencia de producción entre años Niña y Neutro |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Nicoya | 5012.5 | 5918.5 | 14480 | -65.38 | -59.13 |
| Santa Cruz | 6048 | 7135.5 | 11053 | -45.28 | -35.44 |
| Liberia | 27247 | 38672.5 | 26958 | 1.07 | 43.45 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Infoagro

Es importante reconocer el efecto beneficioso que genera La Niña en la producción, pese a que Liberia es el único cantón que presenta esta condición con un aumento en la producción de un 43.45% en promedio. Para el caso de Nicoya y Santa Cruz, se reconoce un incremento en la producción muy importante para años en los que el fenómeno ENOS se encuentra en una fase neutra, con producciones promedio de 14480 y 11053 toneladas respectivamente. Esto puede ser el indicio de que el fenómeno ENOS tiene la capacidad de influir negativamente en sus diferentes fases ambos cantones, por lo que las condiciones ideales para la siembra del arroz son aquellas en las que el fenómeno no tiene capacidad de modificar las condiciones atmosféricas.

Si se correlaciona la producción en esta región con la anomalía de temperatura en la región Niño3.4, se obtiene -0.05, -0.23, -0.21, para Liberia, Nicoya y Santa Cruz respectivamente, por lo que es una correlación baja. Sin embargo, esto no significa que el fenómeno no tenga un impacto en la región, ya que ha quedado demostrado con anterioridad, que el fenómeno provoca cambios en la producción (tabla 11).

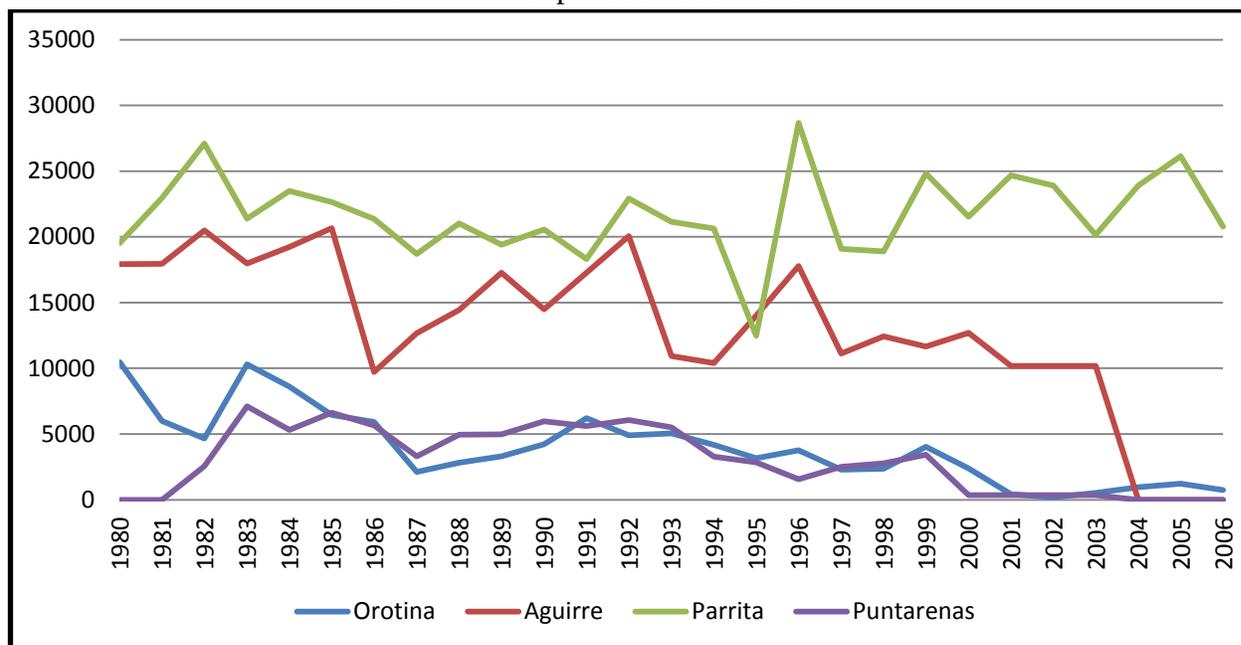
Respecto a la correlación entre precipitación y la producción (Anexo 1) no son estadísticamente representativas, presentando valores de correlación de Pearson de 0.20, 0.25, 0.21 para Liberia, Nicoya y Santa Cruz respectivamente, esto indica que hay cantones más sensibles al efecto de la ausencia de la precipitación que otros. Por lo que un

determinado valor de precipitación anual no necesariamente está asociado a una cantidad específica de producción, debido a la gran cantidad de variables involucradas en la producción agrícola.

4.1.2 Pacífico Central

La producción arrocerá en la región Pacífico Central se encuentra en descenso desde el año 1991 (gráfico 5), ya que los cantones de Aguirre, Orotina y Puntarenas han ido reduciendo su producción con el paso de los años, a excepción de algunos ligeros aumentos en 1999 para el caso de Puntarenas y Orotina y en 1996 en Aguirre.

Grafico 5: Producción de arroz en toneladas para algunos cantones de la región Pacífico Central en el periodo 1980-2006.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INFOAGRO.

Parrita es el único cantón en el que no se reconoce una tendencia en la reducción del cultivo, por lo que el análisis se enfoca principalmente en este cantón. Para Parrita el máximo de toneladas reportado es de 28660 toneladas en el año 1996, la menor producción es de 12478 toneladas en 1995 y la producción promedio es de 21711 toneladas.

Esta región, al igual que la región Chorotega, se encuentra expuesta al fenómeno del ENOS en sus distintas fases ya que la ocurrencia del fenómeno está relacionada a inundaciones y fenómenos de sequía (IMN, 2008).

Sin embargo, en lo que respecta a la producción arrocera, para esta región el efecto del ENOS en el cultivo es menor si se compara con la región Chorotega debido a que los máximos y mínimos en la producción se dan durante fases neutras del ENOS. Si se analiza la producción durante las fases positivas del ENOS, se reconoce una reducción en la producción de 2.62% (tabla 12), esta disminución es mucho menor si se compara con la región Chorotega, donde en promedio existen reducciones de un 55% (tabla 11).

Tabla 12: Producción promedio en toneladas para el periodo 1980-2006 y el efecto del ENOS en ella para algunos cantones de la región Pacífico Central

| Cantón | Producción promedio años Niño | Producción promedio años Niña | Producción promedio años Neutros | Diferencia de producción entre años Niño y Neutro | Diferencia de producción entre años Niña y Neutro |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Parrita | 20959.5 | 21837 | 21524 | -2.62 | 1.45 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INFOAGRO.

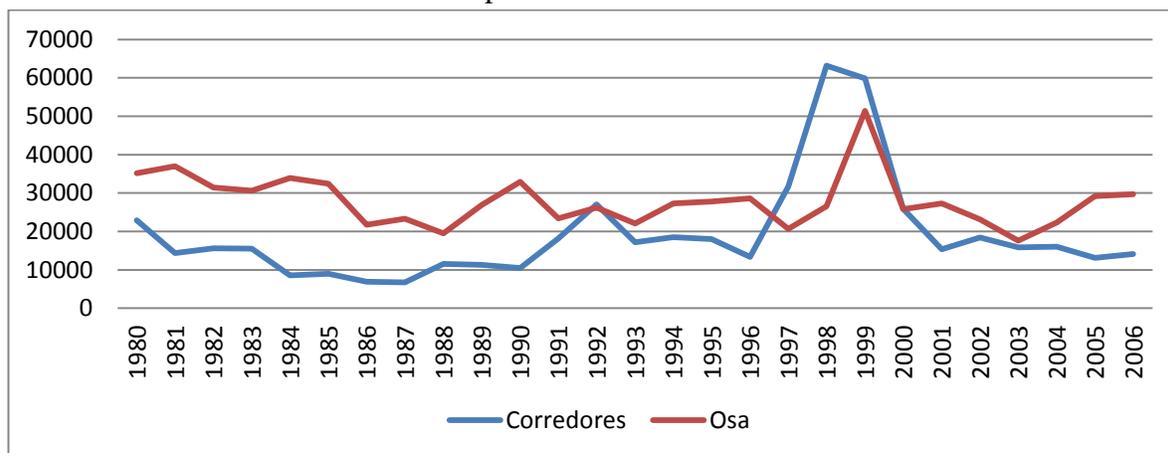
Para el caso de las demás fases del fenómeno (neutra o fría), existen aumentos muy pequeños en la producción, por lo que este cantón resulta poco sensible ante este fenómeno. Esto se puede deber a que durante las fases La Niña la región no sufre un aumento en la precipitación significativo que propicie una mejora en los niveles de producción.

Al calcular la correlación entre la precipitación en la estación Damas (Anexo 2) y la producción, se obtiene un valor de 0.14, lo cual significa que no existe una correlación alta entre las variables. La producción en Parrita no es muy sensible ante los cambios de la precipitación que se dan en la zona, es decir, se cuenta con las condiciones climáticas adecuadas para la producción del arroz, además, no hay un efecto claro del ENOS en las toneladas producidas. Respecto a la relación entre la anomalía de temperatura en la región Niño 3.4 y la producción reportada en este cantón es de -0.17, la cual es una correlación inversa bastante baja.

4.1.3 Región Brunca

La producción arrocera en los cantones Osa y Corredores presenta un crecimiento para el año 1997 y 1996 respectivamente, este aumento en la producción se extiende hasta el año 1999 cuando nuevamente hay una disminución (gráfico 6). En promedio los cantones de Osa y Corredores producen 27276 y 15578 toneladas respectivamente.

Gráfico 6: Producción de arroz en toneladas para algunos cantones de la región Brunca en el periodo 1980-2006.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INFOAGRO

La región Brunca es donde más precipitación se reporta en Costa Rica, debido a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical y el efecto de la cordillera de Talamanca que genera lluvias orográficas así como los vientos provenientes del Pacífico (IMN, 2008). Pese a estas condiciones, el ENOS tiene la capacidad de modificar la precipitación, según los datos de la estación meteorológica ubicada en Palmar Sur muestran una disminución de 696 mm de precipitación en promedio durante la fase cálida del fenómeno (Anexo 3).

Los cambios en la precipitación antes mencionados, pueden ser la razón por la que hay variaciones en la producción en esta región, ya que al igual que en la región Chorotega, bajas precipitaciones impedirían a la planta un adecuado desarrollo. Si se correlaciona la anomalía de producción y de precipitación, para el cantón de Osa se obtiene un valor de 0.47, por lo que la precipitación tiene una alta influencia en la producción.

Tabla 13: Producción promedio en toneladas para el periodo 1980-2006 y el efecto del ENOS en ella para algunos cantones de la región Brunca

| Cantón | Producción promedio años Niño | Producción promedio años Niña | Producción promedio años Neutros | Diferencia de producción entre años Niño y Neutro | Diferencia de producción entre años Niña y Neutro |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Corredores | 16627,5 | 15713 | 15390 | 8,04 | 2,10 |
| Osa | 23251,5 | 28204 | 23167 | 0,36 | 21,74 |

Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de INFOAGRO

Al ser el ENOS un fenómeno cuyos impactos se distribuyen de forma no uniforme en el espacio, se puede observar (tabla 13) como la producción de arroz parece no variar de forma importante para el cantón de Corredores ya que hay aumentos de producción de un 8% durante fases positivas, así como aumentos de un 2% durante fases negativas. Para el caso de Osa, se observa un aumento en la producción de 21% durante la fase negativa, mientras que durante El Niño la producción es bastante similar a las fases neutras.

En esta región al igual que en el Pacífico Central, los efectos del fenómeno ENOS no son tan notorios como en el caso de la región Chorotega debido a que no se observan cambios negativos en las toneladas producidas asociadas a las distintas fases del fenómeno. Si se hace la correlación entre la anomalía de temperatura en la región Niño 3.4 se obtiene un valor de -0.09 para el cantón de Corredores y para Osa -0.41. El dato resultado obtenido para Osa es muy llamativo, principalmente relacionado con los aumentos de producción reportados durante eventos La Niña.

Pese a que el fenómeno que El Niño parece no tener un impacto tan severo en esta región hay diferentes fenómenos hidrometeorológicos extremos que tienen la capacidad de generar impactos importantes en la producción (Retana, 2012).

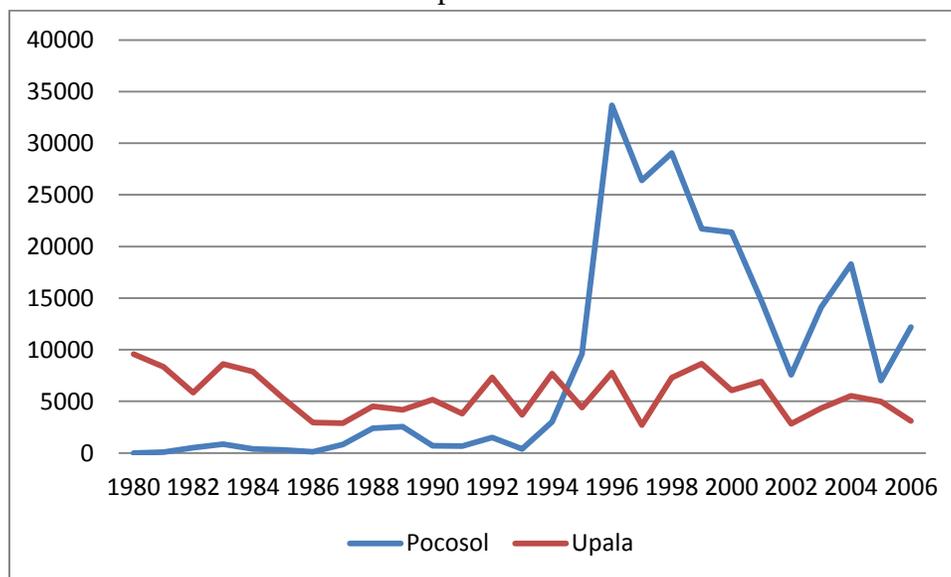
4.1.3 Región Huetar Norte

La región Huetar Norte se ve influenciada por diferentes tipos de fenómenos de variabilidad climática, según el IMN (2008) el efecto de los frentes fríos y el ENOS pueden

generar eventos hidrometeorológicos extremos que afectan en distintas épocas del año, por ello, la producción de arroz y otros productos se puede ver afectada de distintas formas.

En esta región los principales productores de arroz son el distrito de Pocosol en San Carlos y el cantón Upala, entre ambos representan el 74.49% de la producción total para la región (INFOAGRO, sf). El comportamiento de la producción para el periodo 1980-2006 en esta región (gráfico 7), tiene como características principal un aumento en la producción en Pocosol desde el año 1993.

Gráfico 7: Producción de arroz en toneladas para Upala y Pocosol en la región Huetar Norte en el periodo 1980-2006.



Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de INFOAGRO

El máximo de producción para Pocosol es en 1996 para un total de 33666 toneladas, respecto al mínimo producido, resulta complejo de identificar dado a que el distrito ha ido potenciando su actividad con el paso del tiempo, aumentando de forma importante a partir del año 1995. Una vez que la actividad se había establecido, el mínimo de producción se da en el año 2005 con 7020 toneladas (gráfico 7)

Para el caso de Upala la producción ha sido mucho más estable, ya que no presenta máximos de producción tan abruptos, presentando el máximo de producción en 1980 con

9563 toneladas y un mínimo de 2700 toneladas en 1997 que corresponde a un año bajo los efectos del Niño.

La correlación entre la producción y la anomalía de la precipitación en el cantón de Upala en el periodo de estudio da como resultado -0,19, sin embargo, el efecto de bajas precipitaciones son observables en 1982, ya que se reporta una anomalía de precipitación de -1326 mm, provocando una baja en la producción considerable.

Si se analiza la producción de ambos sitios bajo las distintas fases del ENOS (tabla 14), se observa la fuerte influencia que tiene el fenómeno de la Niña en el distrito de Pocosol, sin embargo, para el caso de Upala esta influencia no parece ser tan importante.

Tabla 14: Producción promedio en toneladas para el periodo 1980-2006 y el efecto del ENOS en ella para la región Huetar Norte

| Cantón | Producción promedio años Niño | Producción promedio años Niña | Producción promedio años Neutros | Diferencia de producción entre años Niño y Neutro | Diferencia de producción entre años Niña y Neutro |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Pocosol | 1902 | 15650 | 2015,5 | -5,63135698 | 676,482262 |
| Upala | 3401 | 6299 | 6912 | -50,7957176 | -8,86863426 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INFOAGRO.

Pocosol presenta un 676% de aumento en la producción durante fases negativas del ENOS, este valor puede obedecer a políticas agrícolas implementadas en el distrito para el aumento de producción, aumento del área de cultivo, así como distintos incentivos por parte del Estado. Por ello este aumento no puede ser asociado del todo a condiciones atmosféricas que estén favoreciendo la actividad (tabla 14).

Upala al tener un comportamiento productivo más estable (gráfico7), los cambios en las toneladas producidas de arroz estarían relacionados a las modificaciones que genera el ENOS. Durante El Niño, se observa una disminución de un 50% de la producción de arroz, mientras que durante La Niña es de 8.86%, por lo que este fenómeno estaría afectando negativamente la producción en sus distintas fases.

Respecto a la correlación de la producción y la anomalía de temperatura en la región Niño 3.4 se obtiene que para Pocosol -0.13 y para Upala -0.34. El resultado de Pocosol es bajo debido a los cambios tan notorios que ha sufrido la producción de este cantón. Respecto a Upala se observa que hay un valor considerable, incluso superando los cantones pertenecientes a la región Chorotega, por lo que lo convierte en un cantón bastante sensible a los efectos de El Niño.

4.2 Zonificación de áreas aptas para la producción de arroz en Costa Rica

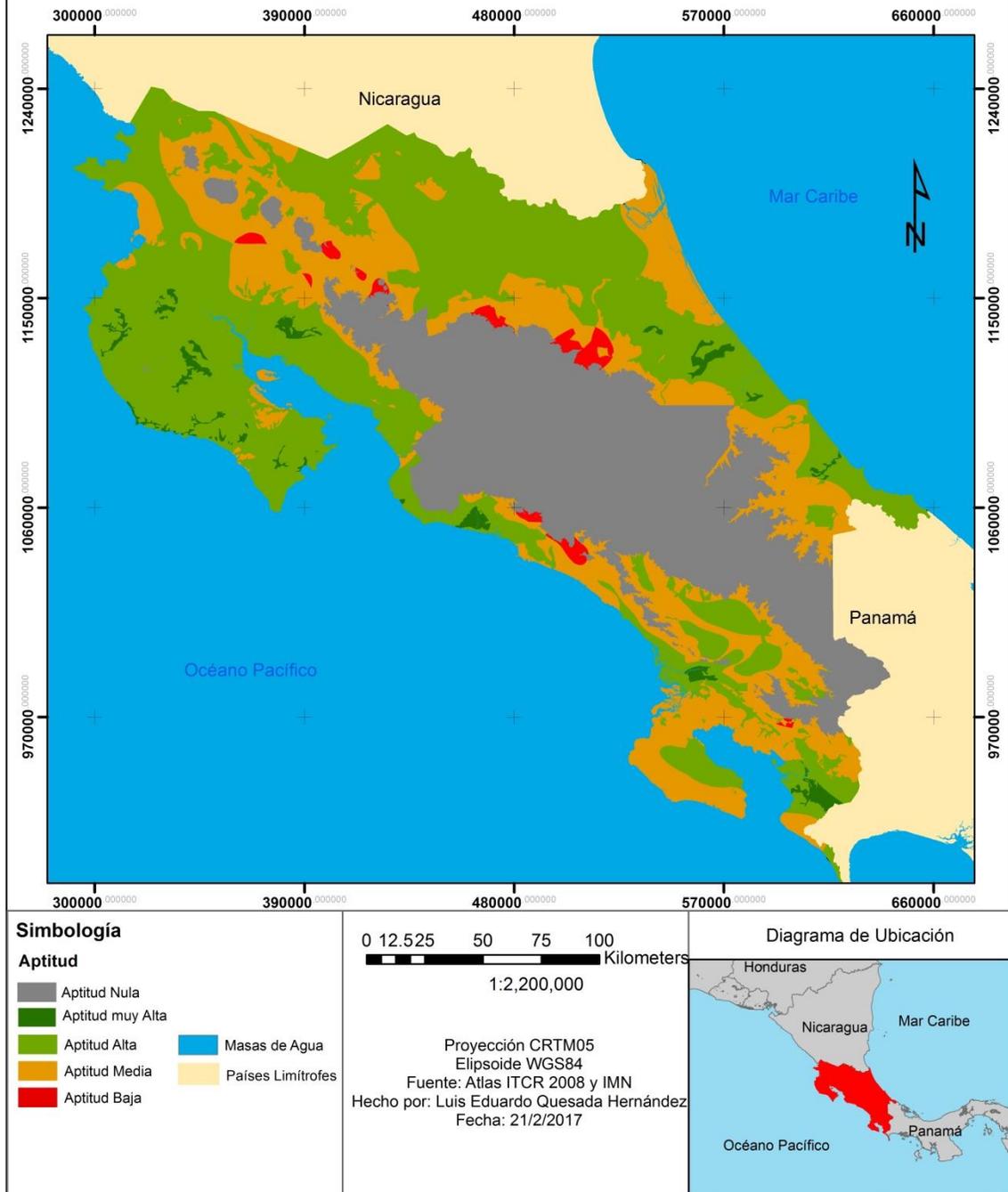
4.2.1 Aspectos Generales

En la zonificación que se obtiene utilizando el álgebra de mapas junto a la ecuación propuesta en la metodología, se reconoce el impacto que tiene la altitud para limitar las áreas con cierta aptitud para producir. Esto se puede reconocer con mayor facilidad en la región Central ya que se elimina prácticamente toda la región.

Con la zonificación obtenida se identifican 440 km² de áreas con una aptitud muy alta para la producción de arroz, estas áreas se encuentran distribuidas en todo el país a excepción de la zona Huetar Norte (figura 3)

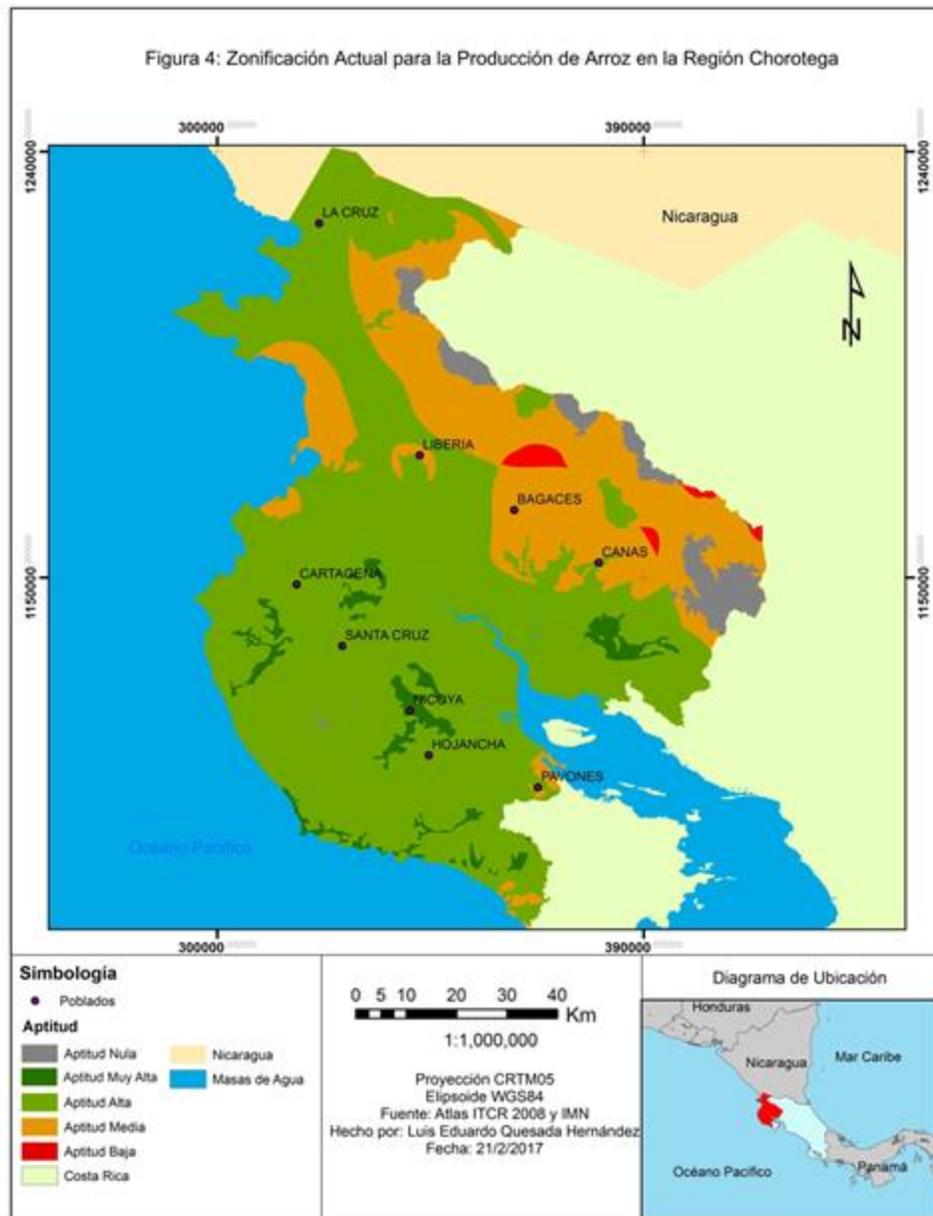
La zona de aptitud alta es la categoría que tiene la mayor cantidad de área para todo Costa Rica, con un total de 21255 km² (figura 3), esta categoría demuestra que el país tiene un gran potencial para la producción arrocera y que existen muchas áreas que cumplen con los requisitos climáticos para el desarrollo de esta actividad.

Figura 3: Zonificación de áreas aptas para la producción de arroz en la actualidad



4.2.1 Región Chorotega

Esta ha sido históricamente la región donde se ha desarrollado la actividad arrocera con mayor fuerza, alcanzando en ciertos periodos el 50% de la producción total del país (Cortés, 1994). La razón por la cual esta ha sido una región con alta producción de arroz, se debe a que la mayoría de su área cuenta con una aptitud alta o muy alta para el desarrollo de esta actividad (Figura 4).



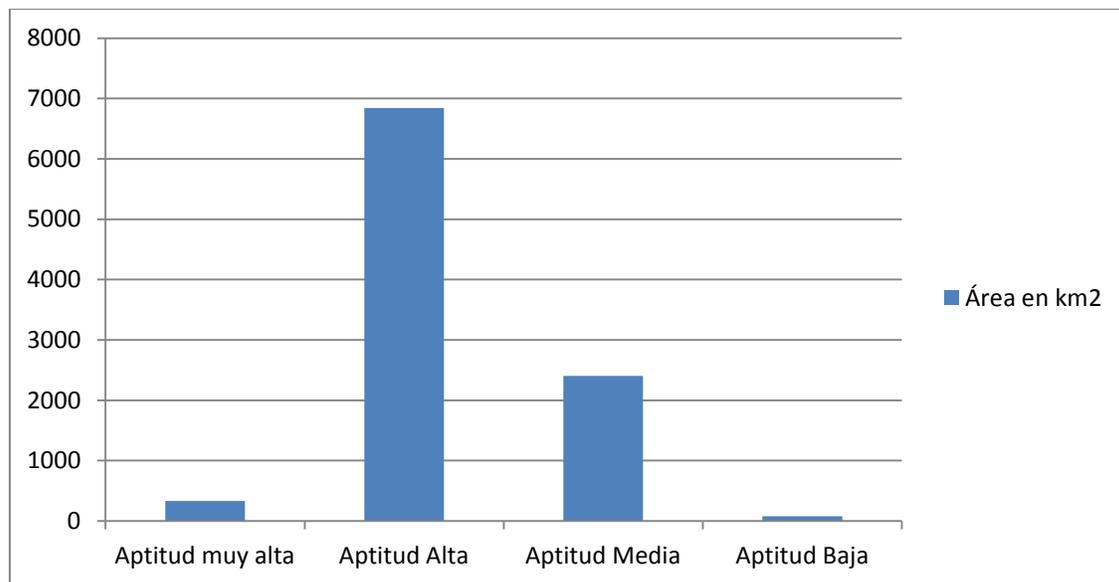
Gran parte de la región (alrededor de 5487 km²) cumple con la temperatura óptima para el crecimiento de las plantas, es decir con una temperatura entre 30 a 33 grados centígrados, así como valores de horas luz suficiente lo que propicia el adecuado crecimiento de la planta.

Los valores que influyen para bajar la aptitud son la precipitación y la capacidad de uso de los suelos, ya que a lo largo de la región se dan valores entre 1000mm a 2000mm de precipitación, por lo que cualquier fluctuación en estos valores conlleva a cambios en las fechas de siembra y cosecha, así como la pérdida de una importante cantidad de los cultivos. Esto es reafirmado por Yoshida quien menciona “el estrés hídrico en cualquier etapa de crecimiento puede reducir el rendimiento. Los síntomas más comunes del déficit hídrico son la laminación de las hojas, el quemado de las hojas, el tallado deteriorado, el retraso del crecimiento, retraso en la floración, esterilidad de la espiguilla y llenado incompleto del grano” (1981, p.108)

Pese a la existencia de una cantidad importante de áreas con aptitud alta y muy alta para el cultivo, se ven ciertos sitios donde esta situación cambia, específicamente en el sector este de la región Chorotega, para cantones como Bagaces y Cañas, los valores de precipitación que se sitúan entre 1000mm y 1500mm pueden generar situaciones bastante complejas como las mencionadas anteriormente por Yoshida (1981,p.108). Sin embargo, esta área cuenta con diferentes sistemas de riego que pueden atenuar estas circunstancias y mejorar la aptitud general de este sector (figura 4).

Respecto al área que abarca cada una de las zonas de aptitud, se aprecia que la zona de aptitud alta es la que cuenta con la mayor cantidad de área en esta región (gráfico 8),

Gráfico 8: Área en kilómetros cuadrados para cada una de las zonas de aptitud en la región Chorotega



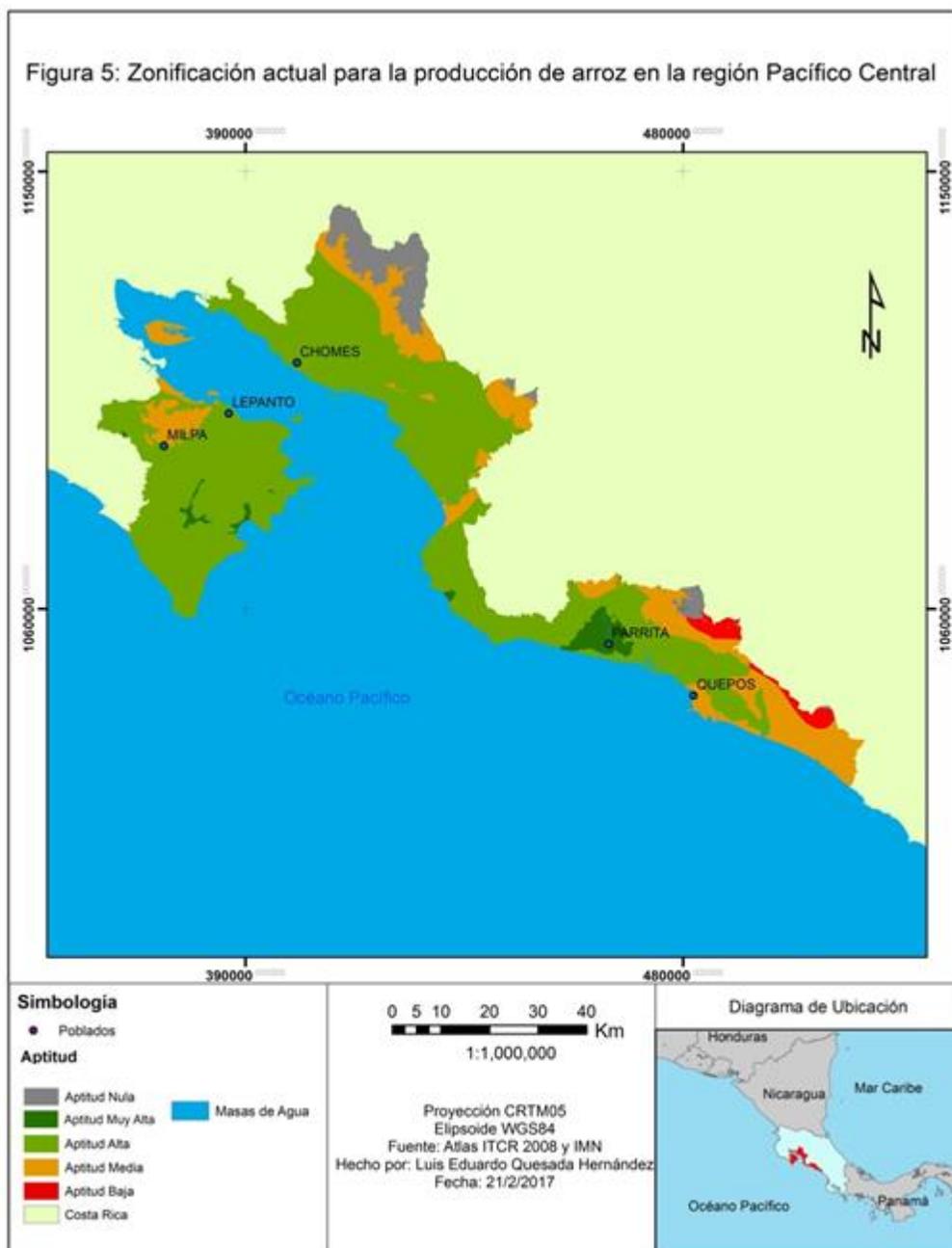
Fuente: Elaboración propia.

Por lo anterior es que esta es una de las regiones que ha desarrollado la actividad arrocera durante varias décadas de forma ininterrumpida (INFOAGRO,S.f), ya que cuenta con las condiciones climáticas para un desarrollo adecuado de las plantas de arroz y que conlleve a altos valores de producción. Pese a que en ciertas zonas existen aptitudes medias como por ejemplo cerca de Bagaces y Cañas que pueden poner en riesgo la siembra del grano, se han tomado medidas como implementar el distrito de riego mediante canales que permitan suplir la demanda de agua necesaria para el crecimiento de las plantas (Edelman, 1987).

4.2.2 Región Pacífico Central

Esta región ha sido también otra de las zonas donde ha existido un desarrollo histórico de la actividad arrocera en Costa Rica (Cortés, 1994), con valores de precipitación que se encuentran entre los 2000mm y 4000mm se tiene el suficiente recurso hídrico (MAG, 2008, Yoshida, 1981) para el desarrollo de las plantas en las distintas etapas donde el agua es fundamental, así como temperaturas que van desde los 28°C hasta 33°C permiten el

crecimiento de las plantas sin entrar en ningún rango crítico como lo son temperaturas superiores a 40°C que generen un estrés que afecte los futuros rendimientos de la producción.



Parrita presenta una zona de aptitud muy alta para producción arrocerá, así como una franja de aptitud alta que se extiende a lo largo de la costa del Pacífico, todas estas áreas tienen un alto potencial para la siembra de este cultivo (figura 5).

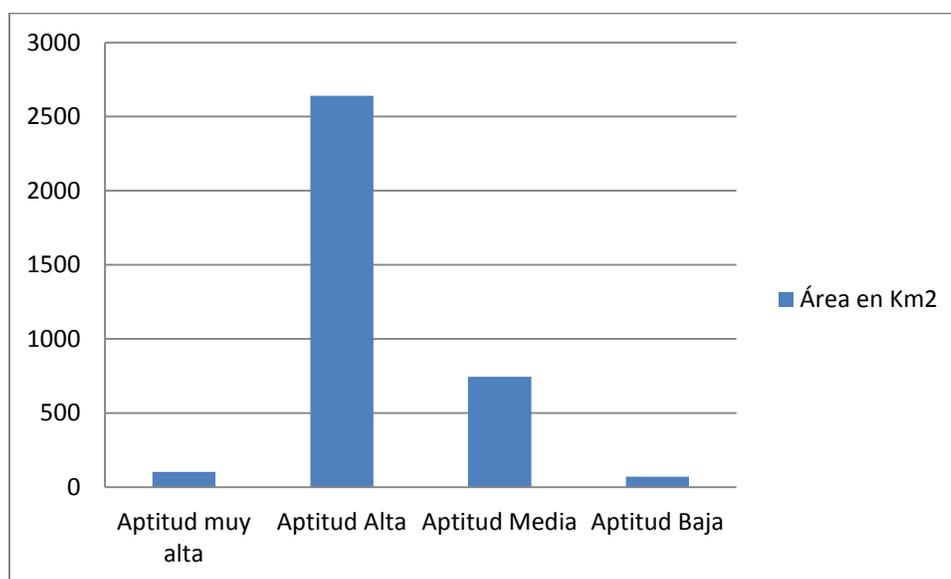
En el sector sureste de Quepos se ubican zonas donde la aptitud es media y baja, esto responde a valores de precipitación muy altos que superan los 4000mm, alcanzando en algunos sectores montos de 7000mm anuales de lluvia.

Otro factor que influye en la reducción de la aptitud para esta zona al sureste de Quepos es la capacidad de uso, ya que se encuentran suelos con capacidades de uso superiores a 4 (Anexo 4), por lo que son suelos con limitantes bastante severas, donde solo se pueden desarrollar cultivos con metodologías muy intensivas de conservación de suelos y agua (MAG-SEPSA, 1991).

En esta zonificación también se observan otros sectores donde existen aptitudes medias, como lo es al norte de Chomes, esta zona se ve influenciada por el efecto de la temperatura, horas luz y capacidad de uso, que al unirse generan esta baja en la aptitud (figura 5).

Respecto al área que abarca cada una de las aptitudes, se pueden observar valores de aptitud alta, alcanzando 2639 km² (gráfico 8)

Gráfico 8: Área para cada una de las zonas de aptitud en la región Pacífico Central



Fuente: Elaboración propia.

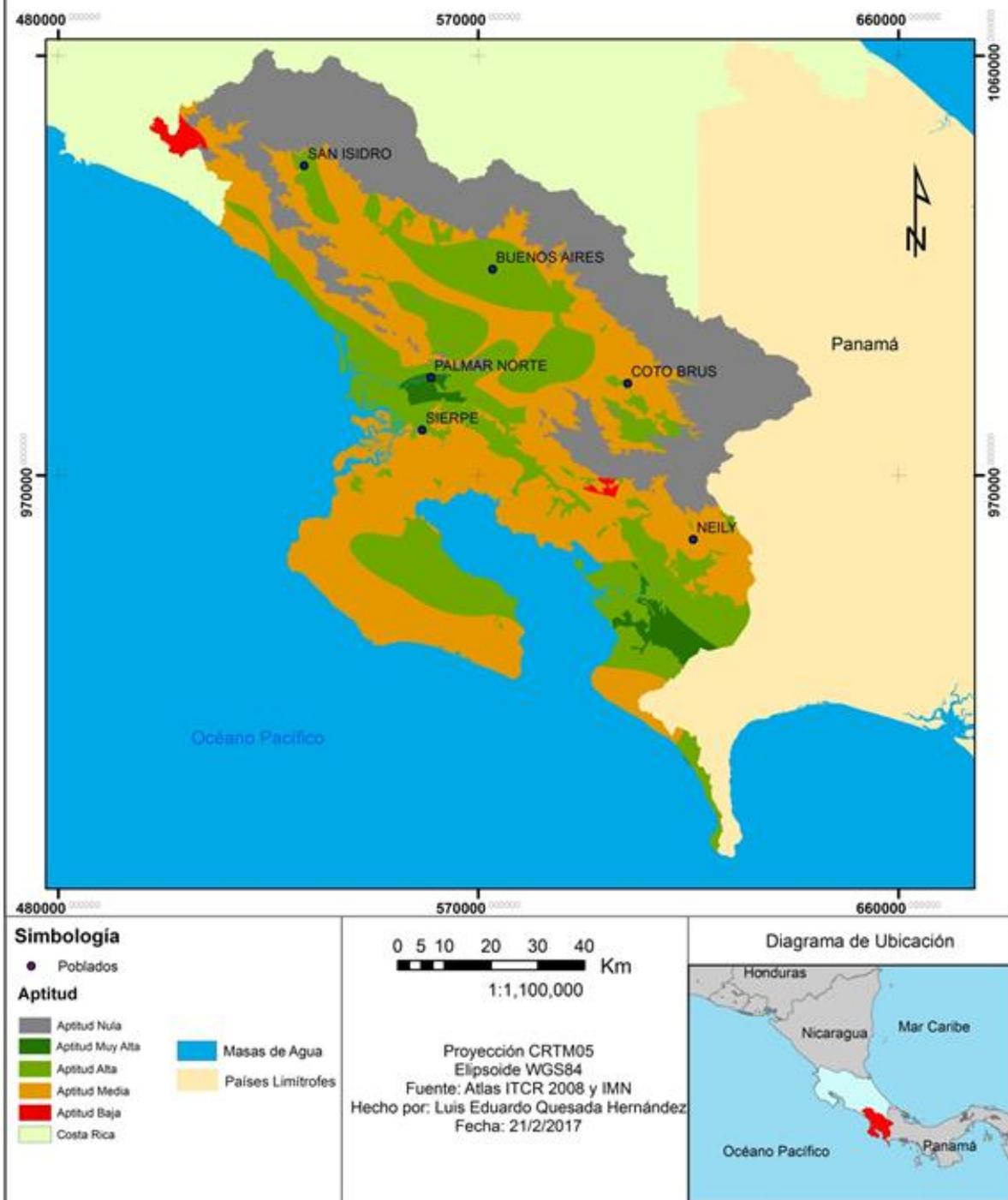
Prácticamente toda la región tiene una aptitud alta, con 2639 km² que corresponden a un 74% del total de su cobertura en esta categoría, al tener valores de aptitud muy alta permite reconocer la razón por la cual se ha producido arroz durante muchas décadas en esta zona, ya que se cuenta con condiciones climáticas que pueden propiciar esta actividad.

4.2.3 Región Brunca

Esta es una de las regiones más grandes de Costa Rica con 9528 km² y para el 2014, era la tercera región productora de arroz con un total de 49.508 toneladas de arroz, en años anteriores se ha ubicado en el segundo puesto de producción solo detrás de la región Chorotega (CONARROZ, 2015).

Esta región cuenta con una precipitación que la ubica en aptitud alta y muy alta, sin embargo en varios sectores principalmente alrededor del golfo Dulce se dan montos bastantes altos, con valores de 5000mm a 6000mm anuales harían que se desarrollen distintas enfermedades en los cultivos (MAG, 2009).

Figura 6: Áreas aptas para la producción de arroz en la actualidad para la región Brunca

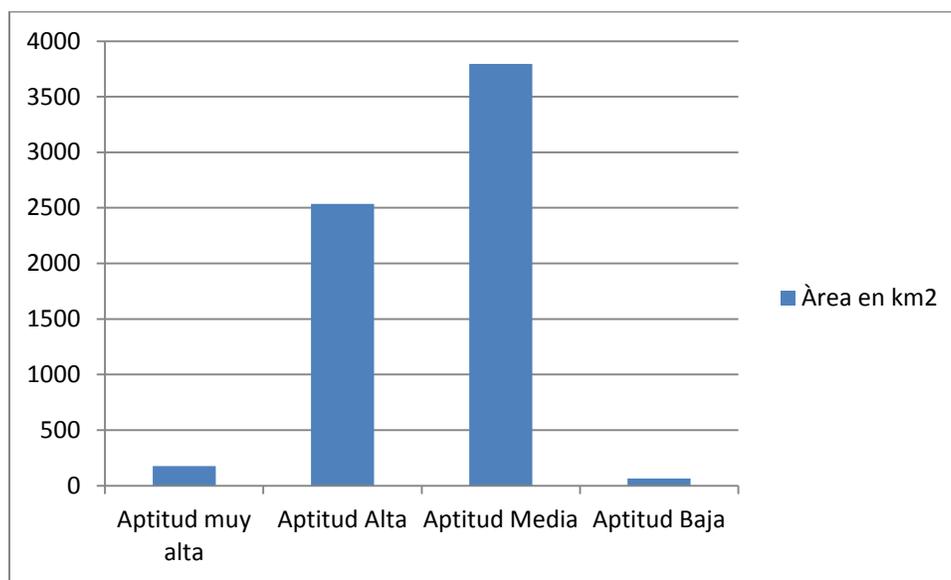


La temperatura y las horas luz para esta zona se clasifican como aptitud alta o muy alta, sin embargo, el principal problema que enfrenta esta zona es referente a la capacidad de uso del suelo, además existe una cantidad importante de parques nacionales o distintos tipos de reservas biológicas como lo es el Parque Nacional Corcovado y el Parque Internacional la Amistad, los cuales al tener una administración distinta limitan la actividad arrocera (ver Anexo 6)

Es importante reconocer también que existen algunas áreas dispersas donde hay una aptitud muy alta para el cultivo, como se observa al sur de Ciudad Neily o cerca de Palmar Norte, también existe un sector de aptitud alta en el poblado de Buenos Aires.

Por lo anterior se puede observar que esta región es la que cuenta con una mayor cantidad de áreas con aptitud media para todo Costa Rica con 3795 km² (gráfico 9).

Gráfico 9: Área en kilómetros cuadrados para cada una de las zonas de aptitud en la región
Brunca



Fuente: Elaboración Propia

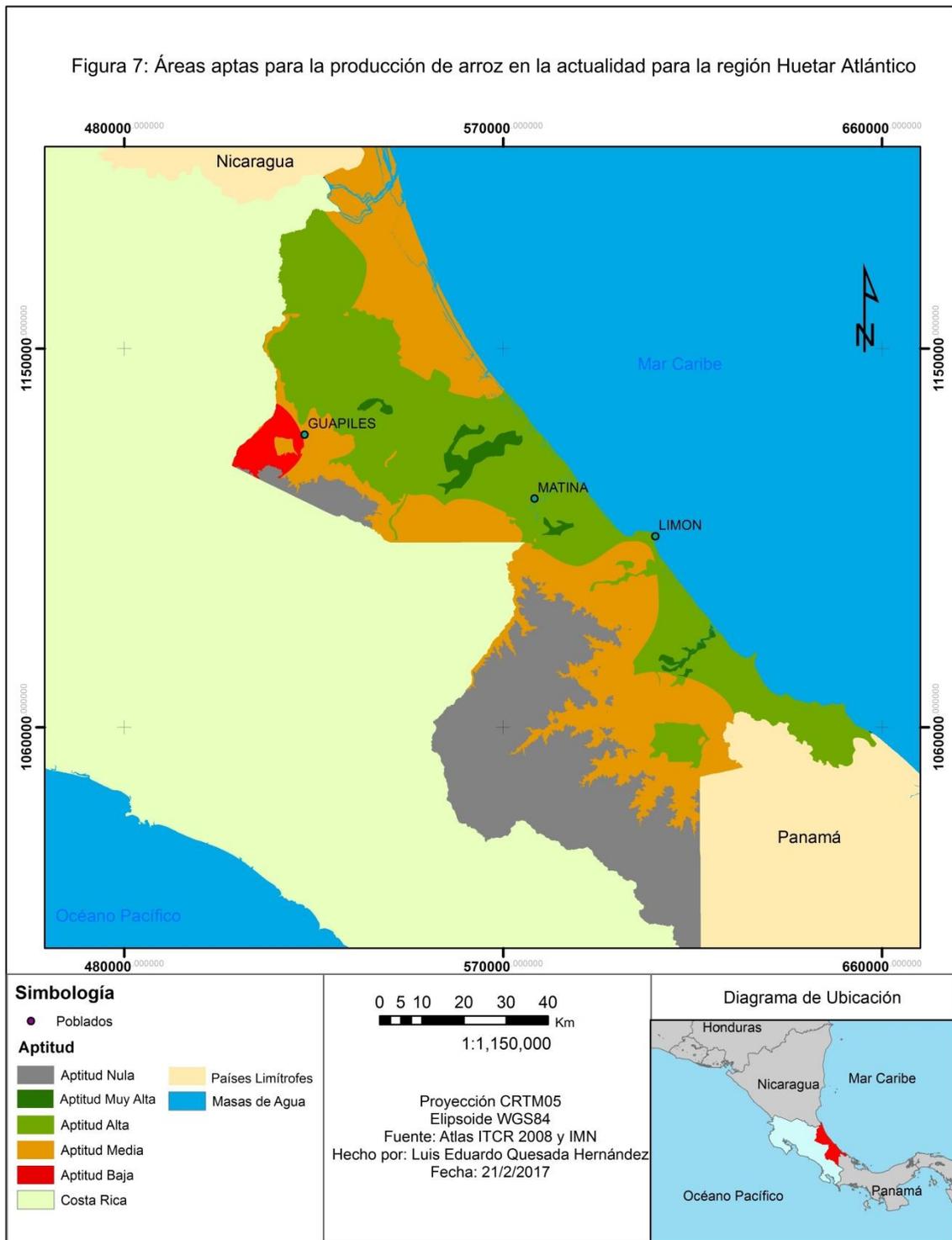
Si se toman medidas para mitigar el efecto que tiene la capacidad de uso del suelo en esta región, que en la mayoría se clasifica como uso agrícola con fuertes limitaciones, las condiciones climáticas que se dan generarían una mayor cantidad de áreas con aptitudes muy altas o altas.

4.2.4 Región Huetar Atlántica

La región Huetar Atlántica ha sido una región en la que no se ha desarrollado el cultivo del arroz con mucha frecuencia en el pasado, es la década de 1980 el periodo donde más se cultiva, pasado este tiempo, la actividad ha ido decreciendo y solo se ha sembrado de forma esporádica en cantones como Limón y Guapiles (Infoagro, S.F). Para el año 2015 se reportan 2208 hectáreas cultivadas, siendo la región en la que menos se produce arroz de todo Costa Rica (CONARROZ, 2015). Esto se puede deber a que toda esta zona se ha dedicado a otro tipo de actividades agrícolas, como lo es el cultivo del banano.

Si se analiza la zonificación resultante para la región Huetar Atlántica, existen áreas que cuentan con una aptitud alta con un total de 3281 km², así como parches de zonas con una aptitud muy alta cerca de Matina para un total de 161.56 km², colocándola como la tercera región con mayor aptitud muy alta para todo el país (figura 7).

Figura 7: Áreas aptas para la producción de arroz en la actualidad para la región Huetar Atlántico

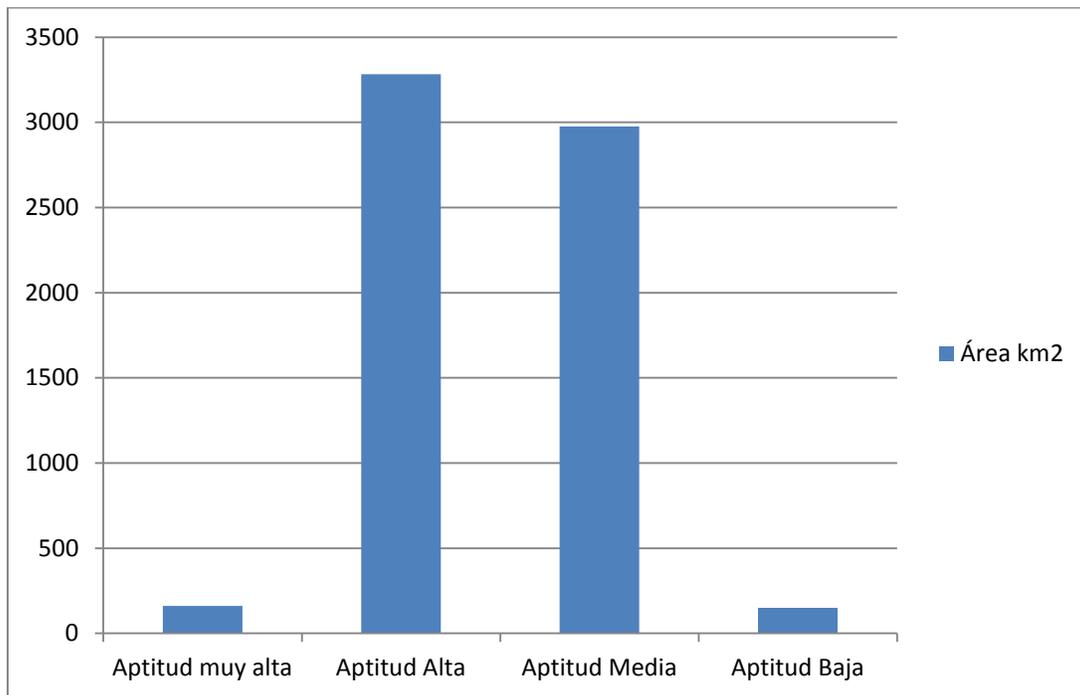


Existe un sector cerca de Guápiles cuya aptitud es baja, esto se debe a que existen valores de precipitación de 4000mm a 5000mm por lo que esta área es clasificada como de aptitud media, a esto se le suma el efecto que tiene una menor cantidad de horas luz, la cual solo alcanza entre 2 a 3 horas como promedio, todo esto se conjuga para que exista esa área con aptitud baja (figura 7)

Los valores de precipitación también están ligados a la aptitud media que se ve a lo largo de la costa caribe en el sector noreste de Guápiles, alcanzando valores entre 5000mm a 6000mm, convirtiéndola en una zona muy húmeda para el cultivo de arroz.

Pese a que esta no es una región donde se desarrolla la actividad arrocera con la misma intensidad que en otras regiones de Costa Rica (INFOAGRO, S.f), esta cuenta con aptitud que la hace una zona con un alto potencial para esta actividad (gráfico 5).

Gráfico 5: Área en kilómetros cuadrados para cada una de las zonas de aptitud en la región Huetar Atlántica

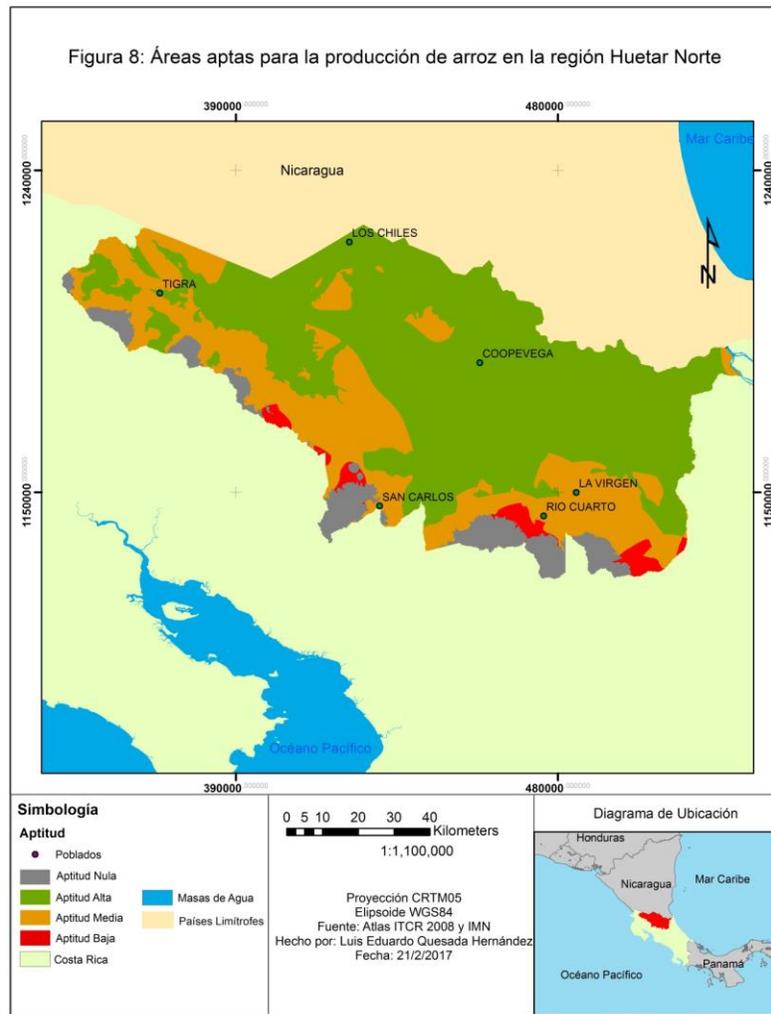


Fuente: Elaboración Propia.

Del total de territorio que tiene alguna aptitud para la producción arrocerá, la aptitud alta ocupa alrededor de un 50% de esta área, para un total de 3281 km², esto pone en evidencia el potencial que no se está explotando de esta región (gráfico 5).

4.2.5 Región Huetar Norte

La región Huetar Norte en la actualidad es la segunda región en la que más se produce arroz en Costa Rica con 14077 hectáreas sembradas para el año 2015 (CONARROZ, 2015), pese a ello es la única región del país que no presenta zonas con una aptitud muy alta para la producción (figura 8).



Pese a no tener ninguna zona de una aptitud muy alta, es la región que presenta la segunda mayor cantidad de área con una aptitud alta para la siembra del arroz por detrás de la región Chorotega, por lo que es una región con alta capacidad para el desarrollo de esta actividad.

Los factores que influyen para que no existan áreas con una aptitud muy alta son menores valores de radiación, los cuales en la zona van desde 4 a 5 horas así como capacidades de uso del suelo las cuales presentan limitantes severas como lo son áreas con procesos erosivos intensos generados por el agua o viento, así como altos niveles de pedregosidad que atentarían contra el desarrollo de la agricultura.

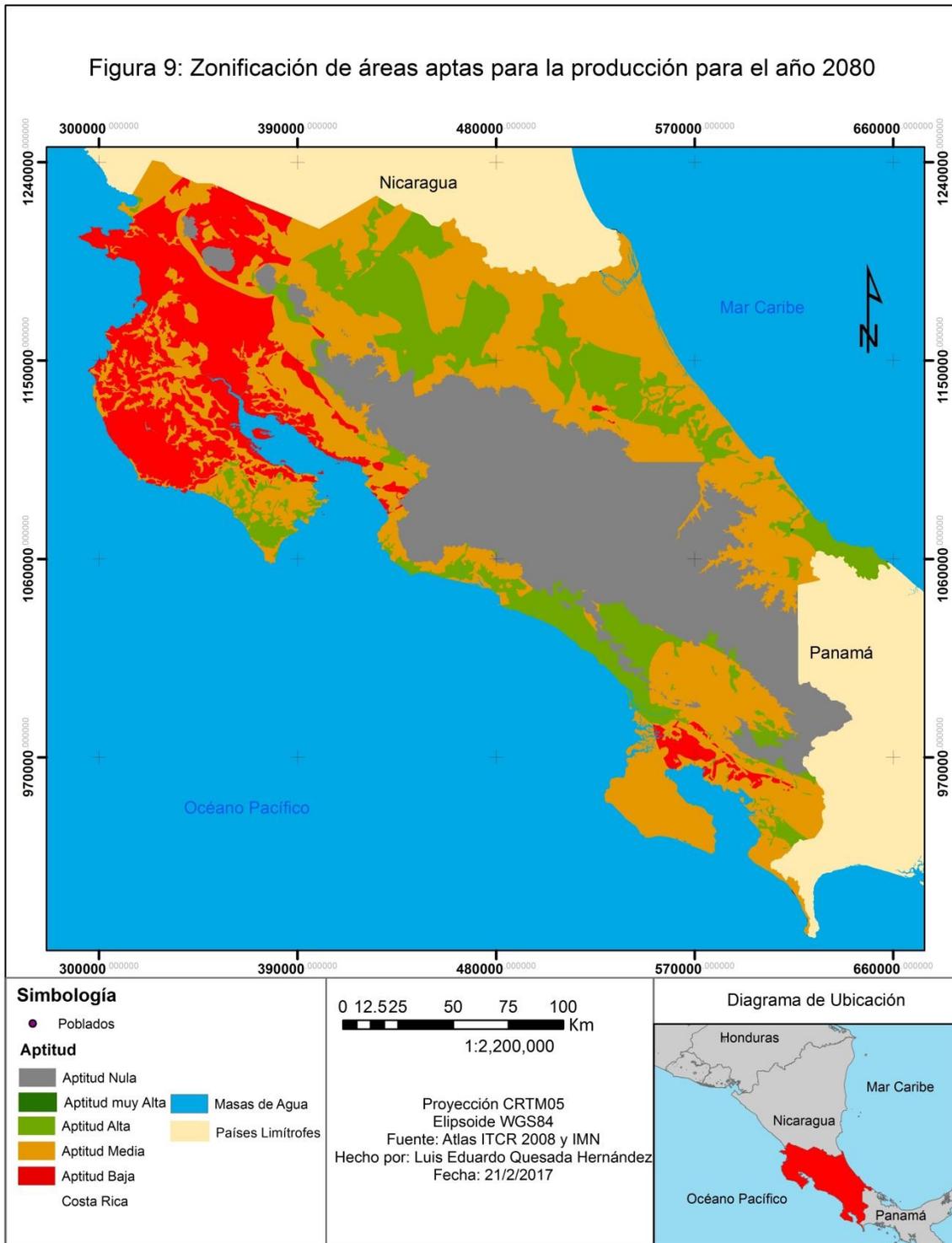
Cerca al poblado de la Tigra se ubican aptitudes medias para la siembra del cultivo (figura 8), estas zonas responden a valores de temperatura menores los cuales pueden relacionarse con el relieve.

4.3 Posible efecto del cambio climático en la distribución de áreas aptas para la producción

Cuando se integra la proyección de cambio climático elaborada por el IMN para el año 2080, se observan cambios importantes en la mayoría de las regiones productoras de Costa Rica, con aumentos de 2 grados centígrados en prácticamente todo el territorio costarricense, los cambios en la distribución de áreas aptas son notorios (figura 9).

Del total de áreas aptas de la categoría muy alta y alta de la zonificación actual, para el 2080 las zonas con aptitud muy alta prácticamente desaparecen y las zonas con aptitud alta se reducen en alrededor de un 61%, pasando de un total de 21255 km² a 8220 km². El número de áreas con una aptitud media se eleva con la proyección de cambio climático, presentando un incremento de 34.95% que equivale a 6836 km².

Figura 9: Zonificación de áreas aptas para la producción para el año 2080



Existen aumentos en las áreas con una aptitud baja, pasando de 576 kilómetros cuadrados en la actualidad, a 6961 kilómetros cuadrados para el año 2080, este aumento pone en evidencia el efecto que tendría reducciones en las precipitaciones así como aumentos de temperatura. Con cambios en el área y distribución, es importante ahondar en cada una de las regiones socioeconómicas del país.

4.3.1 Región Chorotega

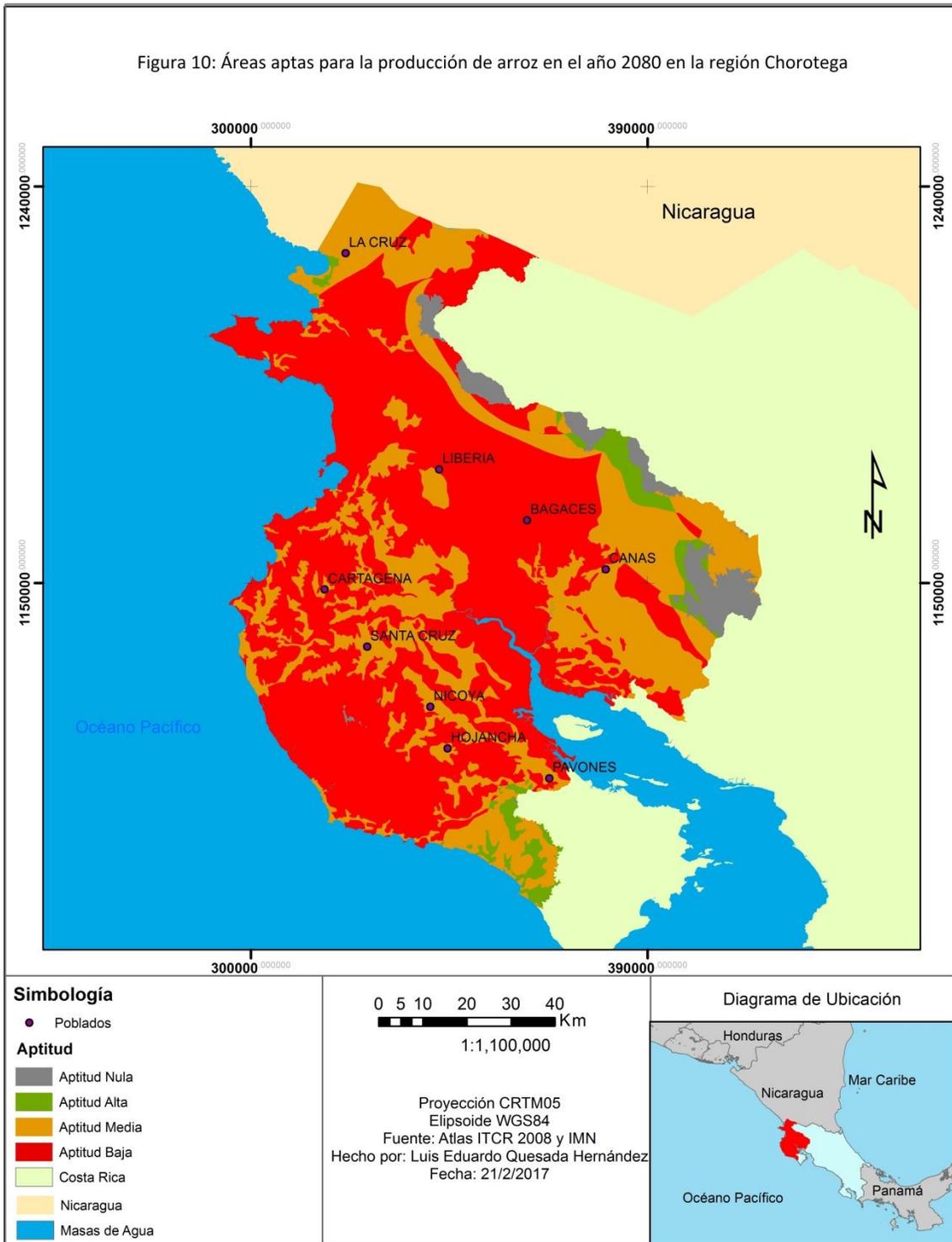
Esta es la región que más se vería afectada por el cambio climático, aquí la proyección de cambio climático estima aumentos de entre 4°C y 5°C a esto se le agrega valores de precipitación promedios mensual inferiores a 1000mm, lo cual supondría una condición bastante delicada para prácticamente cualquier actividad agrícola.

Con esta proyección en la región sería incluso complejo el desarrollo de actividades agrícolas con sistemas de regadío, ya que al haber aumentos de temperatura también hay cambios en la evapotranspiración por lo que habría que utilizar una mayor cantidad de recurso hídrico para solventar las necesidades de las plantaciones (FAO, 1998).

Las áreas históricas de producción arroceras como Santa Cruz y Liberia que en la actualidad cuentan con una aptitud alta (figura 4) pasan a tener aptitudes medias para el año 2080 debido a los cambios en la temperatura y la precipitación. Es notable el cambio que recibe el cantón de Nicoya pasando de una aptitud muy alta a aptitud media en el 2080 (figura 10).

Para esta región en el año 2080 todavía existen ciertos sectores que cuentan con aptitudes altas, como lo son áreas al sur de Pavones y otros sectores al norte de Cañas, los cuales para la zonificación elaborada con condiciones actuales cuentan con una aptitud media, demostrando así que con el efecto del cambio climático también aparecen áreas con aptitudes que permitirían el desarrollo agrícola.

Figura 10: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 en la región Chorotega



Existe una disminución de áreas con aptitudes altas, solo quedando fragmentos cerca de la cordillera de Guanacaste y cerca del poblado de Pavones. Para el 2080 no existen zonas con aptitudes muy altas y el incremento de áreas con aptitud baja es notable. Del total de área con potencial para la producción de arroz, un 61% cuenta con una aptitud baja, es decir, 5959.74 km², provocando que esta sea la región de todo Costa Rica que posee la menor cantidad de áreas para la actividad arrocera (figura 10).

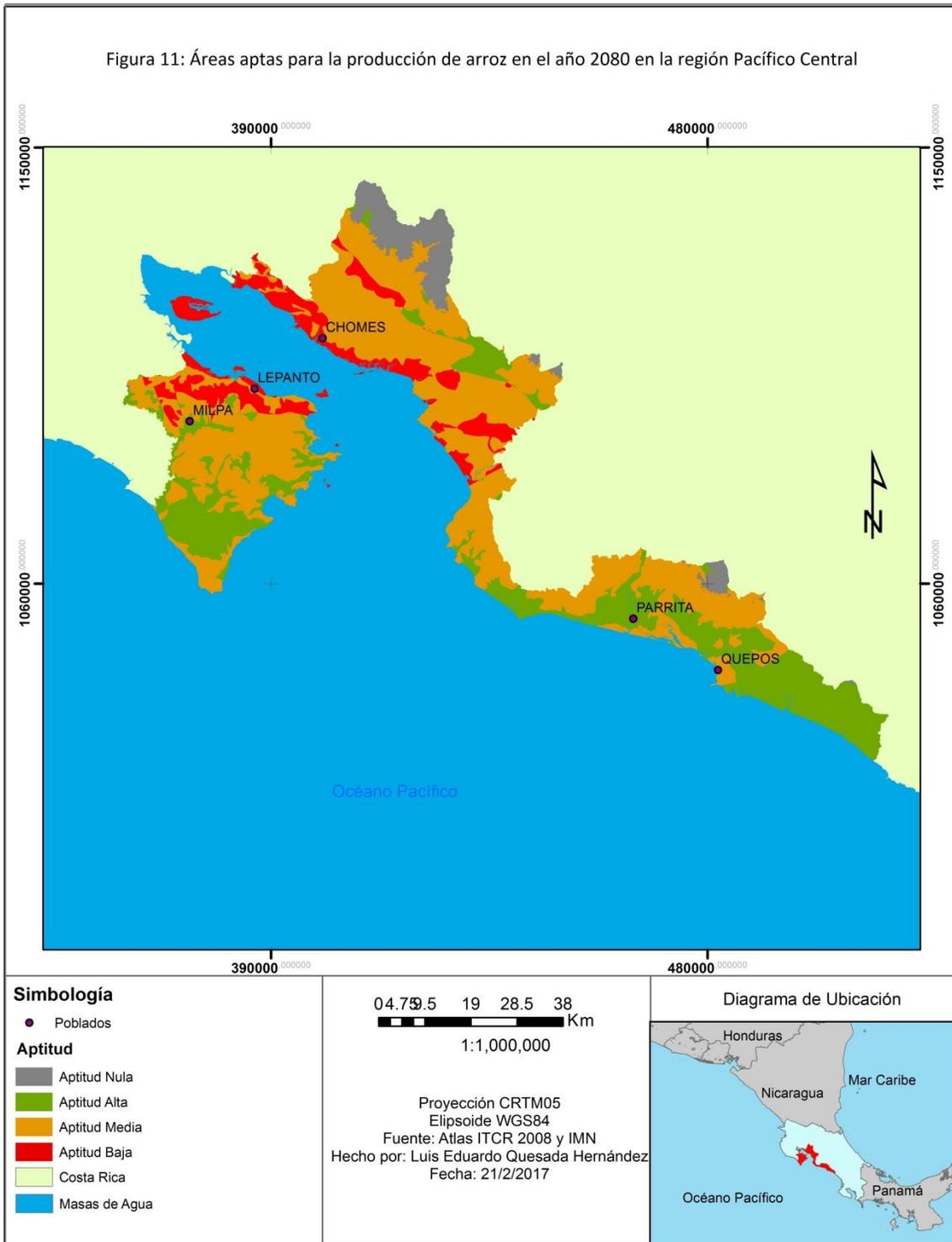
4.3.2 Pacífico Central

Al igual que la región Chorotega, esta región presenta importantes cambios en la distribución de áreas aptas para la producción arrocera principalmente en el sector noroeste de la región para los poblados de Lepanto y Chomes se nota un aumento en las zonas de aptitud media y baja. En estos sectores el efecto del aumento de temperatura en 3.5°C así como una precipitación de 1500 mm anuales son los causantes de este cambio (figura 11).

Con la proyección de cambio climático las áreas de aptitud muy alta desaparecen en esta región, sin embargo todavía existirían sitios donde la aptitud alta tiene un área considerable, esto sucede para los poblados de Parrita y Quepos. Pese a que Parrita en la actualidad presenta un área de aptitud muy alta, para el 2080 contaría con zonas de aptitud alta, lo cual podría ser una buena oportunidad para el desarrollo de este cultivo en el tiempo.

Este comportamiento de áreas con aptitud alta al sureste de la región Pacífico Central se debe a que la temperatura se encontraría con valores entre 30°C a 33°C y valores de precipitación entre 2000mm y 4000mm promedio anuales.

Figura 11: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 en la región Pacífico Central



Sin embargo todavía existen zonas en donde la aptitud alta persiste para el año 2080 (Parrita y Quepos) en general, esta zona tiene una reducción de un 60.97% respecto a la zonificación actual, alcanzando solo 1030 km² para el 2080 comparado con 2639 km² que tiene en la actualidad. Al igual que en la región Chorotega, se da un incremento en las áreas con aptitud media y baja, las cuales para el año 2080 presentan 2107 km² y 416 km² respectivamente.

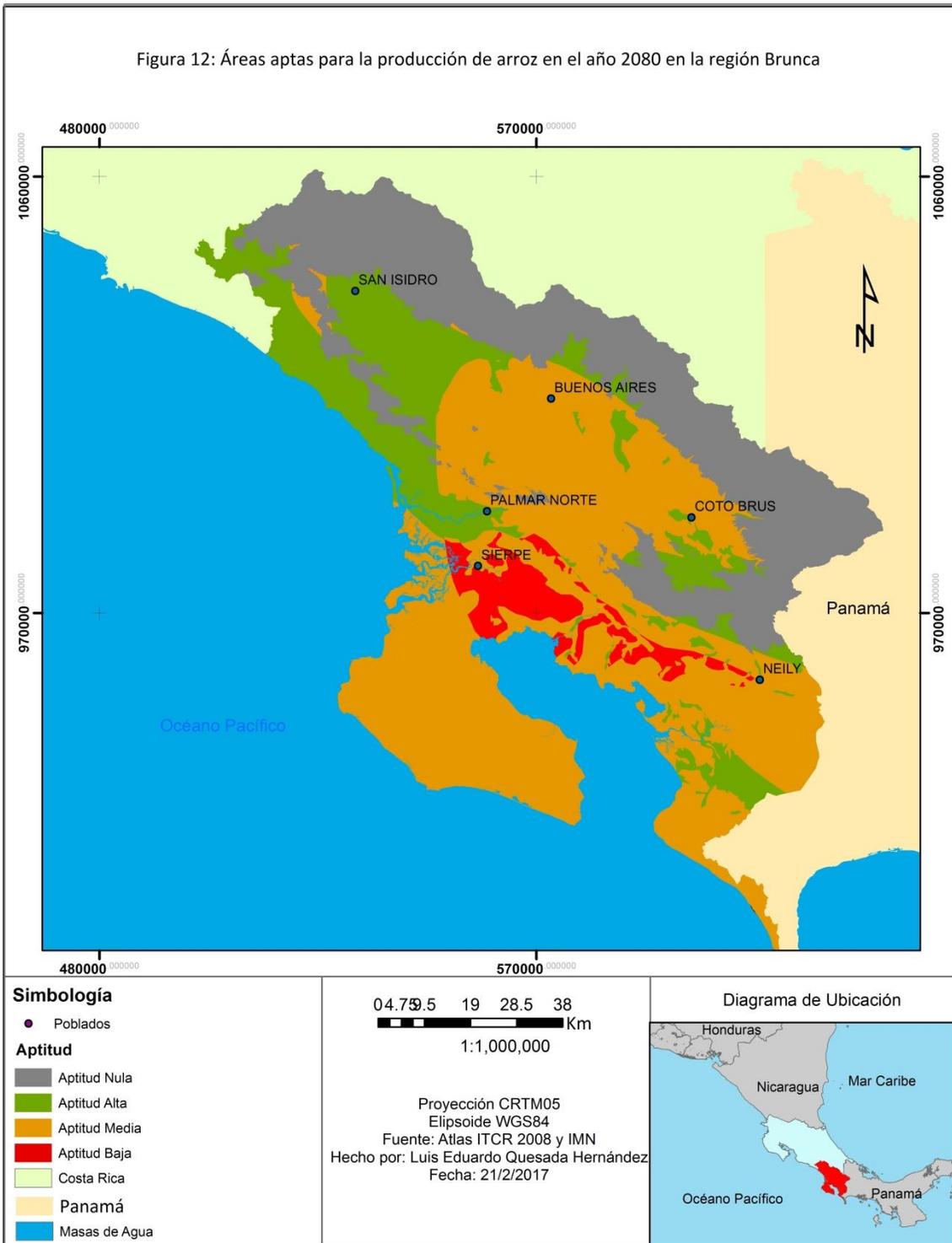
4.3.3 Región Brunca

En esta región la distribución de áreas con aptitud alta se encuentra localizada al noroeste de la región (figura 12), cerca de San Isidro y Palmar Norte, esta zona de aptitud alta forma un corredor junto con el sector sureste de la región Pacífico Central, donde esta actividad tiene un alto potencial. Para el resto de la región se observan áreas que también cuentan con zonas de aptitud alta, como lo es el poblado de Coto Brus así como al norte de Ciudad Neily.

Respecto a las zonas con aptitud media, estas se encuentran distribuidas a lo largo de la región relacionada a montos de temperatura

Las zonas de aptitud baja se encuentran situadas cerca de Sierpe, esta aptitud está asociada a montos de precipitación que alcanzan en promedio 5000mm anuales, así como aumentos de temperatura de 3.5°C, alcanzando temperaturas de 33.5°C lo que provoca que se clasifique como una zona con aptitud baja (la misma situación ocurre para la zonas de aptitud media). De no existir este aumento de temperatura, la región puede tener condiciones de aptitud alta o muy alta para el año 2080.

Figura 12: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 en la región Brunca



Respecto a los cambios en el área según la aptitud, para esta región se observa una reducción de un 34.35%, pasando de 2534.51 km² a 1663.82 km² para la zona con una aptitud alta, esta misma tendencia se observa en la región Chorotega y Pacífico Central. Para las áreas con una aptitud media, el aumento no es tan importante (15.53%) como sí lo es para la otras regiones, como por ejemplo Pacífico Central donde hay un aumento de 64.65%. El aumento en áreas con aptitud baja también es observable en esta región, la cual para la zonificación con datos actuales solo presenta 64 km², sin embargo para el 2080 esta área aumentaría a 411.68 km².

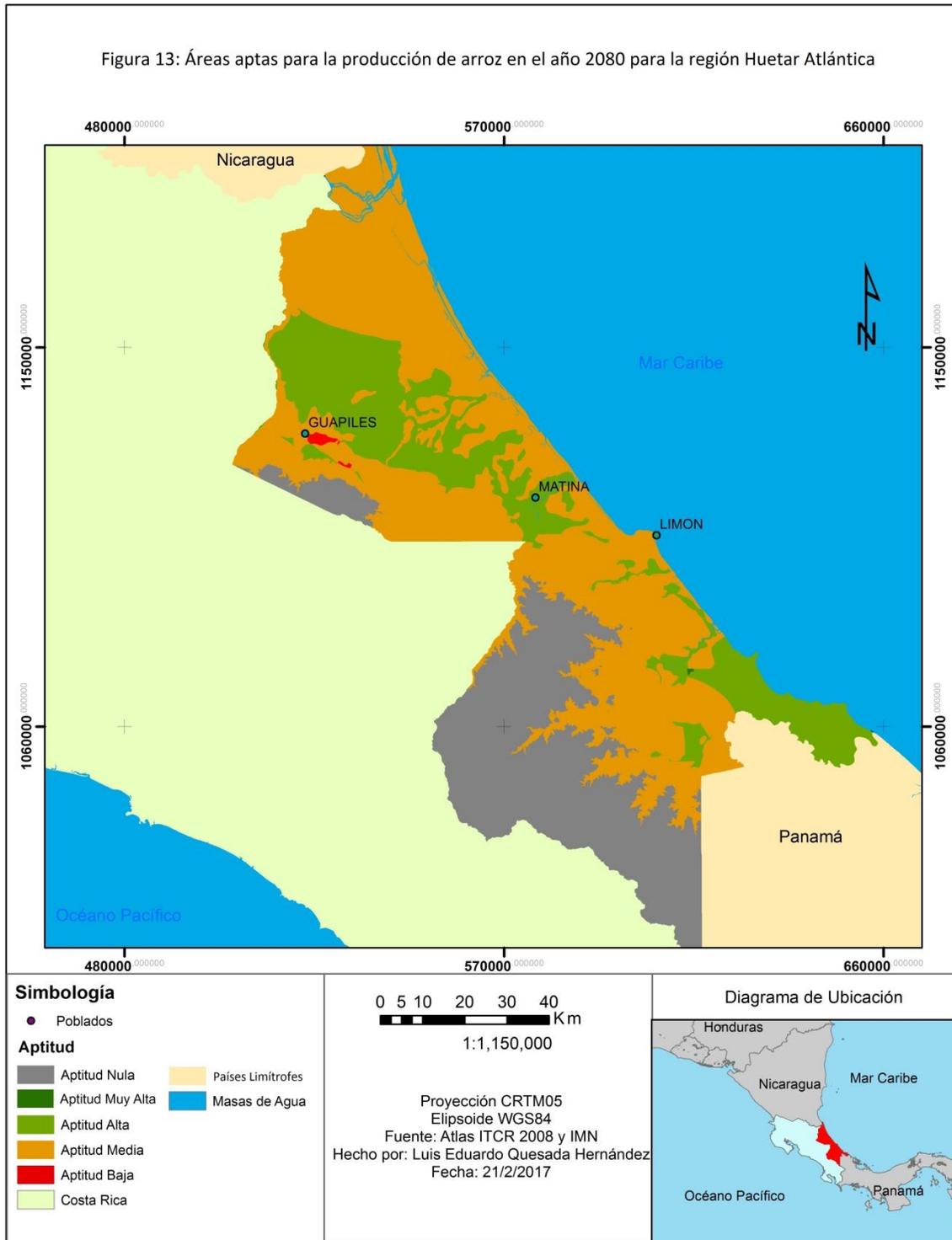
4.3.4 Huetar Atlántica

Para el año 2080 esta región presenta temperaturas promedio anuales entre 32°C así como valores de 30°C cerca de la cordillera de Talamanca, esto la convierte en una región con una aptitud alta para la producción arrocerá, sin embargo la principal limitante en esta región es la precipitación, dado que se proyectan montos promedio anuales de entre 4000mm y 5000mm, así como áreas con promedios anuales que alcanzarían hasta 6500mm.

La distribución de las áreas aptas para la producción cambia de forma importante respecto a la zonificación elaborada con los datos actuales, todas las zonas de muy alta aptitud que se encuentran cerca de Matina son eliminadas por los cambios en la temperatura y precipitación antes mencionados, sin embargo esta es la única región en Costa Rica que cuenta con un área de aptitud muy alta aunque tan solo son 1.31 km² al sur de Limón (figura 13)

La distribución de áreas con aptitud alta también cambian, ya no se observa un corredor de áreas de aptitud alta que une la región Huetar Norte con esta región así como una disminución de estas áreas cerca de Limón (figura 13).

Figura 13: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 para la región Huetar Atlántica



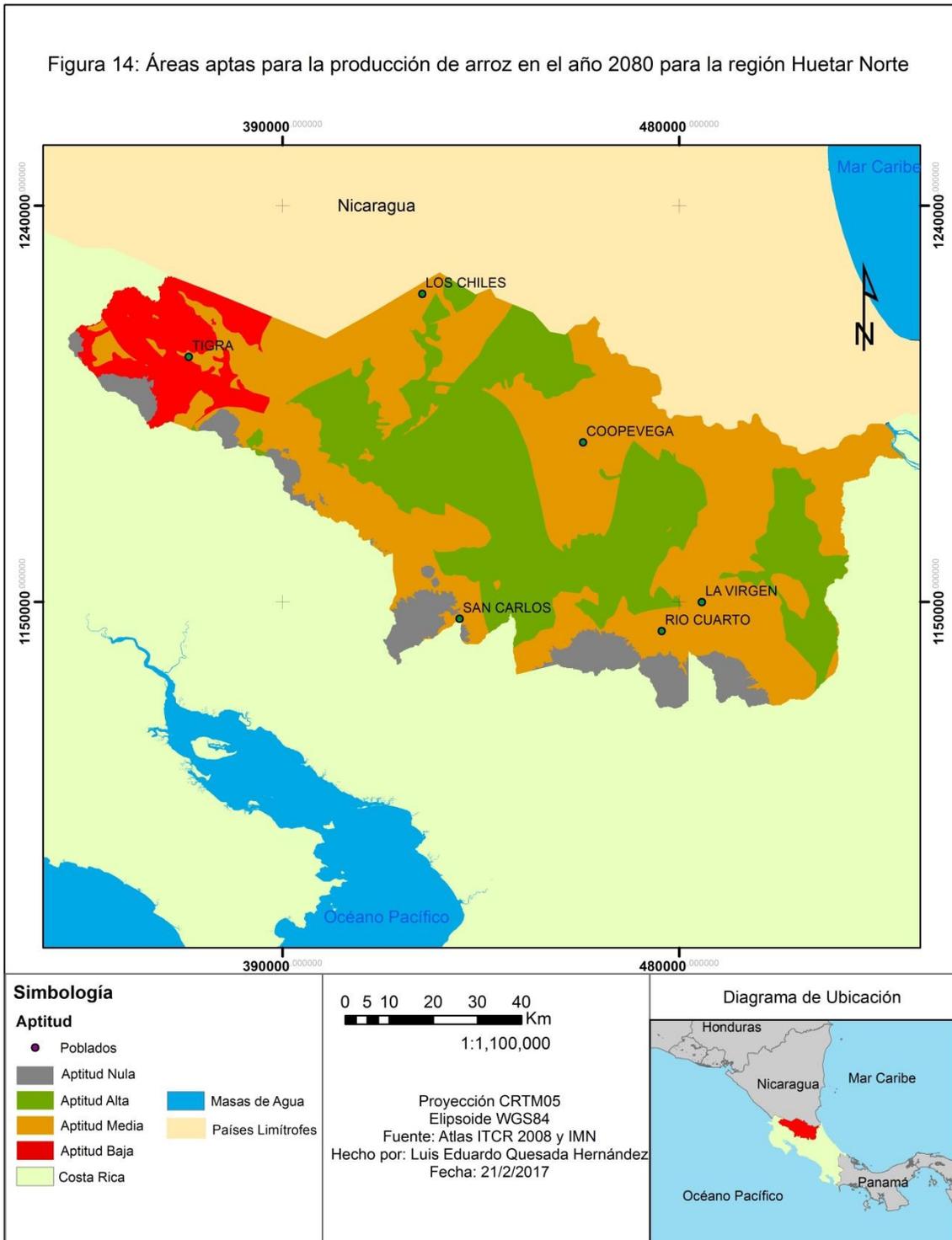
El comportamiento de las áreas con aptitud baja en esta región es distinta a las demás, ya que se reduce en un 88% para el año 2080, es decir, pasa de 149.43 km² a 16.46 km² para el año 2080. Sin embargo para el resto de las áreas, persiste la tendencia que se ha encontrado en las demás regiones: un aumento de áreas con aptitud media pasando de 2976 km² en la actualidad a 4682 km² para el año 2080 y una disminución de un 43% en las áreas con aptitud alta.

4.3.5 Huetar Norte

Para esta región la proyección de cambio climático establece un aumento de entre 3.5°C en el sector oeste y 2.5°C para el este. Por lo que la temperatura promedio anual de la región está entre 30°C y 35°C. Las lluvias en esta región se verían disminuidas principalmente en el sector oeste, cerca de La Tigra (figura 14), para el resto de la región los montos oscilan entre 3000mm y 4000mm anuales, esto estaría favoreciendo la existencia de áreas con aptitudes altas y medias.

Lo anterior hace que la distribución de áreas aptas para el año 2080 sea mucho más fragmentada si se compara con la zonificación elaborada para la actualidad (figura 8). El poblado de Coopevega pasa a tener una aptitud media al igual que el poblado de los Chiles y aparecen ciertos sectores en los que la aptitud baja toma más territorio, principalmente en el poblado de la Tigra. Las zonas que en la actualidad presentan esta aptitud, cerca a Río Cuarto y San Carlos pasan a tener una aptitud media, por lo que el cambio climático está favoreciendo estas zonas.

Figura 14: Áreas aptas para la producción de arroz en el año 2080 para la región Huetar Norte



De todas las regiones analizadas, ésta presenta la mayor cantidad de áreas con una aptitud alta con un total 3357 km², pese a ello, si se compara con la zonificación actual (figura 8), existe una reducción de un 43.6%. Al igual que en las demás regiones, el aumento de áreas con una aptitud media es considerable (incremento de 42.60% que equivale a 2080 km²) así como las áreas con aptitud baja (figura 14)

V Discusión de resultados

5.1 Efecto del ENOS en la producción de arroz en Costa Rica

Al analizar el efecto que genera el ENOS en sus distintas fases, se reconoce cómo estos cambian de acuerdo al territorio en el que se dan. En algunas regiones el impacto del Niño es muy notorio, como en el caso de la región Chorotega y Huetar Norte donde se da una reducción de entre un 55% y un 40% de la producción durante estas fases. Sin embargo en otras regiones este efecto es apenas perceptible, como el caso de Parrita ubicado en la región Pacífico Central, donde hay una variación que no alcanza el 3% de la producción promedio para el periodo 1980-2006, así como en la región Brunca donde no hay reducciones tan perceptibles.

Pese a que el fenómeno de El Niño ha sido lo más estudiado para abordar los impactos negativos en la producción agrícola alrededor del mundo (FAO, 2014) se aprecia regiones en donde las cosechas son bajas incluso en periodos neutros como el caso de Liberia, donde la producción es similar durante fases positivas y neutras. Esto podría ser un indicio de que el cantón no tiene las condiciones climáticas apropiadas para la siembra de arroz.

Para el caso del fenómeno de La Niña, prácticamente todas las áreas estudiadas presentan una buena respuesta ante este fenómeno, principalmente en Corredores, donde se da un aumento de un 2%, así como Osa (21%), Parrita (1%) y Liberia (43%). Para el caso de Pocosol donde hay un aumento de 676% resulta poco creíble dado a que este aumento en la producción puede que se deba a otros factores y no necesariamente a aspectos climáticos.

De todas las regiones que se estudiaron, la menos sensible ante fenómenos de variabilidad climática es el Pacífico Central, en donde independientemente de la fase del fenómeno en que se encuentre la producción esta no presenta cambios, haciéndola una región con buenas condiciones para siembra del arroz.

5.2 ¿Se ha cultivado arroz en las regiones adecuadas?

La región Chorotega, la cual tiene una amplia historia relacionada al cultivo del arroz, cuenta con las condiciones climáticas apropiadas para la producción, ya que esta región, según la zonificación elaborada, es la que presenta mayor cantidad de zonas muy aptas y aptas en la actualidad (figura 4). Esto demuestra la razón por la que esta actividad ha tenido tanto auge durante las últimas décadas en esta región.

Sin embargo si se analiza la producción bajo los efectos del ENOS, se puede apreciar la alta sensibilidad que tiene ante las variaciones de la precipitación, ya que todos los sitios de producción responden de forma negativa, incluso durante eventos La Niña (a excepción de Liberia). Si no se toma en cuenta la variación en la precipitación, esta región sería adecuada para la producción arrocerá, sin embargo la alta exposición ante el ENOS en sus distintas fases hace que su potencial disminuya de forma considerable.

Lo anterior también ocurre en la región Huetar Norte, ya que de la zonificación elaborada, esta es la segunda región en la que hay mayor cantidad de áreas con una aptitud alta para la producción arrocerá (figura 8). Pero al igual que la región Chorotega, esta región tiene una alta vulnerabilidad al ENOS, haciéndola una región poco adecuada si se introduce el efecto de la variabilidad climática en la producción.

En Costa Rica existen regiones en las que se presentan condiciones menos riesgosas para la producción como el caso del Pacífico Central y Brunca. Ambas regiones cuentan con condiciones climáticas que las hace aptas para la producción arrocerá. Además ambas regiones son poco sensibles ante el efecto del ENOS. Sin embargo, esto no las hace invulnerables a eventos hidrometeorológicos extremos, como lo son las bajas presiones, tormentas tropicales o el efecto que provoca el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical.

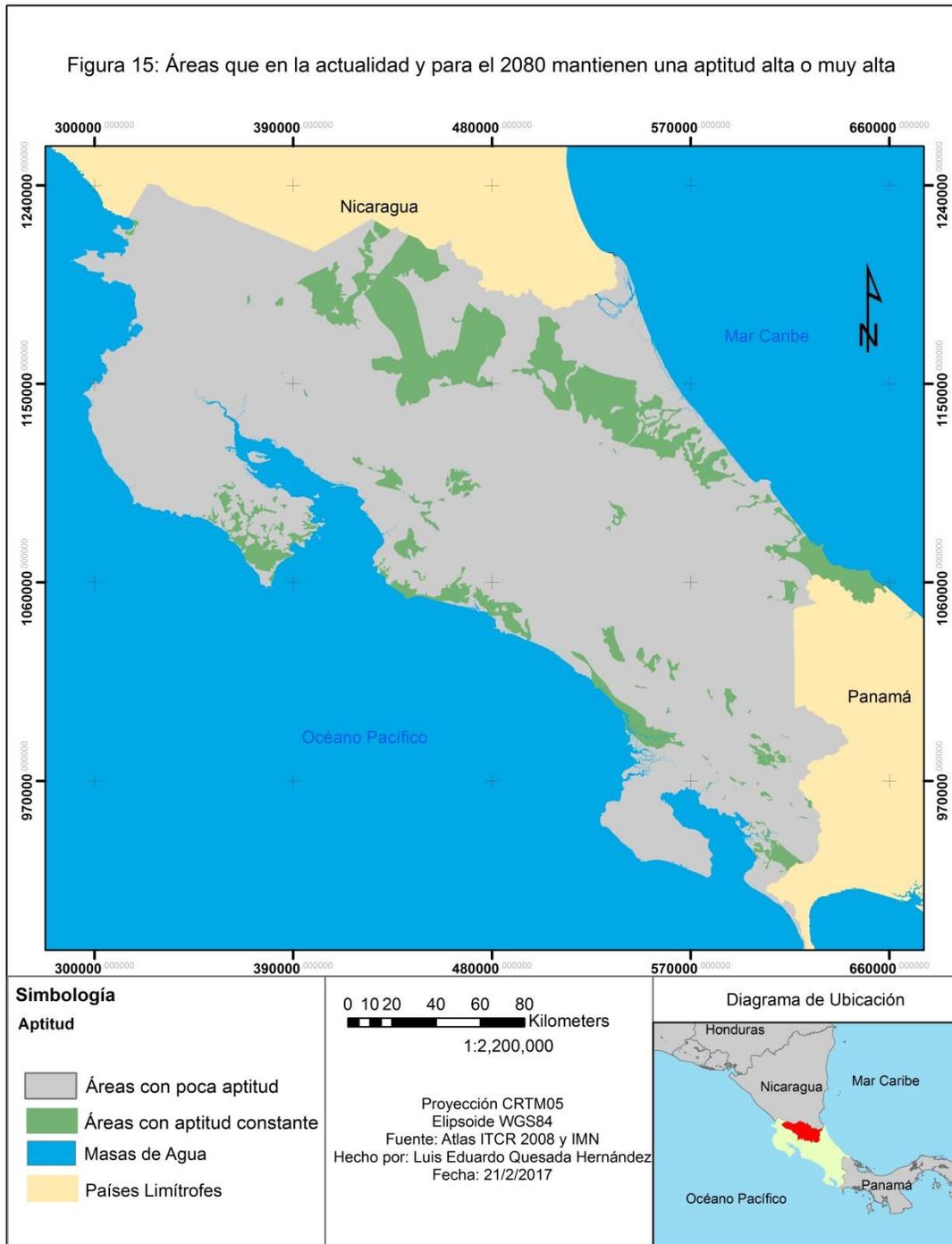
En el caso de la región Huetar Atlántica, esta tiene áreas con aptitudes altas y muy altas que se podrían aprovechar para el cultivo, sin embargo en esta región no se ha desarrollado la actividad de forma intensiva, por lo que la respuesta ante fenómenos de variabilidad climática no puede ser analizada. Sin embargo, esta región tiene el potencial para convertirse en una productora de arroz dadas sus condiciones climáticas.

5.3 ¿Cuales zonas son las más apropiadas para la actividad arrocerá?

El cambio climático sin duda trae modificaciones importantes en la precipitación y la temperatura, esto afecta principalmente la región Chorotega, por lo que la agricultura debe de iniciar un proceso bastante fuerte de adaptación ante este fenómeno, ya que de lo contrario el cultivo del arroz no se podrá desarrollar en ella.

Las zonas en las que se debe de incentivar el cultivo de arroz son aquellas en las que tanto en la actualidad como en el futuro cuenten con una aptitud alta para la producción, así como en zonas en las que bajo los efectos del cambio climático, mejoren su aptitud. Si se sobreponen las áreas que en la actualidad tienen una alta o muy alta aptitud con las áreas que se obtienen para el 2080 en esta misma categoría (figura 15) se obtienen las áreas en las que se debe de incentivar esta actividad.

Figura 15: Áreas que en la actualidad y para el 2080 mantienen una aptitud alta o muy alta



La región Pacífico Central en la actualidad es una de las regiones donde más arroz se cultiva y para el año 2080 cuenta con zonas de aptitud alta o muy alta que se mantienen pese a la influencia del cambio climático. Con estas condiciones, el Pacífico Central tiene la

capacidad de transformarse en la región con mayor producción arrocerá en Costa Rica, reemplazando a la región Chorotega. Al sureste de este sector y al noroeste de la región Brunca aparece una zona de alta aptitud para el año 2080 (figura12). Este corredor de alta aptitud puede ser una buena oportunidad para el desarrollo de la actividad arrocerá.

El caso de la región Huetar Norte es bastante importante, ya que existe una gran área donde la aptitud alta se mantiene en el tiempo, en esta región para el año 2015 se cultivan más de 14000 hectáreas, por lo que es una región bastante importante para esta actividad (CONARROZ, 2015). El área de aptitud alta se puede unir con el sector oeste de la región Huetar Atlántica, formando una región con alto potencial para la actividad. Sin embargo hay que tener en cuenta que la región Huetar Norte tiene una alta sensibilidad ante el ENOS, por lo que se requieren desarrollar sistemas de regadío para solventar la necesidad de agua de los cultivos durante las fases positivas del fenómeno.

La región Huetar Atlántica tiene condiciones climáticas que la convierte en un área con mucho potencial para la actividad arrocerá, se observa en la figura 15 una zona que va desde Guapiles a Matina con una alta aptitud tanto en la actualidad como en el futuro. Esta puede llegar a ser la nueva región productora de arroz de Costa Rica. El efecto que tiene el fenómeno del ENOS en esta zona está asociado a extremos lluviosos e inundaciones (Retana, S f), sin embargo si se desarrolla la siembra del cultivo bajo la metodología de áreas inundables, el efecto negativo del ENOS puede llegar a controlarse.

La región Chorotega sufre un impacto muy fuerte ante el cambio climático, ya que no hay zonas que en la actualidad y en el futuro tengan condiciones aptas para producir, sin embargo el Estado deberá de tomar decisiones para tratar de solventar la situación de los productores de esta región.

VI. Recomendaciones

- Se debe de propiciar una mejora en la recolección de datos de producción a distintas escalas de detalle: finca, distrito, cantón y región. Con estos datos se pueden hacer análisis mucho más completos relacionados a la variabilidad climática y el cambio climático. Estos datos deben de llevar consigo información relacionada a suelos, tipos de semilla, metodologías de siembra y manejo del cultivo. Todo esto tratando de reducir la mayor cantidad de variables que interfieran en los datos.
- Recolectar datos para cada una de las cosechas permitiría ver el impacto que genera un fenómeno de variabilidad climática con mayor facilidad. Si se tienen datos de producción de acuerdo al mes en que se siembra: por ejemplo para Primera (mayo), Postrera (agosto) se puede identificar la cosecha que fue afectada por la falta de lluvia con mayor facilidad. De esta forma se pueden separar los datos y no solo utilizar un total anual que muchas veces puede ocultar bajas en las cosechas.
- Se debe de generar un sistema de vigilancia ante el ENOS, como queda demostrado en esta investigación, este fenómeno tiene la capacidad de modificar la producción tanto negativa como positivamente. Una adecuada vigilancia de este fenómeno puede propiciar mejoras en la producción o ayudar a los productores cuando lo necesiten.
- Utilizar proyecciones de cambio climático a plazo corto (2030), medio (2050) y largo (2080) para generar distintas zonificaciones, permitiría ir ajustando la toma de decisiones conforme pase el tiempo. También se pueden realizar zonificaciones para las distintas cosechas utilizando los pronósticos meteorológicos estacionales generados por el Instituto Meteorológico Nacional. De esta forma se puede identificar año con año las regiones que contarán con la mejor aptitud para sembrar.

VI Conclusiones

La producción de arroz en Costa Rica se ve afectada por variables climáticas como lo son la precipitación, temperatura y las horas luz. Al ser la precipitación la variable de la cual dependen todos los productores de arroz en secano para el apropiado crecimiento de sus cultivos, cualquier variación puede significar la pérdida total de sus cosechas y por ende daños económicos importantes.

La variabilidad climática ha hecho estragos en los cultivos de Costa Rica durante muchos años, en el periodo que se analiza (1980-2006) se ve claramente como en 1982, 1987 y 1997 se da una reducción en la producción en distintas regiones de Costa Rica, principalmente en la región Chorotega.

Al ser la región Chorotega la principal productora de arroz en Costa Rica y también la que más se afecta por el fenómeno El Niño, es evidente que esta no es una región apta para producir arroz. Cualquier variación en la precipitación puede traer consigo pérdidas de las cosechas. Por lo que esta región requiere ayuda Estatal para ampliar el distrito de riego y dejar de producir en secano.

Pese a lo anterior, si esta región no sufre el efecto de la variabilidad climática, se convierte en la región que tiene la mayor cantidad de áreas aptas y muy aptas para producir en la actualidad. Lo contrario ocurre bajo el efecto del cambio climático, ya que prácticamente toda la región cambia su aptitud a baja.

Esta situación también se observa en la región Huetar Norte donde existe una clara influencia del ENOS en la producción, paradójicamente esta área también es una de las zonas donde más se produce arroz en Costa Rica. Esta región tampoco es apta para la producción arrocera desde una perspectiva de variabilidad climática.

Sin embargo esta región según la zonificación que se elabora, cuenta con una importante cantidad de áreas aptas en la actualidad y hasta el año 2080. Esta región puede ser una buena productora de arroz si se logra controlar el efecto de la variabilidad climática.

Para el caso del Pacífico Central y la región Brunca la situación respecto al ENOS cambia de manera significativa, estas regiones no se ven muy influenciadas por dicho fenómeno ya

que no hay cambios importantes en la producción durante años Niño. Por ello, ambas regiones son las más adecuadas para producir arroz en Costa Rica.

A lo anterior se le suma la persistencia de áreas con aptitud alta y muy alta para el 2080, así como un corredor de alta aptitud que se forma entre ambas regiones. Estas deben de ser las regiones en las que más actividad arrocera se desarrolle a mediano plazo.

La región Huetar Atlántico tiene las condiciones climáticas apropiadas para el desarrollo de la actividad tanto en la actualidad como para el año 2080. Sin embargo el efecto de la variabilidad climática no está claro, dada la ausencia de datos.

La actividad arrocera deberá de moverse de la región Chorotega a distintos sitios en Costa Rica, este proceso debe de iniciar al corto plazo, con un adecuado seguimiento del Estado, así como las universidades y diversos actores involucrados en esta actividad. Este documento sería uno de los primeros insumos para el desarrollo de políticas agrícolas en la actividad arrocera que involucren el cambio climático como uno de sus principales ejes. De esta manera, se puede reducir el riesgo generado por fenómenos de variabilidad climática como el ENOS y se disminuye la amenaza del cambio climático en uno de los granos más importantes en la dieta de los costarricenses.

Bibliografía

- Altieri, M. (1999). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo, Uruguay: Nordan-Comunidad.
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2000). *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Mexico D.F, México: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Amien, L., Rejeki, P., Kertiwa, B., Estiningtyas, W. (1998) Simulated rice yields as affected by interannual climate variability and possible climate change in Java. National Assessments results of climate change: Impacts and responses. Taller mundial sobre resultados de las evaluaciones nacionales, los impactos del cambio climático y sus respuestas. 25-28 de marzo. San José, Costa Rica
- Balbontin, F. (1976). Intervención en la agricultura y la planificación regional. *Revista de Estudios Agrosociales*, (95) 91-195.
- Bonilla, A. 2014. Patrones de Sequía en Centroamérica. Patrones de sequía en Centroamérica Su impacto en la producción de maíz y frijol y uso del Índice Normalizado de Precipitación para los Sistemas de Alerta Temprana. Global Water Partnership (GWP) Central America. Recuperado a partir de http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/Patrones%20de%20sequ%C3%ADa_FIN.pdf
- Batllo, R. (2002). La escala de análisis: un tema central en didáctica de la geografía. *Íber*, (32)
- BCIE. (2012). *Ficha Estadística para Costa Rica*. Obtenido de <http://www.bcie.org/uploaded/content/article/271417695.pdf>
- Benitez, L., Espinosa, C., & Prado, H. (2014). Zonificación Agroecológica de 3 cultivos estratégicos en 14 cantones de la cuenca baja del río Guayas. *Revista Digital CEPEIGE* (3).
- CCAFS-MAG. (2014). *Estado del arte en cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria en Costa Rica*. Obtenido de <https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/34613/retrieve>

- CDKN. (2014). *El quinto reporte de evaluación de IPCC. ¿Qué implica para América Latina?* Obtenido de <http://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>
- CEPAL. (2010). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: Paradojas y Desafíos*. Santiago, Chile: Organización de Naciones Unidas.
- CEPAL. (2011). *La Economía del Cambio Climático en Centroamérica*. Obtenido de <http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/26058/lcmex11016.pdf?sequence=1>
- CEPAL. (2014). *Proceso de adaptación al cambio climático, análisis de América Latina*. Santiago, Chile: Organización de Naciones Unidas.
- CONARROZ. (2014). *Informe Estadístico periodo 2013-2014*. Obtenido de http://www.conarroz.com/UserFiles/File/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_2013%202014.pdf
- CONARROZ. (2015). *Informe Estadístico periodo 2014-2015*. Obtenido de https://www.conarroz.com/UserFiles/File/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_2014-2015.pdf
- Cortéz, A., Aveces, L., Artega, R., & Vázquez, M. (2004). Zonificación agroecológica para aguacate en la zona central de Venezuela. *Terra Latinoamérica* (23), 159-166.
- Cortés, G. (1994). *Atlas Agropecuario de Costa Rica*, Primera Edición, Editorial Universidad Estatal a Distancia (UNED), San José, Costa Rica.
- CRRH. (2008). *Cambio climático: Segunda comunicación nacional, clima variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Edelman, M. (1987). El distrito de riego en Guanacaste (Costa Rica) y la política del agua. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 13(1) 95-111.

- Estado de la Nación. (2014). Oportunidades de Estabilidad y Solvencia Económica. En E. d. Nación, *Estado de la Nación XX Informe* (págs. 129-171). San José, Costa Rica: CONARE.
- FAO. (1997). Zonificación Agroecológica, Guía General. *Boletín de suelos de la FAO* (73).
- FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
- FAO. (2015). *El cambio climático golpea más duramente a los pobres y hambrientos*. Obtenido de <http://www.fao.org/news/story/es/item/350753/icode/>
- FAO. (S.f,a). *Mitigación del Cambio Climático y adaptación de la Agricultura, Silvicultura y Pesca*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0142s/i0142S00.pdf>
- FAO. (S.f,b). *Adaptación de la agricultura al cambio climático*. Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/webposting_SP.pdf
- Galvan, J. (1981). Planificación Agrícola. *Seminario de evaluación de la ley de fomento agropecuario*, 324-348.
- Gómez, J., Monterroso, A., & Tinoco, J. (2007). Distribución de cedro rojo (*Cedrela odorata* L) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques* (13-2), 29-49.
- Hernández, M. (1993). La Agroclimatología, Instrumento de planificación agrícola. *Geographicalia*, (30) 213-228.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1997). *Metodología de la investigación* (Cuarta ed.). Mexico DF: McGrawHill.
- Hidalgo, HG., Alfaro, EJ., Mora, NP., Durán-Quesada, AM., Amador, JA., Muñoz, AG., (2016). La sequía en Guanacaste: ¿Qué tan grande es?, obtenido de <https://ojoalclima.com/la-sequia-guanacaste-tan-grande/>

- IFPRI. (2009). *Cambio climático, el impacto en la agricultura y los costos de adaptación*.
Obtenido de <http://cdm15738.contentdm.oclc.org/utils/getfile/collection/p15738coll2/id/16526/filename/16527.pdf>
- IICA. (1983). Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Costa Rica. *Serie de Publicaciones Misceláneas*.
- IICA. (1987). Zonificación agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. *Serie de publicaciones Miscelánea*.
- IICA. (2014). *La Agricultura en Costa Rica, la situación al 2010 su evolución y propectiva*.
Obtenido de <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A7612E/A7612E.PDF>
- IICE. (2013). *Análisis del mecanismo actual para la determinación de los precios del arroz bajo el contexto de la cadena de comercialización*. Obtenido de <http://reventazon.meic.go.cr/informacion/estudios/2013/arroz/informe.pdf>
- IMN, (2008), *Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica*, obtenido de http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- IMN. (2011). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica* . Obtenido de http://cambioclimaticocr.com/multimedia/recursos/mod-1/Documentos/escenarios_de_cambio_climatico_digital_0.pdf
- IMN. (2014). *Seguridad Alimentaria y el Cambio Climático en Costa Rica, granos básicos*.
San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional.
- INTA. (2008). *Zonificación agroecológica de diferentes tipos de uso de la tierra*. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- INVU. (2007). Manual de procedimientos para la elaboración y redacción de planes reguladores. *La Gaceta*, pág. (58).
- IPCC. (2001). *Glosario de términos*. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

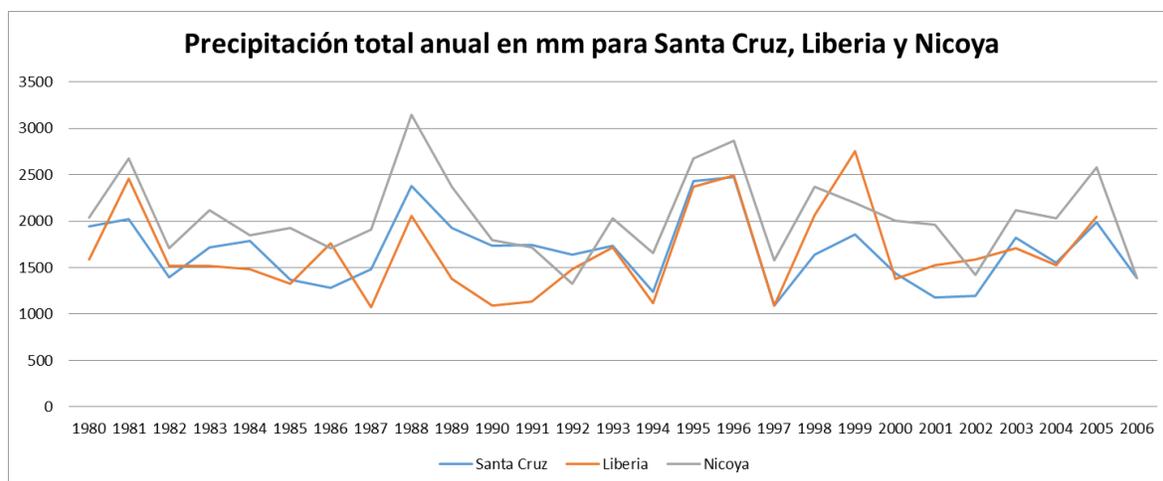
- IPCC. (2007). *Informe Síntesis*. Obtenido de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad-Resumen para responsables de políticas*. Suiza: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.
- Lasso, L. (1991). *Zonificación agroclimática de los cultivos de mayor importancia económica del territorio colombiano, primera parte: Cultivo de Arroz*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11348/3816/1/009.pdf>
- LeyN°4240. (11 de Noviembre de 1968). Planificación Urbana. *La Gaceta*.
- Magaña, V., Amador, J. A., & Medina, S. 1999. The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 12(6), 1577-1588. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)0122.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)0122.0.CO;2)
- MAG. (2009). *Manual de recomendaciones técnicas para el cultivo del arroz*. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00177.pdf>
- MAG. (2011). *Plan Sectorial de Desarrollo Agropecuario 2011-2014*. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería .
- MAG-MINEREM. (1991). Metodología de determinación de capacidad de uso de tierras. *La Gaceta*.
- Mazurek, H. (2012). *Espacio y territorio: Instrumentos Metodológicos de Investigación Social* (Segunda ed.). La Paz, Bolivia: Serie Metodológica U-PIEB.
- Miller, C., Ramírez, E., & Saenz, M. (1991). *Planificación agrícola económica a nivel de finca*. Obtenido de http://www.ruralfinanceandinvestment.org/sites/default/files/1133757974060_Planificacion_agricola_economico_1_.pdf
- Muñoz, C.; Fernández, W.; Gutiérrez, J.; Zárate, E. 2002. Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 9(1):1-13.

- N°4240, L. (11 de Noviembre de 1968). Planificación Urbana. *La Gaceta*.
- PROCOMER. (2014). *Estadísticas de Comercio Exterior de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Ingenio, Arte y Comunicación S.A.
- RAE. (2012). *Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=MOrkOvc>
- Raj, M., & Hugo, V. (S.f). *Elementos de Agroclimatología*. Risaralda, Colombia: UNISARC.
- Retana, J. (2015). Vulnerabilidad del cultivo de arroz (*Oriza sativa*) ante amenazas climáticas en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, (14) 5-17.
- Retana, J. (2012). Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima, *Revista de Ciencias Ambientales* 44(2),5-16
- Rivera , B., Aceves, L., Juarez, J., Palma, D., Gonzales, R., & Gonzales, V. (2012). Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria* (16), 29-47.
- Rojas, O. (1988). Estudios agroclimáticos y zonificación agroecológica de cultivos: Metodología y Resultados. *Serie de Publicaciones Misceláneas IICA (AI/CR 86-006)*.
- Ruiz, C. (S.f). *Las funciones de la planificación y control*. Obtenido de <http://www4.ujaen.es/~cruiz/tema2.pdf>
- Soto, G., & Sjöbohm, L. (2005). Sobre el mapeo de los peligros volcánicos del Arenal (Costa Rica) como una herramienta para la planificación del uso del suelo y la mitigación de desastres. *Memoria VIII Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica*, 26.

- Vignola, R., Otárola, M., & Trevejo, L. (2014). *Integración de actividades y estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático*. Obtenido de http://www.clima.ucr.ac.cr/download/adaptacion/Doc%205.%20iae_vulnerabilidad_y_adaptacion_cambio_climatico.pdf
- Villalobos, R. (2001). Impacto del Fenómeno del Niño sobre la producción de arroz y frijoles en dos regiones de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, (1) 20-25.
- Villalobos, R., & Retana, J. (1997). Obtenido de Impacto social del fenómeno del Niño: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20911/EI+Ni%C3%B1o+y+los+efectos+en+la+sociedad+civil>
- Villalobos, R., & Retana, J. (1997). *Impacto social del fenómeno del Niño*. Obtenido de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20911/EI+Ni%C3%B1o+y+los+efectos+en+la+sociedad+civil>
- Wolter, K., & Timlin, M. (1998). Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank? *Royal Meteorological Society* , (53) 315-324.
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of Rice Crop Science*. Manila, Filipinas: International Rice Research Institute.

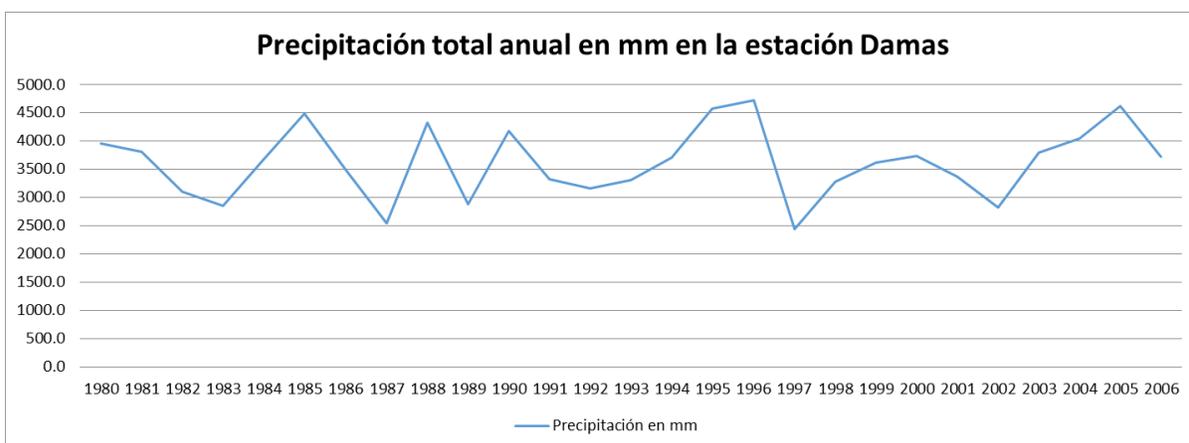
VII Anexos

Anexo 1: Precipitación en las estaciones ubicadas en Liberia, Nicoya y Santa Cruz en el periodo 1980-2006



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN

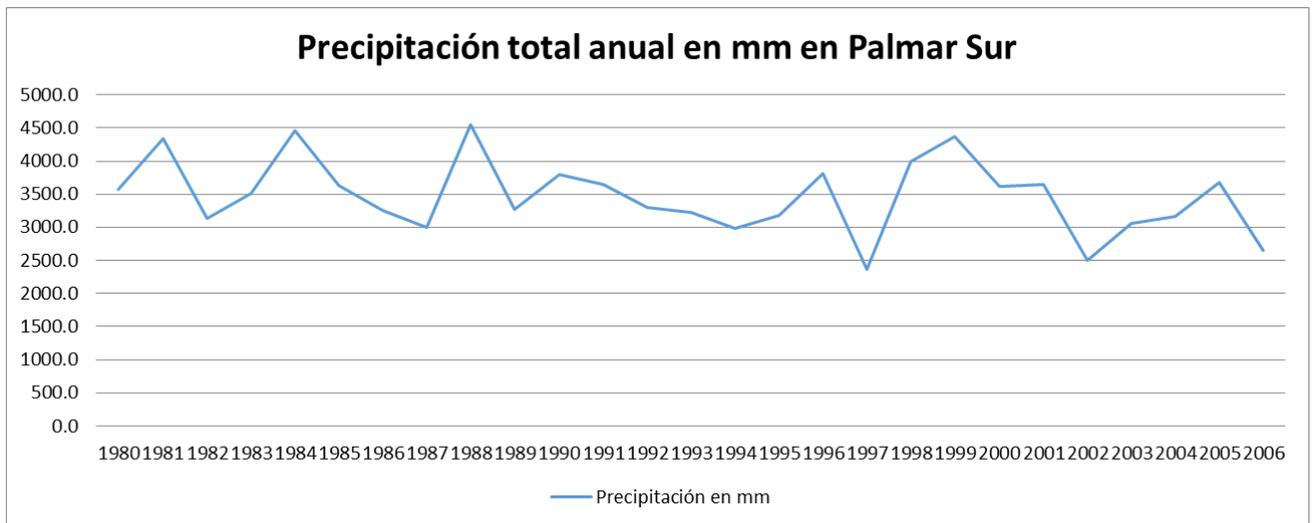
Anexo 2: Precipitación en la estación Damas ubicada en Quepos para el periodo 1980-2006



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN

Anexo 3

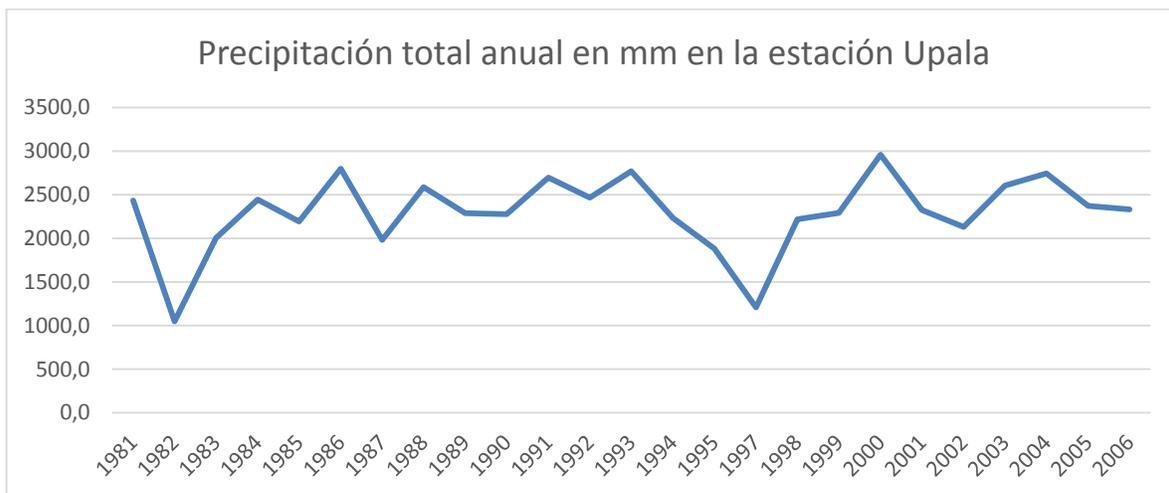
Precipitación total anual para Palmar Sur en el periodo 1980-2006



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN

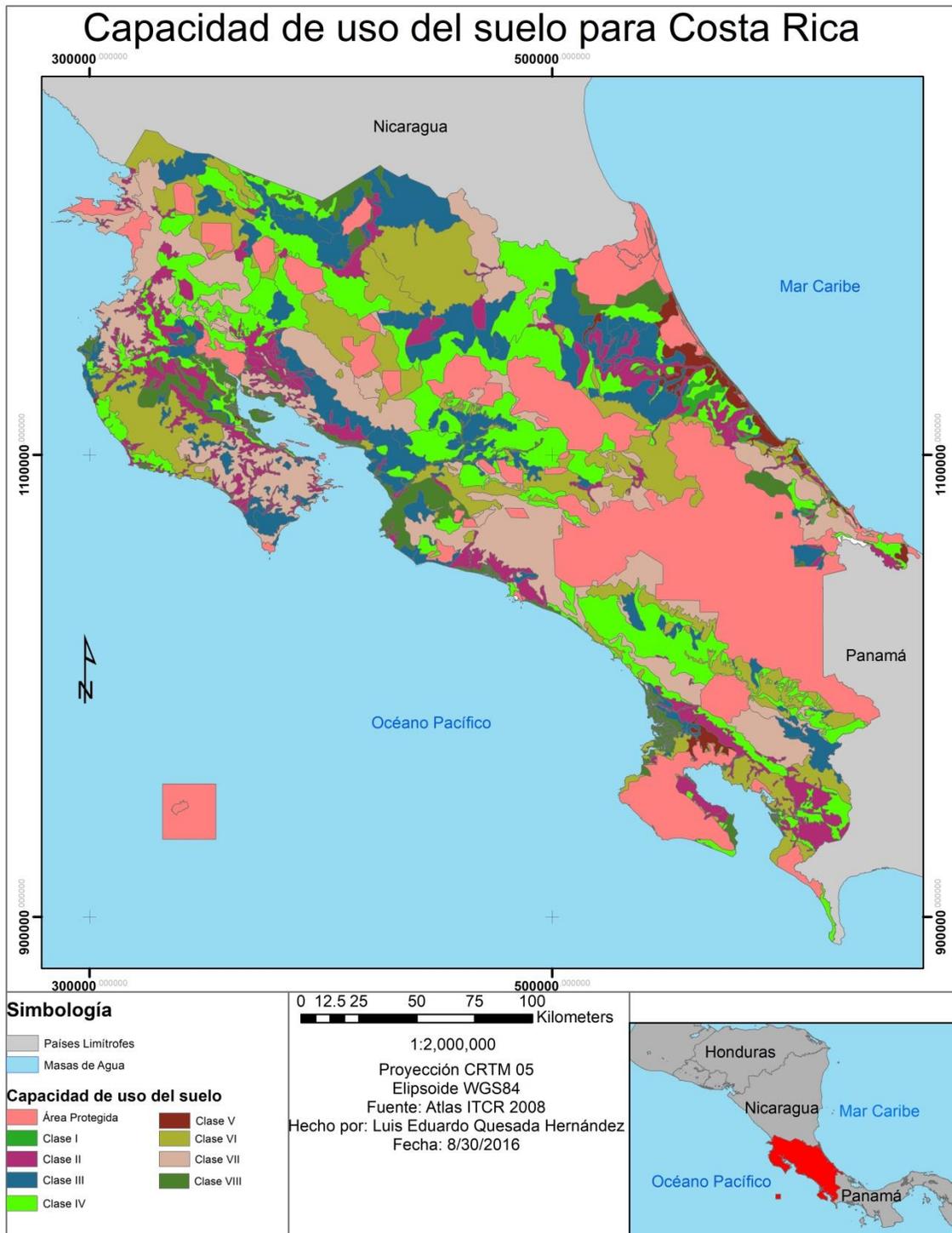
Anexo 4

Precipitación total anual para Upala en el periodo 1980-2006



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN

Anexo 5



Anexo 6

