

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

Trabajo Final para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**Aptitud de las tierras de la provincia de Córdoba para cultivos no  
tradicionales**

Bocco Alessio

DNI: 35.279.607

Director: Degioanni, Américo José

Co-director: Giayetto, Oscar

Río Cuarto – Córdoba

Abril de 2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**APTITUD DE LAS TIERRAS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA PARA**  
**CULTIVOS NO TRADICIONALES**

Autor: Bocco, Alessio

DNI: 35.279.607

Director: Degioanni, Américo José

Co-Director: Giayetto, Oscar

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. Federico Morla \_\_\_\_\_

Dr. Ing. Agr. Marta Vinocur \_\_\_\_\_

Dr. Ing. Agr. Américo Degioanni \_\_\_\_\_

Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Aprobado por Secretaría Académica: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
Secretario Académico

# INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b> .....	III
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	V
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VI
<b>RESUMEN</b> .....	VIII
<b>SUMMARY</b> .....	IX
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
CULTIVOS ALTERNATIVOS.....	1
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POTENCIAL DE ESPECIES VEGETALES .....	4
APTITUD DE LAS TIERRAS .....	8
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	10
ÁREA DE TRABAJO.....	10
BASE DE DATOS AMBIENTALES.....	10
MODELO DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESPECIES VEGETALES.....	11
SELECCIÓN DE CULTIVOS.....	12
MODELO ECOCROP .....	12
METODOLOGIA EN SIG .....	19
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	22
MAPAS DE SUELO.....	22
MAPAS DE CLIMA.....	31
INDICE DE APTITUD CLIMÁTICO.....	32
DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE CULTIVOS .....	34
ÁREAS BIEN DRENADAS.....	35

ÁREAS MAL DRENADAS .....	85
ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	97
<b>CONCLUSIONES</b> .....	99
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	101

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> LISTA DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS COMESTIBLES PARA AMBIENTES SEMIÁRIDOS .....	3
<b>CUADRO 2.</b> <i>CÁLCULO DEL ÍNDICE DE APTITUD TOTAL</i> .....	18
<b>CUADRO 3</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE ALMORTA.....	35
<b>CUADRO 4</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICO DE CARDO .....	37
<b>CUADRO 5</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE CÁRTAMO .....	39
<b>CUADRO 6</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE COLZA.....	41
<b>CUADRO 7</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE GUAYULE.....	43
<b>CUADRO 8</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE GUAR .....	45
<b>CUADRO 9</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE JOJOBA .....	48
<b>CUADRO 10</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE KENAF.....	49
<b>CUADRO 11</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE LINO.....	51
<b>CUADRO 12</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE NÓPAL.....	53
<b>CUADRO 13</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICO DE OKRA.....	55
<b>CUADRO 14</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE ONOBRYCHIS SCROBICULATA.....	57
<b>CUADRO 15</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICO DE QUINOA.....	60
<b>CUADRO 16</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE SÉSAMO.....	61
<b>CUADRO 17</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE TEF.....	63
<b>CUADRO 18</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE PANICUM VIRGATUM.....	65
<b>CUADRO 19</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE BORRAJA .....	67
<b>CUADRO 20</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE CILANTRO .....	69
<b>CUADRO 21</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE LUPIN .....	71
<b>CUADRO 22</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE TOPINAMBUR .....	73
<b>CUADRO 23</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE RICINO .....	76
<b>CUADRO 24</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICO DE AMARANTO.....	78
<b>CUADRO 25</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE ESPELTA.....	79
<b>CUADRO 26</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE GINSENG AMERICANO .....	81
<b>CUADRO 27</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE POROTO ADZUKI .....	83
<b>CUADRO 28</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE AGROSTIS STOLONIFERA .....	85
<b>CUADRO 29</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE ATRIPLEX NUMMULARIA .....	87
<b>CUADRO 30</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE DICHANTHIUM ARISTATUM .....	89
<b>CUADRO 31</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE LEPTOCHLOA FUSCA.....	91
<b>CUADRO 32</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE ANDROPOGON GERARDII.....	93
<b>CUADRO 33</b> REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE IMPERATA CYLINDRICA .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> PRODUCCIÓN ANUAL DE CULTIVOS DEL AÑO 2014 EN ARGENTINA .....	2
<b>FIGURA 2.</b> ÁREA DE ESTUDIO .....	10
<b>FIGURA 3.</b> DIAGRAMA BIDIMENSIONAL DEL MODELO ECOCrop .....	13
<b>FIGURA 4.</b> DIAGRAMA TRIDIMENSIONAL DEL MODELO ECOCrop .....	13
<b>FIGURA 5.</b> CÁLCULO DEL PERÍODO DE CRECIMIENTO. TOMADO DE .....	14
<b>FIGURA 6.</b> CURVA DE RESPUESTA A LA TEMPERATURA .....	15
<b>FIGURA 7.</b> CURVA DE RESPUESTA .....	15
<b>FIGURA 8.</b> CÁLCULO DEL ÍNDICE DE APTITUD POR TEMPERATURA. ....	16
<b>FIGURA 9.</b> CÁLCULO DEL ÍNDICE DE APTITUD POR PRECIPITACIÓN. ....	17
<b>FIGURA 10.</b> DIAGRAMA CONCEPTUAL MODIFICADO DEL MODELO ECOCrop .....	19
<b>FIGURA 11.</b> FLUJO CARTOGRÁFICO .....	20
<b>FIGURA 12.</b> ÓRDENES DE SUELO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA .....	22
<b>FIGURA 13.</b> SÍNTESIS DE LIMITANTES EDÁFICAS.....	23
<b>FIGURA 14.</b> SUELOS ANEGABLES O INUNDABLES .....	25
<b>FIGURA 15.</b> PROFUNDIDAD EFECTIVA (EN CM) DE LOS SUELOS DE CÓRDOBA.....	26
<b>FIGURA 16.</b> TIERRAS BAJO INFLUENCIA SALINA .....	27
<b>FIGURA 17.</b> TIERRAS CON UN ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD INFERIOR A 7 .....	28
<b>FIGURA 18.</b> SUELOS BAJO LA INFLUENCIA DE GRANDES CUERPOS DE AGUA.....	29
<b>FIGURA 19</b> SUELOS HIDRO-HALOMÓRFICOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.....	30
<b>FIGURA 20</b> PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL .....	31
<b>FIGURA 21</b> TEMPERATURA MEDIA ANUAL.....	32
<b>FIGURA 22</b> APTITUD CLIMÁTICA DE BORAGO OFFICINALIS .....	33
<b>FIGURA 23</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE ALMORTA.....	36
<b>FIGURA 24</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE CARDO (COMESTIBLE).....	38
<b>FIGURA 25</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE CÁRTAMO .....	40
<b>FIGURA 26</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE COLZA.....	42
<b>FIGURA 27</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE GUAYULE.....	44
<b>FIGURA 28</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE GUAR .....	46
<b>FIGURA 29</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE JOJOBA .....	48
<b>FIGURA 30</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE KENAF.....	50
<b>FIGURA 31</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE LINO.....	52
<b>FIGURA 32</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE NOPAL.....	54
<b>FIGURA 33</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE OKRA .....	56
<b>FIGURA 34</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE ONOBRYCHIS SCROBICULATA .....	58
<b>FIGURA 35</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE QUINOA.....	60

<b>FIGURA 36</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE SÉSAMO.....	62
<b>FIGURA 37</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE TEF.....	64
<b>FIGURA 38</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE PANICUM VIRGATUM.....	66
<b>FIGURA 39</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE BORRAJA .....	68
<b>FIGURA 40</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE CILANTRO .....	70
<b>FIGURA 41</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE LUPINUS COSENTINII .....	72
<b>FIGURA 42</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE TOPINAMBUR .....	74
<b>FIGURA 43</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE RICINO .....	76
<b>FIGURA 44</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE AMARANTHUS CRUENTUS .....	78
<b>FIGURA 45</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE SPELTA.....	80
<b>FIGURA 46</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE GINSENG .....	82
<b>FIGURA 47</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE CULTIVO DE POROTO ADZUKI .....	84
<b>FIGURA 48</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE CULTIVO DE AGROSTIS STOLONIFERA .....	86
<b>FIGURA 49</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ATRIPLEX NUMMULARIA.....	88
<b>FIGURA 50</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE DICHANTHIUM ARISTATUM .....	90
<b>FIGURA 51</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LEPTOCHLOA FUSCA .....	92
<b>FIGURA 52</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ANDROPOGON GERARDII.....	94
<b>FIGURA 53</b> DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE IMPERATA CYLINDRICA.....	96

## RESUMEN

La humanidad tiene a su disposición miles de especies vegetales para satisfacer sus necesidades. Sin embargo, en el rubro alimentario sólo tres especies: maíz, trigo y arroz suministran el 60% de las calorías que los humanos obtienen de las plantas. Esta elevada especialización de los sistemas agrícolas incrementa la vulnerabilidad de la producción ante variaciones extremas de factores ambientales y económicos. En la provincia de Córdoba aproximadamente el 48% de su territorio (7,9 millones de ha) se destina a la producción agrícola. En las últimas campañas sólo seis cultivos: maíz, soja, trigo, sorgo, maní y girasol ocuparon el 90% de dicha superficie. El objetivo de este trabajo es evaluar la aptitud de las tierras de la provincia de Córdoba para cultivos no tradicionales. Para ello, se utilizó el modelo EcoCrop de FAO que selecciona plantas a partir de las temperaturas medias y la precipitación acumulada para el período de crecimiento de cada especie. Los requerimientos ecofisiológicos de las plantas derivan de una base de datos homónima elaborada por FAO. La información climática fue obtenida de la base WordClim. Una segunda selección fue realizada a partir de limitaciones estructurales de los suelos para las plantas. En primer lugar, se utilizó el drenaje natural imperfecto + halomorfismo y la profundidad efectiva somera, discriminando de esta manera suelos agrícolas de no agrícolas. Para suelos no agrícolas por hidrohalomorfismo (aproximadamente 3,7 millones de ha), se utilizó la Conductividad Eléctrica (salinidad) como variable de selección. La información edáfica fue obtenida del mapa digital de suelos de Córdoba (E 1:500.000). Se dividió el territorio provincial en una cuadrícula de aproximadamente 1 km x 1 km para espacializar las variables de entrada de EcoCrop y luego clasificar el territorio en unidades de tierra no cultivables y cultivables con tres niveles de aptitud: alta, media y baja. Este proceso fue realizado en ArcGis. Se identificaron 25 plantas como cultivos promisorios para aquellas tierras sin problemas de drenaje y 6 para aquellas que presentan limitantes por drenaje y salinidad. Para cada cultivo se generó una capa SIG disponible en <http://www.ordenamientoterritorialcba.com> donde se visualiza la distribución geográfica según la aptitud de las tierras, una breve descripción botánica y usos potenciales.

**Palabras clave:** ordenamiento territorial, ECOCROP, SIG.



## SUMMARY

Mankind has at its disposal thousands of plant species to satisfy its needs. Nevertheless, in the food sector, only three species – maize, wheat and rice – account for more than 60% of the calories humans obtain from plants. This grand specialization of the agricultural systems certainly increases its vulnerability to shifts of environmental or economic conditions. Almost 48% of the lands of the Cordoba province (7,9 million ha) are allocated to agricultural production. In the last few years, only six crops: maize, soybean, wheat, sorghum, groundnut and sunflower engaged 90% of the latter surface. The objective of this work is to assess the suitability of the lands of the province for underutilized crops. In order to achieve it, the EcoCrop model from FAO was used which selects plants taking into account mean temperatures and rainfall during the growing season of each crop. The ecophysiological requirements of each species are derived from an homonymous database developed by FAO. The climatic information was obtained from WorldClim database. A second selection was made based on the structural limitations imposed to plants by the soil. In the first place, imperfect drainage + halomorphism and shallow effective depth were used to discriminate between agricultural and not agricultural lands. For those land affected by hydromorphism conditions (approximately 3.5 million ha), electric conductivity (soil salinity) was chosen as selection variable. The edaphic information was obtained from the Cordoba soil digital map (S 1:50000). The provincial territory was divided in a mesh of approximately 1 km x 1km in order to spatialize the input variable of the EcoCrop model and the classify the land in land units, first between not arable and arable. Then, the latter was divided in three suitability levels: high, medium and low. This process was performed in ArcGIS. 25 species were identified as promising crops for those lands with any drainage problems and 6 for those with drainage and salinity limitations. A map was generated for each crop, which is available in <http://www.ordenamientoterritorialcba.com>, that depicts the geographic distribution according to land suitability along with a brief botanical description and potential uses.

**Key words:** land planning, EcoCrop, SIG

# INTRODUCCIÓN

## CULTIVOS ALTERNATIVOS

El 50% del consumo mundial de proteínas y calorías es provisto por tan sólo tres cultivos: maíz, trigo y arroz (Rischkowsky y Pilling, 2007), y alrededor del 95% de los requerimientos mundiales de alimentos son suministrados por sólo 30 especies de plantas (Harlan, 1975). Sin embargo, existen al menos 12.650 especies que son consideradas comestibles (Kunkel, 1984). Trabajos más recientes han citado cifras aún más impactantes, Heywood (1999), en uno de los estudios más completos sobre el tema, afirma que existen al menos 100.000 especies vegetales que son y/o fueron utilizadas por el hombre. Paroda y Mal (1989) detectaron que, desde el advenimiento de la agricultura y el desarrollo de las primeras civilizaciones, el hombre ha utilizado alrededor de 80.000 especies. Este contraste tan manifiesto claramente ilustra la disminución de la diversidad de la canasta alimentaria de la humanidad y, por lo tanto, una gran dependencia de los “cultivos principales”. El concepto de paradoja nutricional (Ogle y Grivetti, 1985) emerge de lo anterior dada la sobre simplificación de la agricultura a través del favorecimiento de algunas especies foráneas en desmedro de otras endémicas debido a sus ventajas comparativas para crecer en una gran variedad de hábitats, sus relativamente bajos requerimientos para su cultivo, facilidad de procesamiento, etc (Rao *et al.*, 2001). Lo anterior genera que especies arraigadas en la cultura de una determinada sociedad cambien su status, dejando de ser un alimento y/o fuente de materias primas para convertirse en una especie no deseada que compite con las nuevas especies introducidas. Esta tendencia, hacia la homogenización de las fuentes de alimento pareciera no detenerse, más bien todo lo contrario (Khoury *et al.*, 2014). Las causas de dicho fenómeno son complejas y su interdependencia hace difícil su discriminación. Sin embargo, este proceso conlleva la pérdida de la importancia relativa de especies relegadas o geográficamente restringidas. Argentina no escapa a esta tendencia, en la Figura 1 se observa claramente que sólo cuatro cultivos, trigo, maíz, caña de azúcar y soja, concentraron más del 90% de la producción total del año 2014 (FAO, 2016). La provincia de Córdoba no es ajena a éste fenómeno ya que sólo seis cultivos – maíz, maní, trigo, soja, girasol y sorgo – ocuparon el 90% del área sembrada durante las últimas campañas (Ministerio de Agricultura de Córdoba, 2014).

## Producción anual de los principales cultivos

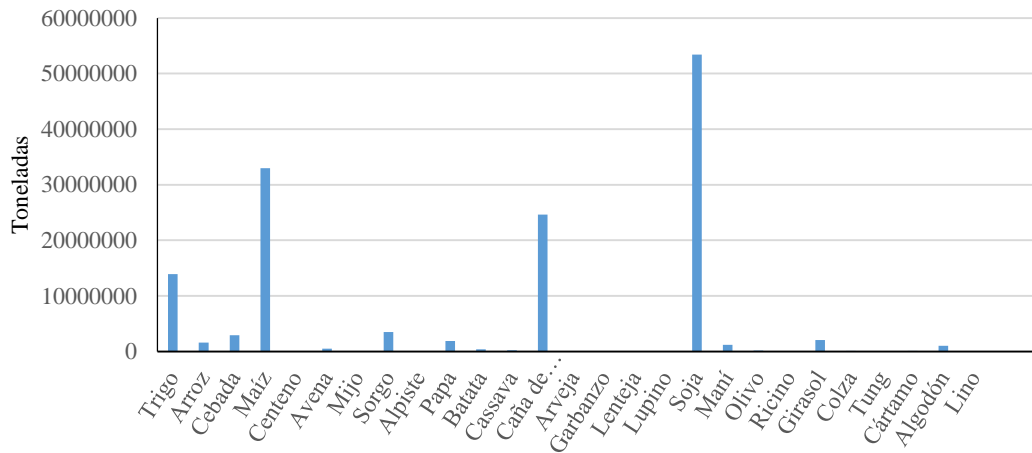


Figura 1. Producción anual de cultivos del año 2014 en Argentina (FAOSTAT, 2016)

La disminución de la biodiversidad ha reducido tanto la diversidad intraespecífica como interespecífica de las especies cultivadas, aumentando así la vulnerabilidad de los tomadores de decisiones especialmente en áreas menos favorecidas. Extensas revisiones bibliográficas resaltan las dramáticas consecuencias de la “erosión genética” de las especies vegetales; entre ellas, se destaca la realizada por Fowler y Mooney (1990). Comparativamente, existe menos información sobre los impactos de la reducción de la canasta alimentaria sobre la calidad de vida de las comunidades.

En los últimos 15 a 20 años se ha observado un cambio de actitud en los formadores de política pública y en el público en general con respecto a esta temática. Sin duda, la prueba más cabal de esto es la declaración emitida en diciembre de 2015 en la Conferencia sobre Cambio Climático (UNFCCC COP21) que se realizó en París, donde se hizo hincapié en la imperiosa necesidad de diversificar los sistemas agrícolas. La agricultura del futuro deberá lidiar con un ambiente más hostil y volátil por lo que la diversificación se presenta como una estrategia a abordar, no sólo para garantizar la seguridad alimentaria, sino también para proveer nuevas oportunidades y opciones a los productores agropecuarios que pueden ver en riesgo su subsistencia en un mundo tan impredecible.

En el marco de la búsqueda de una “diversidad resiliente” es preciso ampliar los horizontes y no sólo optimizar los rendimientos de los principales cultivos, sino también los de

aquellos más relegados en su uso. La diversidad resiliente brinda nuevas alternativas fuera de los monocultivos. Dichas alternativas deben abarcar a los llamados “cultivos no tradicionales” o alternativos (Padulosi *et al.*, 2002).

El concepto de cultivos no tradicionales o alternativos generalmente está asociado a “nuevos cultivos” (Vietmeyer, 1990) ya que la academia o la industria no los había considerado anteriormente. Sin embargo, es importante destacar que muchos de ellos han sido cultivados por siglos en sus centros de origen y que allí se encuentra el conocimiento para su cultivo.

Los análisis para determinar que una especie vegetal es promisoría deben estar basados en la contribución que dicha especie puede brindar para cumplir un objetivo determinado. Dicho objetivo es variable y depende de la comunidad a la que está enfocado el estudio. En el caso de instituciones como el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) o el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT el objetivo de éstos análisis incluyen el fortalecimiento de la seguridad alimentaria, mejorar el balance nutricional de la población, mejorar la sustentabilidad de los sistemas o aliviar la situación de pobreza a través de la generación de nuevas fuentes de ingreso (Rao *et al.*, 2001). En este marco, Von Maydell (1989) desarrolló una lista de los doce criterios que debe reunir una especie vegetal promisoría, los mismos se resumen en la Cuadro 1. Esto es sólo una guía ya que es improbable que una sola especie reúna todas las características.

Cuadro 1. Lista de criterios para la selección de especies arbóreas y arbustivas comestibles para ambientes semiáridos

Debe:
Cubrir una demanda o necesidad
Solucionar un problema (seguridad alimentaria, fuente de materia prima, etc.)
Ser aceptada por la comunidad, considerando la cadena de valor del cultivo
No existir restricción legal
Tener bajo riesgo frente adversidades climáticas, enfermedades plagas, etc.
Estar libre de efectos nocivos para los humanos y el ecosistema en general
Estar adaptada a las condiciones del sitio geográfico
Ser fácil y seguro de establecer, con bajos insumos para su cultivo
Tener rápido crecimiento
Producir altos rendimientos
Producir bienes de alta calidad
Ser compatibles con otros usos de la tierra

La selección se vuelve aún más compleja dado la falta de información disponible sobre éstas especies alternativas o no tradicionales. Este déficit atenta contra el desarrollo y explotación de estos cultivos (Padulosi *et al.*, 2002).

## **DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POTENCIAL DE ESPECIES VEGETALES**

Los mapas son modelos que explican la distribución de objetos o procesos que existen o se desarrollan en el espacio geográfico del planeta. Uno de estos objetos es la vegetación cuya distribución puede ser explicada a través del análisis de variables ambientales que la controlan. La predicción de la distribución de la vegetación en el territorio, comienza con el diseño de algún tipo de modelo predictivo, que utilizará las variables ambientales (principalmente clima y suelo), para generar el mapa que simule la distribución geográfica. Una de las bases teóricas que permiten formular modelos predictivos son la teoría de nicho ecológico y el gradiente ambiental cuya premisa fundamental es que la distribución de la vegetación puede ser predicha a través del análisis de factores ambientales que la regulan (Austin, 2002; Austin, 2007; Chase y Leibold, 2003; Franklin, 2009; Hutchinson, 1957; Gaston, 2003; Guisan y Zimmermann, 2000; Peterson y Ortega Huerta, 2008; Peterson *et al.*, 2011). Más aún, para que el mapeo de la vegetación sea práctico, las variables ambientales deben ser fácilmente observables y medibles para su posterior incorporación a un Sistema de Información Geográfica (SIG). Actualmente, existe una gran cantidad de información en formato digital de tipo topográfica, geológica, climática, edáfica, etc. Aunque desperdigada en muchas bases de datos diferentes, y en resoluciones tan diversas como sus formatos, lo que convierte en un reto su homogenización para encarar un proyecto SIG. Los sistemas de información geográfica son una herramienta clave y muy potente para la realización de proyectos de éste tipo.

Una pregunta surge del concepto anterior, ¿Qué factores regulan la distribución de las especies en la Tierra? Austin (2002) describió dos tipos de factores: los distales (subrogantes) y los proximales (causales). La diferencia principal entre ellos es la posición que ocupan en la cadena de procesos que impactan sobre el vegetal. Siendo los segundos una consecuencia de los primeros (Franklin, 2009). Los distales están relacionados a los recursos, y por ende correlacionados con la distribución de especies, teniendo como característica la facilidad con la que son observados y medidos. El ejemplo que Austin (2002) utiliza para explicar esta distinción es el siguiente: la disponibilidad de cierto nutriente en la zona radical de una planta representa un factor proximal relacionado con el crecimiento y supervivencia de la misma, mientras que el factor distal está relacionado a la disponibilidad del nutriente que correspondería al stock del mismo, mecanismos de solubilización como pH o a más grandes rasgos el tipo de suelo. El

mismo autor en 1980, distinguió factores directos, como aquellos que tienen un efecto fisiológico directo, como la temperatura o el pH, de los recursos que son consumidos por la planta tales como el agua, luz, nutrientes, espacio, etc (Austin, 1980). Sin embargo, esta separación no es taxativa, ya que, dependiendo del ambiente en estudio, un recurso puede ser un factor directo o viceversa. Ejemplo de ello es el agua, ya que para una especie que habite en ambientes hidromórficos sería un factor directo ya que no sólo es consumido para el crecimiento del vegetal, sino que es una condición *sine qua non* para el establecimiento de especies higrófitas, en cambio para un cultivo de secano, como maíz o girasol, se convertiría en un recurso. Austin (2002) también incluyó la latitud, longitud, elevación, escabrosidad, complejidad y exposición de pendientes, entre otros, como factores indirectos, ya que no impactan directamente en aspectos fisiológicos del vegetal. Es de destacar que las variables ideales para realizar estudios de aptitud de ambientes o distribución de especies, son los factores directos de relativa fácil medición. Estos datos por sí solos no dicen mucho sobre el real comportamiento de la especie, sino que es necesario asociarlos con la curva de respuesta de cada especie en particular. Estas curvas grafican una función describiendo la relación entre la abundancia, ocurrencia o aptitud de una especie en relación con alguna variable ambiental (Franklin, 2009).

Los modelos de distribución de especies en muchas ocasiones están fuertemente ligados a los modelos de aptitud de hábitat. Éstos últimos han cobrado importancia no sólo para el estudio de ecosistemas naturales, sino también para agroecosistemas, en los que se debe lograr una coincidencia entre la oferta ambiental y la demanda del cultivo, convirtiendo estos modelos en una herramienta muy útil para estudios agroecológicos (Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003). Además, permiten evaluar la productividad ante las condiciones ambientales actuales y en diversos escenarios de cambio climático, que pueden en algunos casos desplazar cultivos a latitudes mayores (Hood *et al.*, 2006; Jarvis *et al.*, 2008). El tipo de suelo y el clima regional, principalmente los regímenes térmicos y de precipitación, determinan en gran medida la productividad de los cultivos (Jing-Song *et al.*, 2012). En este contexto, muchos criterios se han planteado para evaluar la aptitud de un cultivo a las condiciones ambientales, desde simples acercamientos a partir de temperatura y precipitación a lo largo del periodo de crecimiento (Woodward, 1987) a complejos modelos que involucran datos climáticos, de química y física de suelos, etc. (Eliasson *et al.*, 2010).

A la hora de modelizar cada variable ambiental es importante su correlación con la curva de respuesta particular de la especie ante un factor ambiental. Estos requerimientos ambientales de las especies vegetales están disponibles actualmente en bases de datos. Un ejemplo de ellas es

la creada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), hace más de 15 años: ECOCROP (FAO, 2003). Esta base contiene información básica de más de 2000 especies de interés económico, junto a sus requerimientos ambientales. Está integración entre variables directas, recursos (Austin, 2002) y respuesta ambiental (Lambers *et al.*, 2008), reflejan el nicho realizado de la especie, lo que permite extrapolarlo en el espacio, creando mapas predictivos de la distribución de la vegetación, o en el tiempo, generando modelos de cambios en la vegetación.

En este punto surge un interrogante que aún es motivo de debate por los ecólogos, ¿Cuál es la forma de esa curva de respuesta ante un gradiente ambiental? Whittaker (1960; 1956; 1967), desarrollo ideas claves para el análisis e interpretación de la abundancia de especies a los largo de gradientes ambientales, a través de curvas de respuesta. Éstas representan gráficamente la relación que une la planta al ambiente (Austin, 2002), ligando la abundancia con valores de una variable ambiental.

Los primeros estudios al respecto fueron realizados por Gleason (1926), quien se planteaba que la abundancia óptima de una especie y sus límites, se distribuían independientemente a lo largo de un gradiente ambiental. Alternativamente, se ha hipotetizado que las curvas tienen forma acampanada (Gaussiana), con igual amplitud y espaciamiento, únicamente limitada en su ancho por la competencia (Gauch Jr y Whittaker, 1972; Tilman, 1982). Sin embargo, no se encuentran curvas simétricas cuando se las genera a partir de datos experimentales. En tal sentido, curvas unimodales o sesgadas son esperadas cuando se tienen en cuenta factores directos y recursos (Austin y Smith, 1990), como en el caso de la temperatura. Por otra parte, como fue reseñado por Austin (2007), la Ley del mínimo de Leibig sugiere que la verdadera curva de respuesta solo puede obtenerse cuando todos los demás factores o recursos, no son limitantes y bajo condiciones experimentales (Huston, 2002). Por último Hirzel y Le Lay (2008) afirman que el conocimiento ecofisiológico debe guiar al modelador para evaluar las interacciones cultivo-ambiente. FAO (2004) ha generado una base de datos donde recopila años de investigación sobre la ecofisiología de los 20 cultivos más importantes, incluyendo modelos de regresión donde se asocian factores ambientales con la respuesta pertinente.

Es bien sabido que las condiciones climáticas tiene un papel preponderante en la distribución de especies y en el patrón de vegetación (Gaston, 2003; Holdridge, 1947; Köppen , 1923). Woodward (1987)) discute el efecto fisiológico del clima en el crecimiento y supervivencia de los vegetales, a través de controles climáticos de la luz y regímenes de temperatura y humedad. Él enfatiza los efectos letales de las bajas temperaturas a la hora de

limitar el número de especies, sobretodo en altas latitudes y altitudes. Como señala Gaston (2003), existen cientos de posibles parámetros que pueden ser derivados de los registros de temperatura, precipitación, humedad, evapotranspiración, nubosidad, etc., por lo que conectar teoría con datos sigue siendo aún un desafío.

Muchos modelos conceptuales han sido utilizados para describir lo múltiples factores ambientales que controlan la distribución de plantas. Mackey (1994) describe estos factores como los regímenes ambientales primarios de radiación, temperatura, humedad y nutrientes minerales. Guisan y Zimmermann (2000) consideraron los gradientes de nutrientes, agua, radiación fotosintéticamente activa y de sumas térmicas como los responsables. Franklin (1995) también describió un modelo conceptual en el que los factores climáticos, topográficos y geológicos (material originario), interactúan para controlar los regímenes primarios en formas complejas, como por ejemplo, a través de la evapotranspiración, de la pedogénesis o del balance hidrológico del suelo. Por otra parte, factores indirectos como la elevación, no son suficientes para modelar nichos y extrapolarlos a lo largo de un gradiente, pero si para interpolar dentro de un mismo ambiente donde fue medido (Austin, 2002).

Todo lo expuesto precedentemente puede reducirse a la “probabilidad de una especie, nativa o introducida, de estar presente en un sitio geográfico del ecosistema terrestre”. Sin embargo aún no se ha logrado llegar a un acuerdo en torno a la terminología para definir esta probabilidad, ya que varios términos se utilizan para definir el mismo concepto: modelos predictivos de hábitat (Guisan y Zimmermann, 2000), modelos espaciales de aptitud de hábitat (Rotenberry *et al.*, 2006), aptitud de hábitat (Manly *et al.*, 2002), superficies de respuesta ecológica (Lenihan, 1993), aplicables tanto a plantas como animales (Boyce *et al.*, 2002). El concepto de superficie de respuesta es el que se toma como principal referencia, ya que resume de la mejor manera los tres pilares en los que se asienta este trabajo que son: la ecofisiología, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la estadística espacial.

En nuestro país no hay demasiados antecedentes sobre la distribución de cultivos y sus rendimientos potenciales. El primer trabajo al respecto fue publicado por De Fina (1966), allí el autor seleccionó cultivos índices para evaluar las condiciones agroecológicas de la provincia de Córdoba. Estos cultivos fueron relevados en todo el territorio provincial en establecimientos calificados de cada región, para luego volcar esa información en veinte mapas temáticos para cada uno de ellos. En estos mapas se muestra la distribución de los cultivos y su productividad clasificada en seis clases. También, este autor, analizó cuáles eran las causas que determinaban la distribución espacial de los cultivos. Otro trabajo de la escala del anterior fue el realizado por



el estado de Illinois (Bowen y Hollinger, 2002), en el que se desarrolló un modelo para determinar la aptitud de una región para 414 cultivos. Para cada cultivo se realizó un mapa, que abarca la totalidad del estado dónde se visualiza la aptitud de las tierras para tal fin, dividida en cinco clases e involucrando variables climáticas y edáficas y comparándolas con los requerimientos del cultivo.

Puede afirmarse que la distribución espacial de las especies vegetales es un interrogante que ha inquietado al hombre desde hace siglos, como lo demuestran los trabajos realizados por von Humboldt y Bonpland (1807) o de Candolle y de Candolle (1844). Sin embargo, fue a partir del surgimiento de los SIG y la aplicación de la estadística al análisis espacial, que los modelos de distribución de especies cobraron mayor importancia (Franklin, 2009), demostrando ser conceptos muy novedosos, con una gran potencial que debe ser explotado.

### **APTITUD DE LAS TIERRAS**

La aptitud de un territorio es una variable clave que define la productividad de un cultivo, siendo las variables climáticas los factores primarios que determinan la distribución geográfica de una especie (Franklin, 2009). Es indudable que el suelo también juega un rol importante empero, su importancia relativa es menor comparada con las variables climáticas. Actualmente, existen una gran cantidad de modelos con distintos grados de complejidad para estimar la distribución potencial de especies (Chase y Leibold, 2003; Franklin, 1995; Grinnell, 1917). Entre ellos se destacan ModEco (Guo y Liu, 2010), GARP (Stockwell, 1999), Maxent (Phillips, 2006), Bioclim (Busby, 1991), EcoCrop (Ramirez-Villegas *et al.*, 2013), entre otros. Todos los modelos tienen la capacidad de identificar áreas dónde las condiciones climáticas son óptimas para el crecimiento de los cultivos (Franklin, 2009). Sin embargo, se diferencian en el grado de complejidad interna que poseen y en la demanda de información de base que cada modelo requiere. Por este motivo, el modelo EcoCrop (Ramirez-Villegas *et al.*, 2013) dada su combinación de simplicidad y robustez teórica tiene una ventaja comparativa frente a los demás, lo que propició su utilización en este trabajo.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la probabilidad de distribución geográfica de especies vegetales de valor económico no tradicionales para la provincia de Córdoba

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Adaptar, para las condiciones ambientales de la provincia de Córdoba, el modelo de distribución espacial ECOCROP.
- Desarrollar un SIG para la integración de la información georreferenciada y confección de la cartografía temática.
- Generar mapas de distribución geográfica de los cultivos alternativos a Escala 1:500.000

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE TRABAJO

El trabajo abarcó la totalidad del territorio de la provincia de Córdoba, (165.321 km<sup>2</sup>) con excepción de los grandes cuerpos de agua como la Laguna Mar Chiquita y su área de influencia. En la Figura 2 se detalla el área en análisis.

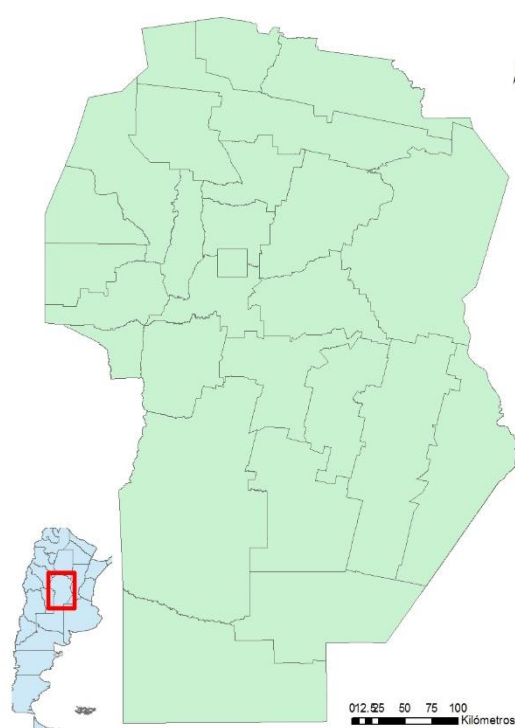


Figura 2. Área de estudio

### BASE DE DATOS AMBIENTALES

Estos factores, como se mencionó anteriormente, se encuentran en bases de datos, en su mayoría de libre disponibilidad. En este estudio, se confeccionó una base de datos dividida en tres secciones que comprende todos los datos requeridos para el modelo EcoCrop (Hijmans *et al.*, 2001). En el caso del clima, para los datos de temperatura, media, media máxima y media mínima y precipitación media, Hijmans *et al.* (2005), generó una serie de archivos ráster. Estas superficies fueron interpoladas a partir de datos obtenidos de miles de estaciones meteorológicas ubicadas en todos los continentes, en el periodo comprendido entre 1950-2000. Los resultados fueron una serie de capas con una resolución de 0,5 arco-segundos (aproximadamente 1 km en el Ecuador). Esta resolución tan fina posibilita un mejor análisis de la variabilidad ambiental que puede perderse al utilizar resoluciones mayores, particularmente en zonas serranas o con elevada pendiente. WorldClim utiliza una gran cantidad de estaciones de Global Historical Climatology Network (GHCN), Organización Meteorológica Mundial (OMM) y FAO, y junto con el método

de interpolación, le confiere una alta precisión pese a la gran variabilidad de las variables consideradas. La longitud de la serie de datos utilizada es de 50 años (1951-2000) e incluye los valores mensuales de temperatura media del aire, máxima y mínima y precipitación.

Las características edáficas del territorio cordobés están disponibles en el Atlas de suelos de la Provincia de Córdoba (Agencia Córdoba Ambiente, 2006) y en el Atlas de Suelos de la República Argentina de INTA (INTA, 1990). La información se encuentra disponible en formato vectorial (shape file), dicho archivo contiene los mismos datos que el Atlas impreso, con la diferencia que la misma se encuentra espacializada. A posteriori, se describirá la metodología de procesamiento para obtener las *entradas* del modelo.

Con respecto a la topografía, se utilizan los modelos digitales de elevación (DEM), que constan de imágenes ráster con una resolución de 30 m x 30 m (Tachikawa *et al.*, 2011). Cada una de las celdas posee una medida de la cota terreno tomando como referencia el nivel del mar. Con toda esta información se puede modelar el gradiente ambiental de la región.

Por último, la base de datos de cultivos fue aportada por FAO que posibilitó el uso de los datos originales del ya finalizado proyecto EcoCrop (FAO, 2003). En la misma se encuentran las diez variables necesarias para insertar en el algoritmo que utiliza el modelo homónimo (Hijmans *et al.*, 2001), que son: “killing temperature” (Ktmp) que es la temperatura a la cuál muere el cultivo; Tmin que corresponde a la temperatura media mínima en la que el cultivo puede crecer; Topmin que corresponde a la temperatura media mínima en la que el cultivo crece en condiciones óptimas; Topmax que corresponde a la temperatura media máxima en la que el cultivo crece en condiciones óptimas; Tmax que corresponde a la temperatura media máxima por sobre la cual el cultivo deja de crecer. Con respecto a la precipitación son necesarios los siguientes datos: Rmin que corresponde a la mínima precipitación (mm) durante la estación de crecimiento; Ropmin es la óptima precipitación mínima (mm) durante la estación de crecimiento; Ropmax es la óptima precipitación máxima (mm) durante la estación de crecimiento y Rmax que corresponde a la máxima precipitación (mm) durante la estación de crecimiento. También se considera la longitud del período de crecimiento en días (LGP).

## **MODELO DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESPECIES VEGETALES**

El modelo utilizado en este trabajo calcula un índice de aptitud para el crecimiento de las especies basado en parámetros climáticos (temperatura y precipitación). El mismo puede ser aplicado a través de dos plataformas: originalmente fue incorporado al Sistema de Información Geográfica (SIG) Diva-GIS (Hijmans *et al.*, 2001) y más recientemente se creó un paquete en R

(Ripley, 2001) que le brinda una mayor versatilidad. Esta última alternativa fue la preferida para la realización de las simulaciones dada la mayor capacidad de procesamiento y la posibilidad de automatización de las tareas.

Una desventaja manifiesta del modelo es la no utilización de datos edáficos para la simulación y esto puede tornarse restrictivo en algunas condiciones para la realización de simulaciones con un mayor grado de precisión (Ramirez-Villegas *et al.*, 2013).

## **SELECCIÓN DE CULTIVOS**

En este trabajo se utilizó una adaptación del modelo EcoCrop para poder considerar las variables edáficas y así lograr un análisis más acabado de la potencialidad de las tierras cordobesas.

Para recopilar la mayor cantidad de información posible concerniente a las posibles especies candidatas para el análisis, fue necesario realizar un gran trabajo de gabinete; involucrando diversas fuentes, desde materiales pioneros en el campo (de Fina, 1966) a compendios actuales de especies potenciales (Bermejo y León, 1994; Bowen y Hollinger, 2002; Fern, 1997; Oelke *et al.*, 1992; Razon, 2009) y conocimiento experto. A partir de lo anterior se confecciono una lista con las especies más promisorias.

## **MODELO ECOCROP**

Una vez recolectada toda la información se procede a realizar la modelización. A partir de la lista de especies detallada anteriormente, y para cada una de ellas, se corre el modelo EcoCrop para obtener así la aptitud potencial basada únicamente en parámetros climáticos. El procedimiento que utiliza el modelo es el siguiente: 1) A partir de dos gradientes ecológicos para cada cultivo, cada uno definido por un par de parámetros de cada variable (temperatura y precipitación), primero el modelo delimita un rango absoluto que se define como la porción del gradiente comprendida entre  $T_{min}$  y  $T_{max}$  (temperaturas mínimas y máximas en las que el cultivo puede crecer), utilizando un procedimiento homólogo para la precipitación ( $R_{min}$  y  $R_{max}$ ); 2) Se calcula el rango óptimo que está comprendido entre  $Top_{min}$  y  $Top_{max}$  y  $Rop_{min}$  y  $Rop_{max}$ , para temperatura y precipitación respectivamente.

Si la oferta ambiental es inferior a los requerimientos absolutos, se considera que ese pixel evaluado no es apto para el cultivo, observándolo de color blanco en la Figura 3; cuando los valores se encuentran dentro de los valores absolutos corresponden a la zona gris (Figura 3), correspondiéndole un índice de aptitud entre 1 y 99. Si los valores del gradiente se encuentran en el rango óptimo, el índice de aptitud es del 100%, (zona gris clara de la Figura 3). El modelo

calcula en forma separada el índice para cada gradiente, temperatura y precipitación y luego los integra como se observa en la Figura 4 (Ramirez-Villegas *et al.*, 2013).

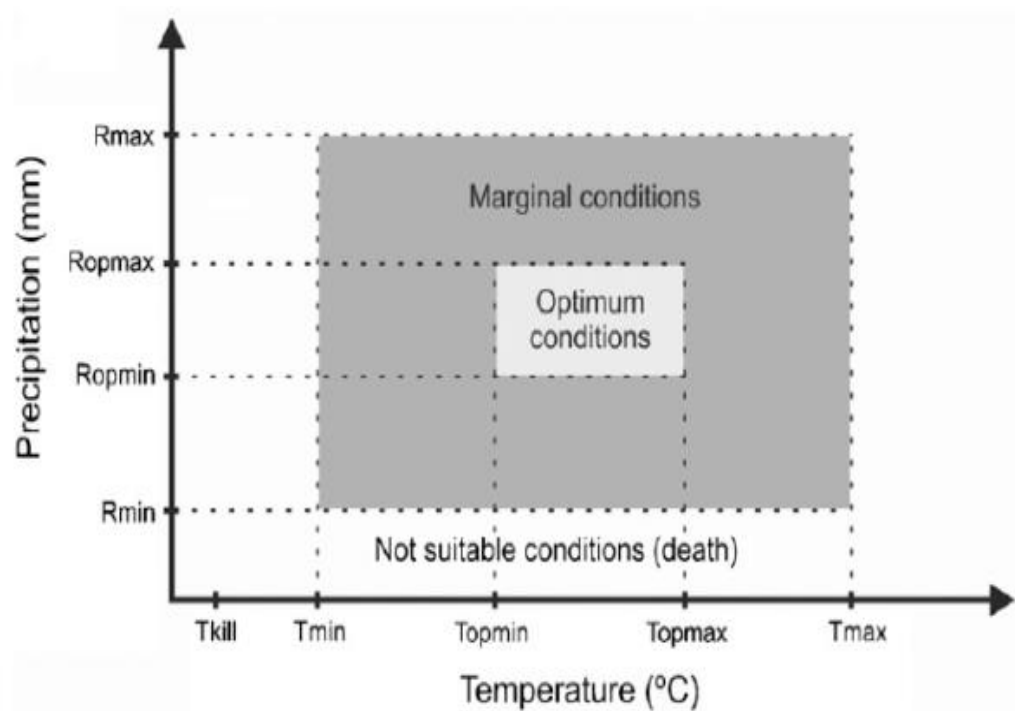


Figura 3. Diagrama bidimensional del modelo EcoCrop (Tomado de (Ramirez-Villegas *et al.* (2013)

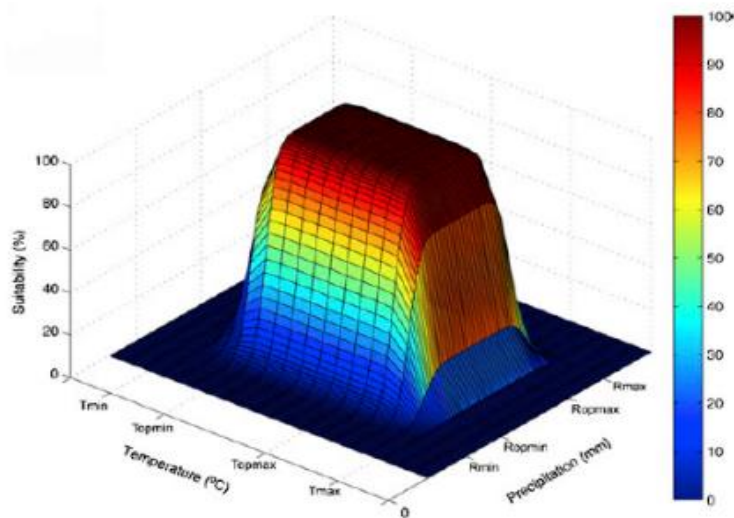


Figura 4. Diagrama tridimensional del modelo EcoCrop (Tomado de Ramirez-Villegas *et al.* (2013)

A partir de la temperatura, el modelo define la longitud del período de crecimiento, obteniéndose 12 potenciales inicios de la temporada de crecimiento, uno para cada mes del año ya que se asume que potencialmente todos son posibles iniciadores del mismo (Figura 5). Por lo

tanto, para cada mes se calcula un índice de aptitud en función de la temperatura (TSUIT) considerando los requerimientos del cultivo y la oferta climática de ese mes. Se asume que el período de crecimiento comienza a partir del primer mes en el que la temperatura supera los requerimientos del cultivo, es decir, cuando la temperatura media mínima supera la temperatura mínima absoluta del cultivo.

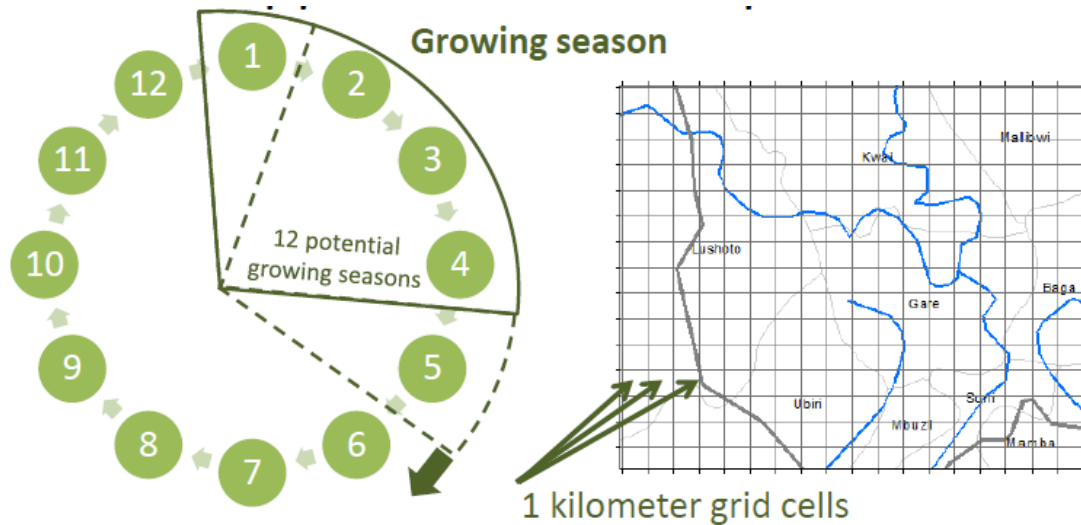


Figura 5. Cálculo del período de crecimiento. Tomado de (Laderach y Eitzinger, 2013)

El modelo posee algoritmos que explican cómo es la respuesta del cultivo a los distintos factores ambientales, en este caso temperatura y precipitación. Otra forma de interpretar lo explicado en las Figura 3 y 4 es a través de una curva de respuesta. Para ello, el modelo posee las curvas representadas en las Figura 6 y 7. Cuando el valor de la variable es menor a los mínimos absolutos, el índice de aptitud es 0. Cuando el valor está comprendido entre el mínimo absoluto y el óptimo, el índice adquiere un valor equivalente a la pendiente de la recta y cuando el valor de la variable está comprendido entre los puntos óptimos, el índice tiene un valor igual a 100. En el caso de la temperatura, se considera que si un mes tiene una temperatura al menos  $4^{\circ}\text{C}$  inferior a la mínima inferior ( $KT_{mp}$ ), se asume que al menos un día al mes la temperatura será inferior a la  $KT_{mp}$  y por lo tanto la planta morirá, por lo que el índice para ese mes será igual a cero.

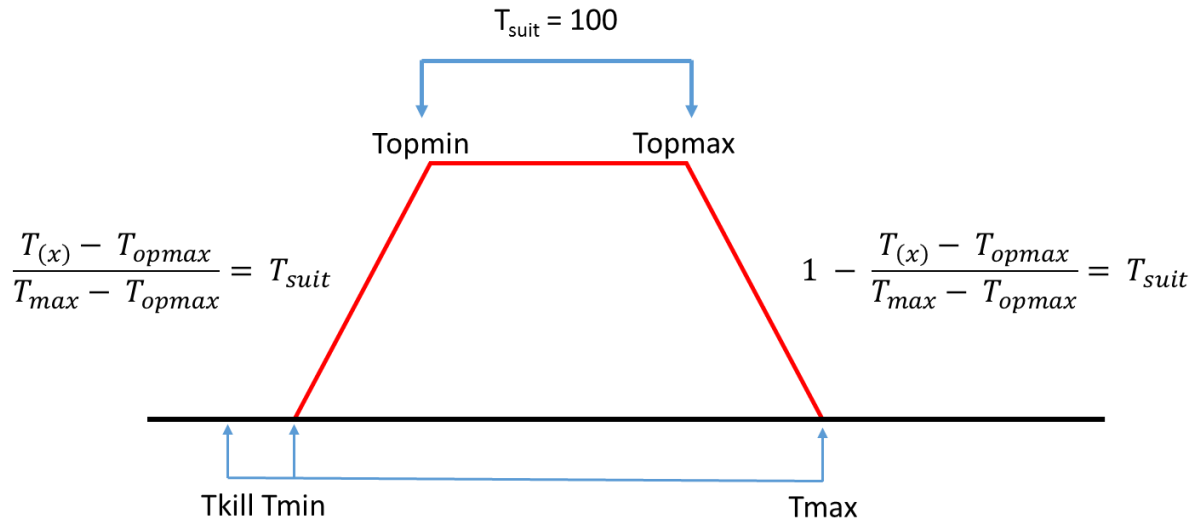


Figura 6. Curva de respuesta a la temperatura

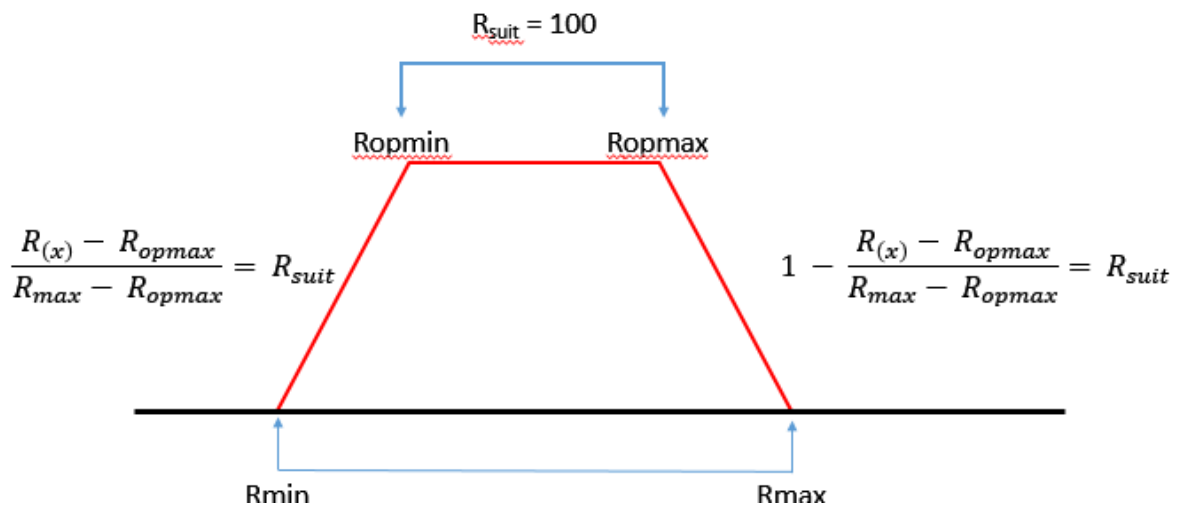


Figura 7. Curva de respuesta a la precipitación

Una vez definidos los meses potenciales de comienzo de la temporada de crecimiento se comienzan a modelar todas aquellas temporadas posibles para así obtener la más óptima. Cada cultivo tiene un período de crecimiento definido que se encuentra en la base de datos. Dicho valor se encuentra en días por lo que es convertido a meses ya que los datos climáticos tienen una resolución temporal mensual. A continuación, se detalla la mecánica con un ejemplo para facilitar la comprensión del proceso, comenzando por el cálculo del índice para la temperatura y luego para la precipitación.

Para cada mes del año y cada pixel del mapa se calcula el índice de aptitud a partir de la media mensual de ese mes, como se observa en los recuadros rojos bajo cada mes en la Figura 8. En este ejemplo, el cultivo tiene un período de crecimiento de 120 días por lo que se consideran 4 meses. Para que el período de crecimiento potencial sea efectivo, los valores del índice de



aptitud de cada uno de los meses que lo comprenden, debe ser mayor a 0. Se vuelve a señalar que se consideran 12 períodos de crecimiento potenciales, ya que éste puede comenzar en cualquier mes del año. Para obtener el valor correspondiente a cada período de crecimiento, el modelo toma el valor más bajo de los meses considerados. En el ejemplo de la Figura 8 para el período de crecimiento marcado en naranja, comprendido entre los meses de febrero a mayo, el mismo tiene un índice de aptitud de 0,6, que corresponde al valor del mes de febrero, el más bajo del período. Una vez que son caracterizados los 12 períodos potenciales, el modelo escoge aquel que tiene mayor valor. En este ejemplo el período que posee mayor aptitud considerando sólo la temperatura, para el cultivo ejemplificado, es el comprendido entre febrero y mayo.

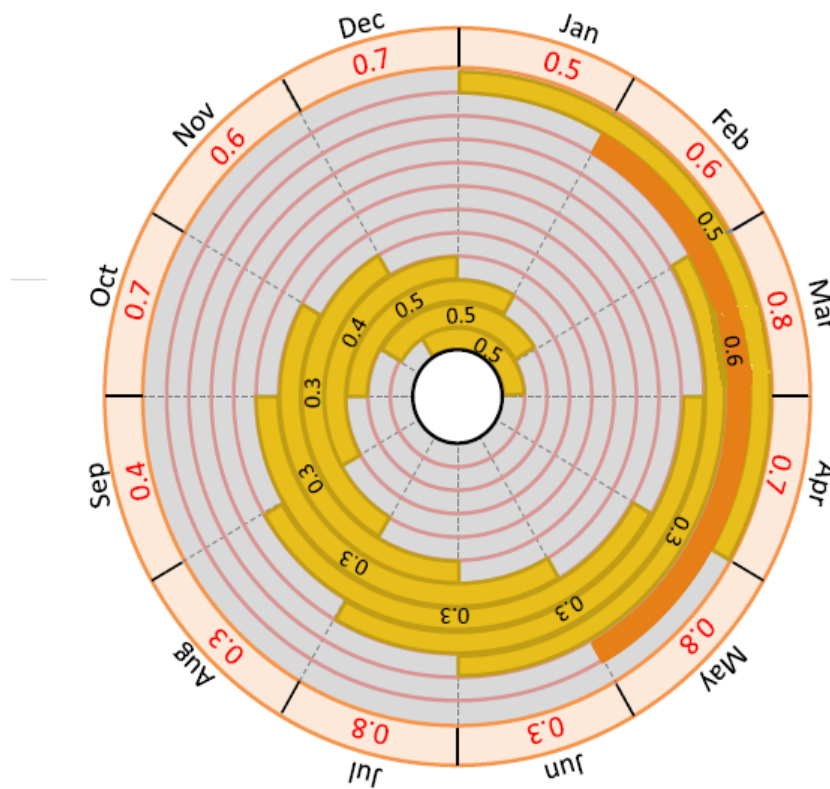


Figura 8. Cálculo del índice de aptitud por temperatura. Tomado de (Laderach y Eitzinger, 2013)

La temperatura es la variable que se considera para determinar la longitud del período de crecimiento a diferencia de otros modelos que utilizan temperatura y precipitación para definirlo (Higgins y Kassam, 1981). Una vez definidos los meses en los que el cultivo crece y el índice de aptitud en función de la temperatura, se procede a evaluar la precipitación.

El procedimiento utilizado para la precipitación es similar al de la temperatura excepto por la siguiente salvedad, sólo se considera la precipitación acumulada durante el total del período de crecimiento y no para cada mes individualmente. En los rectángulos celestes claros de la Figura 9, se observa la precipitación de cada mes individual. En los azules se observa la precipitación acumulada durante el período de crecimiento potencial y en rojo el índice de aptitud para el mismo. Luego, el procedimiento es análogo a lo que ocurre con la temperatura. Existen 12 potenciales períodos, se evalúa la precipitación de cada uno de ellos a través de la curva de respuesta de la Figura 7 y se obtiene un índice de aptitud. En este ejemplo, el período de mayor aptitud para la precipitación fue el comprendido entre diciembre y marzo, en el que precipitaron 245 mm y por lo tanto obtuvo un índice de 0,9 (90%),

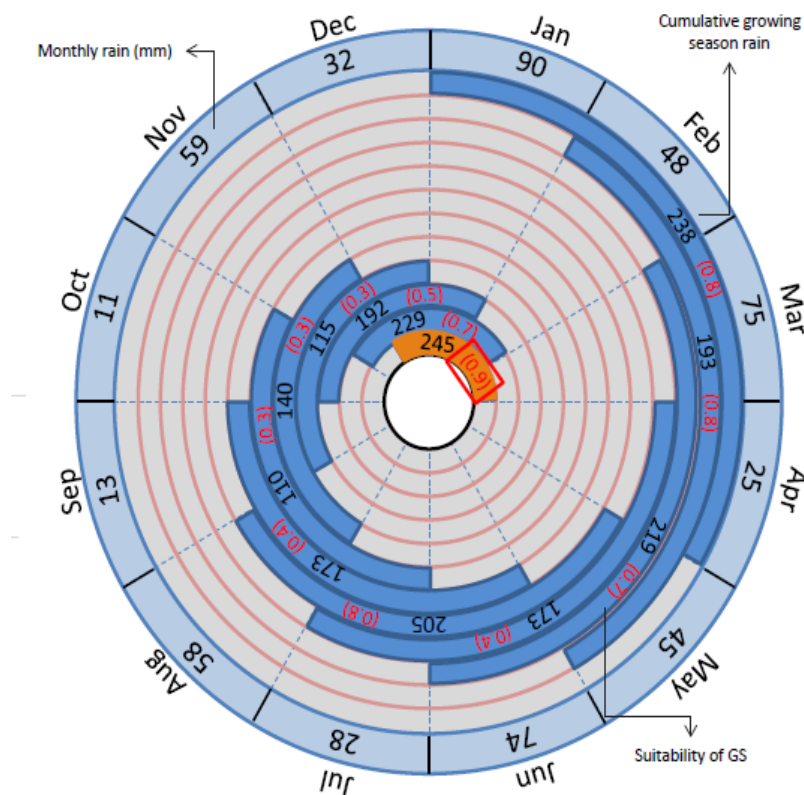


Figura 9. Cálculo del índice de aptitud por Precipitación. Tomado de (Laderach y Eitzinger, 2013)

Una vez que se obtuvieron los 12 índices, para cada una de los períodos de crecimiento (GS) se calcula el producto entre ambos como muestra la la siguiente ecuación:

$$T1_{suit} \times R1_{suit}; T2_{suit} \times R2_{suit}; T3_{suit} \times R3_{suit}; T4_{suit} \times R4_{suit}; \dots T12_{suit} \times R12_{suit}$$

Donde,

$T_{n_{Suit}}$  corresponde al índice de aptitud por temperaturas del período n

$R_{n_{Suit}}$  corresponde al índice de aptitud por precipitación del período n

El índice de aptitud final será el que resulte del producto de los índices de cada uno de los períodos de crecimiento. En cuadro 2 se detalla el resultado de para cada uno de los potenciales período de crecimiento.

Cuadro 2. Cálculo del índice de aptitud total, tomado de (Laderach y Eitzinger (2013)

	GS1	GS2	GS3	GS4	GS5	GS6	GS7	GS8	GS9	GS10	GS11	GS12
TSUIT	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5
RSUIT	0,8	0,5	0,7	0,4	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9
SUIT ( $T_{Suit} \times R_{Suit}$ )	0,40	0,30	0,21	0,12	0,24	0,12	0,09	0,09	0,12	0,25	0,35	0,45
SUIT (%)	40	30	21	12	24	12	9	9	12	25	35	45

**Referencias:**

GS: período de crecimiento. GS 1 corresponde al período de crecimiento 1 y así sucesivamente para cada uno de los doce períodos potenciales.

TSuit: índice de aptitud por temperatura

RSuit: índice de aptitud por precipitación

Suit ( $T_{Suit} \times R_{Suit}$ ): índice de aptitud compuesto por la integración del índice de aptitud por temperatura y precipitación expresado como decimal.

Suit (%): índice de aptitud compuesto por la integración del índice de aptitud por temperatura y precipitación expresado como porcentaje.

Como se observa, en este ejemplo, el período de crecimiento 2 (GS2) es el mejor en cuanto a la temperatura con un índice de 60%, Mientras que, para la precipitación, el período de crecimiento óptimo es el 12 (GS12) con un valor del 90%, Al considerar la interacción entre ambos índices, el período de crecimiento 12 es el mejor para ese cultivo con 45% de aptitud (0,5 x 0,9), Esto quiere decir que la oferta ambiental corresponde al 45% de los requerimientos óptimos del cultivo (Laderach y Eitzinger, 2013; Ramirez-Villegas et al., 2013).

Este procedimiento se repite para cada uno de los sitios que en el modelo son pixeles de la capa raster. En el caso de la provincia de Córdoba, y como los datos climáticos tienen una resolución espacial de aproximadamente 1 km x 1km, el modelo se aplica en los 165,000 km<sup>2</sup> que corresponden a toda la superficie de la provincia, el procedimiento metodológico se resume en el siguiente diagrama (Figura 10).

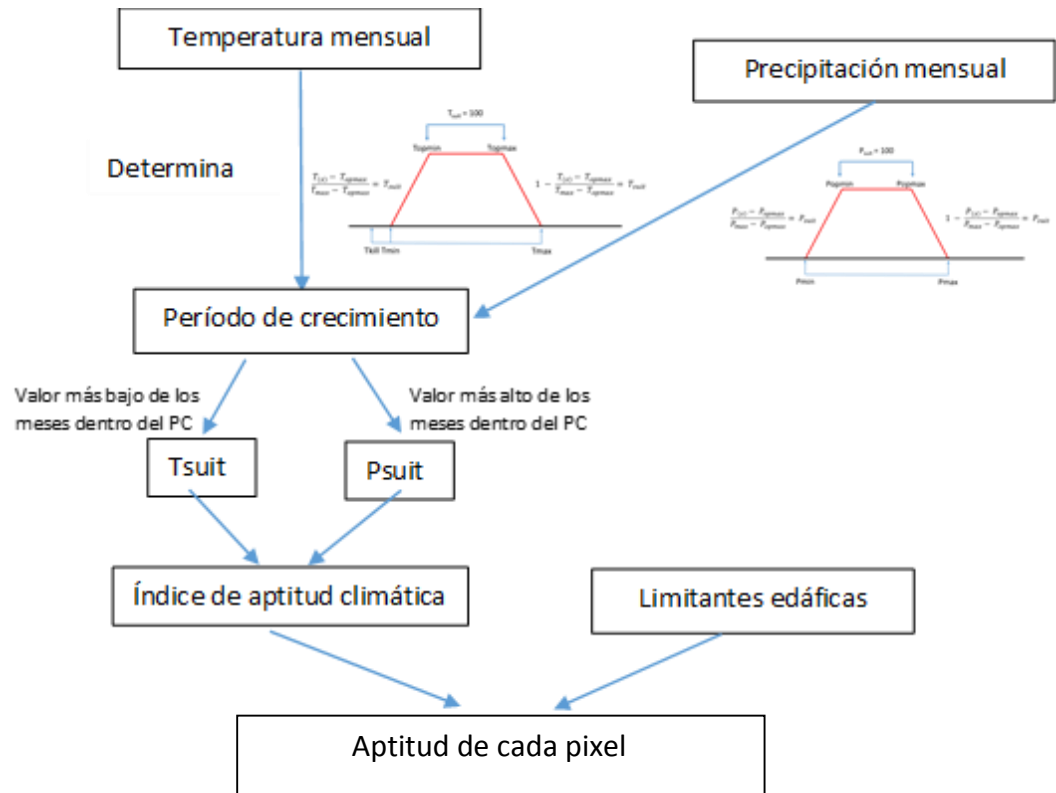


Figura 10. Diagrama conceptual modificado del modelo EcoCrop (Hijmans et al, 2001)

## METODOLOGIA EN SIG

Luego de obtenidas las dos capas, se debe realizar un análisis de superposición en un SIG para obtener el resultado final que refleje la aptitud global de cada pixel para un determinado cultivo. Para una mejor visualización del proceso, en la Figura 11 se detalla el flujo cartográfico.

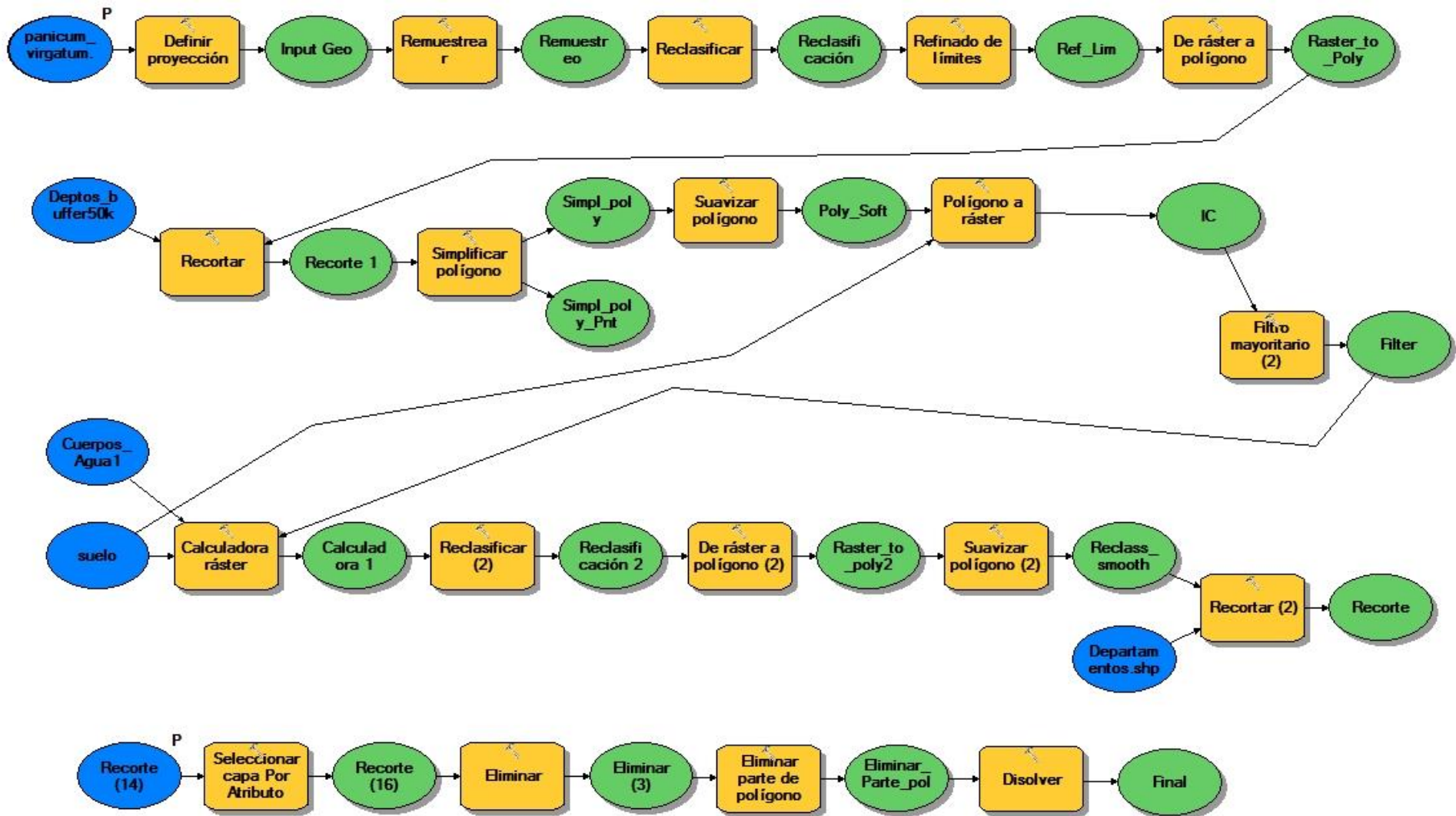


Figura 11. Flujo cartográfico

**Referencias:** los círculos azules corresponden a las entradas de cada operación; los rectángulos amarillos corresponden a la función o comando utilizado; los círculos verdes corresponden a las salidas de cada comando. Las flechas le dan sentido y dirección al flujo cartográfico, explican cómo se concatenan las operaciones. Aquellas entradas que poseen el símbolo **P**, quiere decir que son parámetros del modelo.

En él se observan todos los pasos que siguió el modelo dentro del SIG hasta la obtención del producto final, El modelo se automatizó en Model Builder de ArcGIS (ESRI y Redlands, 2006) para poder agilizar la ejecución de las tareas y optimizar el uso del tiempo. El resultado final se observa en cada una de las Figuras presentadas en la sección siguiente, donde se describirán cada uno de los cultivos estudiados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los productos obtenidos, tanto los intermedios como los finales.

### MAPAS DE SUELO

En la Figura 12 se observan los órdenes de suelo al que pertenece el suelo dominante de cada unidad cartográfica (Agencia Córdoba Ambiente, 2006).

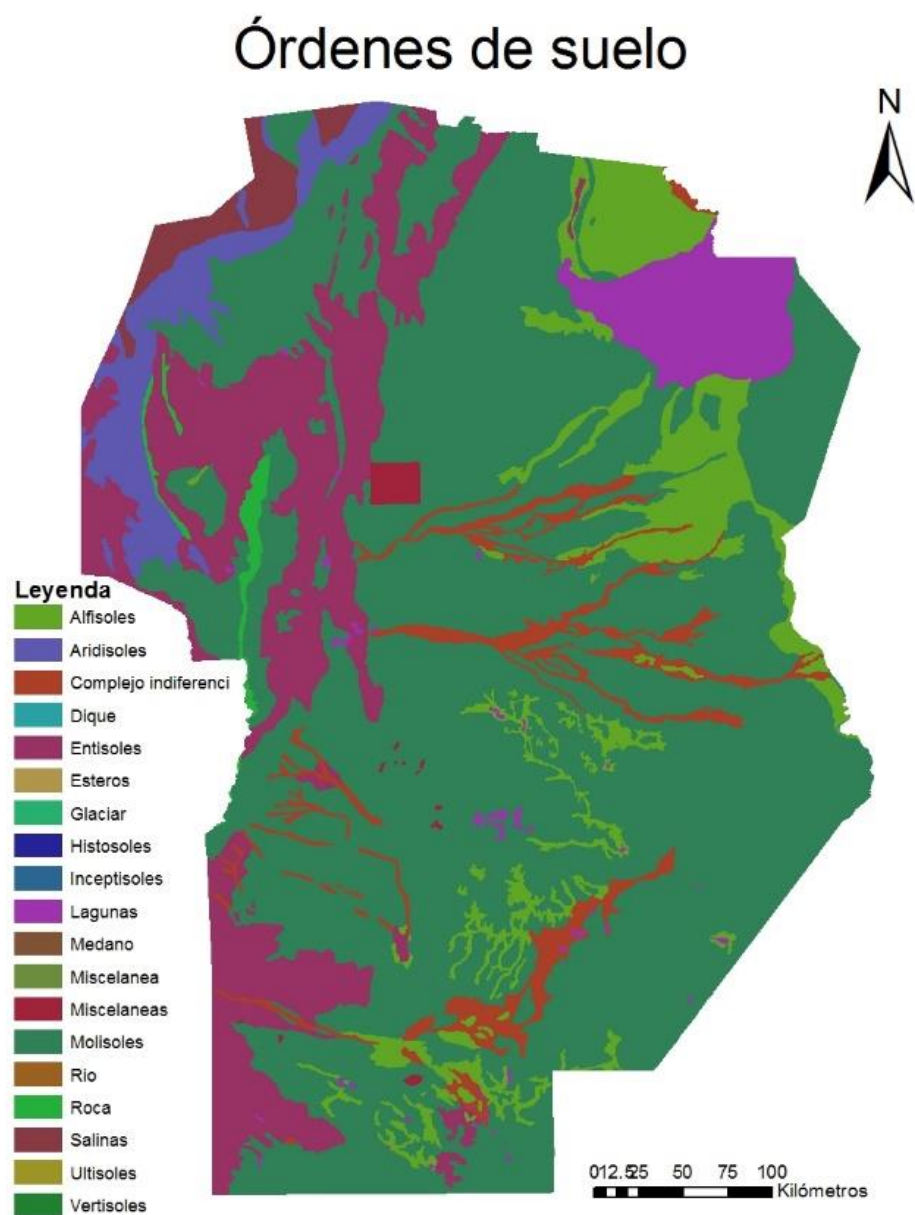
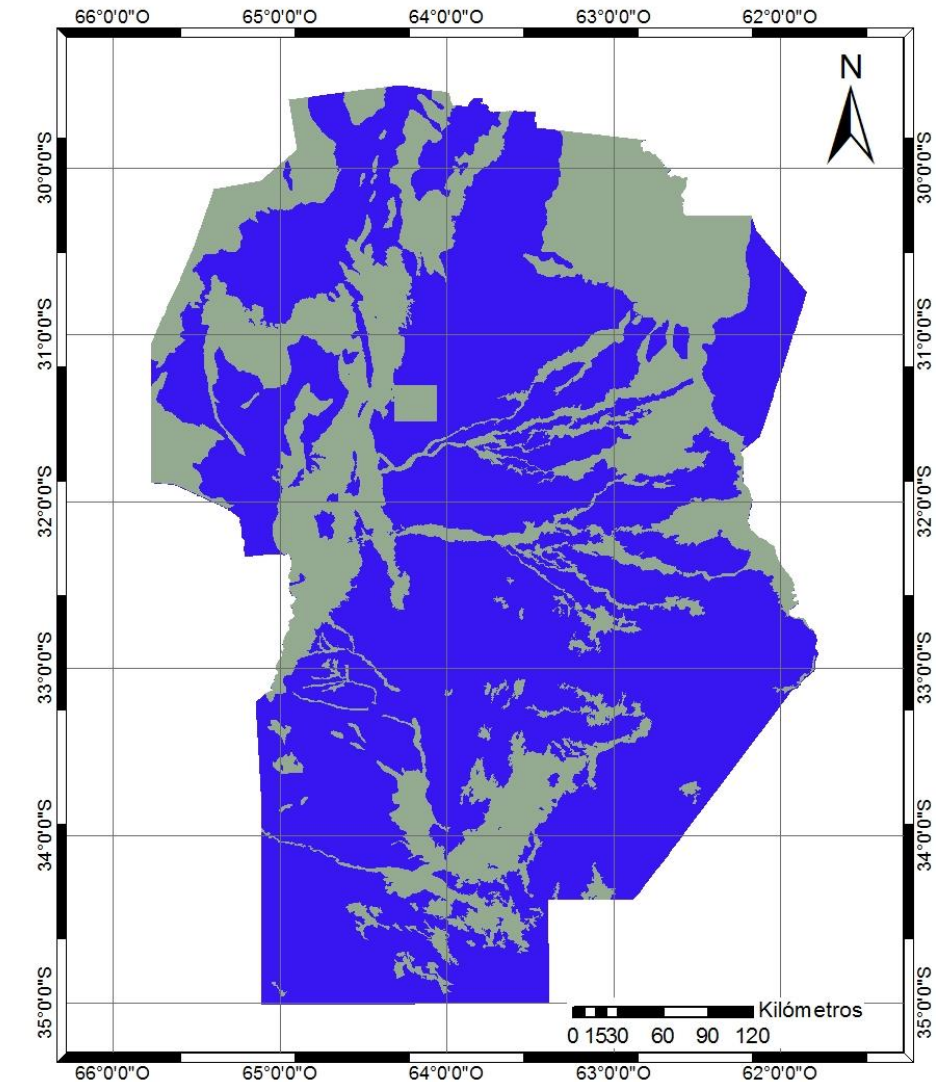


Figura 12. Órdenes de suelo de la provincia de Córdoba

Combinando información del Atlas de Suelos de la Provincia de Córdoba (Agencia Córdoba Ambiente, 2006) y del Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1990), se elaboró una capa mixta que combina la información de ambas. En ella se engloban las limitantes edáficas determinantes. Cabe destacar que, en las regiones consideradas restrictivas, es necesario un análisis a una escala más detallada para definir la verdadera potencialidad de las mismas pero dicha tarea escapa al objetivo del presente trabajo.

En la Figura 13 se presenta la síntesis de las limitantes edáficas.



### Leyenda

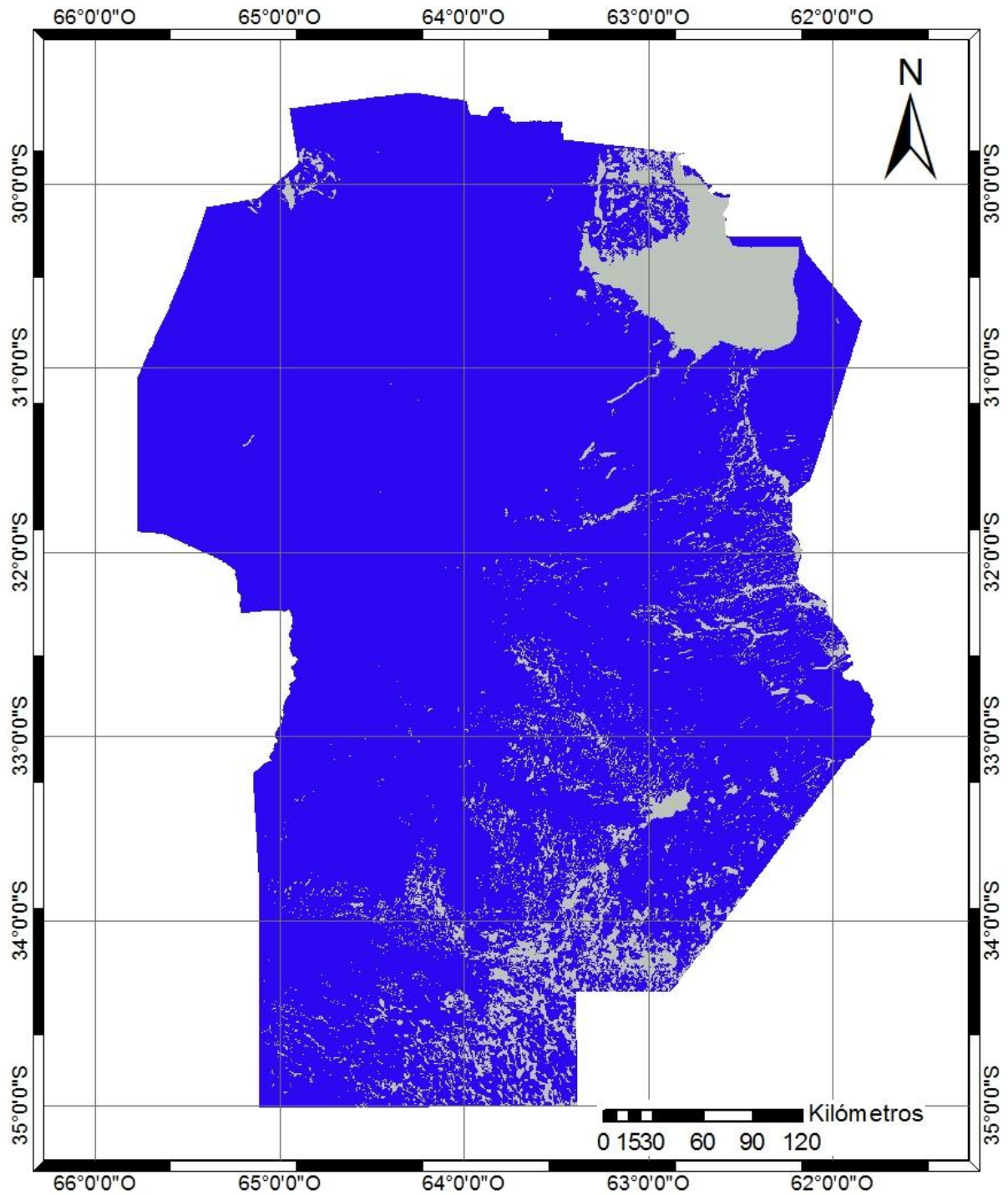
Suelo con limitantes  Suelos sin limitantes

Figura 13. Síntesis de limitantes edáficas



Como se mencionó, la capa de información edáfica es de carácter binario ya que sólo discrimina entre tierras aptas y no aptas para todos los cultivos sin considerar las características específicas de cada cultivo. Es indudable que esto no refleja la plasticidad que poseen algunas especies para tolerar ambientes con, por ejemplo, mayor tenor salino. Sin embargo, dada la información con la que se cuenta y la resolución espacial adoptada en este trabajo, no permite hacer un análisis de mayor precisión. Aun así, y para los fines de este trabajo, este acercamiento a las limitantes edáficas puede ser considerado apropiado.

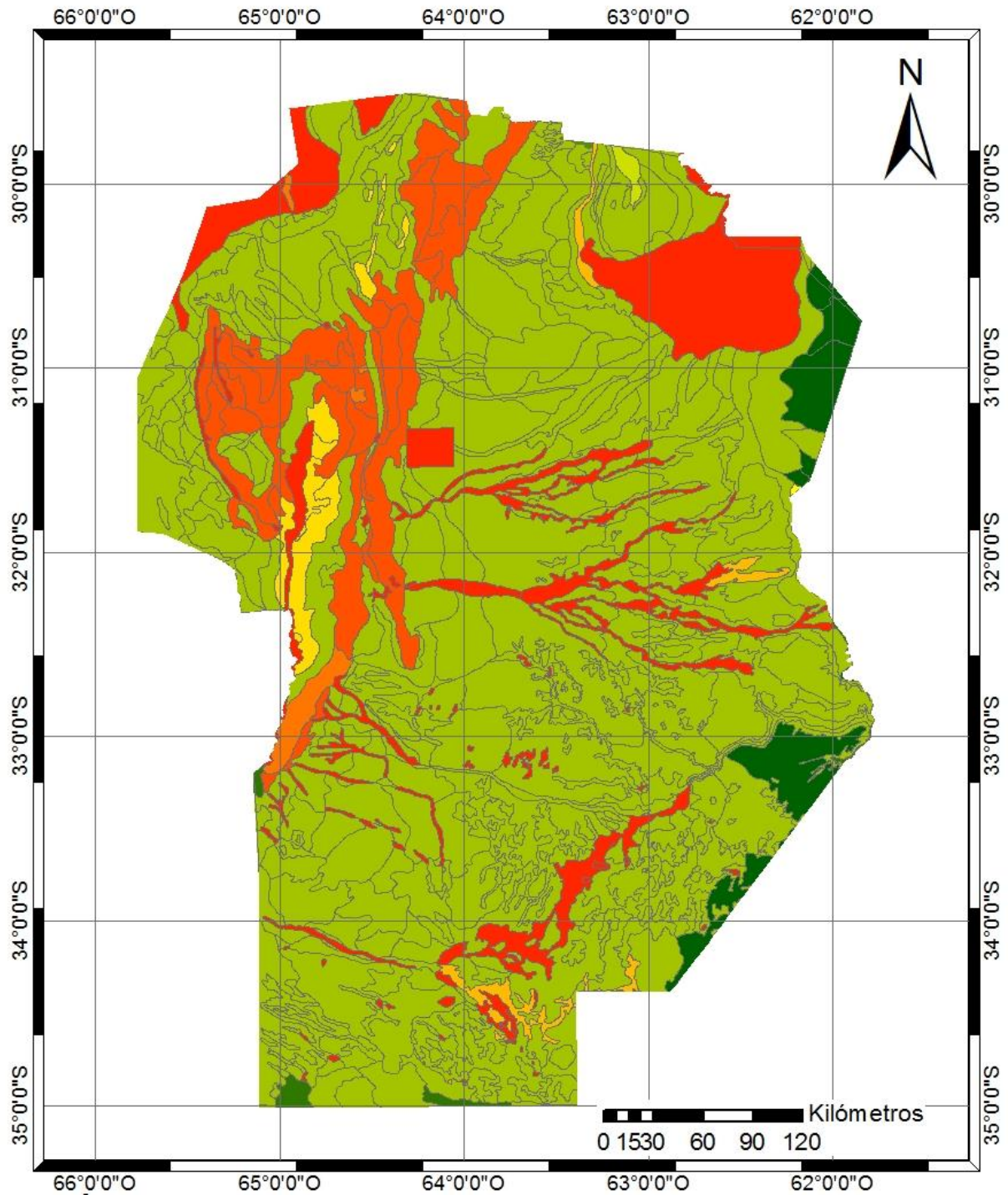
Para confeccionar esta capa se combinaron todas aquellas variables que afectan negativamente el desarrollo radical como son la profundidad efectiva, susceptibilidad a anegamiento o inundación y las condiciones de salinidad y/o alcalinidad asociadas, También se consideran como no aptas las tierras con un índice de productividad inferior a 7%, ya que se considera que las tierras con un IP menor a 7 corresponden a la Clase VIII de la clasificación del USDA y por lo tanto no son agrícolas (Klingebiel, 1961), y aquellas bajo la influencia de la laguna Mar Chiquita. Cada una de las capas se visualiza a continuación en las Figuras 14, 15, 16, 17 y 18.



## Leyenda

Suelos anegables o inundables
  Suelos no anegables o inundables

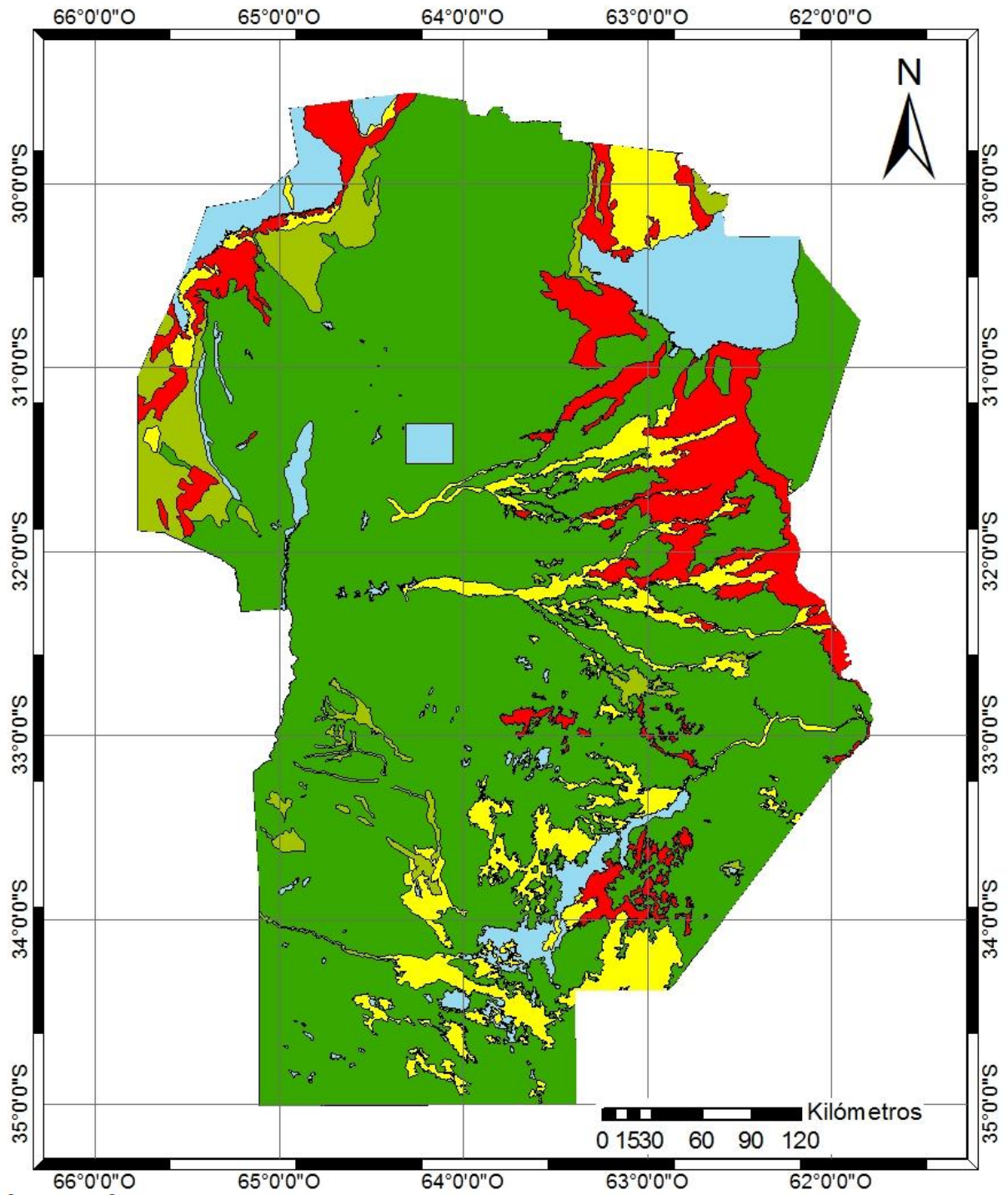
Figura 14. Suelos anegables o inundables



**Leyenda**

Profundidad suelo principal	
	0
	20
	40
	50
	60
	70
	75
	80
	100
	105
	120
	150
	200

Figura 15. Profundidad efectiva (en cm) de los suelos de Córdoba



**Leyenda**






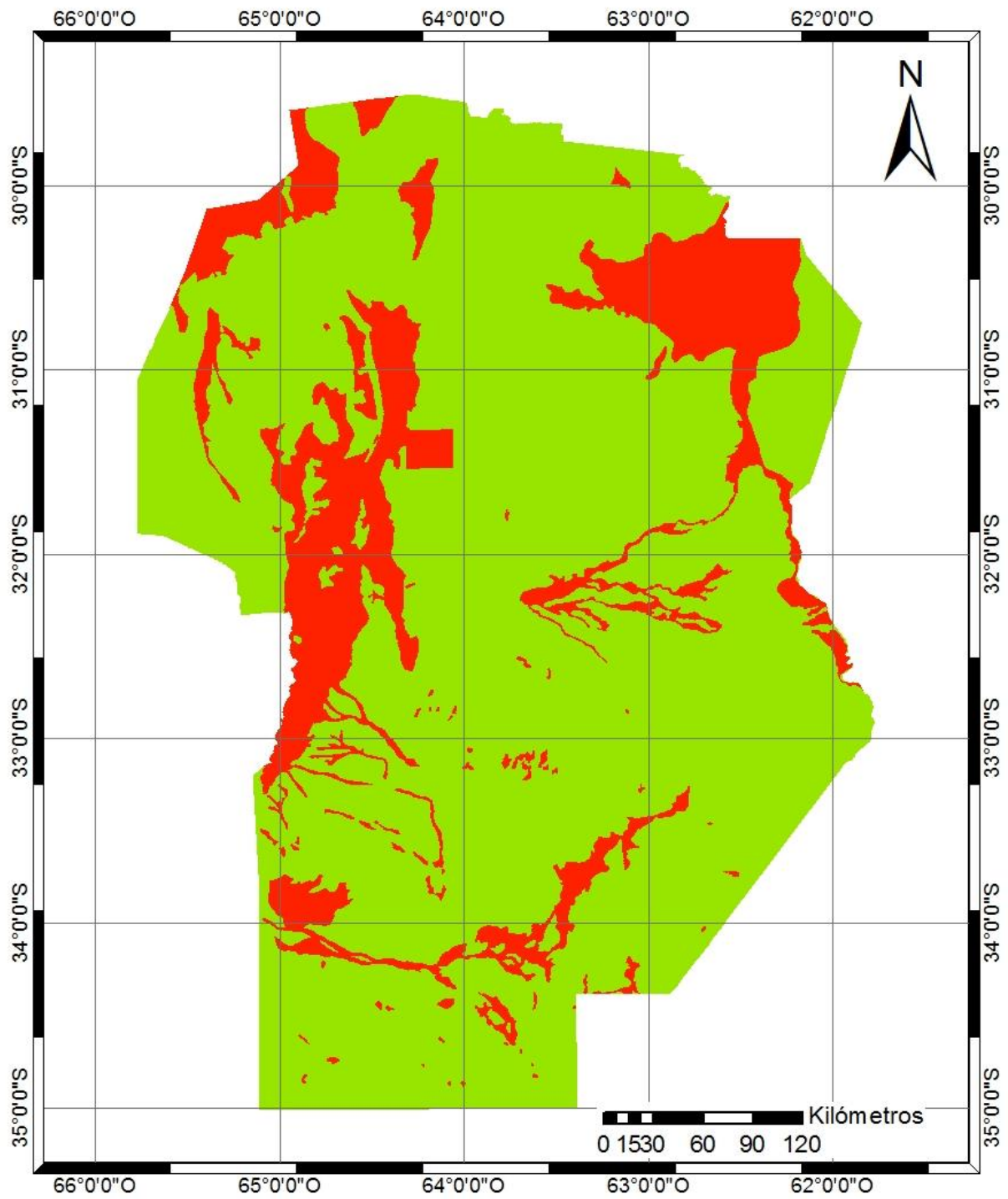
<b>Salinidad</b>		
 Áreas misceláneas	 Moderadamente salino (8-15 mmhos/cm)	
 Fuertemente salino (> 15 mmhos/cm)	 Levemente salino (4-8 mmhos/cm)	
	 No salino (0-4 mmhos/cm)	

Figura 16. Tierras bajo influencia salina

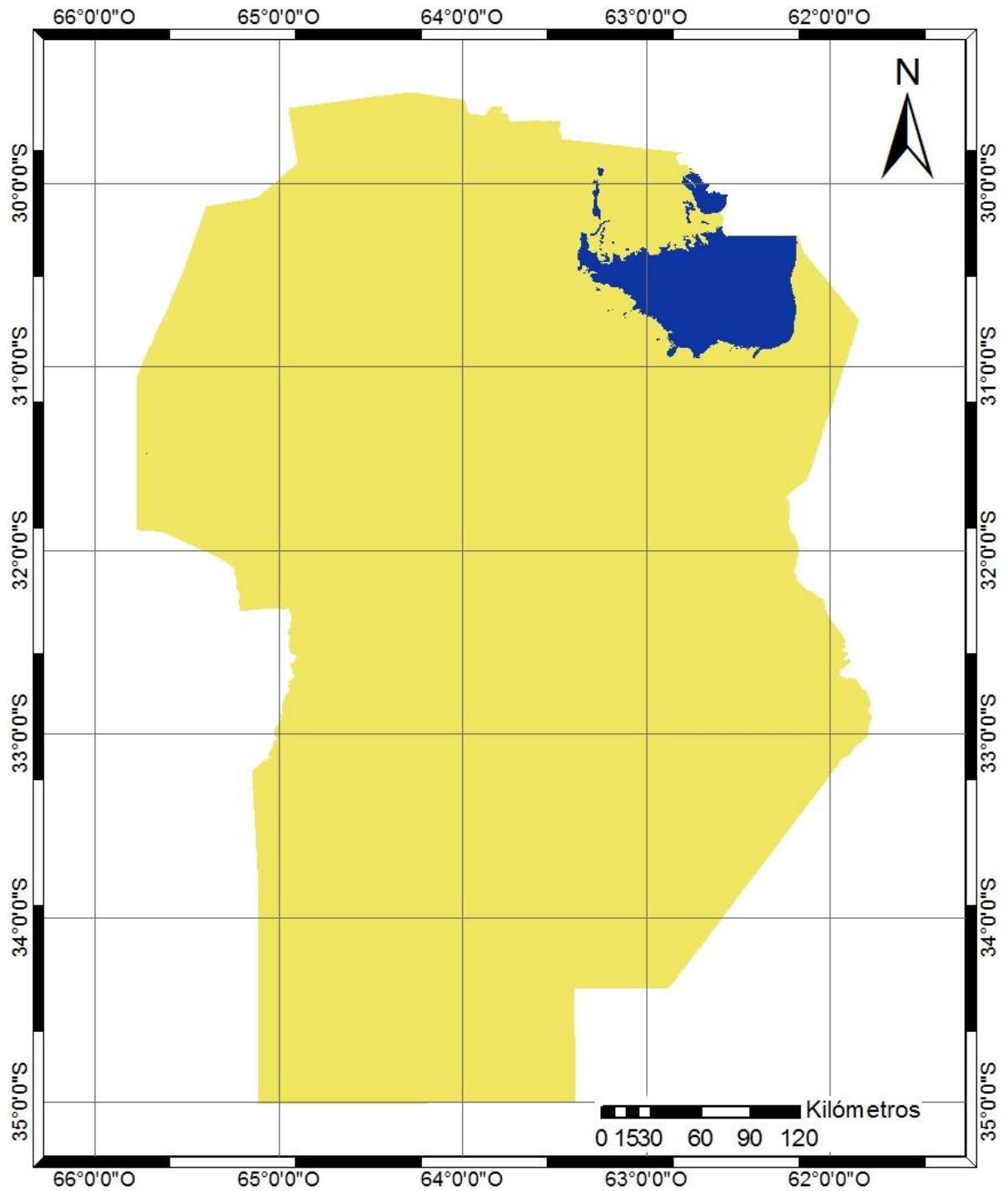


**Leyenda**

**IP (%)**

- 0 - 7
- 7 - 100

Figura 17. Tierras con un índice de productividad inferior a 7



**Leyenda**

Suelos sin influencia de cuerpos de agua
 
 Suelos son influencia de cuerpos de agua

Figura 18. Suelos bajo la influencia de grandes cuerpos de agua

Para el caso de los suelos hidrohalmórficos, se creó una capa especial que agrupa aquellas regiones que poseen las características anteriores. La misma se elaboró a partir de la información del Atlas de Suelo de la provincia de Córdoba (Agencia Córdoba Ambiente, 2006). La Figura 19 muestra la distribución de dichos suelos en el territorio provincial.

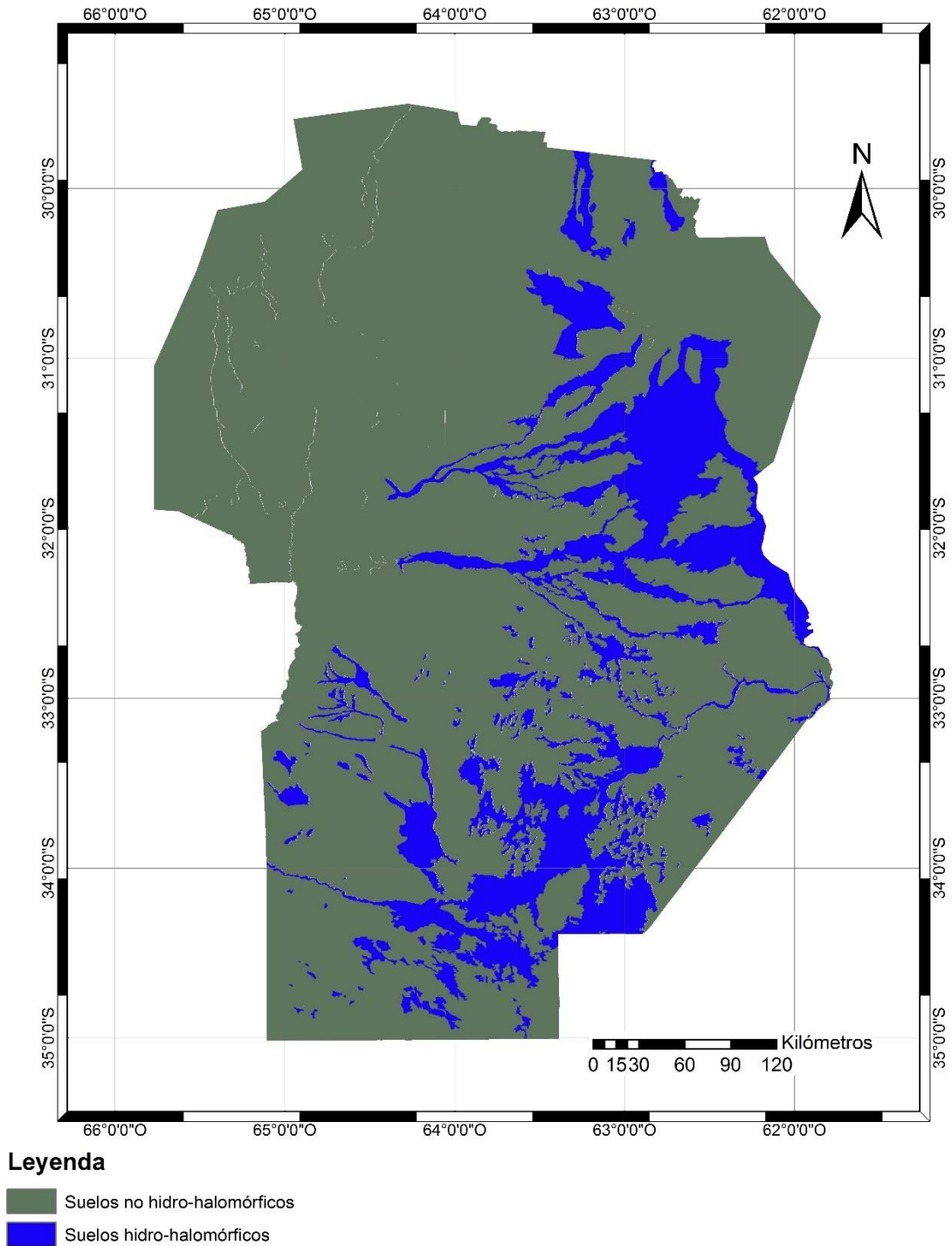


Figura 19 Suelos hidro-halomórficos de la Provincia de Córdoba

## MAPAS DE CLIMA

En las Figura 20 y Figura 21 se observan las precipitaciones y temperaturas medias tomadas de WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005). Las mismas fueron recortadas del archivo original tomando como máscara los límites de la Provincia de Córdoba. Además de los mapas de temperatura media y precipitación, se elaboraron mapas de temperatura media máxima y media mínima para cada uno de los meses del año que fueron utilizados en el modelo EcoCrop.

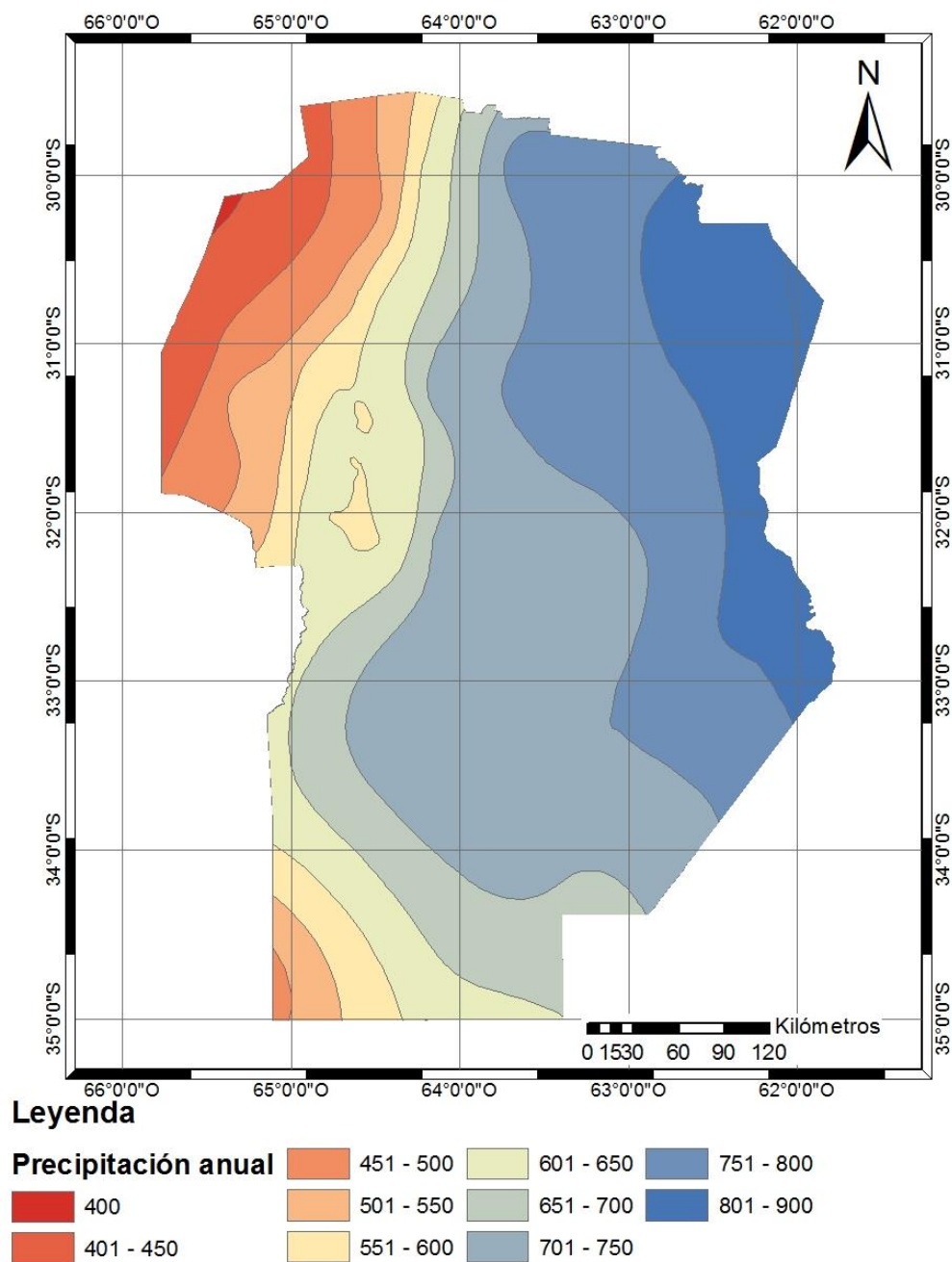
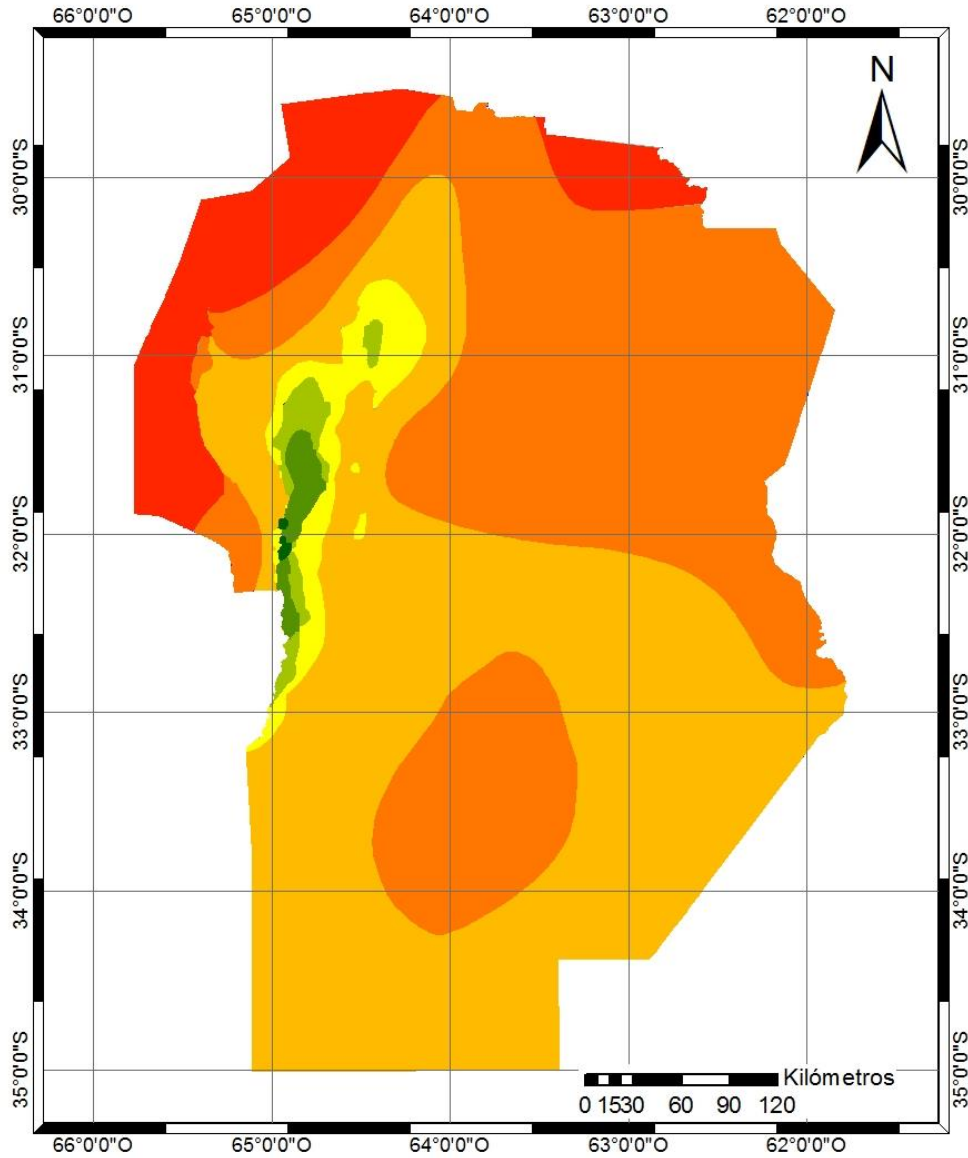


Figura 20 Precipitación media anual





**Leyenda Temperatura**



Figura 21 Temperatura media anual

**INDICE DE APTITUD CLIMÁTICO**

El resultado del modelo EcoCrop, sin considerar las variables edáficas se ilustra en la Figura 22. Se elaboró una capa similar a la anterior para cada uno de los cultivos evaluados. La salida del modelo es una capa ráster en formato de imagen .bil, dónde cada pixel tienen un tamaño de 0.5°x0.5° es caracterizado por un valor de aptitud. Los datos obtenidos tienen un

rango de 0-100. Luego dicha capa de limitantes climáticas fue superpuesta con la capa de limitantes edáficas para obtener la aptitud global de cada pixel. Dichos resultados finales se detallan a continuación, utilizando como ejemplo a *Borago officinalis*.

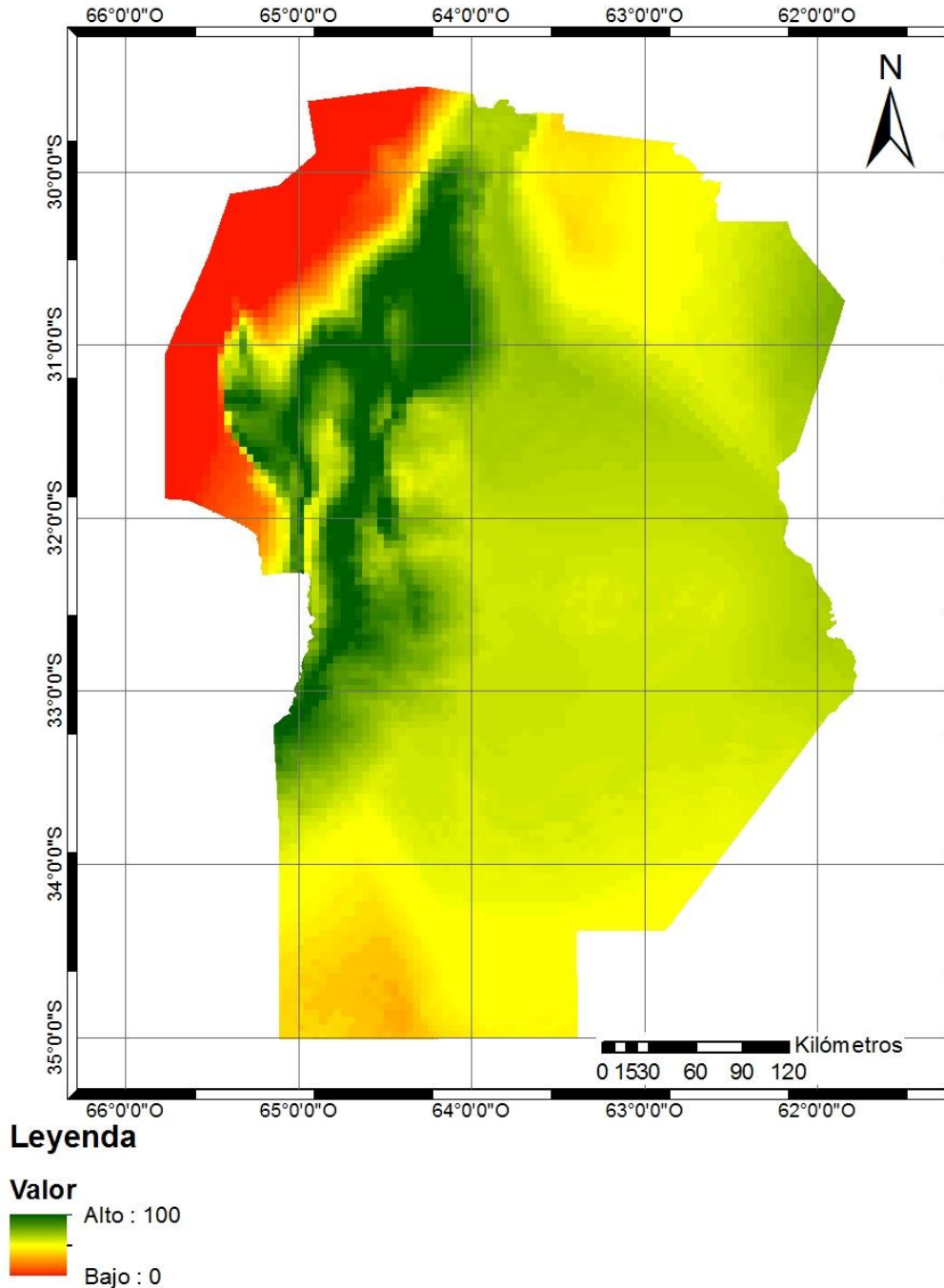


Figura 22 Aptitud climática de *Borago officinalis*

El índice obtenido se interpreta como la relación entre la oferta ambiental y los requerimientos del cultivo. En aquellas regiones donde esta relación se aproxima a 1 son

consideradas *muy aptas* para el cultivo; en aquellas donde la relación entre ambas estuvo entre 0,33-0,66 son consideradas *aptas*; en aquellas donde la relación fue entre 0,01-0,33 son consideradas *marginales* y en aquellas donde está fue 0 son consideradas *no aptas* para el cultivo.

Este estudio demostró que es posible modelar la distribución potencial de especies cultivadas en la Provincia de Córdoba utilizando bases de datos como EcoCrop, aún ante la imposibilidad de contar con datos de ocurrencia de las mismas y con limitada información climática y edáfica.

En este trabajo se combinaron las características mencionadas anteriormente con opiniones de expertos para seleccionar las especies a evaluar. El análisis de la aptitud de las especies para un determinado hábitat se sintetizó a través de mapas.

A continuación, se presentan los productos de este estudio, mapas de aptitud para cada especie individual con una breve descripción de la misma y sus usos potenciales. El orden de presentación de las especies es alfabético.

## **DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE CULTIVOS**

Esta sección se encuentra dividida en dos partes. Primero, se detallan aquellos cultivos que no toleran anegamiento, es decir que requieren suelos bien drenados. Luego, se hace hincapié específicamente en aquellas regiones que poseen influencia de napas freáticas con un alto tenor salino. Los cultivos aptos para tierras bien drenadas se encuentran agrupados en tres categorías en función del grado de aptitud. Ellas son: cultivos de alta aptitud, media aptitud y baja aptitud. La primera categoría agrupo a los cultivos de jojoba, sésamo, guayule, onobrychis scrobiculata, lino, amorta, kenaf, tef, guar, quinoa, cártamo, colza, okra, nopal y cardo comestible. La segunda a los cultivos de ricino, lupin de Cosentino, topinambur, cilantro, Borago officinalis y Panicum virgatum. Por último, los cultivos menos aptos: poroto adzuki, espelta, ginseng americano y amaranto. Se adjuntan también, en una segunda sección, aquellos cultivos aptos para condiciones de drenaje imperfecto y salinidad.

## ÁREAS BIEN DRENADAS

### ALTA APTITUD

#### CULTIVO 1: ALMORTA

**Nombre botánico:** *Lathyrus sativus*

**Nombre vulgar:** Almorta, chícharo, guija, pito o tito

**Uso:** La almorta puede ser utilizada como alimento, consumiendo las semillas en una gran variedad de preparaciones. Las mismas pueden ser molidas para producir harina y complementar sopas, potajes, etc. Las hojas también son comestibles y son utilizadas en ensaladas y potajes. También se utiliza como especie fijadora de nitrógeno en ambientes que no incluyan leguminosas en las rotaciones dada su tolerancia a la sequía (Calderón *et al.*, 2012; Campbell, 1997).

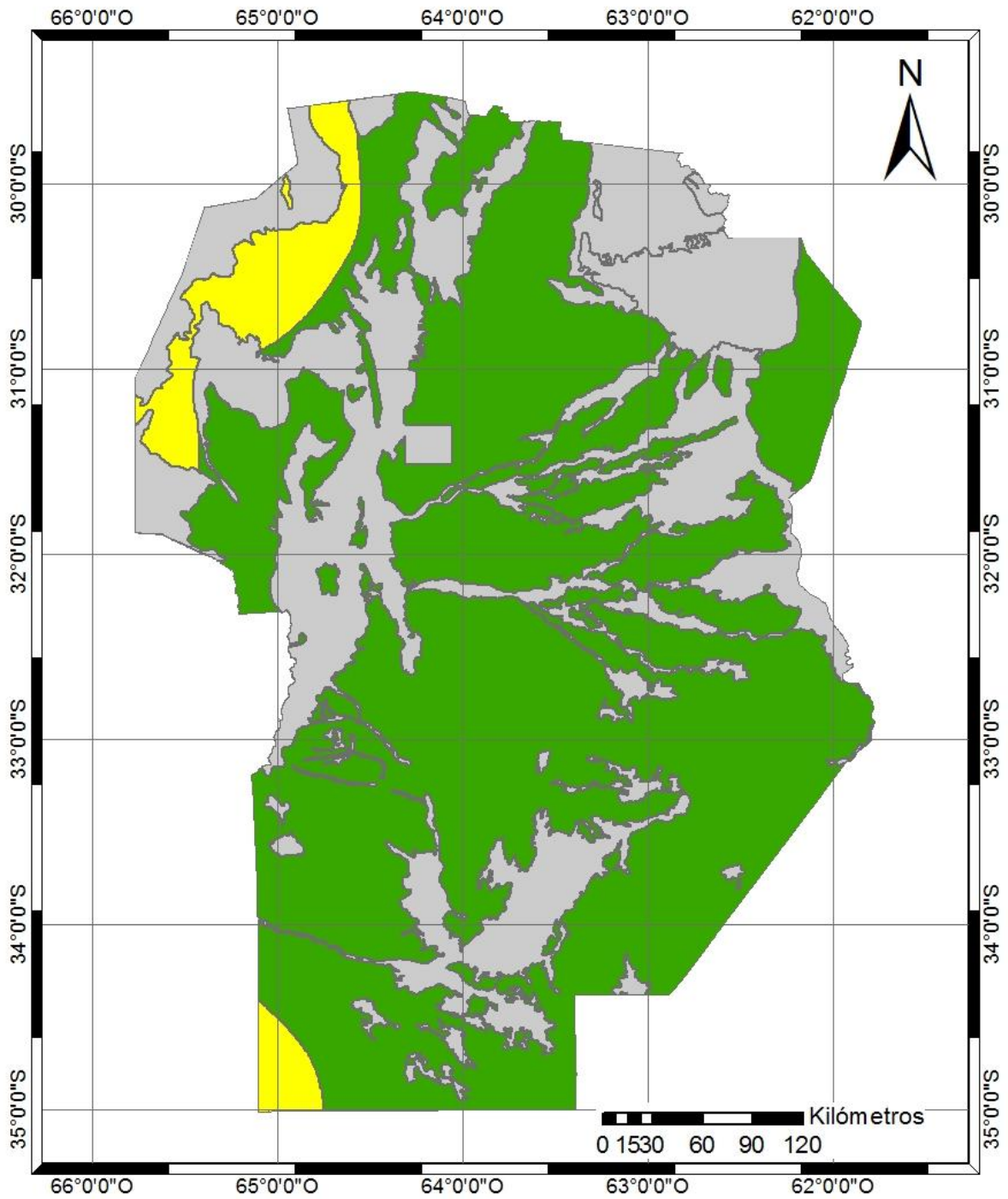
**Síntesis Botánica:** Es una leguminosa, herbácea, suberecta, de crecimiento indeterminado, ramificada que alcanza una altura de 40-90 cm. Su sistema radicular tiene cerca de 50-70 cm de profundidad y es muy ramificado. Es anual, propagándose a través de semillas. En aproximadamente 60-80 días cubre el suelo y florece luego de 75-120 días para completar su ciclo en 100-180 días. Las semillas de esta especie tienen varios usos, pueden ser cocinados, molidos para obtener harina o alimentar el ganado. Es una especie promisoría dada su adaptación a climas secos y semilla con un alto contenido proteico. En dichos ambientes, se alcanzan rendimiento de 500 kgha<sup>-1</sup> y de 1.3-6.2 kg ha<sup>-1</sup> de forraje. En ambientes húmedos se pueden lograr 2200 kgha<sup>-1</sup> de grano. El forraje producido es de muy buena calidad. No todas las variedades de almorta pueden ser consumidas ya que se deben considerar sus factores antinutricionales (Campbell, 1997; Duke, 2012; FAO, 2003; Larbi *et al.*, 2010).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 3 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Almorta (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 3 Requerimientos climáticos de Almorta

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
100	190	0	4	10	28	32	320	500	1300	3000

**Mapa:** La Figura 23 muestra la distribución potencial del cultivo de almorta.



### Leyenda






Aptitud	
	Apto
	No Apto
	Muy Apto
	Marginal
	Cuerpo de Agua

Figura 23 Distribución potencial del cultivo de Almorta

## CULTIVO 2: CARDO (COMESTIBLE)

**Nombre botánico:** *Cynara cardunculus*

**Nombre vulgar:** Cardo comestible

**Uso:** Las aplicaciones tradicionales de este cultivo es como alimento, especialmente sus tallos blanqueados y sus flores para la fabricación de queso, siendo una alternativa al cuajo. El cardo puede ser cultivado con fines energéticos e industriales. Como cultivo energético se explota en forma perenne, especialmente enfocado en la producción de biomasa. La parte cosechable corresponde a toda la biomasa aérea producida. Ésta se discrimina en dos: la biomasa lignocelulósica y las semillas con alto contenido de aceite (El Bassam, 2010). La lignocelulosa es un combustible sólido que puede ser utilizado de forma directa para producir calor o energía eléctrica. Las semillas, que representan un 13% del total de la biomasa y debido a su alto contenido de aceite, pueden ser utilizadas para la producción de biodiesel (El Bassam, 2010). Además de sus aplicaciones energéticas, se puede utilizar como forraje para rumiantes, para la producción de pulpa de papel y para la extracción de metabolitos para su uso en la industria farmacéutica (Fernández *et al.*, 2006).

**Síntesis botánica:** es una planta herbácea, perenne que puede alcanzar 1-2.5 m de altura y un diámetro de 60-100 cm. Sus hojas se agrupan en rosetas basales, lobuladas, pueden alcanzar hasta 2 m pero generalmente no superan los 80 cm, poseen espinas naranjas de 0.5-2 cm de largo. La cara inferior está densamente cubierta por pelos. Las hojas del tallo son alternas y de menor tamaño que las basales. En las variedades utilizadas para consumo directo, las hojas superiores poseen muy pocas o ninguna espina. Las flores son solitarias de color púrpura y rara vez blancas, al secarse también le aportan valor ornamental a la planta. También atraen a una gran cantidad de abejas. Los frutos son pequeños aquenios cónicos. Los rendimientos de materiales mediterráneos son de alrededor de 47 t ha<sup>-1</sup> de biomasa aérea acumulada en tres años, de los cuáles el 6.3% corresponde al grano (FAO, 2003; Raccuia y Melilli, 2007).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 4 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Cardo (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 4 Requerimientos climático de Cardo

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
150	300	-10	7	14	28	36	450	550	800	1000

**Mapa:** La Figura 24 muestra la distribución potencial del cultivo de cardo.

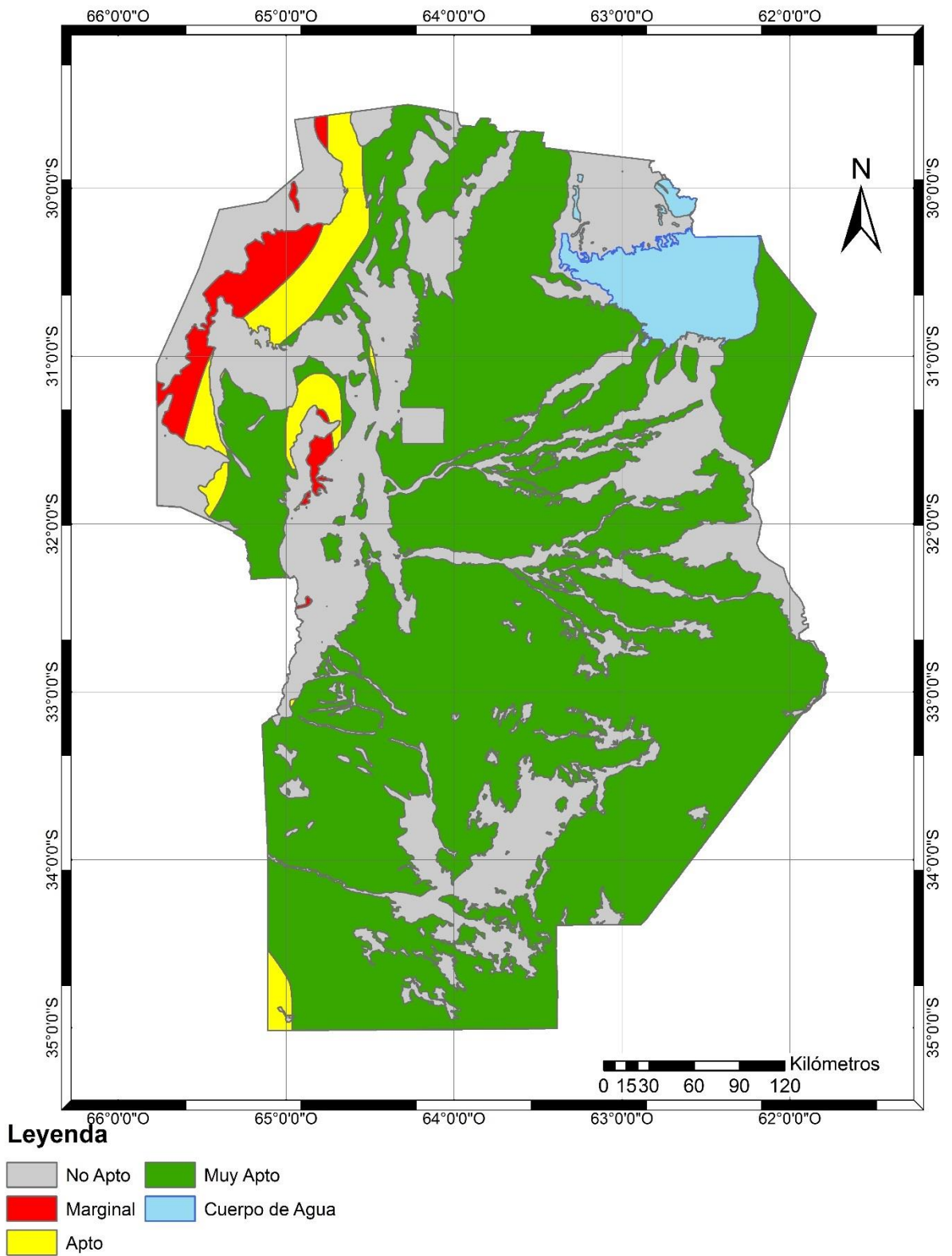


Figura 24 Distribución potencial del cultivo de Cardo (comestible)

### CULTIVO 3: CÁRTAMO

**Nombre botánico:** *Carthamus tinctorius*

**Nombre vulgar:** Cártamo

**Uso:** El cártamo es cultivado por su aceite comestible obtenido de las semillas. El mismo contiene un alto porcentaje de ácidos grasos insaturados esenciales y un bajo porcentaje de ácidos grasos saturados comparado con otros aceites vegetales. El aceite de color claro y fácilmente clarificable, es usado en ensaladas y para frituras, margarinas, licores, velas y como secante para pinturas, linóleo, barnices y ceras y como potencial biocombustible (El Bassam, 2010; Singh y Nimbkar, 2006). Los brotes tiernos son consumidos en ensalada. Las semillas, muy nutritivas, se consumen tostadas o fritas. Las flores han sido una fuente importante de tintes amarillos y rojos, aunque han sido reemplazados en gran medida por tintes sintéticos. Dada la relativa simple manipulación de su genoma, los fitomejoradores tienen la posibilidad de generar plantas que produzcan casi cualquier tipo de aceite, especialmente aquellos que son beneficiosos para la salud (Hall, 2016).

**Síntesis Botánica:** Es una planta anual, muy ramificada desde la base de un fuerte tallo central que puede alcanzar 1,5 m de altura, sus hojas son espinosas, oblongas lanceoladas, cerosas y las superiores con espinas. Las flores se agrupan en capítulos de 2,5-3,7 cm de diámetro, cada capítulo produce alrededor de 15-50 semillas. La corola de la flor es amarilla, naranja, blanca o roja, rodeada por un grupo de brácteas espinosas. Los frutos, aquenios, son blancos, brillantes, de 6-7 mm de largo, la cáscara significa alrededor de un tercio del peso de la semilla (Dajue y Mündel, 1996; FAO, 2003; Singh y Nimbkar, 2006).

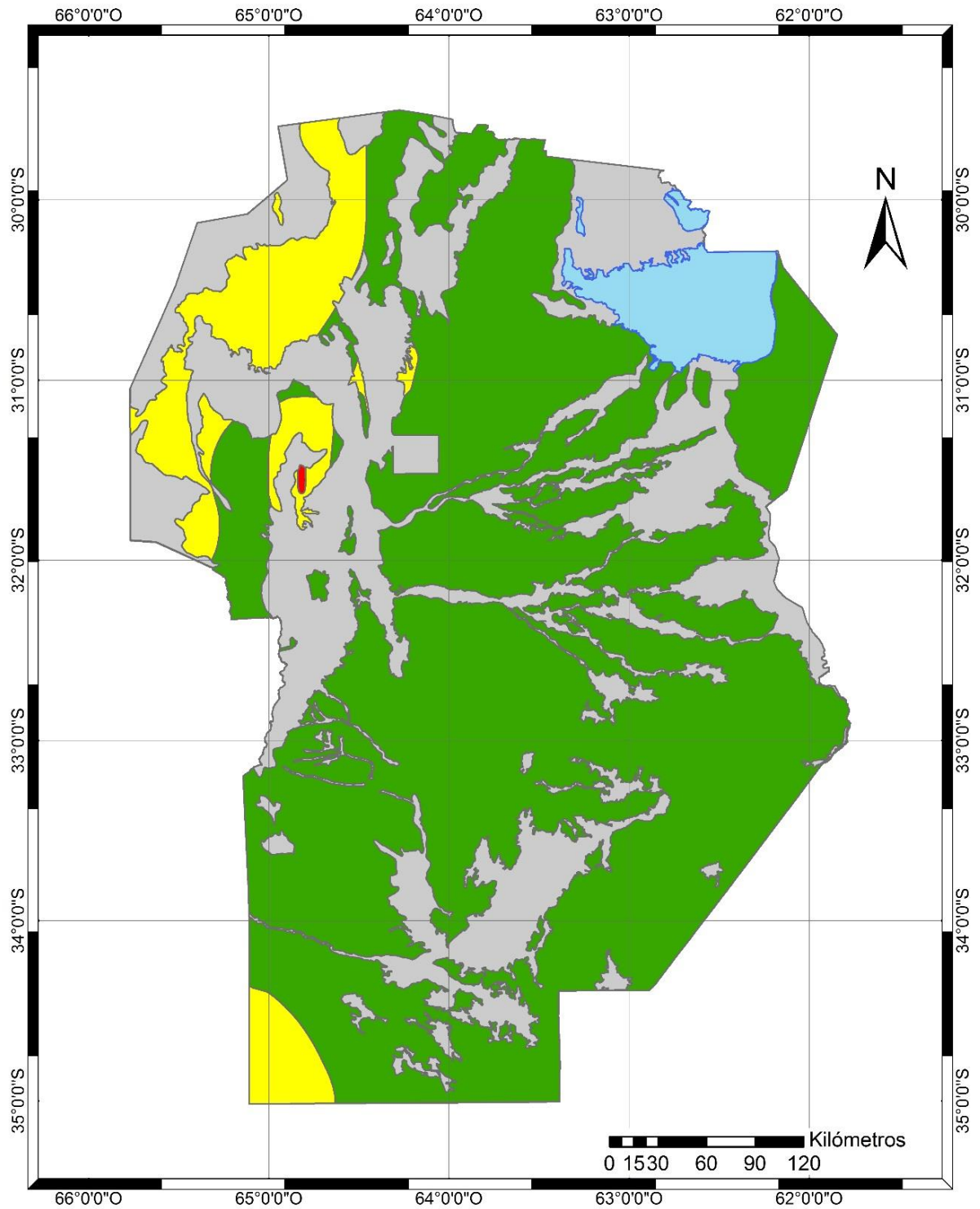
**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 5 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Cardo (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 5 Requerimientos climáticos de Cártamo

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
120	245	-2	5	20	32	45	300	600	1000	1400



**Mapa:** La Figura 25 muestra la distribución potencial del cultivo de cártamo.



**Leyenda**






- |   |   |                |
|---|---|----------------|
| <b>Aptitud</b>  |  | Apto           |
|  |  | Muy Apto       |
|  |  | Cuerpo de Agua |

Figura 25 Distribución potencial del cultivo de Cártamo

## CULTIVO 4: COLZA

**Nombre botánico:** *Brassica napus*

**Nombre vulgar:** Colza

**Uso:** La colza es cultivada por una gran cantidad motivos, principalmente se usa para obtener harinas para la alimentación animal y como una fuente de aceite. El aceite es utilizado en la industria alimentaria y como lubricante y para la fabricación de jabones. La harina residual de la extracción del aceite es empleada como suplemento proteico en la ganadería. El aceite de colza tiene un potencial mercado como lubricante, agente emulsificante, como componente en resinas y fibras de poliamida, también es un buen sustituto para las ceras vegetales. Algunas variedades que poseen un alto contenido de ácido erúxico son usadas en la producción de otros químicos. Actualmente el aceite tiene un gran potencial como fuente para la producción de biodiesel dada su alta eficiencia relativa comparada con la de otros cultivos (Barthet, 2016; El Bassam, 2010; Gardner *et al.* 1985; Mendham y Robertson, 2016).

**Síntesis Botánica:** Es una planta anual o bienal, cuando se siembra tarde, que florece durante la primavera; posee un tallo erecto, ramificado de hasta 1,5 m que a veces puede tomar colores purpúreos. Las hojas son glaucas, siendo las inferiores lobadas con peciolo de 10-30 cm de largo, glabras o con algunos pelos. Las hojas superiores son lanceoladas, sésiles y más o menos enteras, Las flores son de color amarillo, de 1,2-1,5 cm de largo, las mismas se agrupan en un racimo en la sección terminal del tallo principal y ramificaciones, Los frutos son silicuas que contienen una gran cantidad de semillas, de 15-40, que viran del color verde cuando están inmaduras a casi negro cuando han completado su maduración (Barthet, 2016; Gardner *et al.*, 1985; Mendham y Robertson, 2016).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 6 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Colza (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 6 Requerimientos climáticos de Colza

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
85	340	-6	5	15	25	41	400	500	1000	2800

**Mapa:** La Figura 26 muestra la distribución potencial del cultivo de colza.

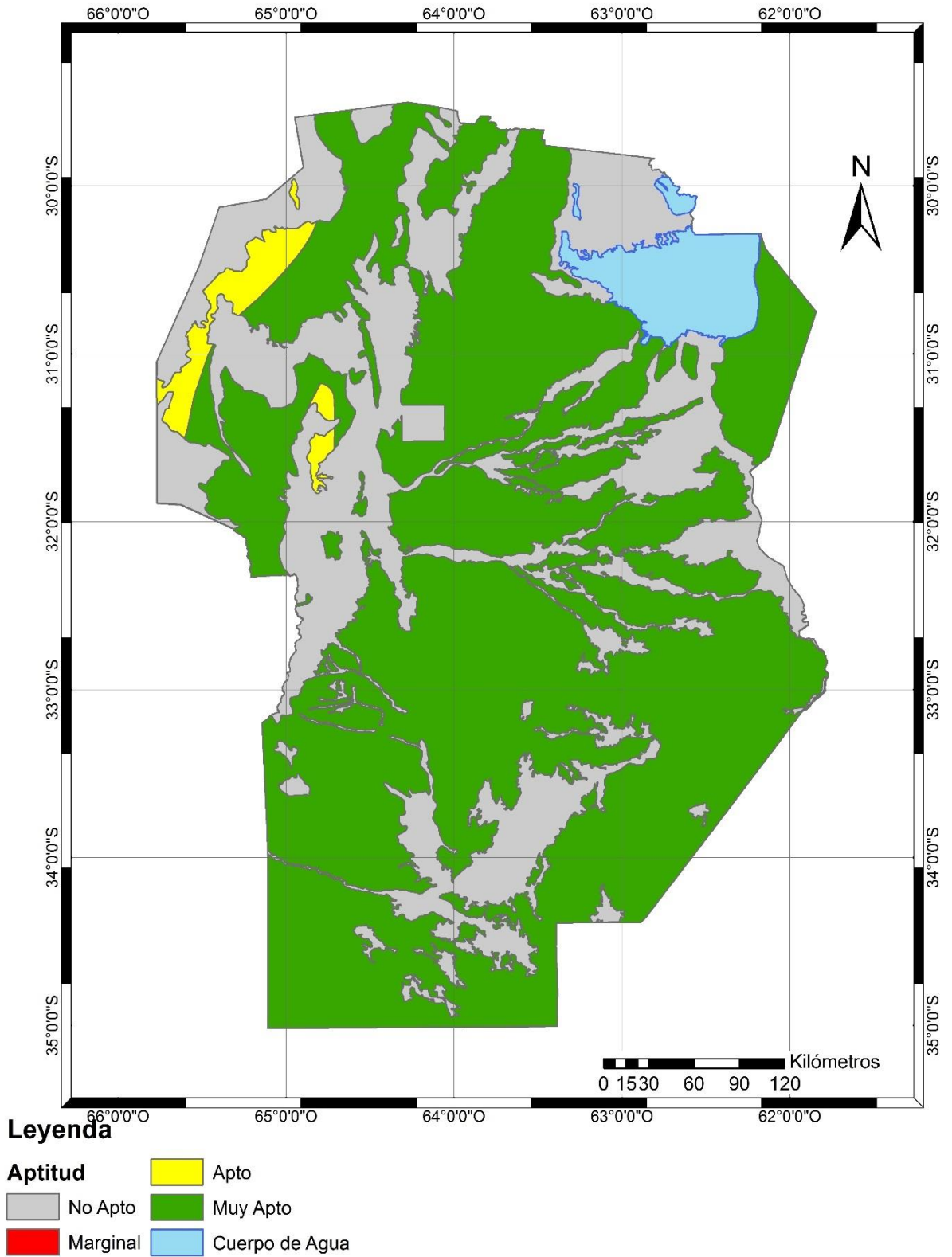


Figura 26 Distribución potencial del cultivo de Colza

## CULTIVO 5: GUAYULE

**Nombre botánico:** *Parthenium argentatum*

**Nombre vulgar:** Guayule

**Uso:** El principal uso de esta especie es la producción de látex. El mismo posee propiedades hipoalergénicas ya que su látex no contiene las proteínas que si caracterizan al látex de *Hevea spp.*. Es una característica muy interesante ya que un 10% de la población es alérgica al látex de *Hevea*. Es muy utilizado para la confección de guantes, catéteres, condones, etc. Incluso algunas empresas fabricantes de neumáticos lo están utilizando para la confección de neumáticos. También se está mezclando con polímeros sintéticos para la elaboración de prendas, por ejemplo el neoprene está siendo combinado con látex de guayule para la elaboración de trajes (Foster *et al.*, 1983; Gray, 1884; Polhamus, 1962; Rasutis *et al.*, 2015).

**Síntesis Botánica:** El guayule es un pequeño arbusto, de 40-50 cm de altura, perenne, puede vivir hasta 40 años, leñoso, productor de gomas y látex en raíces y tallos. A pesar de perennidad se debe desarraigar para extraer el látex de las raíces. Ramifica profusamente desde la base.. Es originaria de México, dónde se distinguen dos biotipos, el “macho” y la “hembra”. Se adapta muy bien a las zonas áridas y semiáridas. Se puede obtener hasta 1 t ha<sup>-1</sup> (Gray, 1884).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 7 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Guayule (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 7 Requerimientos climáticos de Guayule

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
90	240	-18	8	20	34	49	250	400	650	2100

**Mapa:** La Figura 27 muestra la distribución potencial del cultivo de Guayule.

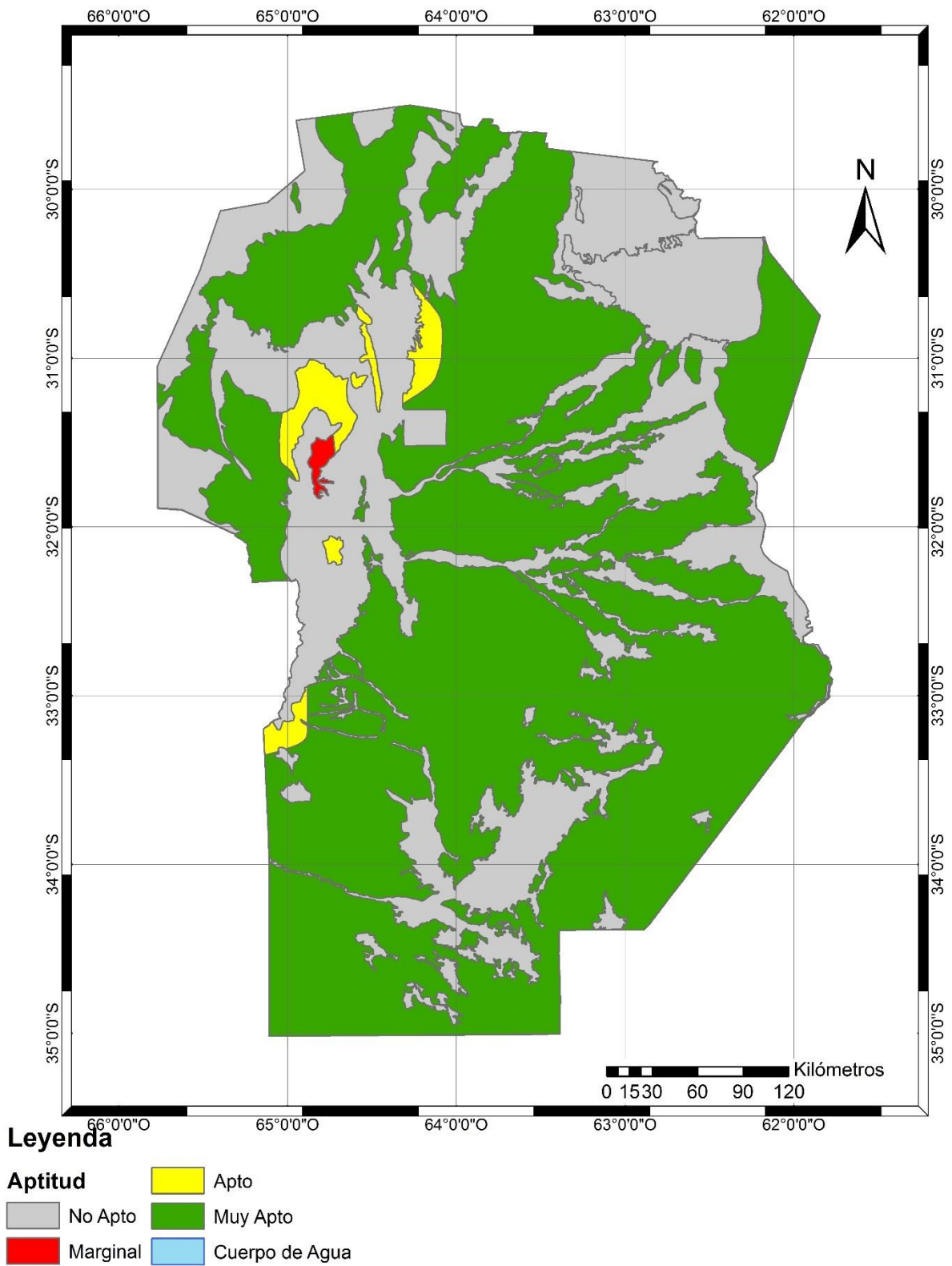


Figura 27 Distribución potencial del cultivo de Guayule

## CULTIVO 6: GUAR

**Nombre botánico:** *Cyamopsis tetragonoloba*

**Nombre vulgar:** Guar

**Uso:** Es cultivado para la producción de gomas. Los frutos inmaduros pueden ser consumidos como hortalizas y las semillas son utilizadas como alimento animal. La planta también es cultivada como abono verde. A partir de las semillas se produce una harina que se usa para otorgarle mayor fortaleza al papel o telas y como espesante en la industria gastronómica. También se obtiene de la semilla una resina hidrosoluble que es usada en la industria alimenticia, minera y petrolera. El latex del guar consiste de polimeros de cadena larga de manosa y galactose en una relación 2:1. Luego de la extracción de las gomas, la harina contiene aproximadamente un 35% de proteína, con una digestibilidad del 95%. La proteína de la semilla es baja en metionina, como la mayoría de las legumbres. En la harina, luego de la extracción, permanece una cierta cantidad de goma lo que la convierte en una excelente alternativa para peletizar. (Bowen y Hollinger, 2002; Oelke, Oplinger, *et al.*, 1992; Undersander *et al.*, 1991).

**Síntesis Botánica:** El guar es un arbusto anual que alcanza una altura de 0.4-3 m y es de hábito indeterminado. Tiene un sistema radical muy vigoroso. Las ramas son muy rígidas y poseen pelos blancos y hojas trifoliadas que alcanzan hasta 10 cm de largo. Las flores son blancas o rosadas y los frutos son de un color verde pálido de 10 cm de largo. Es una especie que tiene un ciclo anual. Los frutos comienzan su formación 45-55 días luego de la siembra y son generalmente cosechados entre 50-90 días después de la siembra y completan su secado luego de 90-160 días. Es una planta de muy alta producción de biomasa, alcanzándose un rendimiento de 45 t.ha<sup>-1</sup> de biomasa, 6-9 t.ha<sup>-1</sup> de frutos y 0,7-3 t.ha<sup>-1</sup> de semillas. Es muy tolerante a condiciones climáticas adversas y tiene buen comportamiento sanitario en condiciones secas (Undersander *et al.* 1991).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 8 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Guar (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 8 Requerimientos climáticos de Guar

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
90	160	0	10	25	35	45	400	500	800	2700

**Mapa:** La Figura 28 muestra la distribución potencial del cultivo de Guar.

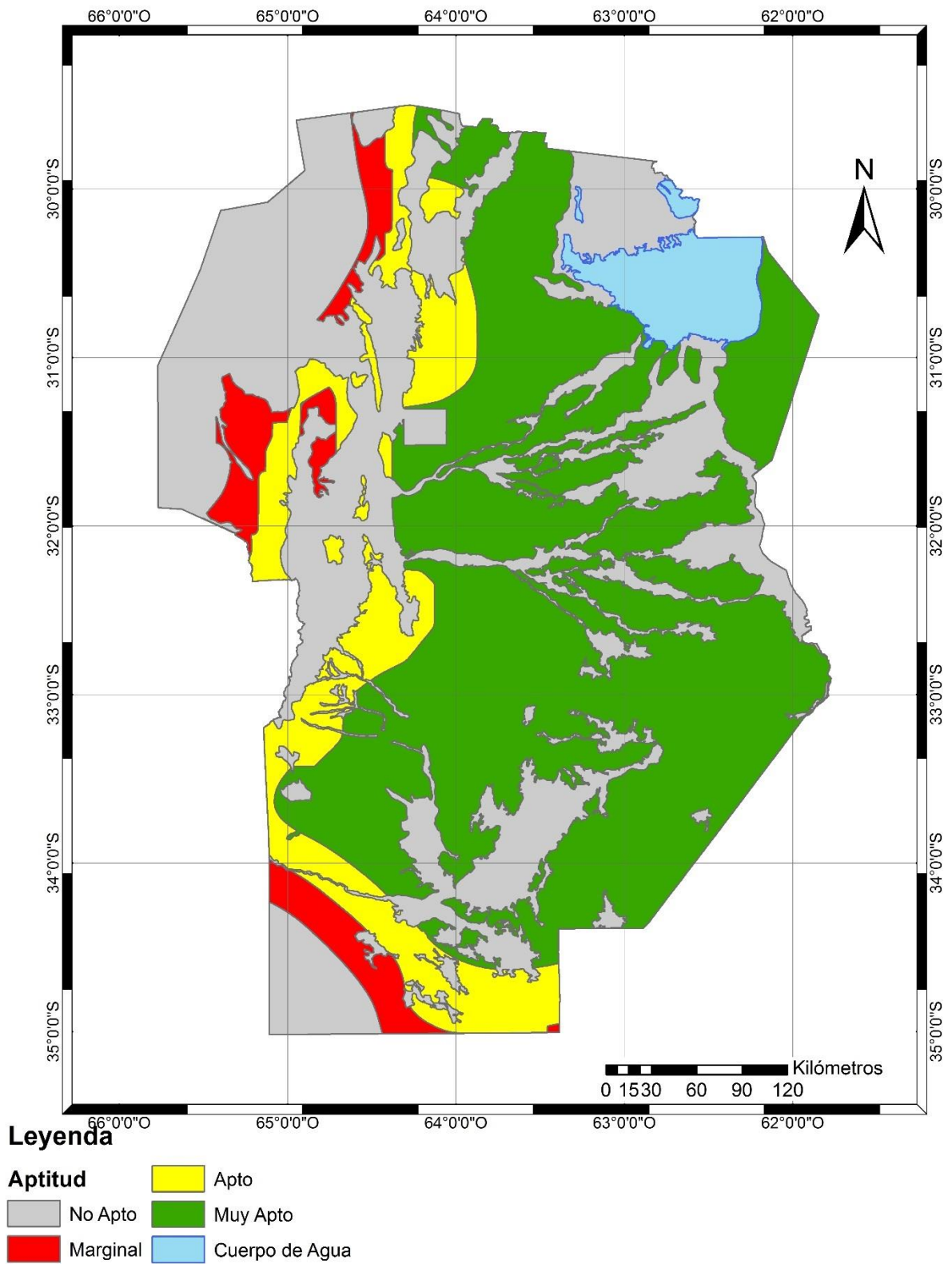


Figura 28 Distribución potencial del cultivo de Guar

## **CULTIVO 7: JOJOBA**

**Nombre botánico:** *Simmondsia chinensis*

**Nombre vulgar:** Jojoba

**Uso:** El aceite producido a partir de jojoba es único por sus propiedades, es una cera líquida que posee múltiples propiedades. El aceite del primer prensado puede ser usado en la industria cosmética y farmacéutica. También puede ser procesado para producir ceras duras, surfactantes y lubricantes. Este aceite es de color amarillo claro, insaturado, de inusual estabilidad, notable pureza, y no requiere de refinación para ser utilizado. Dada su estabilidad no se enrancia y tolera las altas temperaturas por períodos prolongados por lo que su uso como lubricante es extendido. También es un sustituto del espermaceti (aceite obtenido de cachalotes y otras ballenas) ya que sus propiedades y composición son muy similares. Los usos de este aceite son muy extensos ya que puede ser hidrogenado para producir ceras, sulfonado para obtener lubricantes, etc. También se ha experimentado con la inyección directa del aceite en motores diésel (El Bassam, 2010). La cera es líquida a temperatura ambiente, de color amarillo claro, es muy resistente y tolera altas temperaturas sin degradarse. Las ceras tienen diversos usos industriales, especialmente en la industria de los cosméticos, tanto para cremas corporales como para el cabello. El residuo de la extracción, harina proteica, contiene un 33% de proteína que tiene un uso potencial en la industria alimentaria ya que posee simmondsin que es un supresor del apetito. También puede ser utilizada como alimento animal. Tanto el aceite como la harina pueden ser almacenados por un largo período de tiempo (Borlaug *et al.*, 1985; Foster *et al.*, 1983; Gentry, 1958; Orwa *et al.*, 2009).

**Síntesis Botánica:** La jojoba es un arbusto largamente perenne (100-200 años), xerófito, muy folioso que alcanza entre 0.5-6 m de altura. Produce semillas muy ricas en aceite, un 55% de su peso es aceite. La planta tiene un sistema radical muy profundo y una eficiencia en el uso del agua muy alta lo que le permite prosperar en áreas donde la precipitación es escasa. Es una planta diclino dioica, una planta tiene flores femeninas y otras masculinas. Se requiere al menos un 5 de las segundas para lograr una buena polinización. El rendimiento promedio obtenido a partir de un cultivo ya establecido es de 2,25 t ha<sup>-1</sup> o lo que equivale a 1,5 kg planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Gentry, 1958; Orwa, *et al.*, 2009; Schneid, 1907).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 9 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Jojoba (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.



Cuadro 9 Requerimientos climáticos de Jojoba

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
120	270	-5	10	21	36	50	100	250	800	2000

Mapa: La Figura 29 muestra la distribución potencial del cultivo de Jojoba

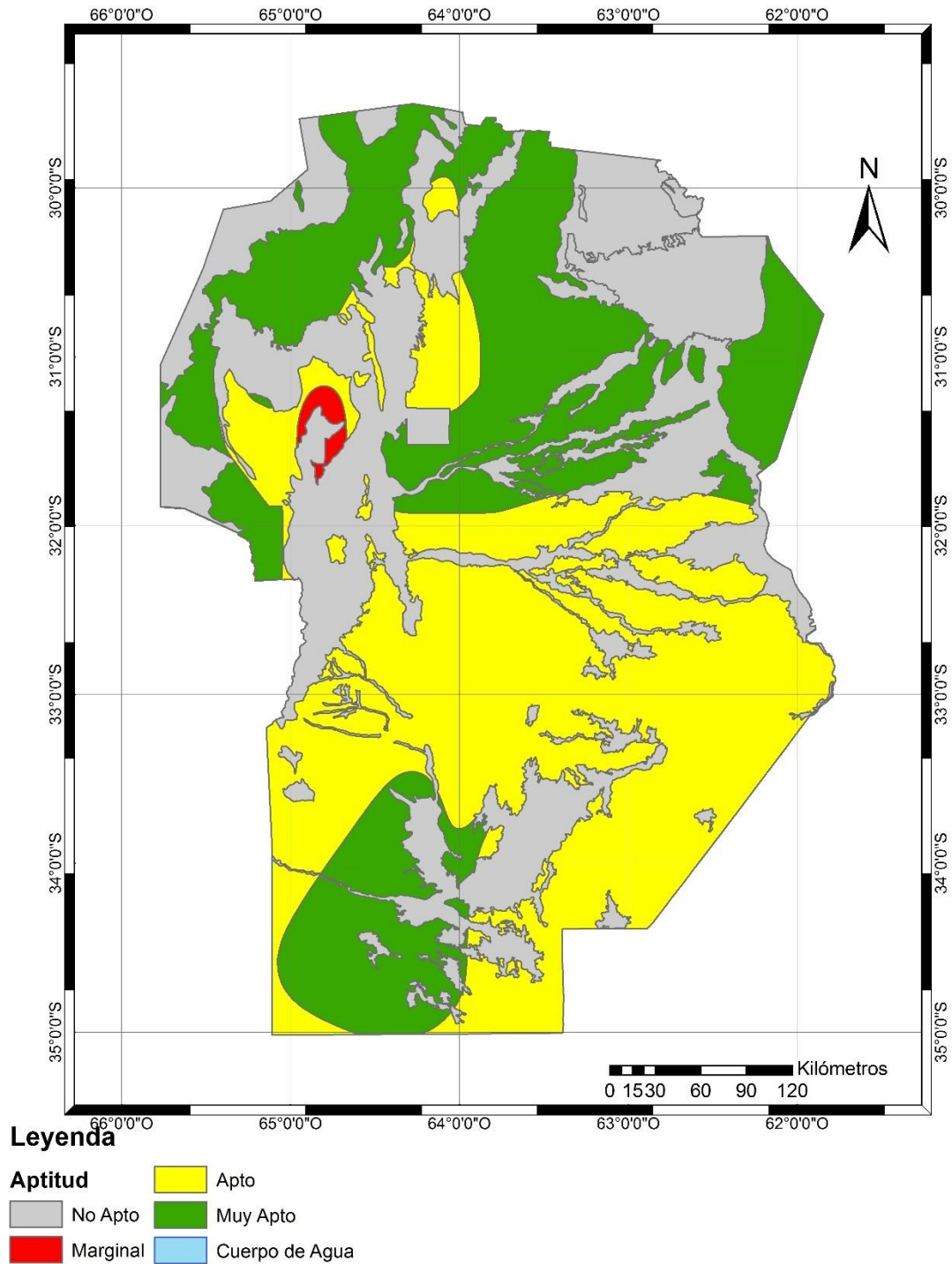


Figura 29 Distribución potencial del cultivo de Jojoba

## CULTIVO 8: KENAF

**Nombre botánico:** *Hibiscus cannabinus*

**Nombre vulgar:** Kenaf

**Uso:** El Kenaf es cultivado por sus fibras. Estas pueden ser utilizadas en sogas, bolsas, cordados e hilos de alfombras. Las fibras han cobrado especial importancia dada sus propiedades mecánicas que permiten confeccionar biomateriales de alta resistencia con muy buenas propiedades ingenieriles (Ramesh, 2016). También se puede usar como pasta de celulosa para la industria papelera. Además de estos usos principales, las fibras pueden ser utilizadas en procesos termoquímicos como la combustión, gasificación o pirolisis (El Bassam, 2010). Las semillas contienen un aceite que es usado en lubricantes, jabones, linóleo, pinturas y tiene potencial para la producción de biodiesel (El Bassam, 2010). Las plantas jóvenes pueden ser usadas como forraje para el ganado y también las hojas jóvenes son usadas para elaborar potajes. Los tallos secos pueden ser usados como combustible (Ramesh, 2016). La planta en su conjunto tiene buenos porcentajes de proteína y digestibilidad y puede ser incluso pelletizada para la alimentación animal (El Bassam, 2010).

**Síntesis Botánica:** Es una planta anual, erecta, herbácea, no ramificada que puede alcanzar 1-5 m de altura. Las hojas son polimorfas, de 10-15 cm de largo. Las flores son rojas o amarillas con un centro de color rojo brillante. Las formas cultivadas son herbáceas, con un período de crecimiento de 100-240 días y puede ser cosechado como forraje luego de 100 días y para fibra después de 120-150 días. Es principalmente cultivado por sus fibras, aunque el aceite obtenido a partir de la semilla está cobrando cada vez más importancia. La producción de biomasa ronda las 36 t ha<sup>-1</sup>, los rendimientos de forraje rondan 10-14 t ha<sup>-1</sup> y los de fibra pueden alcanzar 1-6 t ha<sup>-1</sup>. El índice de cosecha es relativamente bajo y se pueden obtener 350-400 kg ha<sup>-1</sup> (Webber III, *et al.*, 2002).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 10 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Kenaf (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 10 Requerimientos climáticos de Kenaf

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
100	240	0	10	15	28	35	450	600	2000	3000

**Mapa:** La Figura 30 muestra la distribución potencial del cultivo de Kenaf.

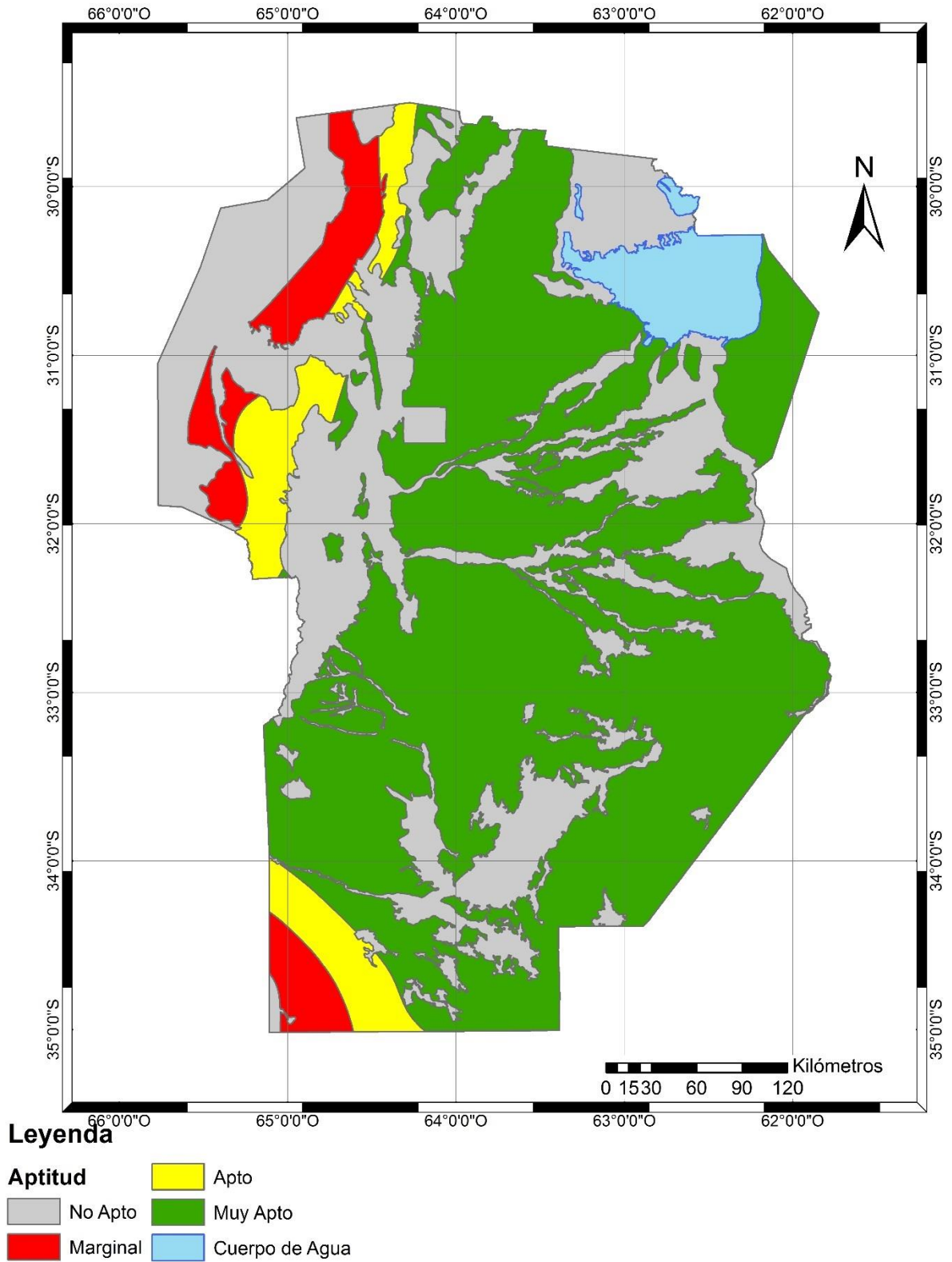


Figura 30 Distribución potencial del cultivo de Kenaf

## CULTIVO 9: LINO

**Nombre botánico:** *Linum usitatissimum*

**Nombre vulgar:** Lino o linaza

**Uso:** El lino es un claro ejemplo de especie multipropósito. Esta especie es productora de fibras y aceites. Las fibras más largas son utilizadas en la industria textil mientras que las más cortas son usadas para la producción de distintos tipos de papel (Fouk y Akin, 2002). Las fibras están cobrando importancia como parte de polímeros en distintos biocompuestos que podrían reemplazar a los plásticos (Jhala y Hall, 2010). El aceite extraído a partir de las semillas es utilizado en medicina veterinaria, pinturas, barnices, tintas, jabones e incluso en medicina. Éste es único dado su alto contenido de ácido  $\alpha$ -linolenico (ALA), alcanzando hasta un 64%. Esta característica limita su uso directo ya que su estabilidad frente al oxígeno es baja pero lo convierte en una alternativa muy apta para aplicaciones industriales. El aceite es incluso usado como antiincrustante para proteger el cemento. El aceite también tiene potencial como materia prima para la producción de biocombustibles (El Bassam, 2010). Los residuos de la extracción del aceite pueden ser utilizados para alimentar al ganado. Las características nutricionales del aceite de lino son muy promisorias para su utilización como aditivo en alimentos ya que el ALA es un precursor metabólico de ácidos  $\omega$ -3 poliinsaturados (PUFA), que tiene efectos positivos para la salud. También se está utilizando para aumentar la cantidad de ácidos  $\omega$ -3 en carnes y huevos (Berglund *et al.*, 2002; Hall *et al.*, 2016).

**Síntesis Botánica:** Es una planta herbácea anual, erecta, resistente, usualmente con flores azules, que alcanza 75-120 cm de altura. Existen tipos ramificados y no ramificados, los primeros pueden ser ramificados a los 140-180 días y los segundos a los 80-140 días. El ambiente tiene una gran influencia en la calidad de las fibras. Veranos cálidos y secos producen fibras más cortas y ásperas, mientras que aquellos que son más húmedos producen fibras más largas y suaves. En buenas condiciones se pueden lograr rendimiento de 6-7 tn ha<sup>-1</sup> de biomasa y 1 tn ha<sup>-1</sup> de semillas (Duke, 1983; Oplinger *et al.*, 1989).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 11 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Lino (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 11 Requerimientos climáticos de Lino

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
80	180	-6	5	16	24	30	250	500	800	1300

**Mapa:** La Figura 31 muestra la distribución potencial del cultivo de lino.

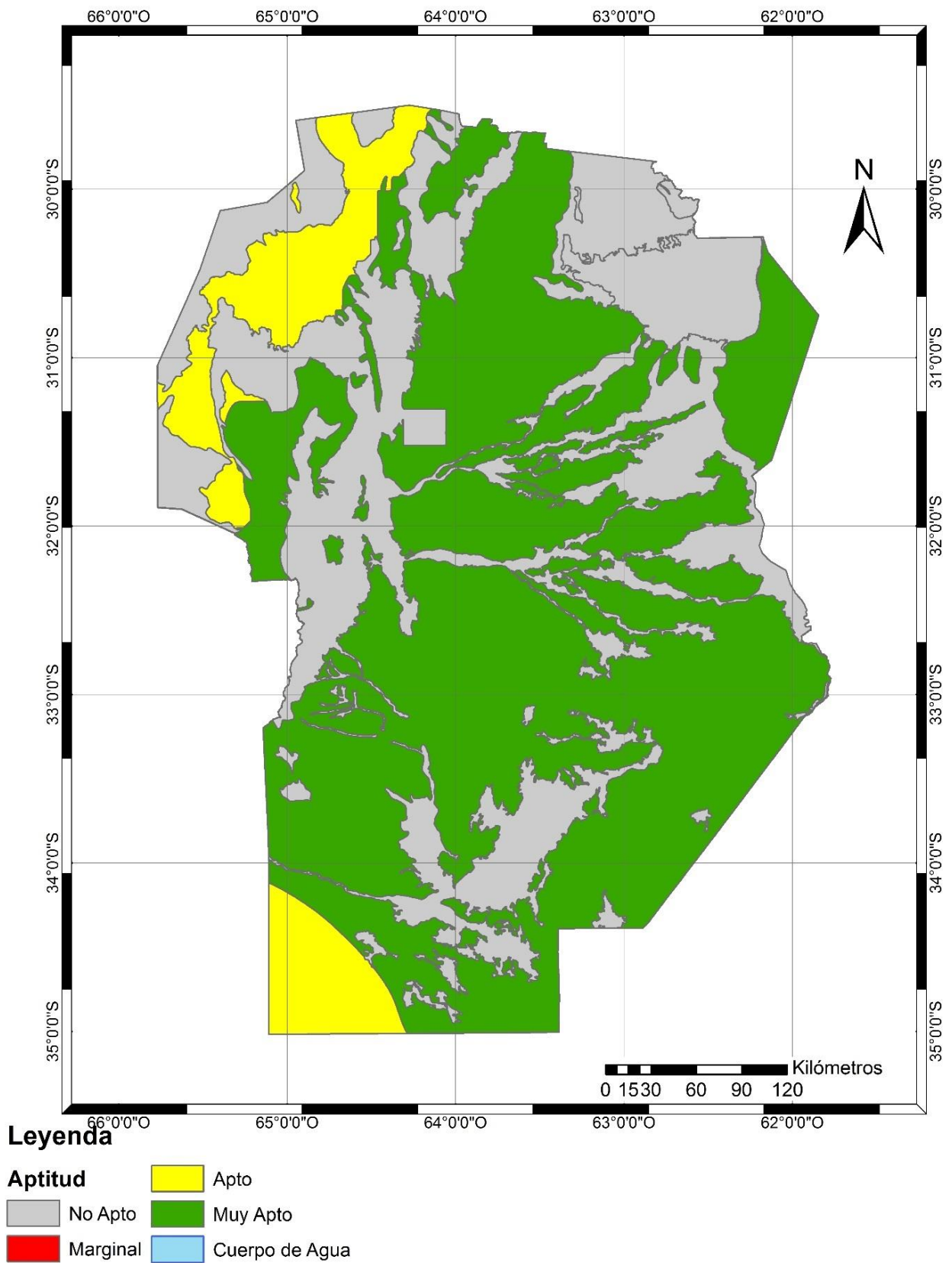


Figura 31 Distribución potencial del cultivo de Lino

## CULTIVO 10: NOPAL

**Nombre botánico:** *Opuntia ficus-indica*

**Nombre vulgar:** Nopal

**Usos:** El principal uso de esta especie es como alimento y combustible. Otras no tan importantes incluyen el control de la erosión, medicinal, cosmético y tintes. Los frutos son consumidos crudos y poseen una de las más altas concentraciones de vitamina C. Además el fruto es rico en compuestos bioactivos como polifenoles, ácidos grasos polinsaturados y antioxidantes que han mostrado tener muchos beneficios para la salud humana (Chougui *et al.*, 2015; El-Mostafa *et al.*, 2014). Los frutos pueden ser divididos en tres partes: la cáscara, la pulpa y las semillas (Cota-Sánchez, 2016). Los “tallos”, cladiolos, son cocinados y reciben el nombre de “nopalitos”. También son utilizados para la multiplicación de coccinélidos productores de ácidos carmínico para la obtención de un tinte rojo. Las variedades sin espinas son utilizadas como forrajeras en muchas zonas áridas del mundo. También se está explorando su uso en bioremediación de ambientes contaminados (Nharingo y Moyo, 2016)

**Síntesis botánica:** el nopal es un arbusto perenne de hasta 3 m de alto, caracterizado por un sistema radical superficial, carnoso con una profusa dispersión horizontal. Los tallos, denominados cladiolos, son suculentos y típicamente oblongos de 30-40 cm de largo y 18-25 cm de ancho. Posee una gruesa epidermis que protege a la planta, cubierta por una capa de cera muy hidrofóbica y que tiene la capacidad de reflejar los rayos solares. No posee hojas propiamente dichas, sino que posee estructuras efímeras cuando el cladiolo es joven. Las flores se desarrollan en la parte superior del cladiolo, consiste de numerosos sépalos planos y numerosos pétalos ovales amarillos. El fruto es una baya de forma oval, aproximadamente un 30-40% del peso de los mismos corresponde a una carnosa cáscara. cuyo peso es de alrededor de 100-200 gramos. Las semillas son pequeñas y duras, el número de semillas por fruto es variable, encontrándose entre de 80 a 300 semillas por fruto, lo que equivale a un 5-10% del peso del mismo (Nobel, 2002). Bajo condiciones óptimas de crecimiento se pueden alcanzar 40 t ha<sup>-1</sup> de biomasa total y aproximadamente 20 t ha<sup>-1</sup> de frutos.

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 12 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Nopal (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 12 Requerimientos climáticos de Nopal

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
140	270		10	18	26	30	300	700	1300	1700

**Mapa:** La Figura 32 muestra la distribución potencial del cultivo de Nopal.

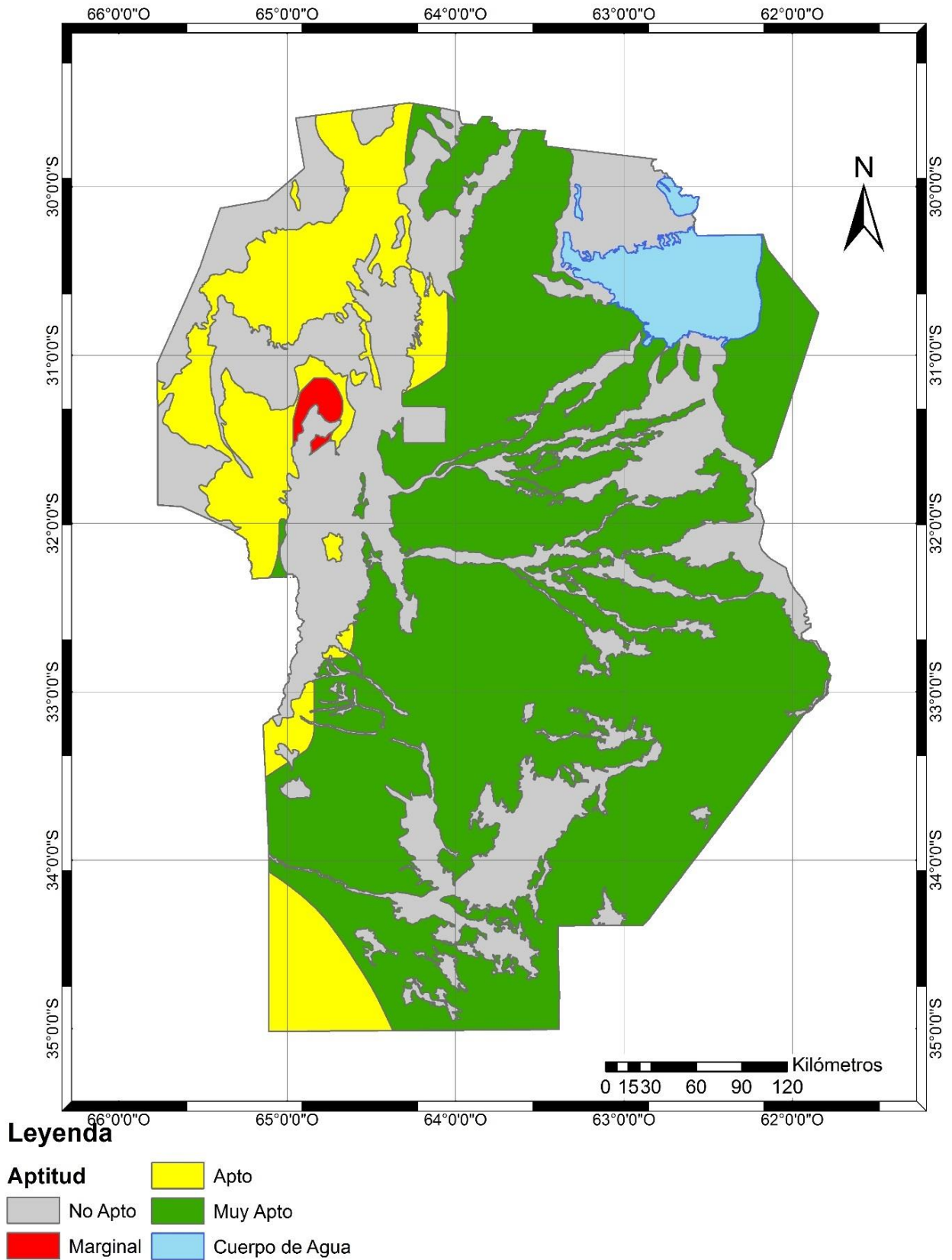


Figura 32 Distribución potencial del cultivo de Nopal

## CULTIVO 11: OKRA

**Nombre botánico:** *Abelmoschus esculentus*

**Nombre vulgar:** Quimbombó, quingombó, gombo, molondrón, ocra, okra o bamia

**Uso:** Los frutos inmaduros son consumidos frescos, cocinados o freídos como vegetales y pueden ser congelados, enlatados o secados. Los frutos tienen propiedades medicinales. Las semillas maduras contienen un 40% de aceite, siendo éste rico en ácidos oleico y linoleico, y pueden ser usadas como un sustituto al café. La harina de okra, producida a partir de la semilla, es un potencial aditivo para fortificar alimentos dada su alto contenido de proteínas y aceites (Adelakun y Oyelade, 2011). En India, el mucílago de las raíces y tallos tiene un valor industrial para clarificar el jugo de la caña de azúcar en su manufactura. El polvo seco de okra es usado como aderezo de ensaladas, helados, queso para untar y confitería. En algunas partes del mundo, las hojas tiernas son consumidas directamente. Los tallos proveen una fibra de inferior calidad. Luego de la cosecha de los órganos reproductivos, alrededor de 27 toneladas por hectárea de biomasa corresponden a residuos de cosecha. Si bien pueden ser utilizados como combustible en forma directa, se están realizando pruebas para su conversión a combustibles líquidos (National Research Council, 2006).

**Síntesis Botánica:** Es una planta herbácea anual perteneciente a la familia de las *Malvaceae* que se cultiva por sus frutos comestibles. Las plantas de okra tienen pequeños y erectos tallos que pueden ser glabros o pilosos con hojas de forma acorazonada. Las hojas tienen 10-20 cm de largo con 5-7 lóbulos. La planta produce flores con 5 pétalos de blanco a amarillo de unos 4-8 cm de diámetro. El fruto es una cápsula de hasta 25 cm de largo, conteniendo numerosas semillas. La okra puede crecer entre 1,2-1,8 metros de altura y al tratarse de una planta anual, sobrevive sólo durante la temporada de crecimiento (Magneset *al.*, 1971).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 13 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Okra (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 13 Requerimientos climáticos de Okra

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
50	180	0	12	20	30	35	300	600	1200	2500



**Mapa:** La Figura 33 muestra la distribución potencial del cultivo de Okra.

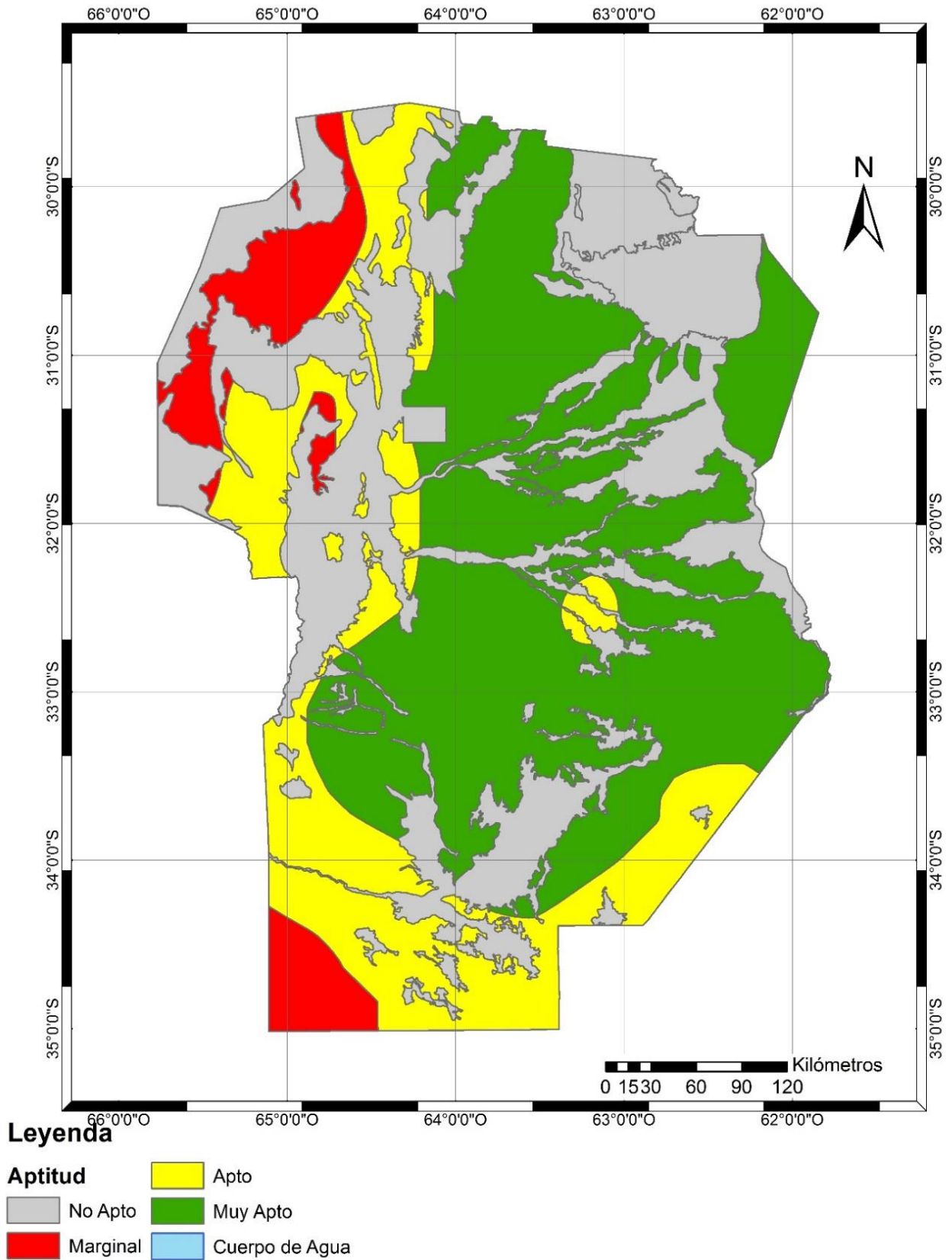


Figura 33 Distribución potencial del cultivo de Okra

## CULTIVO 12: ONOBRYCHIS SCROBICULATA

**Nombre botánico:** *Onobrychis scrobiculata*

**Nombre vulgar:**

**Uso:** Su principal uso es como forrajera ya que por sus características incrementa el consumo por parte de los rumiantes y los taninos presentes en sus hojas protegen a las proteínas por lo que se magnifica su absorción en el intestino. Esta característica previene el timpanismo en los rumiantes. También los animales alimentados con esta especie han consumido una mayor cantidad de forraje comparado con otras leguminosas (FAO, 2003).

**Síntesis Botánica:** Es una leguminosa perenne glabra, semi erecta que alcanza los 30-40 cm de altura, posee 3-5 pares de foliolos y sus vainas son pilosas, Los rendimientos son uno 20-30% menores que en alfalfa (FAO, 2003).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 14 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de *Onobrychis scrobiculata* (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 14 Requerimientos climáticos de *Onobrychis scrobiculata*

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
100	210	-4	4	18	27	32	300	400	600	800

**Mapa:** La Figura 34 muestra la distribución potencial del cultivo de *Onobrychis scrobiculata*.

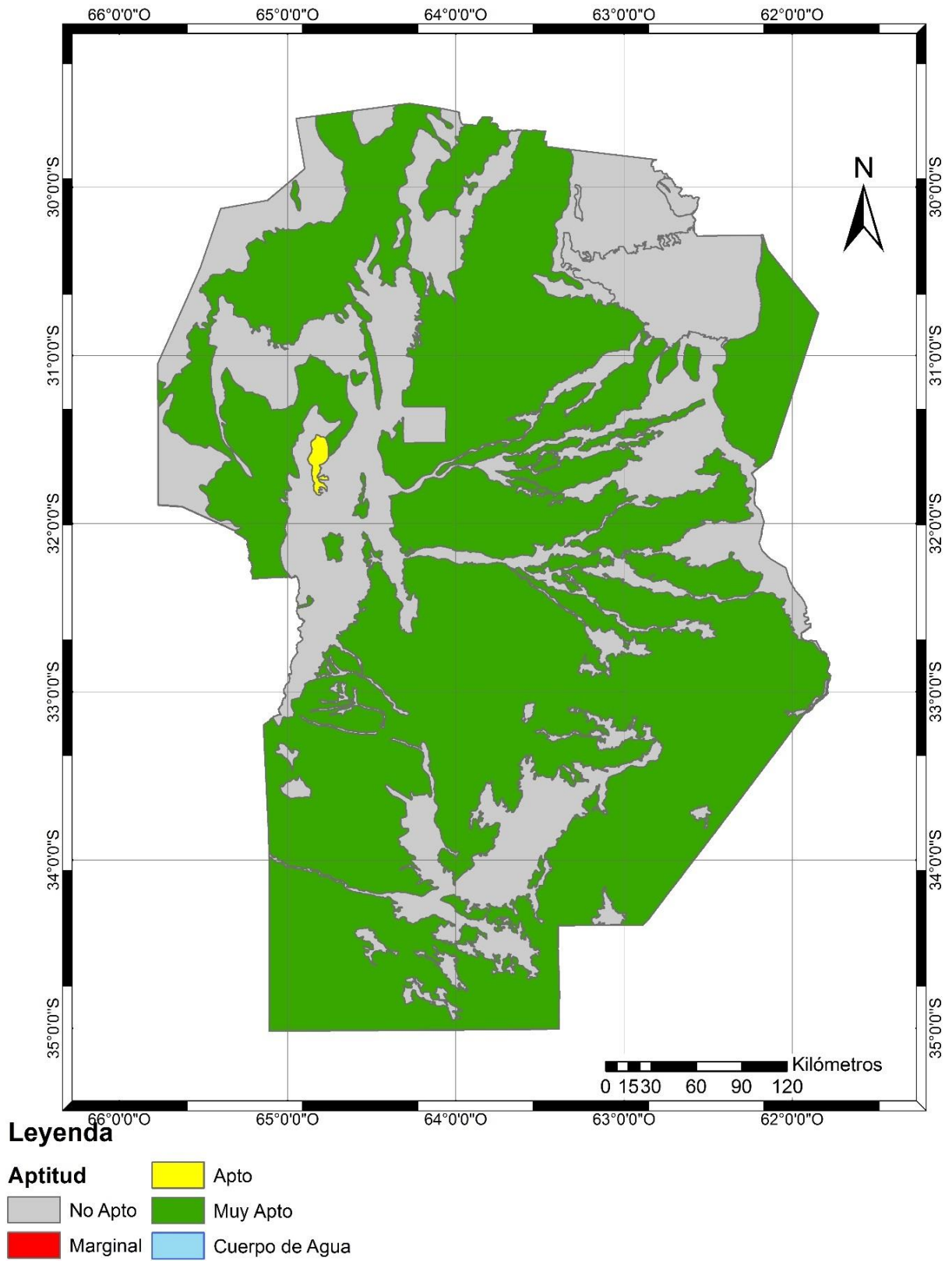


Figura 34 Distribución potencial del cultivo de *Onobrychis scrobiculata*

## **CULTIVO 13: QUINOA**

**Nombre botánico:** *Chenopodium quinoa*

**Nombre vulgar:** Quinoa

**Uso:** La quinoa es un alimento muy nutritivo, su calidad nutricional ha sido comparada con la de la leche deshidratada por la FAO. La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) la ha estudiado como candidato para sus misiones espaciales dada su eximio valor nutricional (Schlick y Bubenheim, 1993, 1996) La calidad y cantidad de proteína de la semilla de quinoa es usualmente superior a la de los cereales (Nowak *et al.*, 2015). La composición de sus proteínas, considerando sus aminoácidos, es muy similar a la de la caseína. La quinoa es utilizada para producir harina, sopas, masas y alcohol. La harina puede ser utilizada mezclada con harina de trigo o maíz en la industria panadera (Bhargava y Srivastava, 2013). El almidón de quinoa tiene diversos usos industriales dado que forma pequeños gránulos y su alta viscosidad (Galwey, 1992). Incluso se lo menciona como posible constituyente biodegradable como relleno a films de polietileno (Ahamed *et al.*, 1996). Estudios de congelamiento – descongelamiento ha demostrado que la estabilidad del almidón de quinoa sugieren que podría ser utilizado como aditivo en la industria alimentaria (Ahamed *et al.*, 1996; Bhargava y Srivastava, 2013). La saponina debe ser removida por un proceso dónde se remueve el pericarpio y las saponinas. La semilla comercializable es de color blanco. Las hojas frecuentemente son utilizadas como reemplazo de otras especies de la misma familia, como la espinaca (Oelke, *et al.*, 1992). Las saponinas obtenidas de las semillas tienen uso industrial, especialmente en la industria farmacéutica ya que modifica el sitio de absorción de algunas drogas al modificar la permeabilidad intestinal. Incluso se ha mencionado que tendría un potencial uso como insecticida y fungicida (Geyter *et al.*, 2007).

**Síntesis Botánica:** Las plantas pueden crecer hasta una altura de 0,2-1,5 m, su color es variable desde blanco, amarillo a rosado. La quinoa posee un tallo grueso y erecto que puede ser ramificado o no. Sus hojas son alternas, anchas que asemejan las patas de un ganzo. Las hojas de las plantas jóvenes son usualmente verdes, pero a medida que madura la planta se tornan amarillas, rosadas o rojas. El sistema radical se desarrolla desde una raíz pivotante para formar un muy ramificado sistema radicular que le aporta a la planta cierta tolerancia a la sequía. Las semillas se desarrollan en una panícula que se asemeja a una panoja de sorgo. La semilla tiene un tamaño similar a la del alpiste, siendo plana en sus dos caras. Las semillas pueden ser negras, rojas, rosadas, naranjas, amarillas o blancas. Sul color de la semilla es debido a la resina que cubre el pericarpio (Bhargava y Srivastava, 2013; Oelke *et al.*, 1992).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 15 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Quinoa (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 15 Requerimientos climático de Quinoa

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
90	240	-8	2	14	18	35	250	500	1000	2600

**Mapa:** La Figura 35 muestra la distribución potencial del cultivo de quinoa.

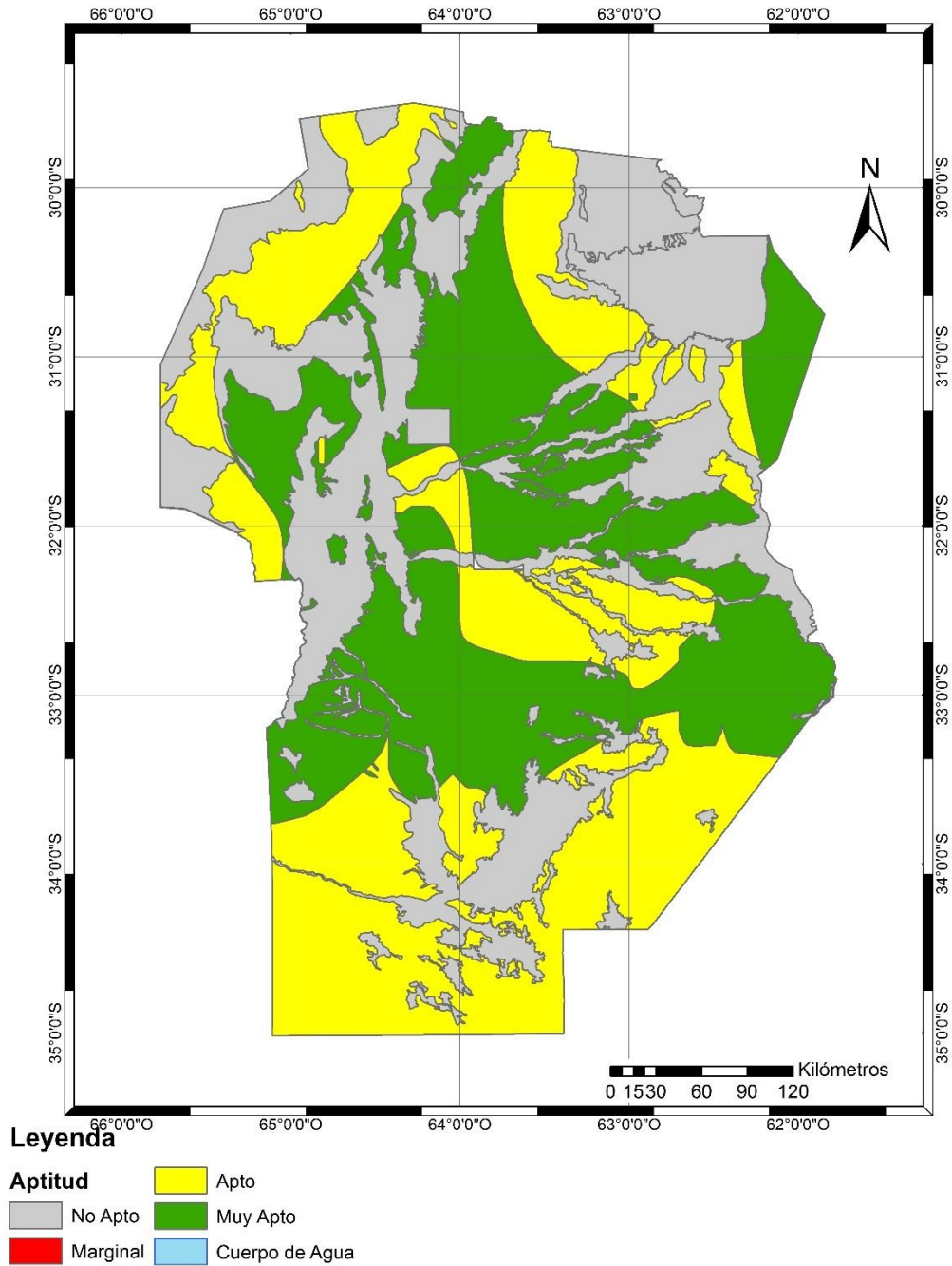


Figura 35 Distribución potencial del cultivo de Quinoa

## CULTIVO 14: SÉSAMO

**Nombre botánico:** *Sesamum indicum*

**Nombre vulgar:** Sésamo

**Uso:** Las semillas son comestibles, éstas pueden ser freídas o preparadas en sopas o en golosinas o también pueden ser usadas en panadería. A partir de las mismas se puede extraer un aceite muy usado para la producción de margarinas, jabones, pinturas, como aderezo de ensaladas, para freír, como solvente para medicamentos y perfumes y como un sinergizante para piretroides. El aceite tiene propiedades antioxidantes por la presencia de tocoferoles por lo que tiene un buen comportamiento durante el almacenaje (Elleuch *et al.*, 2011; Morris, 2002). El aceite de sésamo posee compuestos como el ácido mirístico y sesamolina que tienen diversos usos industriales (Morris, 2002). El residuo luego de la extracción del aceite puede ser utilizado para la alimentación animal e incluso humana. Las hojas jóvenes son utilizadas como hortalizas para su consumo directo (Morris, 2002). Actualmente se está optimizando la metodología para utilizar el aceite transesterificado de sésamo como materia prima para biodiesel (Dawodu *et al.*, 2014; El Bassam, 2010; Saydut *et al.*, 2008).

**Síntesis Botánica:** Es una planta herbácea, erecta, de crecimiento indeterminado que alcanza 1-3 m de altura. Posee hojas pilosas y flores tubulares con manchas blancas a rojas. Las cápsulas son erectas, de 5 cm de largo y las semillas son pequeñas, de 3-4 mm de largo. Es una especie anual que madura en 40-180 días, aunque la mayoría de los cultivares maduran en 80-100 días. Es una especie sensible al viento cuando ha elongado su tallo y a las lluvias intensas que propician enfermedades fúngicas. Los rendimientos medias de sésamo en el mundo son de 350 kg ha<sup>-1</sup> pero se pueden alcanzar hasta 3 t ha<sup>-1</sup> (Oplinger, Putnam, *et al.*, 1990).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 16 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Sésamo (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 16 Requerimientos climáticos de Sésamo

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
40	180	0	10	20	30	40	300	500	1000	1500

**Mapa:** La Figura 36 muestra la distribución potencial del cultivo de sésamo.

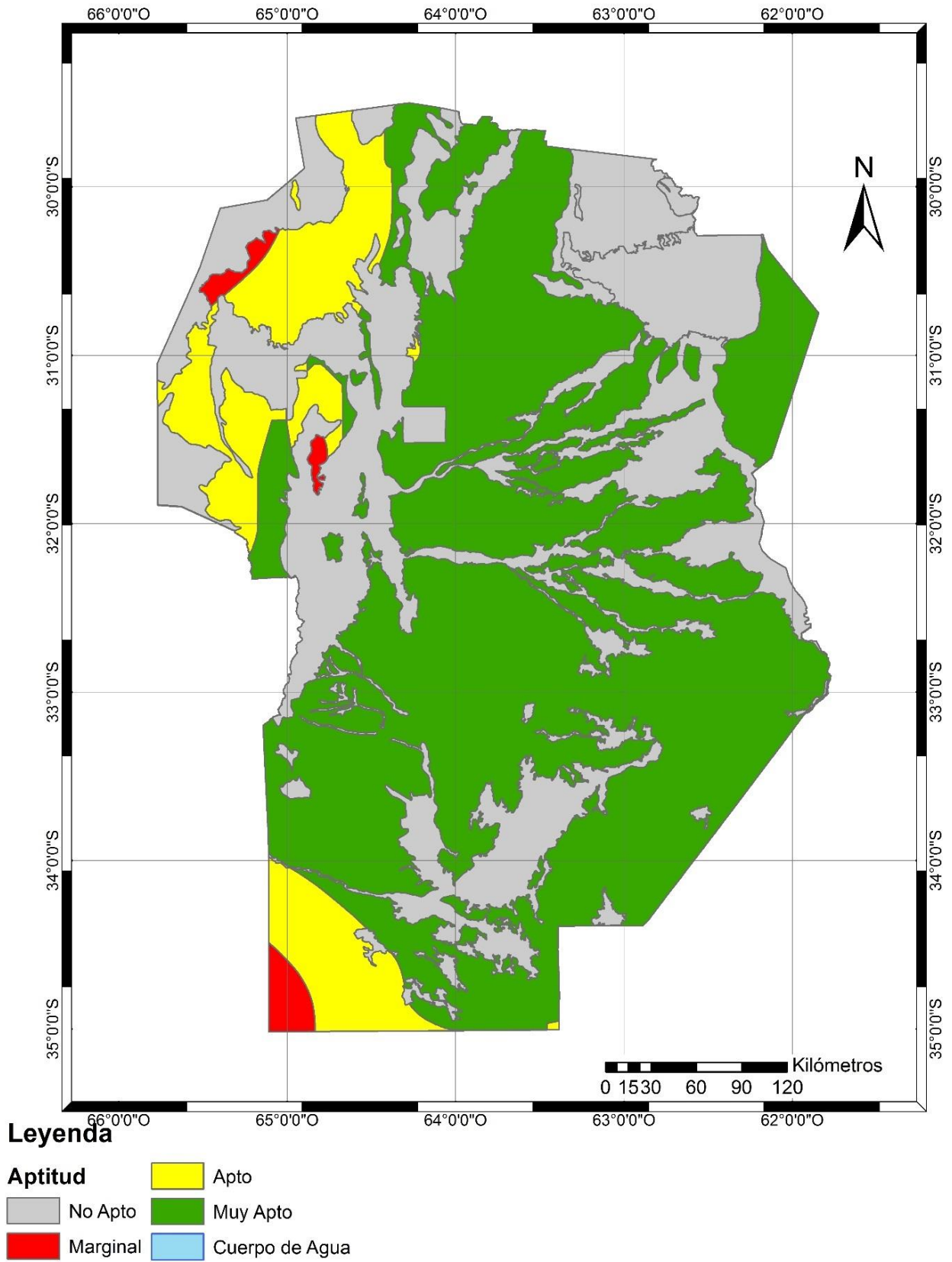


Figura 36 Distribución potencial del cultivo de Sésamo

## CULTIVO 15: TEF

**Nombre botánico:** *Eragrostis teff*

**Nombre vulgar:** Tef

**Uso:** El uso principal del tef es para su molienda para la producción de harina. Dicha harina es panificada en “injera”, un pan fermentado que es la base de la alimentación en Etiopía. Es una fuente excepcional de fibra y minerales, especialmente calcio y hierro (Arendt y Zannini, 2013; Bultosa, 2016). El perfil de aminoácidos de los granos es excelente y balanceado, incluyendo los 8 aminoácidos esenciales (Gebremariam *et al.*, 2014). También se utilizan sus granos en la producción de diversos destilados, dada la elevada cantidad de azúcares simples y  $\alpha$ -aminoácidos. Además, la parte vegetativa de la planta es una fuente interesante como alimento para el ganado (Stallknecht, 1997; Stallknecht *et al.*, 1993). Los residuos de cosecha tienen un potencial uso como materia prima para la producción de bioetanol (Chufu *et al.*, 2015). Es importante destacar que es una especie que no posee gluten por lo tanto su harina es apta para celíacos (Bultosa, 2016; Stallknecht, 1997).

**Síntesis Botánica:** Es un cereal herbáceo anual que alcanza una altura de 60-120 cm. El ciclo promedio del cultivo es de 4 meses, aunque existen distintos tipos, algunos más tempranos (90-120 días) y otros más tardíos (120-160 días). Es un cereal de características nutritivas interesantes aunque el tamaño tan pequeño de su semilla puede ser un problema. Es la base de la panificación tradicional de Etiopía. El tef puede crecer en una gran variedad de ambientes, incluyendo situaciones que no son aptas para otros cereales. Los rendimientos en biomasa alcanzados pueden variar entre 4-11 tn ha<sup>-1</sup>, en cuanto a semillas el mismo puede alcanzar valores de 0,2-2 tn ha<sup>-1</sup> (Bultosa, 2016; FAO, 2003; Stallknecht, 1997).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 17 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Tef (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 17 Requerimientos climáticos de Tef

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
65	150	0	2	22	28	30	300	600	1200	2500



**Mapa:** La Figura 37 muestra la distribución potencial del cultivo de tef.

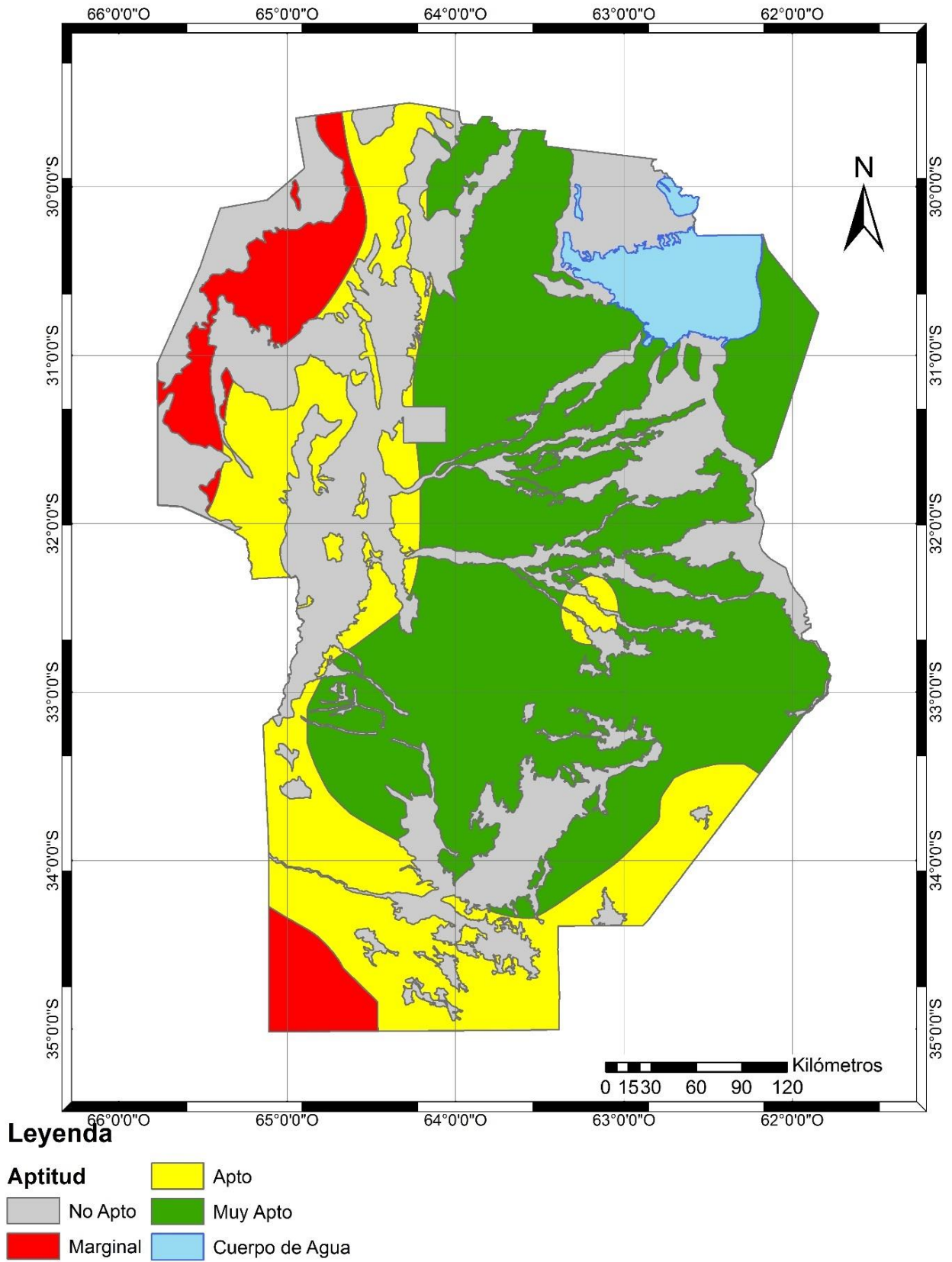


Figura 37 Distribución potencial del cultivo de Tef

## CULTIVO 16: PANICUM VIRGATUM

**Nombre botánico:** *Panicum virgatum*

**Nombre vulgar:** Pasto varilla

**Usos:** Esta especie es utilizada como forrajera, como cultivo de cobertura para la protección contra la erosión y como abono verde. Tiene un alto potencial como productora de biocombustibles, especialmente de bioetanol a partir de su biomasa. También tiene potencial para la producción de biogás y energía térmica por combustión directa en aquellas aplicaciones que la requieran. La biomasa puede ser peletizada para facilitar su manipulación y para hacer más práctico su uso como combustible directo. Dada su rusticidad frente a pobres condiciones de clima y suelo, rápido crecimiento y bajos requerimientos de fertilización y plaguicidas, se la postula como una de las más prometedoras fuentes de lignocelulosa. Tiene la capacidad de producir hasta 380 litros por cada tonelada métrica de biomasa, lo que equivale a casi 4000 litros de etanol por hectárea (FAO, 2003; McLaughlin y Kszos, 2005; Porensky *et al.*, 2014; Sanderson *et al.*, 1996). Recientemente ha adquirido un gran interés la posibilidad de producir biocompuestos, especialmente luego que organismos genéticamente modificados produjeron polihidroxibutirato en las células de las hojas (Nagarajan *et al.*, 2013; Pandey *et al.*, 2015) Como forrajera para el ganado, produce un crecimiento profuso durante la primavera y verano temprano (Adler, *et al.*, 2006).

**Síntesis botánica:** Es una gramínea perenne, rizomatosa, ceptisosa. Puede crecer hasta 1.8-2.2 m de altura, sus rizomas son alargados y escamosos y los tallos tienen entre 60 y 300 cm de longitud, sin ramificaciones laterales. Las vainas de las hojas son glabras en su superficie, la lígula es ciliada de 1.5-3 mm de largo y las láminas tienen 10-60 cm de largo y 3-15 mm de ancho. La superficie de la lámina puede ser glabra o pilosa. Las láminas adquieren un característico color rojizo. Las inflorescencias corresponden a panojas laxas de 15-55 cm de largo. Las espiguillas son solitarias, siendo las fértiles son pediceladas. Las espiguillas están compuestas por una flor basal estéril y otra fértil. El fruto es un cariopse con el pericarpio adherido a él (Clayton *et al.*, 2006; FAO, 2003).

**Requerimientos climáticos:** En el Cuadro 18 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de *Panicum virgatum* (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 18 Requerimientos climáticos de *Panicum virgatum*

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
140	365	-10	6	17	32	36	350	500	1100	2700

**Mapa:** La Figura 38 muestra la distribución potencial del cultivo de *Panicum virgatum*.

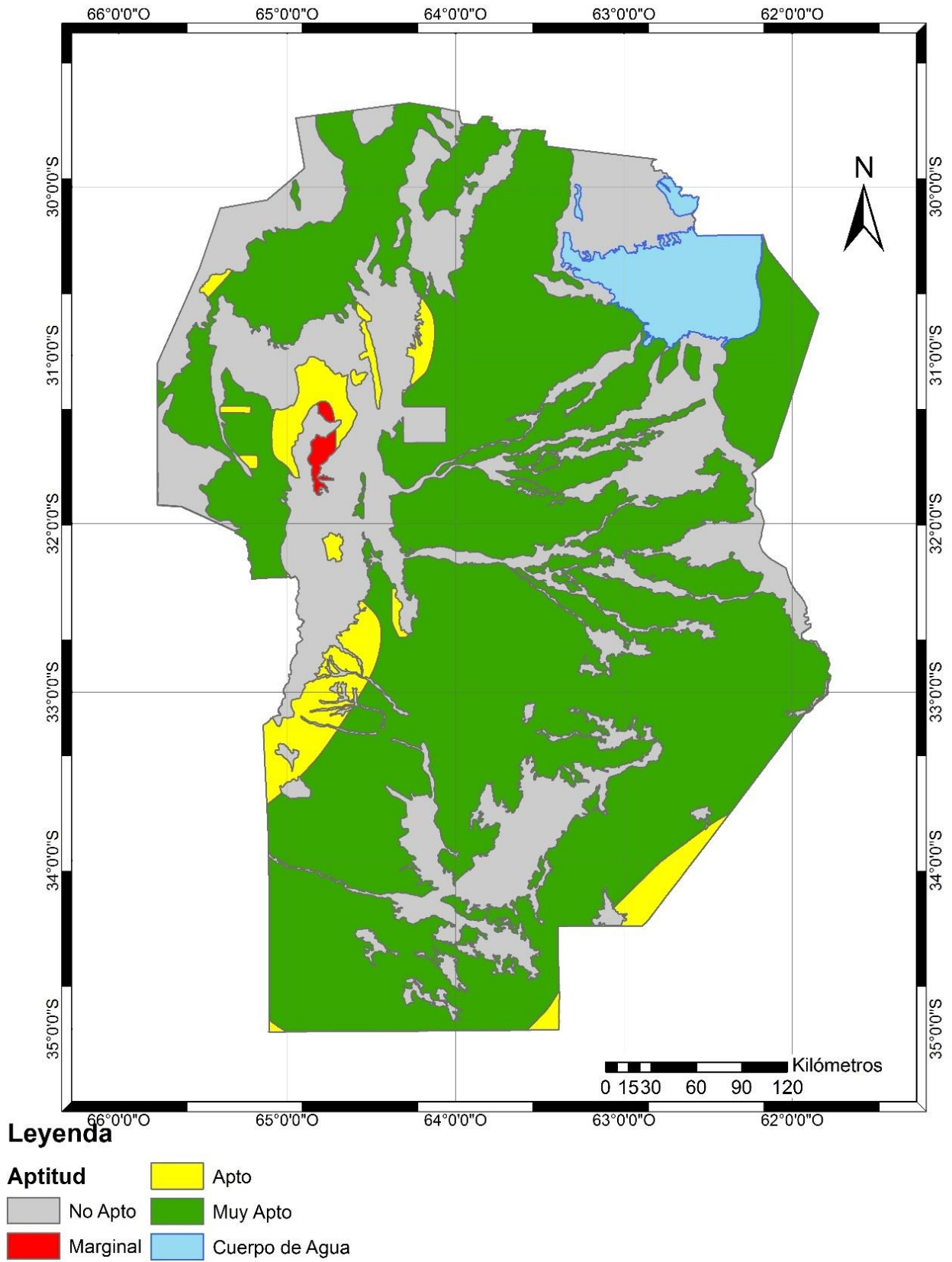


Figura 38 Distribución potencial de *Panicum virgatum*

## MEDIANA APTITUD

### CULTIVO 17: BORAGO OFFICINALIS

**Nombre botánico:** *Borago officinalis*

**Nombre vulgar:** Borraja

**Uso:** Los usos de la borraja pueden resumirse en aquellos relacionados a la extracción del aceite, a su uso gastronómico y a sus propiedades medicinales (Bermejo y León, 1994). Sus semillas son la fuente natural más abundante que se conoce de ácido gama linolénico (GLA) ya que contiene entre un 17-28% de éste ácido graso (Berti *et al.*, 2002; De la Fuente *et al.*, 2006; Janick *et al.*, 1989). El aceite de borraja se utiliza como suplemento para aquellas personas que tienen deficiencias de dicho ácido graso (Asadi-Samani *et al.*, 2014). En cuanto a su uso culinario, la borraja se consume como vegetal fresco en ensaladas, como potajes y sopas o como guarnición. Tradicionalmente es utilizada por su gran variedad de propiedades medicinales, las flores u hojas se consumen en infusiones (Bermejo y León, 1994).

**Síntesis Botánica:** Es una planta anual, herbácea, erecta, puede ser ramificada, pilosa que alcanza los 20-100 cm de altura. Las hojas son de ovadas a lanceoladas, hojas basales pecioladas formando una roseta que crecen hasta 25 cm de largo. Las flores son brillantes de un color azulado y se ubican en la sección terminal de las ramificaciones. La variedad cultivada tiene flores blancas mientras que la silvestre tiene flores azules (Asadi-Samani *et al.*, 2014; Pieszak *et al.*, 2012). Tiene propiedades medicinales y es muy atractiva para las abejas. Para su uso culinario se suelen recolectarse las hojas basales luego de las primeras lluvias otoñales. Los rendimientos suelen variar entre 25-100 kg ha<sup>-1</sup> (De la Fuente *et al.*, 2006; FAO, 2003).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 19 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Borraja (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 19 Requerimientos climáticos de Borraja

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
150	180	-5	4	15	22	26	300	500	1000	1300

**Mapa:** La Figura 39 muestra la distribución potencial del cultivo de borraja.

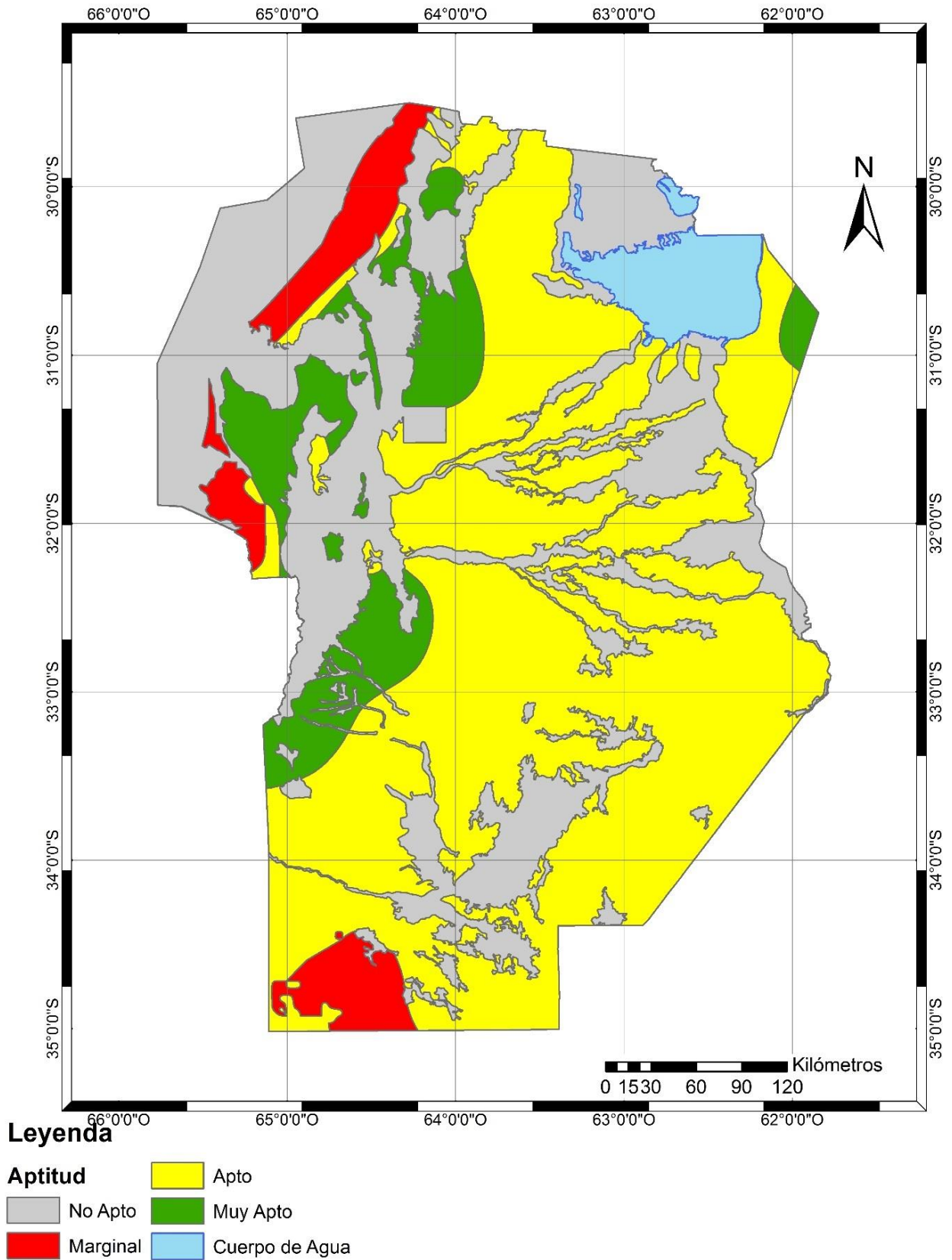


Figura 39 Distribución potencial de Borraja

## CULTIVO 18: CILANTRO

**Nombre botánico:** *Coriandrum sativum*

**Nombre vulgar:** Cilantro

**Uso:** Se extrae del fruto un aceite esencial que es usado por sus propiedades medicinales, también es utilizado en cosmética y perfumería o en gastronomía. El aceite es incoloro o ligeramente amarillento, rico en limoneno,  $\alpha$ -pineno, linalool, entre otros compuestos que le brindan una gran estabilidad (Zeb, 2016). La gran cantidad de antioxidantes lo hacen atractivo como aditivo de alimentos para preservar su calidad y también como suplemento en salud humana (Zeb, 2016). También posee propiedades antibacterianas y antifúngicas muy promisorias (Laribi *et al.*, 2015; Mandal y Mandal, 2015). El fruto puede ser deshidratado y utilizado en curries. Las semillas son utilizadas como especias y las partes vegetativas son usada para saborear preparaciones. El coriandro ha sido utilizado en la medicina tradicional desde tiempo de Hipócrates (460-377 a.C.) (Mandal y Mandal, 2015), aunque no hay reportes de su efectividad (Laribi *et al.*, 2015)

**Síntesis Botánica:** Es una planta herbácea, erecta, glabra, que alcanza una altura de 0.4-0.6 cm. Las hojas inferiores son compuestas de aspecto redondeado a lobado, mientras que las superiores están finamente divididas en segmentos muy angostos. Las flores son pequeñas, de color rosado y se insertan en umbelas que pueden alcanzar los 4 cm de diámetro. Los frutos son globulares y consisten de dos segmentos que se rompen a la madurez, cada uno conteniendo una semilla. Los frutos al separarse presentan de una superficie interna cóncava y un pericarpo áspero (FAO, 2003; Luayza *et al.*, 1996; Mandal y Mandal, 2015).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 20 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Cilantro (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 20 Requerimientos climáticos de Cilantro

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
35	140	-10	4	15	25	32	300	500	1400	2600

**Mapa:** La Figura 40 muestra la distribución potencial del cultivo de cilantro.

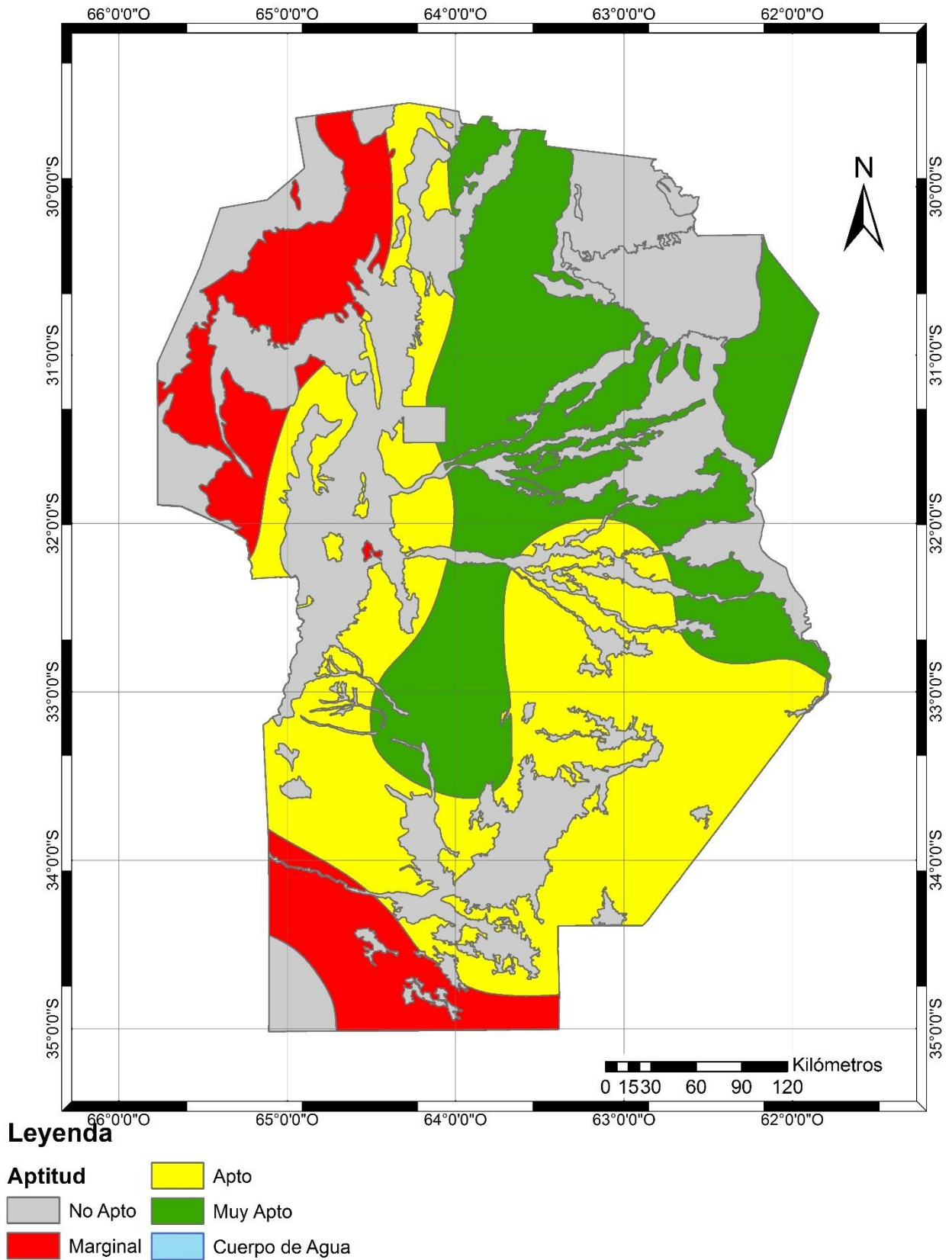


Figura 40 Distribución potencial del cultivo de Cilantro

## CULTIVO 19: LUPIN DE COSENTINO

**Nombre botánico:** *Lupinus cosentinii*

**Nombre vulgar:** Lupin de Cosentino

**Uso:** Es una especie muy cultivada como forrajera en Australia y también como cultivo de grano. Existen variedades “dulces” y “amargas”, distinción que está en función de la cantidad de alcaloides que poseen. Las primeras son las más utilizadas para el consumo. El lupin tiene un alto contenido de proteína (32-38%), relativamente bajo contenido de aceite (10%) y a diferencia de otras leguminosas, no posee inhibidores de la tripsina. Los granos se pueden consumir salmuerados o molidos como harina para la panificación (De la Fuente *et al.*, 2006; French, 2016; Putnam *et al.*, 1989).

**Síntesis Botánica:** Es una planta anual, herbácea, de tallo erecto, muy ramificada, que alcanza los 20-200 cm de altura, aunque usualmente crece entre 20 y 120 cm. Las hojas tienen un número impar de folíolos. Las flores, azules, se agrupan en los extremos de las ramificaciones. Sus vainas son muy pilosas. Los rendimientos en semilla pueden alcanzar 4,5 ton ha<sup>-1</sup> (FAO, 2003; French, 2016).

**Requerimientos edafoclimáticos:** En la Cuadro 21 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Lupin (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 21 Requerimientos climáticos de Lupin

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
150	180	0	15	20	28	32	300	400	850	1700



**Mapa:** La Figura 41 muestra la distribución potencial del cultivo de Lupin de Cosentino.

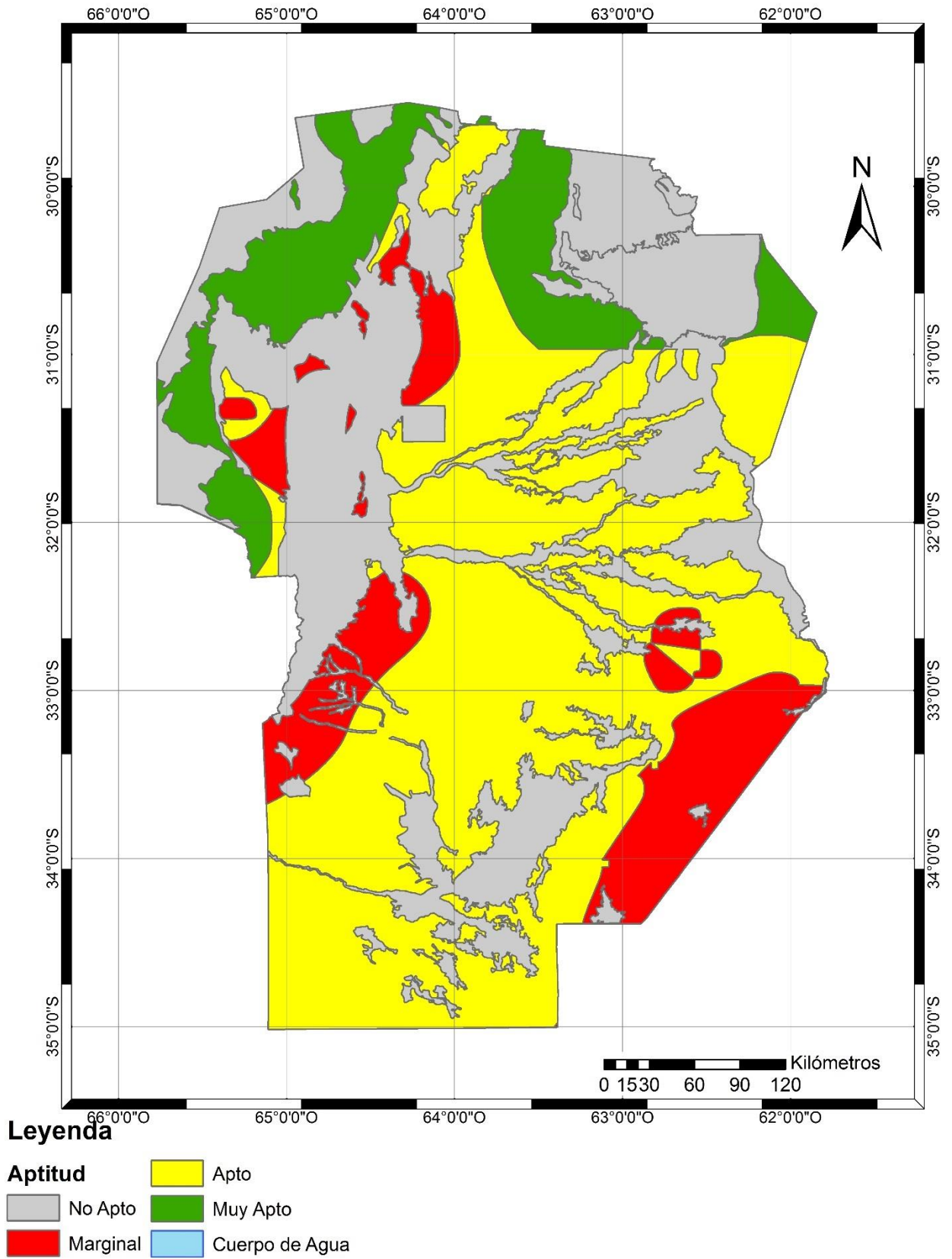


Figura 41 Distribución potencial del cultivo de *Lupinus cosentinii*

## CULTIVO 20: TOPINAMBUR

**Nombre botánico:** *Helianthus tuberosus*

**Nombre vulgar:** Topinambur o pataca

**Uso:** El topinambur es una especie muy plástica en cuanto al uso. Se pueden citar cuatro diferentes alternativas: consumo humano, producción de alcohol, producción de fructosa y como alimento animal. Sus tubérculos son ricos en fructanos e inulina (Gunnarsson *et al.*, 2014). Los tubérculos están siendo considerados una alternativa interesante para la producción de etanol. El rendimiento aproximado es del 25% considerando la biomasa total y de un 30% considerando sólo azúcares fermentables (Kim y Kim, 2014) La composición química del tubérculo es similar al de papa, con la diferencia que un 75% de los carbohidratos presentes en él corresponde a inulina y ni a almidón. Cuando son almacenado o refrigerados, la inulina se convierte en fructosa y los tubérculos adquieren su característico dulzor (Bach *et al.*, 2015). El almidón de los tubérculos también puede ser un reemplazo del almidón de maíz en la industria alimentaria (Afoakwah *et al.*, 2015). En cuanto al follaje, el topinambur puede ser utilizado como forrajera de mantenimiento dado que la calidad de sus hojas para la alimentación animal no son superlativas (Cosgrove *et al.*, 1991; Duke, 1983). Las hojas de topinambur también posee compuestos bioactivos especialmente antioxidantes en gran cantidad (Pan *et al.*, 2009; Yuan *et al.*, 2012). Otros compuestos bioactivos presentes en las hojas tienen propiedades antibacterianas y antifúngicas que han sido utilizadas en el tratamientos de frutas y hortalizas para mejorar su conservación durante el almacenaje y transporte (Chen *et al.*, 2013).

**Síntesis Botánica:** Es una planta herbácea, ramificada cuyos tallos pueden alcanzar los 2-3 m de altura. Esta especie posee la característica que produce tubérculos subterráneos que le otorgan perennidad. Dichos tubérculos son muy ricos en carbohidratos. La longitud del ciclo es variable, dependiendo de los cultivares, y puede ser de 100 hasta 270 días. En general las flores son estériles y la producción de semilla es baja y de poca viabilidad. La producción de tubérculos es variable, aunque podría generalizarse en torno a los 30-70 t ha<sup>-1</sup>. (Cosgrove *et al.*, 1991).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 22 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Topinambur (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 22 Requerimientos climáticos de Topinambur

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
80	150	0	7	15	27	30	300	700	1500	2000

**Mapa:** La Figura 42 muestra la distribución potencial del cultivo de Topinambur.

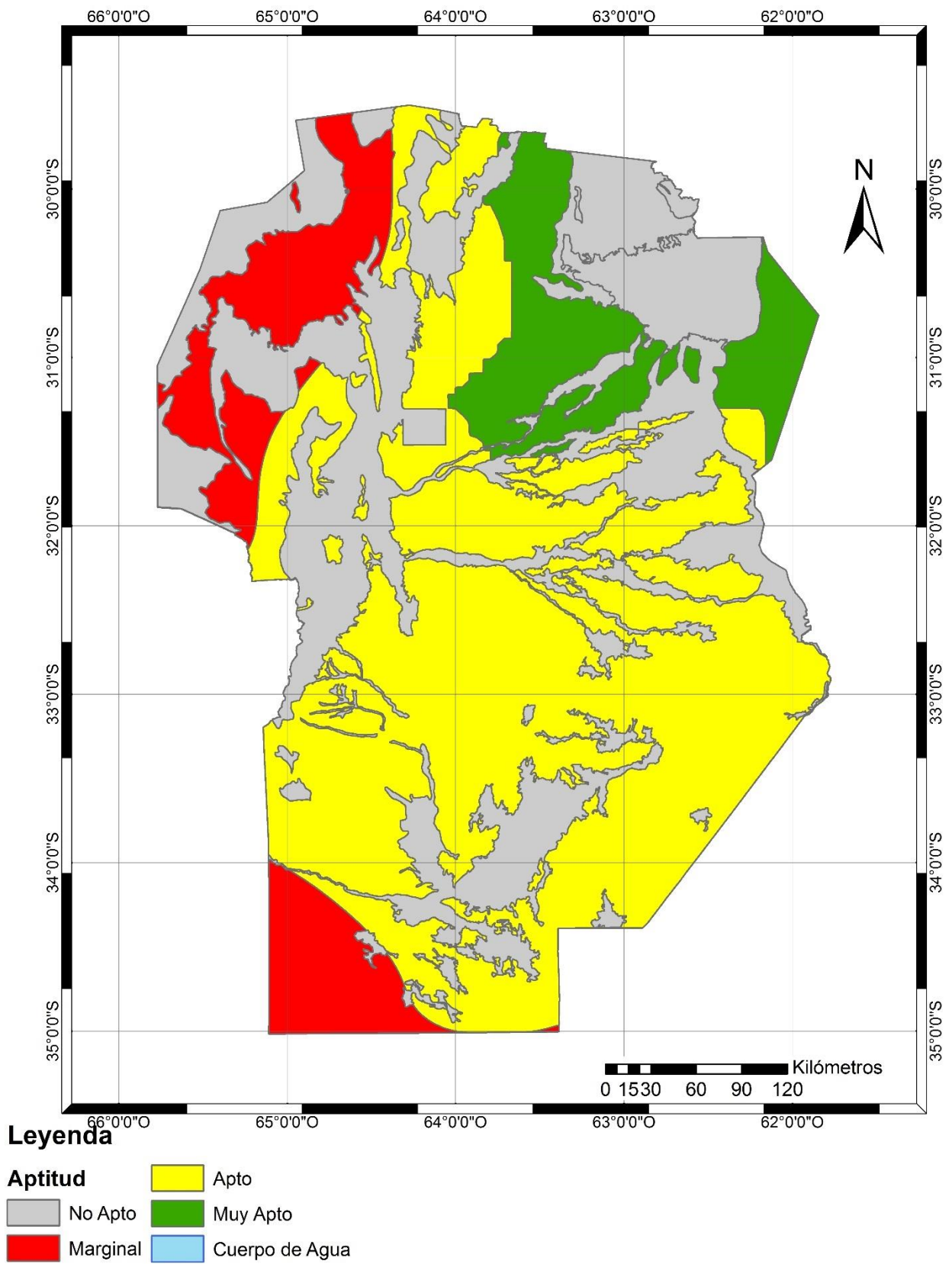


Figura 42 Distribución potencial del cultivo de Topinambur

## **CULTIVO 21: RICINO**

**Nombre botánico:** *Ricinus communis*

**Nombre vulgar:** Ricino

**Uso:** Es una especie oleaginosa, su aceite es utilizado como lubricante, fluido hidráulico y en la manufactura de explosivos. También ha sido usado en la síntesis de jabones, linóleo, tintas, nylon, barnices, esmaltes, pinturas y aislaciones eléctricas. Se ha utilizado el aceite sulfonado para teñir telas o cueros (Duke, 1983). Las semillas poseen aproximadamente un 50% de aceite. Éste tiene características físicas y químicas únicas dado que el 90% del aceite corresponde a ricinolato, un hidroácido graso. El ricinolato le imprime una viscosidad superior a la de otros aceites vegetales. La presencia de un grupo hidroxilo en el cadena del ácido graso, de fácil eliminación, posibilita la obtención de una gran cantidad de derivados (McKeon, 2016). El aceite también es utilizado para la producción de una gran variedad de biopolímeros (Dunford, 2012). La harina luego de la extracción del aceite es utilizada como alimento animal, sobretodo en cerdos. También se la ha utilizado como fertilizantes (Duke, 1983). Hay que considerar la presencia de ricina en la semilla, una de las toxinas más potentes que se conocn. También se la ha utilizado como ornamental (Oplinger *et al.*, 1990). El aceite tiene potencial para ser utilizado como materia prima para la producción de biodiesel con muy buenas características (Bauddh *et al.*, 2015; Ijaz *et al.*, 2016). El ricino, combinado con bacterias promotoras del crecimiento vegetal, es una alternativa interesante para la fitoremediación de suelos contaminados con metales pesados (Annapurna *et al.*, 2016; V. C. Pandey, 2013). Esta especie tiene una excelente capacidad para extraer Cd, Pb, Ni, As, Cu, así como algunas moléculas orgánicas (Bauddh *et al.*, 2015). Sin embargo, su uso en áreas contaminadas limitaría el destino de sus productos, ya que la composición química de sus tejidos cambian cuando la planta es expuesta a contaminantes, esto restringiría su uso como medicinal bajo estas condiciones (Pandey, 2013). El aceite producido no se ve afectado en su composición química ya que los metales pesados se concentran en partes de la semilla que no influyen en la producción de biodiesel (González-Chávez *et al.*, 2015).

**Síntesis Botánica:** El ricino es un arbusto erecto, muy ramificado, con tallo cilíndrico de color rojo, recubierto por una capa de cera. Alcanza los 2-4 metros de altura. Sin embargo, su raíz es más bien superficial. Las hojas son grandes, muy divididas, con borde aserrado. Las flores se agrupan en inflorescencias terminales. Es utilizada principalmente como oleaginosa ya que su aceite es de gran valor industrial y su harina es un subproducto prometedor. A pesar de ser perenne se cultiva como anual en regiones templadas o como cortamente perennes si las

heladas no son intensas. La media del rendimiento global ronda las 0,75 t ha<sup>-1</sup> aunque se pueden obtener hasta 3 t ha<sup>-1</sup> (Brigham, 1993; Duke, 1983; FAO, 2003).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 23 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Ricino (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 23 Requerimientos climáticos de Ricino

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
140	210	-2	15	20	30	39	400	600	1000	2000

**Mapa:** La Figura 43 muestra la distribución potencial del cultivo de Ricino.

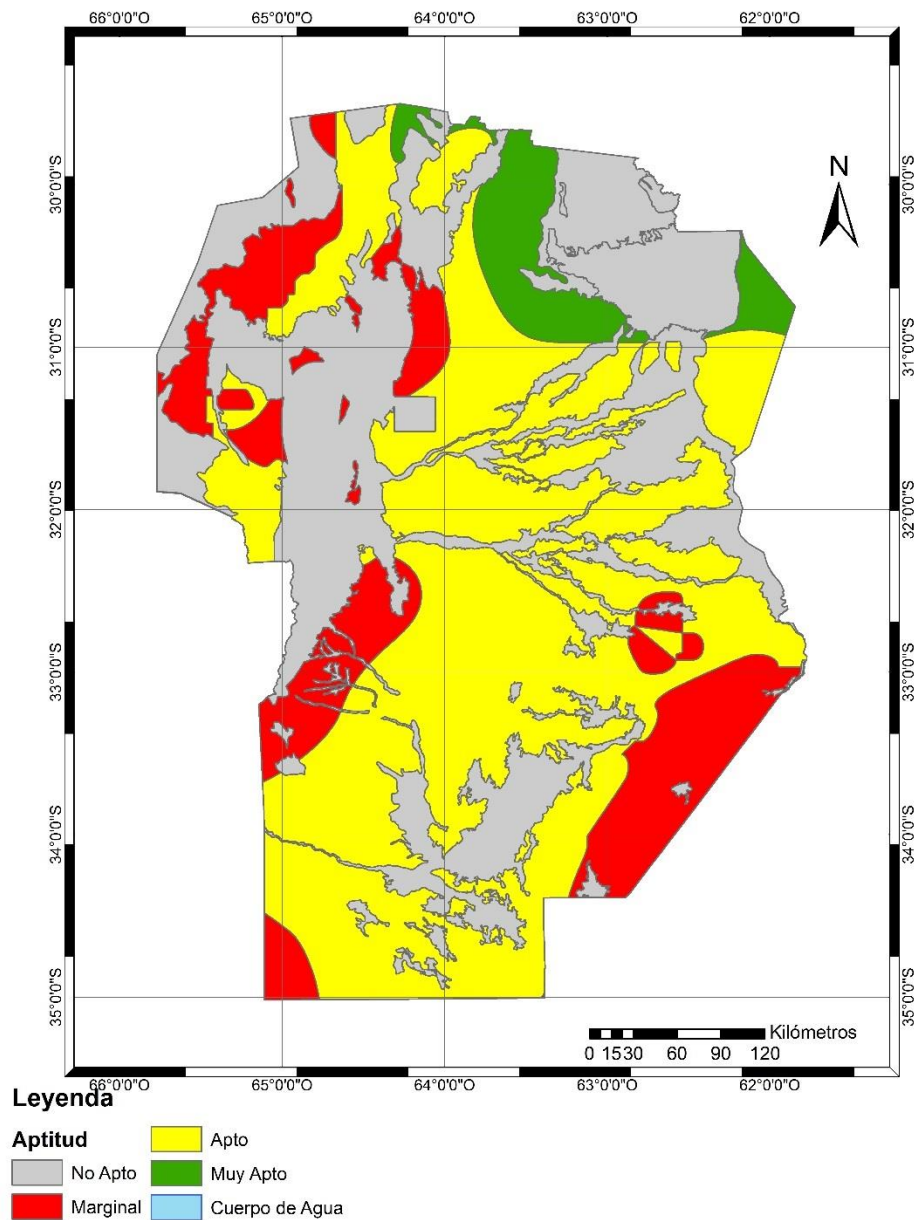


Figura 43 Distribución potencial del cultivo de Ricino

## **BAJA APTITUD**

### **CULTIVO 22: AMARANTO**

**Nombre botánico:** *Amaranthus cruentus*

**Nombre vulgar:** Amaranto

**Uso:** Este tipo de amaranto es un pseudocereal del cual se utilizan las hojas y semillas. Las primeras se asemejan a la espinaca, tienen un alto contenido de vitamina A, calcio y potasio. Las semillas se consumen como un cereal, son muy nutritivas, contienen hasta un 15% de proteínas y se consumen enteras o se muelen para producir harina. Es importante destacar la ausencia de gluten (gliadina) en la fracción proteica del grano, por lo que su harina es un potencial reemplazo a la harina de trigo para las personas que sufren de celiaquía. Sus flores también son utilizadas como colorantes para alimentos. El amaranto también tiene un atractivo uso industrial. La fracción oleosa del grano es inusualmente alta en escualeno, químico de muy alto valor (Myers, 1996). El amaranto, al igual que la quinoa, posee gránulos de almidón muy pequeños, de alrededor de un décimo del diámetro de los de maíz. Esta característica física le confiere un interesante potencial industrial (Kong *et al.*, 2009; Myers, 1996). El almidón de amaranto tiene una gran capacidad de absorber agua, baja temperatura de gelatinización, y buena estabilidad al congelamiento-descongelamiento, características muy apreciadas por la industria alimentaria (Amicarelli y Camaggio, 2012). Las semillas también pueden ser utilizadas para producir bebidas destiladas, como tradicionalmente se realiza en Perú con la chicha (Mlakar *et al.*, 2009). Dada su alta producción de biomasa en ambientes marginales es una atractiva alternativa para la producción de biocombustibles (Viglasky *et al.*, 2009).

**Síntesis Botánica:** Es una planta herbácea anual de hasta 1 m de altura. Las hojas son lanceoladas, usualmente decumbentes en la base, de color verde grisáceo. Las flores se agrupan en racimos de color rosa oscuro, florece desde mediados de verano a otoño. Las flores son unisexuales, existen flores femeninas y masculinas en flores separadas, aunque en el mismo pie. El período de crecimiento es muy corto, de 30-50 días. Si la planta no es arrancada en la cosecha puede continuar creciendo por 120-300 días y proveer de varias cosechas. Es una especie adaptada a situaciones de escasa oferta hídrica. Los rendimientos suelen ubicarse en torno a los 800-1200 kg ha<sup>-1</sup> aunque si se utilizan fertilizantes, éstos pueden alcanzar los 3000 kg.ha<sup>-1</sup> (Amicarelli y Camaggio, 2012; Bermejo y León, 1994; FAO, 2003; Mlakar *et al.*, 2009).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 24 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Amaranto (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 24 Requerimientos climático de Amarantho

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
30	300	4	10	22	28	45	500	2000	2400	4000

**Mapa:** La Figura 48 muestra la distribución potencial del cultivo de Amarantho.

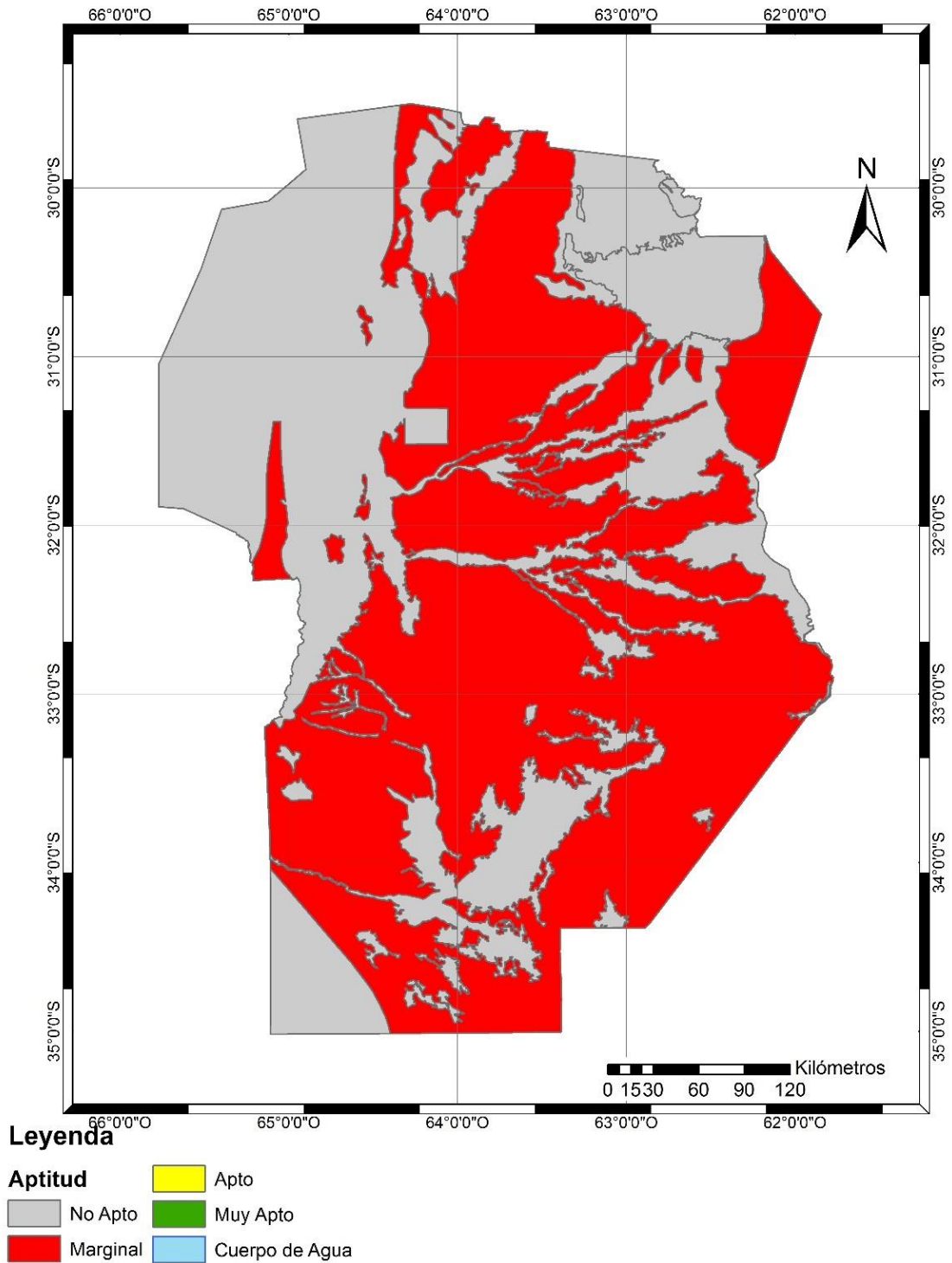


Figura 44 Distribución potencial de Amaranthus cruentus

### **CULTIVO 23: ESPELTA**

**Nombre botánico:** *Triticum spelta*

**Nombre vulgar:** Espelta o Trigo espelta

**Uso:** Es una alternativa al cultivo de trigo para regiones más marginales dada su rusticidad. Se utilizan sus granos para la confección de harina para la producción de panes, galletas y otros derivados o para la elaboración de bebidas alcohólicas (Muñoz-Insa *et al.*, 2013).

**Síntesis Botánica:** Es una planta anual, herbácea, de tallo erecto, que alcanza los 100-120 cm de altura. Es una especie muy emparentada al cultivo de trigo, aunque tiene mejor comportamiento antes enfermedades y a condiciones de estrés. Existen variedades primaverales e invernales. Se siembra aproximadamente en la misma fecha que el trigo, pero se cosecha un poco después. La cosecha es inferior a la de trigo y por las características del grano exige un pre procesamiento (Campbell, 1997; FAO, 2003; Small, 1999).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 25 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Espelta (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 25 Requerimientos climáticos de Espelta

<b>GMIN</b>	<b>GMAX</b>	<b>KTMP</b>	<b>TMIN</b>	<b>TOPMN</b>	<b>TOPMX</b>	<b>TMAX</b>	<b>RMIN</b>	<b>ROPMN</b>	<b>ROPMX</b>	<b>RMAX</b>
120	180	0	4	10	17	24	300	700	1000	1600



**Mapa:** La Figura 45 muestra la distribución potencial del cultivo de Espelta.

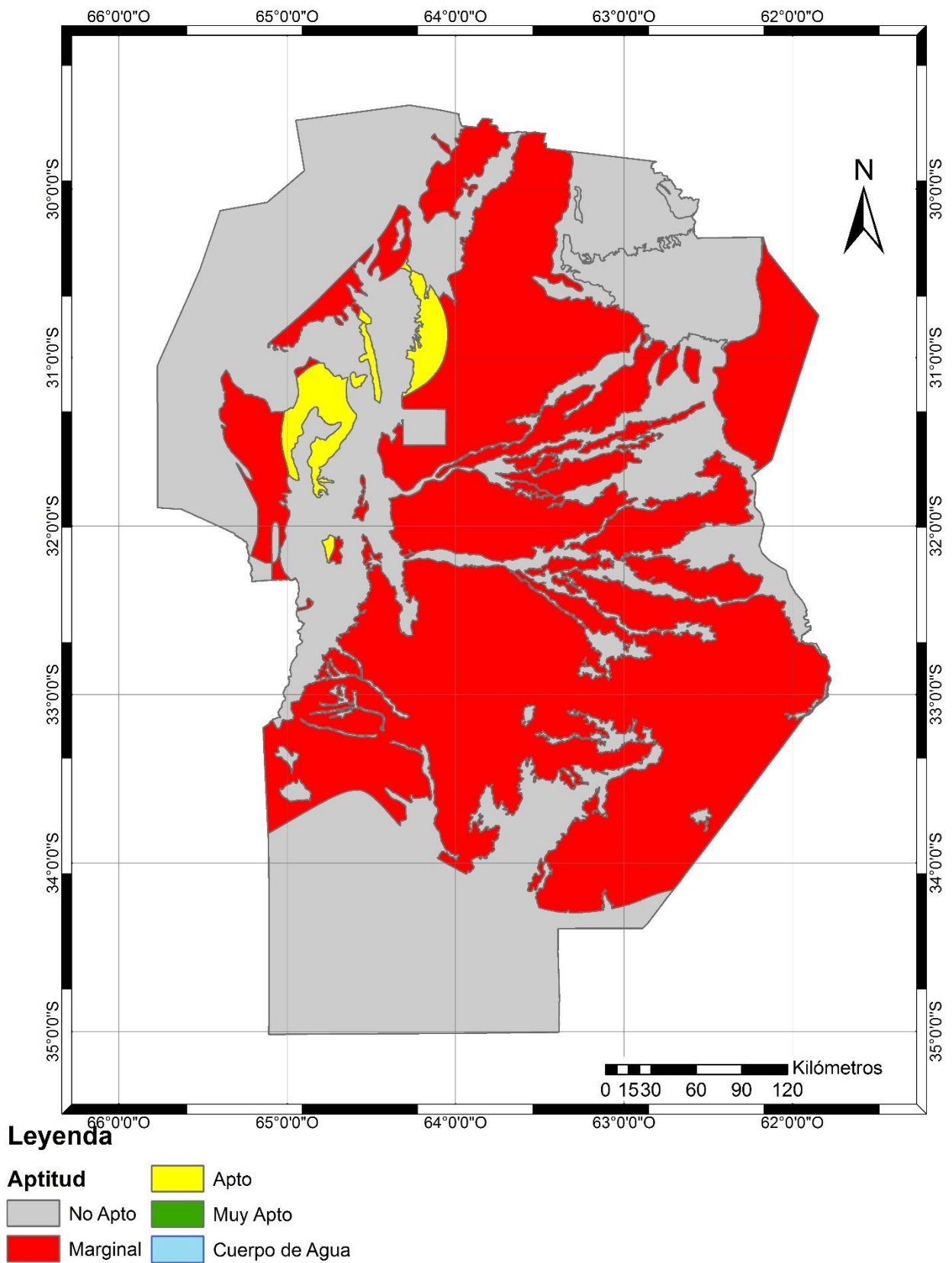


Figura 45 Distribución potencial del cultivo de Spelta

## CULTIVO 24: GINSENG AMERICANO

**Nombre botánico:** *Panax quinquefolium*

**Nombre vulgar:** Ginseng americano

**Uso:** Las hojas, frutos y raíces tienen propiedades medicinales (Health System, 2015; Wang *et al.*, 2015), especialmente éstas últimas Tradicionalmente era una planta utilizada por los nativos de América del norte. También está muy extendido su uso en la medicina tradicional China. Actualmente se comercializan extractos obtenidos a partir de la purificación de los componentes de sus tejidos (Simmonds, n.d.).

**Síntesis Botánica:** El Ginseng Americano es una planta perenne, herbácea que alcanza alrededor de 30 cm de altura. Produce una gran cantidad de rizomas que son el producto cosechable luego de un período de crecimiento de 5-7 años. Las flores son amarillo verdosas y están agrupadas, los frutos son unas bayas rojas con 1-3 semillas. El rendimiento esperado en peso seco es de 1,7-2,5 t ha<sup>-1</sup> (Harrison *et al.*, 2000; Simmonds, n.d.).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 26 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Ginseng americano (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 26 Requerimientos climáticos de Ginseng americano

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
240	330	-10	8	12	20	27	700	900	1100	1300

**Mapa:** La Figura 46 muestra la distribución potencial del cultivo de Ginseng americano.

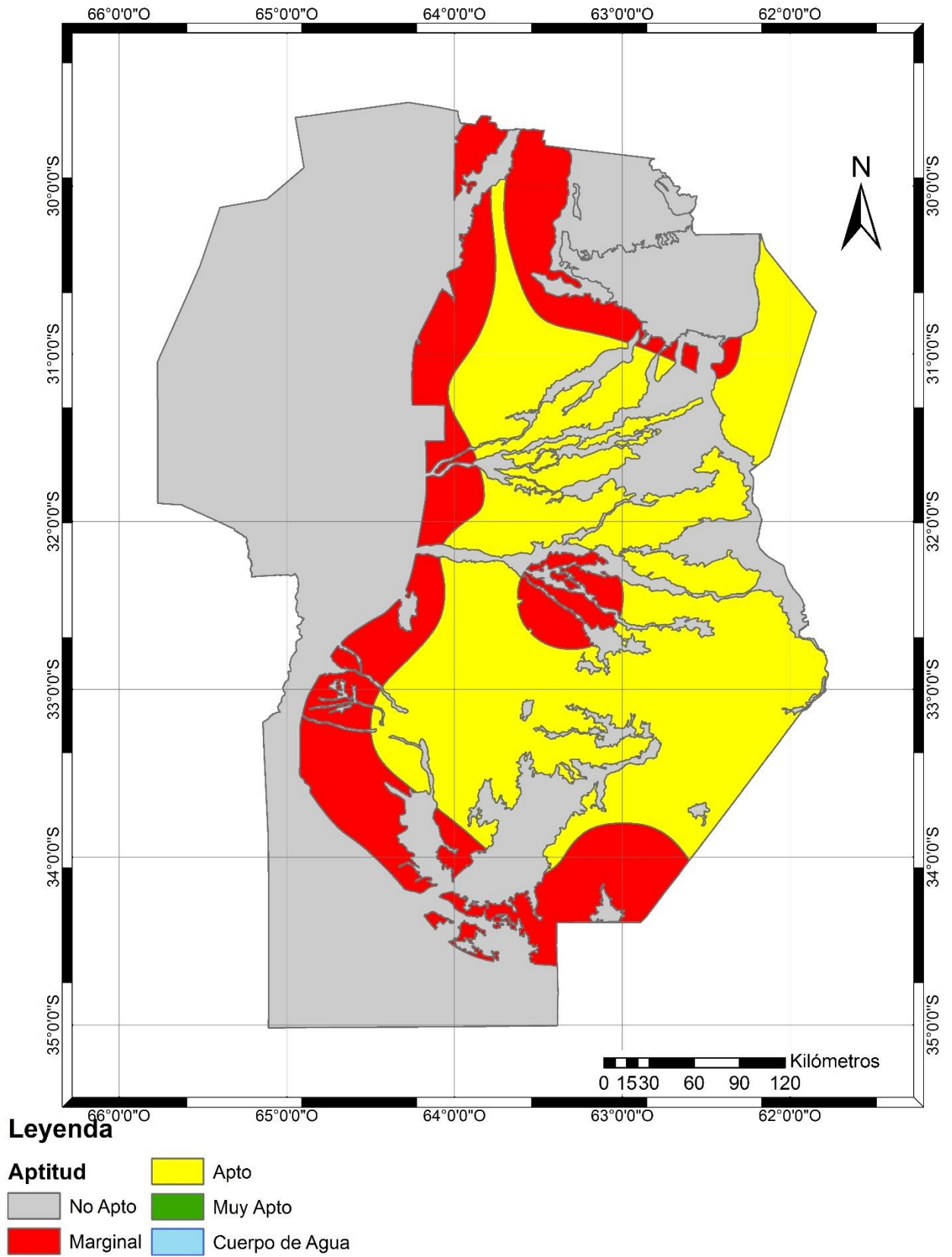


Figura 46 Distribución potencial del cultivo de Ginseng

## CULTIVO 25: POROTO ADZUKI

**Nombre botánico:** *Vigna angularis*

**Nombre vulgar:** Judía, frijol o poroto adzuki

**Uso:** La legumbre seca es usada como alimento humano, ya sea cocinada entera o en sopas u otros preparados. Las semillas brotadas o brotes son consumidas como vegetales. La harina proveniente de la molienda de las semillas es usada en shampoos y cremas faciales. Tanto las semillas como las hojas tienen propiedades medicinales, sobre todo la cascarilla de la semilla posee que propiedades antioxidantes (Yong Jiang *et al.*, 2014; Luo *et al.*, 2016). Es una alternativa interesante para el control de la erosión, como forraje y como abono verde (Hardman *et al.*, 1989).

**Síntesis Botánica:** Es una planta anual estival, erecta o postrada, herbácea, que alcanza una altura de 25-90 cm, con hojas trifoliadas, flores amarillas brillantes, vainas cilíndricas con 6-14 semillas. Tiene un ciclo relativamente corto, aunque es variable, el rango varietal se encuentra entre 60-190 días. El rendimiento varía entre 1,2-5 t ha<sup>-1</sup>, si se lo desea utilizar para la confección de algún tipo de reserva forrajera para el ganado, se debe cosechar cuando las vainas no están maduras (FAO, 2003; Lumpkin *et al.*, 1993).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 27 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de Poroto Adzuki (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 27 Requerimientos climáticos de Poroto Adzuki

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
60	190	0	5	15	30	36	550	900	1300	1800

**Mapa:** La Figura 47 muestra la distribución potencial del cultivo de Poroto Adzuki.

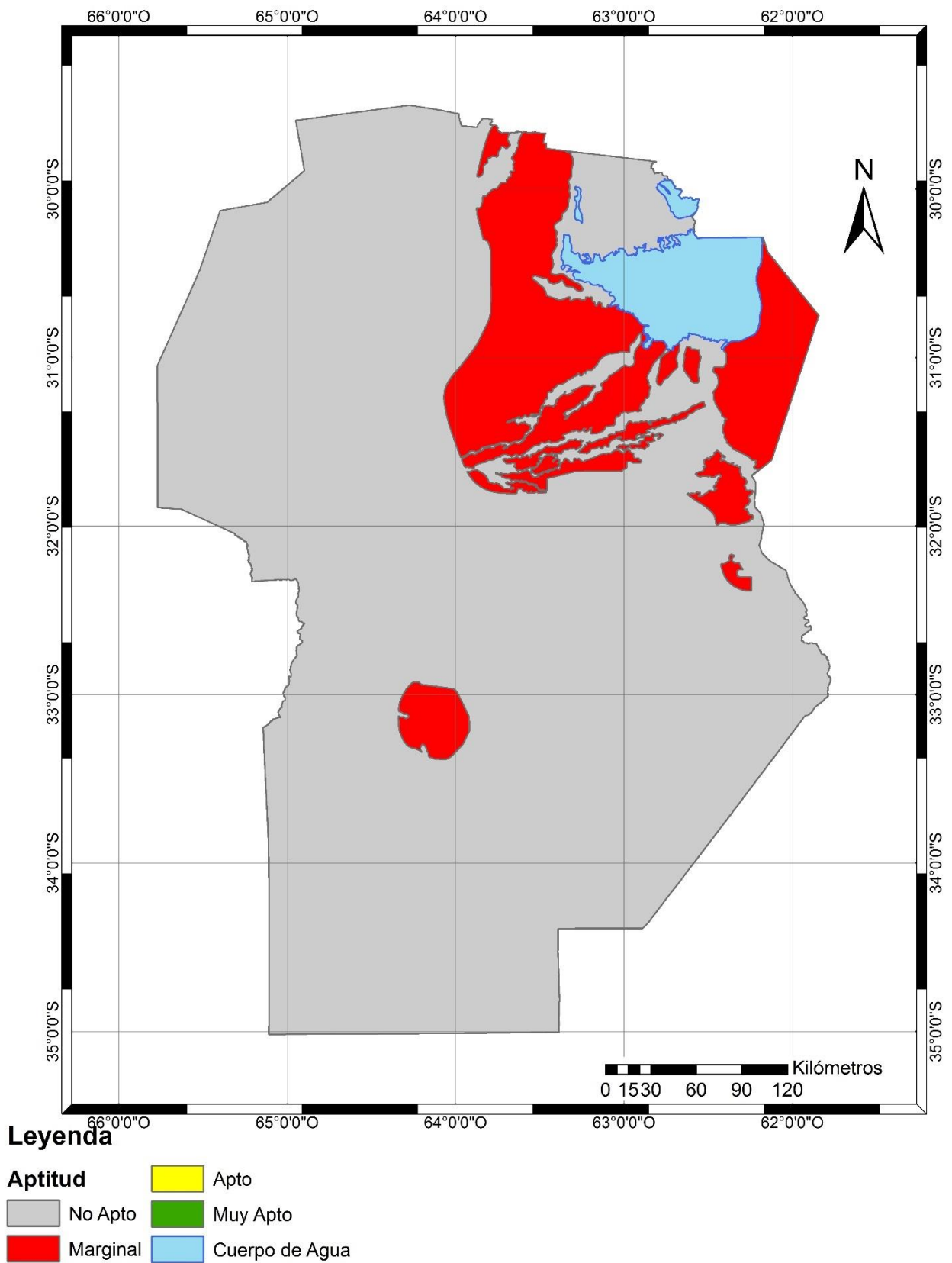


Figura 47 Distribución potencial de cultivo de Poroto Adzuki

## ÁREAS MAL DRENADAS

### SUELOS POBREMENTE DRENADOS Y CE MAYOR A 10 DS/M

#### CULTIVO 26: AGROSTIS STOLONIFERA

**Nombre botánico:** *Agrostis stolonifera*

**Nombre vulgar:**

**Usos:** Es un cultivo alternativo con un gran potencial a futuro para la producción de bioenergía, sobretodo en ambientes marginales dónde no compite con los cultivos tradicionales para la producción de alimentos (Akinshina *et al.*, 2014; Choukr-Allah *et al.*, 1995; El Bassam, 2010). Esta especie también tiene potencial para remediar suelos con un alto tenor salino (Hasanuzzaman y Nahar, 2014) y suelos con metales pesados (Ying Jiang *et al.*, 2015; Porter y Peterson, 1975).

**Síntesis botánica:** Se trata de una planta herbácea, perenne, estolonífera y ceptisosa. Tiene tallos son de 35 – 80 cm de alto, ascendentes, glabros, tienen 8-10 cm de longitud y poseen 2-5 nudos, emitiendo raíces de los nudos basales. Las hojas se disponen en la base de la planta. La lámina de la hoja tiene entre 10 – 14 cm de largo y 0,5-5 mm de ancho, con extremos subagudos. La inflorescencia es una panícula que pueden presentarse de forma laxa o compacta. Las espiguillas son solitarias, las fértiles son pediceladas. El fruto es un cariopse con el pericarpio adherido, de forma elipsiode e isodiamétrico (Clayton *et al.*, 2006; FAO, 2003).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 28 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de *Agrostis stolonifera* (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 28 Requerimientos climáticos de *Agrostis stolonifera*

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
120	180	-30	4	9	22	45	200	500	800	1800

**Mapa:** La Figura 48 muestra la distribución potencial del cultivo de *Agrostis stolonifera*.

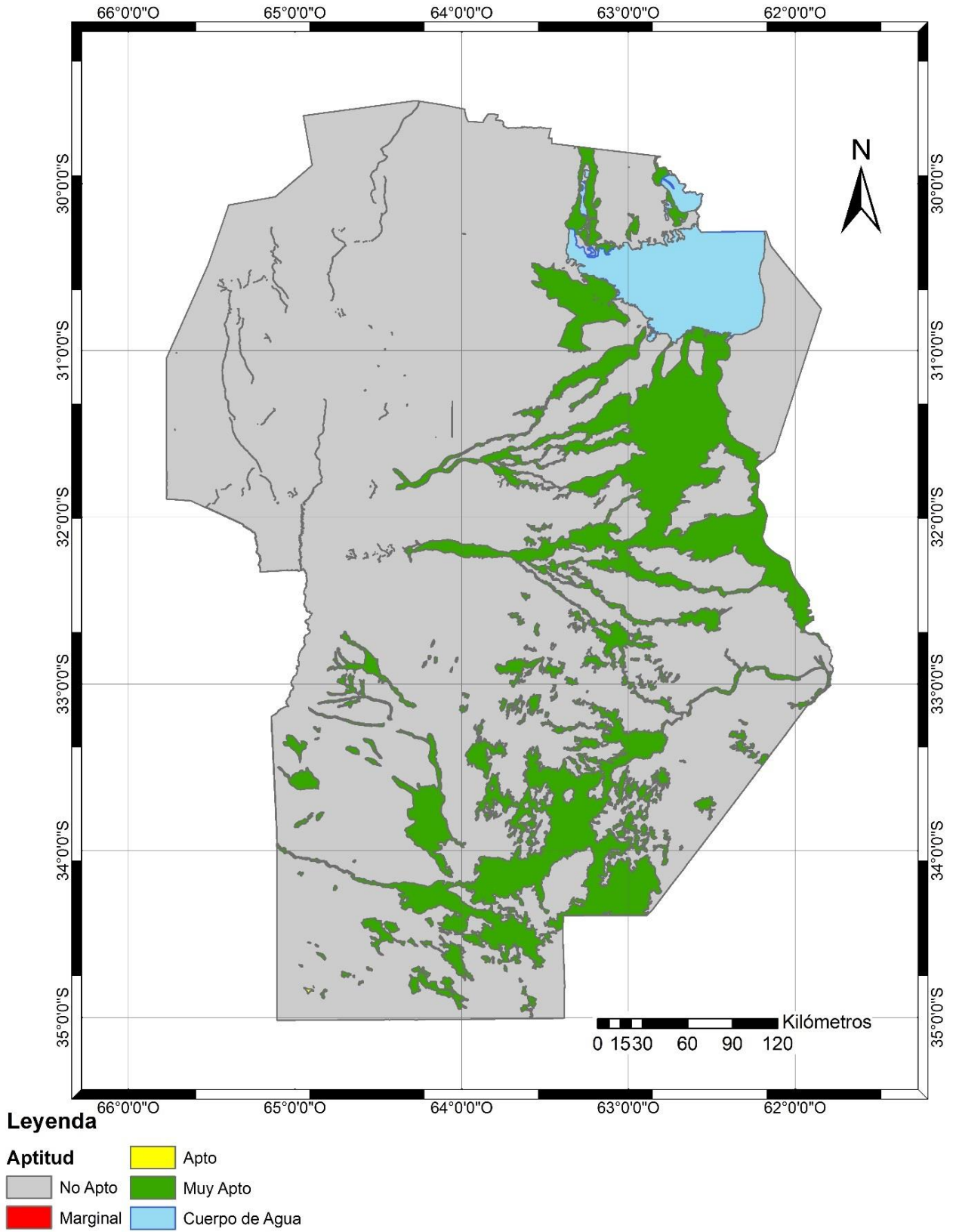


Figura 48 Distribución potencial de cultivo de *Agrostis stolonifera*

## CULTIVO 27: ATRIPLEX NUMMULARIA

**Nombre botánico:** *Atriplex nummularia*

**Nombre vulgar:**

**Usos:** Esta especie tiene diversos usos como forrajera (Meneses *et al.*, 2012; Santa Cruz, 2001), estabilizando suelos con riesgos de erosión (Zucca *et al.*, 2013) y en su centro de origen también era consumida como alimento humano. Su cultivo está más concentrado en zonas áridas pero tolera anegamientos estacionales. Como forrajera se la puede combinar en pasturas con nopal para la cría de ganado caprino (Ben Salem *et al.*, 2005). Actualmente está ganando importancia como especie productora de lignocelulosa para su transformación en combustibles líquidos y gaseosos (El Bassam, 2010; George y Nicholas, 2012; Shahid *et al.*, 2013). *Atriplex* es muy utilizada en áreas que no son aptas para cultivos tradicionales, permitiendo la extracción de sales para mejorar la productividad de las tierras (de Souza *et al.*, 2014; Tawfik *et al.*, 2015).

**Síntesis botánica:** Es una especie de comportamiento arbustivo, ramificada, especialmente en su zona basal, pudiendo alcanzar los 3 metros de altura y 4 metros de ancho (Florabank, n.d.). Las hojas son aovadas hasta casi circulares de alrededor de 25 cm de largo. La inflorescencia es una panícula. Las espiguillas son unisexuales, generalmente se agrupan en pies diferentes por lo que se la considera una especie dioica (PlantNET, n.d.).

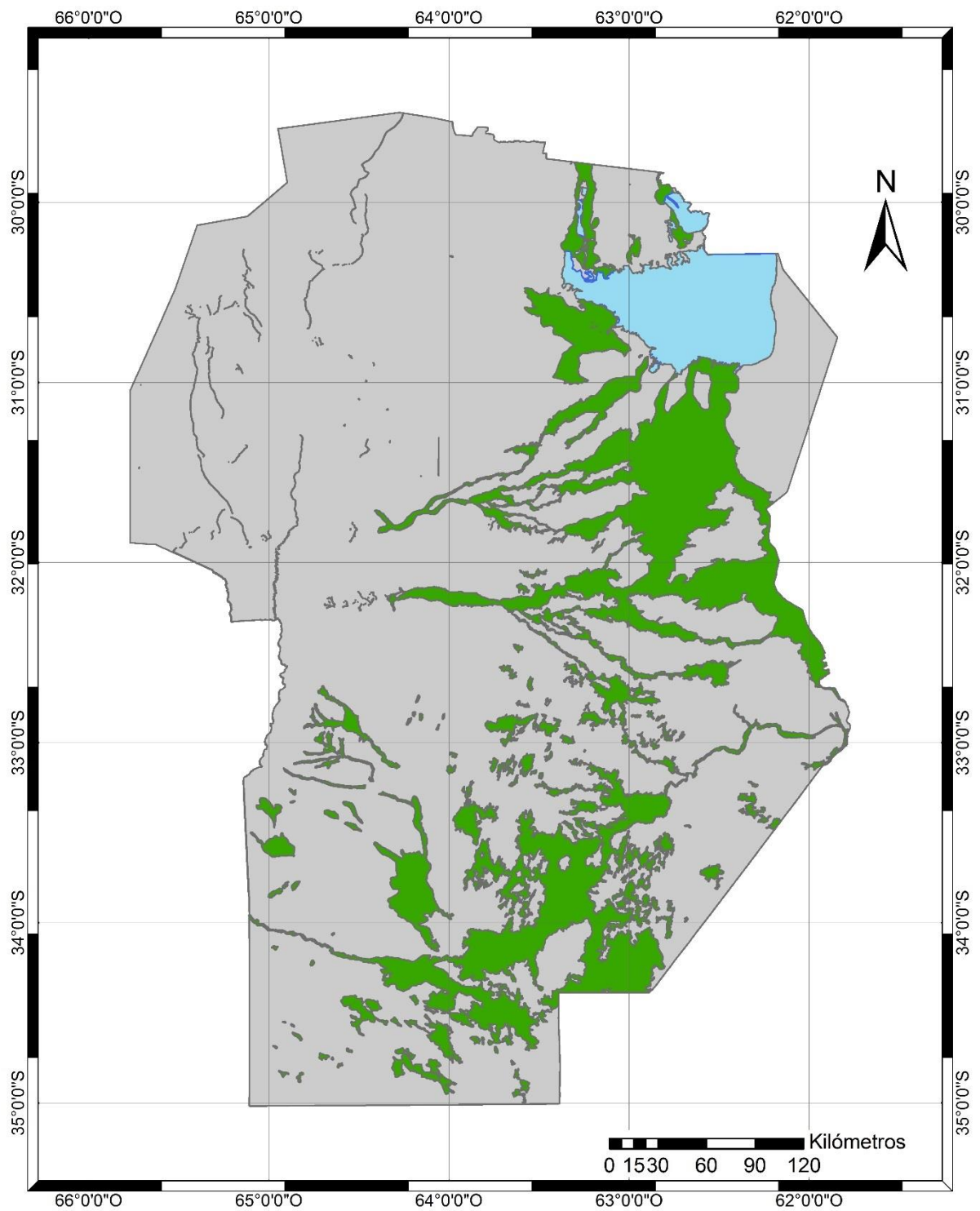
**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 29 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de *Atriplex nummularia* (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 29 Requerimientos climáticos de *Atriplex nummularia*

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
90	150	-15	3	16	28	36	150	200	600	800



**Mapa:** La Figura 49 muestra la distribución potencial del cultivo de *Atriplex nummularia*.



**Leyenda**






- |   |                |
|---|----------------|
|  | Apto           |
|  | No Apto        |
|  | Muy Apto       |
|  | Marginal       |
|  | Cuerpo de Agua |

Figura 49 Distribución potencial de *Atriplex nummularia*

## CULTIVO 28: DICHANTHIUM ARISTATUM

**Nombre botánico:** *Dichanthium aristatum*

**Nombre vulgar:** Pasto Angleton

**Usos:** Es una especie que puede ser utilizada como forrajera y como productora de biomasa. Como forrajera es muy palatable y puede ser pastoreadas o utilizada para reservas (Bisset y Sillar, 1984). La biomasa tiene potencial para su conversión en bioetanol (Byrt *et al.*, 2011). Presenta buenos contenidos de celulosa y hemicelulosa, con un 19 y 24% respectivamente (Abideen *et al.*, 2011).

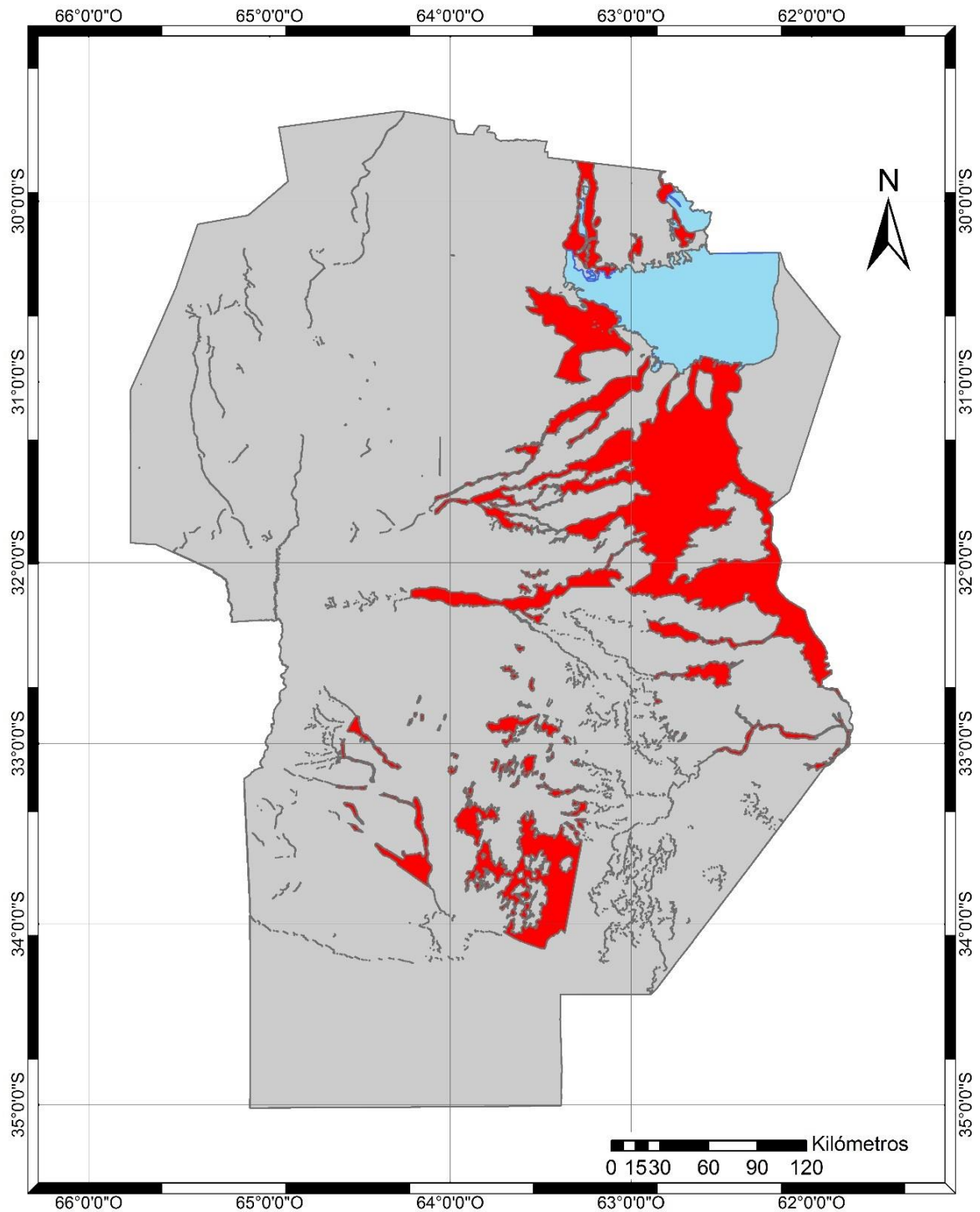
**Síntesis botánica:** Es una planta herbácea, perenne que puede alcanzar los 0.7-1 m de altura. El tallo puede ser ascendente o decumbente, en cuyo caso éste es más largo. Los nudos son pilosos, aunque con el tiempo se caen. Las hojas son alternas, las láminas miden de 3-25 cm de largo y 2-5 mm de ancho (Clayton *et al.*, 2006). Las inflorescencias son racimos con pedúnculos pubescentes. Los racimos se encuentran en un número de 1-6, son digitados. Las espiguillas se agrupan de a pares, las fértiles son sésiles y basales y se encuentran cubiertas por brácteas pilosas. El fruto es un cariopse (Beetle *et al.*, 1987).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 30 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de *Dichanthium aristatum* (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 30 Requerimientos climáticos de *Dichanthium aristatum*

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
120	180	0	5	22	30	35	600	875	1200	1800

**Mapa:** La Figura 50 muestra la distribución potencial del cultivo de *Dichanthium aristatum*.



**Leyenda**






- |   |                |
|---|----------------|
|  | Apto           |
|  | No Apto        |
|  | Marginal       |
|  | Muy Apto       |
|  | Cuerpo de Agua |

Figura 50 Distribución potencial de *Dichanthium aristatum*

## CULTIVO 29: LEPTOCHLOA FUSCA

**Nombre botánico:** *Leptochloa fusca*

**Nombre vulgar:**

**Usos:** Es una especie multipropósito con la capacidad de producir forraje, biomasa para combustibles y remediar suelos con altos contenidos de sodio y sales. El uso de esta especie en suelos salinos mejora la distribución de sales dentro del perfil. Su cultivo prolongado, por más de tres años, mejora las propiedades físicas del suelo, disminuyendo sobre todo la densidad del mismo (El Bassam, 2010; Qadir *et al.*, 1996). La celulosa obtenida a partir de este cultivo tiene un alto potencial como materia prima para la producción de bioetanol (El Bassam, 2010; Latif *et al.*, 1994). En menor medida, esta especie es utilizada como forrajera pero al exudar parte de las sales que toma del suelo a través de sus hojas, su palatabilidad no es muy elevada (El Bassam, 2010). A pesar de esto, no deja de ser una de las especies más promisorias para cultivar en suelos salinos (Ashour *et al.*, 1997).

**Síntesis botánica:** Es una especie perenne, con tallos decumbentes, de 60-150 cm de altura, enraíza a partir de los nudos inferiores. Las hojas poseen láminas planas de 25-35 cm de largo y 3-5 mm de ancho, son firmes y de color verde intenso. La inflorescencia está compuesta de racimos, en número de 10-30 sostenidos por un solo eje central, tienen 7-15 cm de largo, siendo la inflorescencia central de 15-30 cm de largo. Las espiguillas son solitarias y las fértiles son pediceladas. El fruto es un cariopse con el pericarpio adherido de forma elipsoidal, de 1,6-1,8 mm de largo (Clayton *et al.*, 2006).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 31 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de *Leptochloa fusca* (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 31 Requerimientos climáticos de *Leptochloa fusca*

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
180	365	-2	9	15	30	40	100	250	1000	2900

**Mapa:** La Figura 51 muestra la distribución potencial del cultivo de *Leptochloa fusca*.

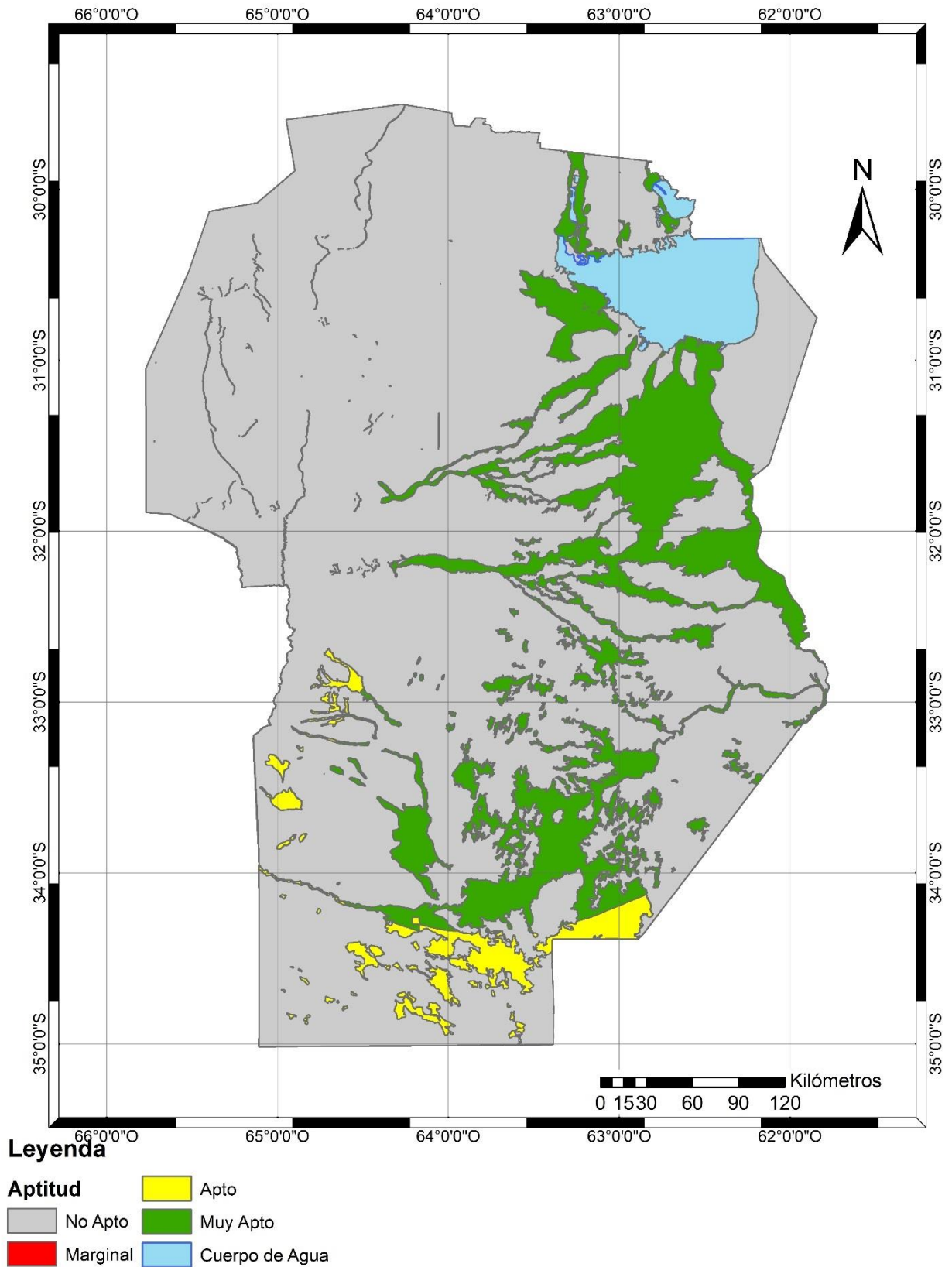


Figura 51 Distribución potencial de *Leptochloa fusca*

## SUELOS POBREMENTE DRENADOS Y CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE 4 – 10 DS/M

### CULTIVO 30: ANDROPOGON GERARDII

**Nombre botánico:** *Andropogon gerardii*

**Nombre vulgar:**

**Usos:** Esta especie tiene usos potenciales como forrajera, protectora del paisaje contra la erosión y actualmente como productora de bioetanol a partir de su biomasa. Es utilizada como protectora de áreas susceptibles a la erosión, tanto hídrica como eólica ya que sus rizomas le brindan una mayor estabilidad al suelo y como protectora de banquetas de caminos (Owsley, 2011). Como forrajera, su calidad es muy buena, con altas concentraciones de proteína, pero sólo en las primeras etapas de su ciclo de crecimiento (Kirch *et al.*, 2007; Wennerberg, 2004). Dado su alto contenido de celulosa y relativamente fácil establecimiento, esta especie ha cobrado importancia como potencial productora de biomasa para la producción de bioetanol (Smith *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015). Es una de las especies que produce la biomasa más estable en cuanto a composición y fermentabilidad de las especies no tradicionales para la producción de bioetanol (Weimer y Springer, 2007). Es una de las especies más promisorias para la producción de bioenergía en climas templados (El Bassam, 2010; Voigt *et al.*, 2013).

**Síntesis botánica:** Es una gramínea perenne, ceptisosa, rizomatosa cuyos tallos alcanzan los 80-200 cm de largo, las ramificaciones laterales son escasas. Desarrolla una sistema radical muy profuso, dada la gran partición de fotoasimilados hacia la raíz, lo que le brinda un mejor comportamiento frente a la sequía (Quinn *et al.*, 2015). Las hojas tienen láminas de 10-30 cm de largo y 5-10 mm de ancho, son verdes o glaucas, glabras y su borde es escabroso. Las inflorescencias son racimos terminales, en número de 2-7, generalmente apareados y de 4-11 cm de longitud. Las espiguillas también se agrupan de a pares. Cada espiguilla está compuesta por dos flores, siendo la basal estéril y las fértiles sésiles. El fruto es un cariopse (Clayton *et al.*, 2006). Las semillas tienen una muy alta tasa de germinación, aún en ambientes en extremo salinos (Quinn *et al.*, 2015).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 32 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de *Andropogon gerardii* (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 32 Requerimientos climáticos de *Andropogon gerardii*

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
120	300	-15	3	10	20	28	350	700	1200	2800

**Mapa:** La Figura 52 muestra la distribución potencial del cultivo de *Andropogon gerardii*.

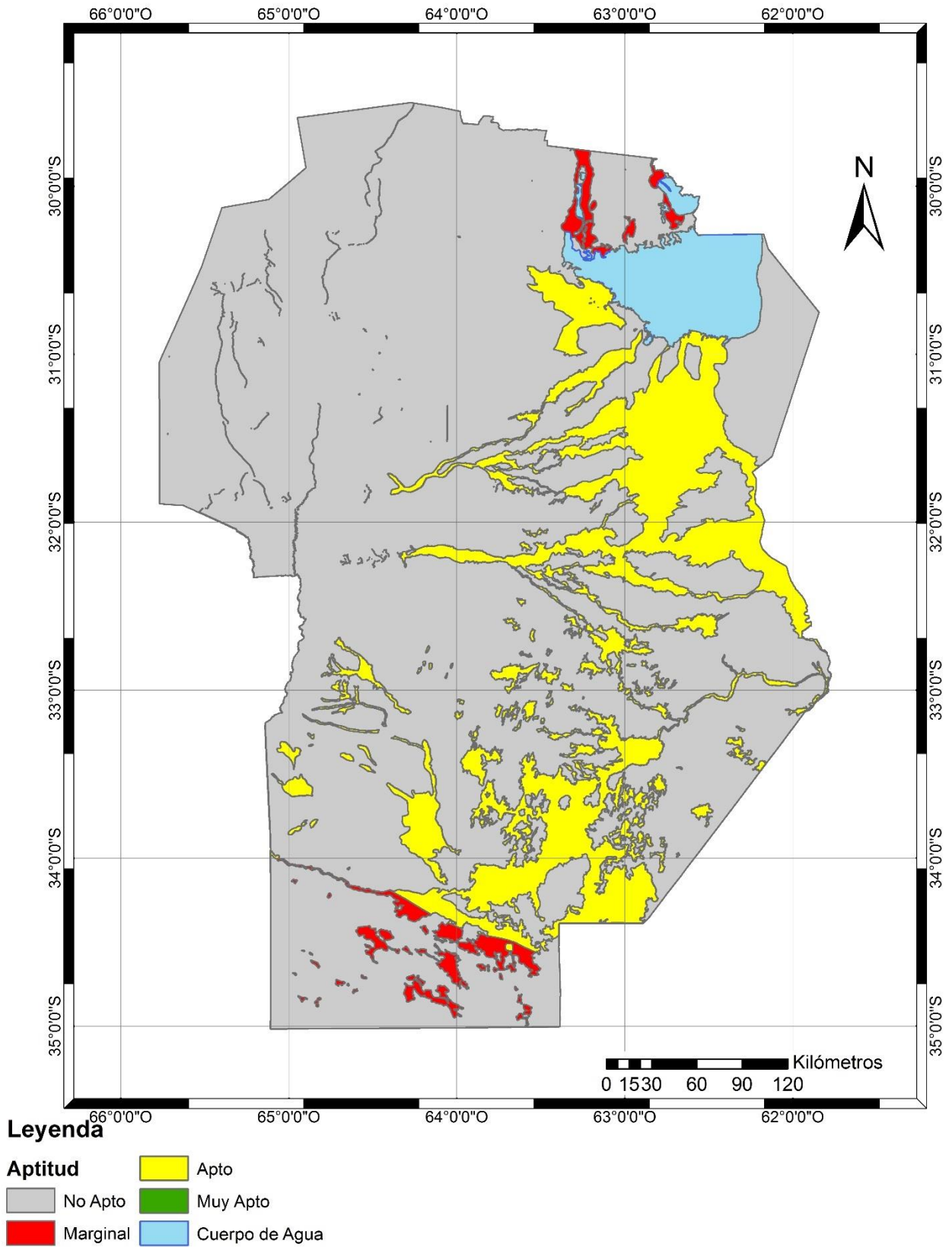


Figura 52 Distribución potencial de *Andropogon gerardii*

## CULTIVO 31: IMPERATA CYLINDRICA

**Nombre botánico:** *Imperata cylindrica*

**Nombre vulgar:**

**Usos:** Esta especie tiene diversos usos. Gracias a su sistema radical, rizomas y rápido crecimiento, es muy utilizada en la estabilización de suelos degradados (Chikoye *et al.*, 2000; Otsamo *et al.*, 1995; Shrestha *et al.*, 2014). Los tallos de *Imperata cylindrica* son utilizados como materiales para realizar techos; las hojas junto a los tallos también son utilizadas como fuentes de fibras para elaborar sogas y papel. Las fibras obtenidas de esta especie se pueden incorporar a matrices sintéticas para elaborar biocompuestos de alta resistencia (Srinivasababu *et al.*, 2014; Thulasimani *et al.*, 2015). Sus cualidades como forrajeras no son muy apreciadas ya que su palatabilidad es relativamente baja (Bosma *et al.*, 2003; Bryson y Carter, 1993; Falvey, 1981). Actualmente, dada su capacidad de crecimiento en lugares poco fértiles y las características de su biomasa, ha cobrado importancia su uso como combustible o materia para la elaboración de bioetanol (El Bassam, 2010). Existen experiencias de su uso como combustible directo para la obtención de calor sensible (Kamaroddin y Nyakuma, 2013) y como una muy atractiva fuente de biomasa no tradicional para bioetanol; incluso ya está optimizado el proceso para su elaboración (Haque y Barman, 2015; Lin y Lee, 2011; Premjet *et al.*, 2012; Reijnders y Huijbregts, 2008).

**Síntesis botánica:** Es una especie perenne, rizomatosa, con tallos erectos de 10-120 cm de largo. Las hojas se concentran en la base de la planta, las láminas son erectas de 3-100 cm de longitud y 2-10 mm de ancho, son muy rígidas y sus bordes son dentados y poseen deposición de sílice cristalino. La cara superior suele estar cubierta de pelos. El sistema radical no es demasiado profuso y se concentra en los primeros 60 cm de profundidad. La inflorescencia es una espiga densa de hasta 20 cm de largo. Las espigas poseen largos pelos cilíndricos que le imprimen su color blanco característico. Las espiguillas tienen dos flores, una estéril sésil y una pediculada hermafrodita. El fruto es un cariopse (Clayton *et al.*, 2006).

**Requerimientos climáticos:** En la Cuadro 33 se detallan los requerimientos climáticos del cultivo de *Imperata cylindrica* (FAO, 2003), utilizados en el modelo EcoCrop.

Cuadro 33 Requerimientos climáticos de *Imperata cylindrica*

GMIN	GMAX	KTMP	TMIN	TOPMN	TOPMX	TMAX	RMIN	ROPMN	ROPMX	RMAX
90	150	0	20	25	35	40	250	500	3500	6250



**Mapa:** La Figura 53 muestra la distribución potencial del cultivo de *Imperata cylindrica*.

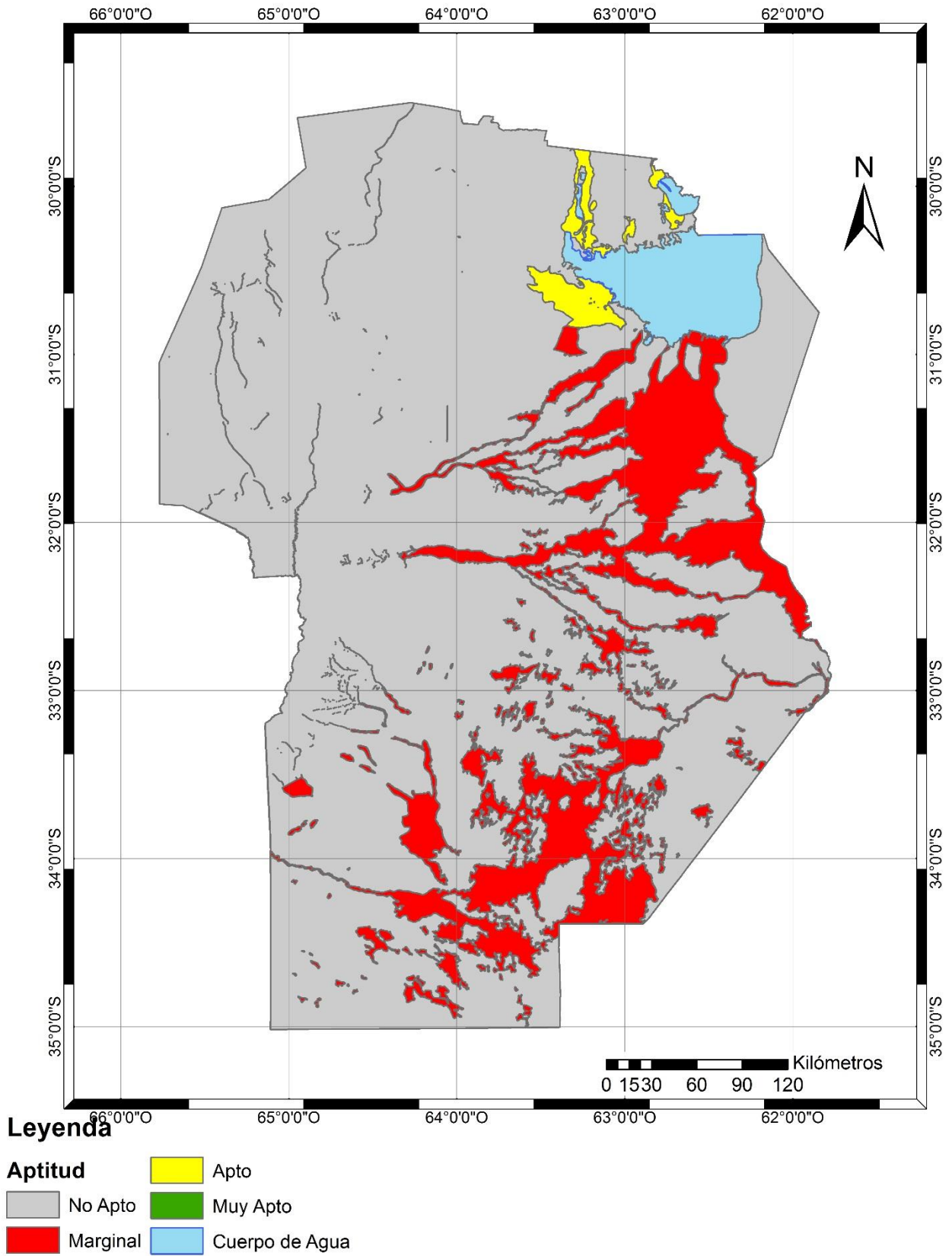


Figura 53 Distribución potencial de *Imperata cylindrica*

## ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El estudio aquí realizado es de carácter exploratorio dada la escala de trabajo seleccionada. Esto quiere decir que a la hora de comenzar un emprendimiento en una zona catalogada *a priori* como apta, es necesario un acercamiento más directo en el territorio para analizar las características particulares de cada ambiente.

El modelo EcoCrop se caracteriza por su simpleza que le brinda ventajas comparativas notables frente a los demás modelos disponibles (Morales-Salinas et al. 2015). Esta ventaja también puede ser considerada una debilidad si se tiene en cuenta que el modelo sólo se basa en temperatura y precipitación para el cálculo del índice de aptitud. Si bien hay otras variables que tienen impacto en el desarrollo de un cultivo como pueden ser las temperaturas vernalizantes o el fotoperíodo (Satorre *et al.*, 2004), la temperatura y la oferta hídrica tienen carácter universal y son las principales determinantes del éxito de un cultivo. Esta característica ha propiciado el uso del mismo en una gran cantidad de trabajos a nivel mundial, principalmente en regiones tropicales dado que el principal patrocinador del mismo es el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Otro punto a considerar es la variabilidad interanual. En el análisis aquí realizado se empleó la media mensual de cada variable obtenida a partir de la serie 1950-2000. Dichos valores no contemplan los cambios en los datos medios ocurridos en estos últimos 15 años. Al utilizar promedios, la variabilidad interanual queda enmascarada. Trabajos recientes han establecido que aproximadamente un 30% de los cambios en el rendimiento, a nivel global, se deben a la variabilidad interanual (Ray *et al.*, 2015). Para los cultivos tradicionales de la región, como maíz, trigo y soja, dichos autores detectaron que entre 15-45% de la variabilidad observada en los rendimientos se debió a la variabilidad climática (Ray *et al.*, 2015).

Ramirez-Villegas *et al.* (2013) plantearon métodos para calibrar el modelo, principalmente a través de una mejor estimación de los parámetros climáticos de cada cultivo. La base de datos ECOCROP (FAO, 2003) tiene algunas falencias que pueden ser superadas reestimando los parámetros utilizados por el modelo. Los autores anteriores sugieren utilizar datos de presencia y ausencia de las especies vegetales y a través de la superposición con información climática, se podrían obtener parámetros más precisos que arrojarían mejores resultados. Los datos de presencia y/o ausencia se obtienen de relevamientos *in situ* georeferenciados, lo que permite hacer un análisis estadístico en SIG para obtener los parámetros calibrados. Sin embargo, pese a la gran cantidad de bases de datos que existen on-line, la

densidad de puntos de los relevamientos realizados no permite reestimar los parámetros. Por lo tanto, no fue posible utilizar otros datos más que los brindados por ECOCROP (FAO, 2003).

El análisis de las variables edáficas también merece su mención ya que la resolución en la que se realizó no contempla la variabilidad local que se observa en muchos ambientes de la Provincia, sobre todo en aquellos dónde la pendiente es escasa y el mosaico de suelos es notable. Esto amerita un análisis *in situ* en aquellas regiones que podrían presentar las características anteriores.

Si bien las salvedades anteriores deben ser consideradas, el resultado de este trabajo provee al tomador de decisiones de un muy buen panorama del potencial agroecológico de una determinada región. Además, es importante mencionar que en este caso sólo se seleccionaron una veintena de las 2500 especies vegetales que pueden ser simuladas con este modelo, por lo tanto, aún hay mucho trabajo por hacer en la búsqueda de nuevas alternativas productivas.

## CONCLUSIONES

El modelo utilizado en el presente probó su valía para la estimación tanto para la distribución potencial de las especies vegetales como la aptitud de las tierras para cada una de ellas. Para las condiciones ambientales de la Provincia, el modelo utilizado tuvo un buen comportamiento y permitió crear mapas de correcta precisión dada la escala de estudio.

Es imperativo que la producción agrícola sea optimizada a través del uso de especies alternativas que actualmente se encuentran pobremente explotadas o subutilizadas. Las demandas crecientes de los productos agrícolas y la resultante presión que se genera sobre el ambiente, requieren un cambio de paradigma y la incorporación de la diversidad tanto en su dimensión temporal como espacial. Para que la utilización de cultivos alternativos sea posible, se requieren de políticas apropiadas que induzcan a la producción de los mismos. Sin ellas, la aplicación de tecnología en el sector agrícola y en el manejo de los recursos naturales no se traducirá en una mejora en la disponibilidad de alimentos, nutrición ni en la conservación de los recursos naturales. Para alcanzar la sustentabilidad, se debe enfocar el análisis no sólo en los requerimientos actuales de los productores y de la sociedad, sino también en las necesidades futuras.

En este contexto, la provincia de Córdoba al poseer una gran variabilidad tanto climática como edáfica, amplía las posibilidades de explorar los diferentes cultivos que pueden adaptarse a esta región del país. Es importante destacar, como se mencionó anteriormente, que este primer acercamiento es sólo de carácter exploratorio. Aún resta definir otras variables que definen el éxito de un cultivo. Las mismas, como la tecnología y manejo del cultivo, deben ser analizadas específicamente.

Los resultados de este estudio son muy promisorios y abren las puertas a una mayor profundización en la temática. No sólo en cuanto a la inclusión de nuevas especies sino también al refinamiento de los modelos de simulación para una mayor precisión en los resultados. También sería de mucho valor la inclusión de modelos climáticos para predecir como las áreas determinadas como aptas podrían potencialmente cambiar en el futuro. Este aspecto sería de principal interés para el sector público.

En definitiva, la aplicación de este modelo por primera vez en la Argentina introduce una nueva herramienta que puede ser de mucha utilidad para la planificación y el ordenamiento del territorio. Éstos son dos de los aspectos, entre otros tantos, que presentan un importante desafío

para el futuro y todas aquellas contribuciones que puedan ayudar en la toma de decisiones son muy importantes.

**Consideraciones:** El trabajo aquí presentado se realizó en el marco del PID-13/2009: Bases ambientales para el ordenamiento territorial del espacio rural de la provincia de Córdoba. Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba y Agencia de Promoción Científica y Tecnológica de la Nación y del Programa de investigación: Bases para el ordenamiento sostenible de tierras y aguas en el medio rural del sur de Córdoba, Argentina. Secretaría de Ciencia y Técnica – UNRC.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABIDEEN, Z., ANSARI, R., & KHAN, M. 2011. Halophytes: Potential source of ligno-cellulosic biomass for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*.
- ADELAKUN, O. E., & OYELADE, O. J. 2011. Chapter 19 - Potential Use of Okra Seed (*Abelmoschus esculentus* Moench). In *Flour for Food Fortification and Effects of Processing* (pp. 205–212). San Diego: Academic Press.
- ADLER, P. R., SANDERSON, M. A., BOATENG, A. A., WEIMER, P. J., & JUNG, H.-J. G. 2006. Biomass yield and biofuel quality of switchgrass harvested in fall or spring. *Agronomy Journal*, 98(6), 1518–1525.
- AFOAKWAH, N. A., DONG, Y., ZHAO, Y., XIONG, Z., OWUSU, J., WANG, Y., & ZHANG, J. 2015. Characterization of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) powder and its application in emulsion-type sausage. *Food Science and Technology*, 64(1), 74–81.
- AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE. 2006. *Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Los Suelos. Nivel de Reconocimiento 1:500.000*. Córdoba.
- AHAMED, N., SINGHAL, R., & KULKARNI, P. 1996. Studies on *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus paniculatus* starch as biodegradable fillers in LDPE films. *Carbohydrate Polymers*, 31(3), 157–160.
- AKINSHINA, N., TODERICH, K., & AZIZOV, A. 2014. Halophyte Biomass: A Promising Source of Renewable Energy. *沙漠研究= Journal of Arid Land ...*, 24, 215–219.
- AMICARELLI, V., & CAMAGGIO, G. 2012. Amaranthus: a crop to rediscover. In *Forum Ware International* (Vol. 2, pp. 4–11).
- ANNAPURNA, D., RAJKUMAR, M., & PRASAD, M. N. V. 2016. Chapter 8 - Potential of Castor Bean (*Ricinus Communis* L.) for Phytoremediation of Metalliferous Waste Assisted by Plant Growth-Promoting Bacteria: Possible Cogeneration of Economic Products. In *Bioremediation and Bioeconomy* (pp. 149–175). Elsevier.
- ARENDT, E. K., & ZANNINI, E. 2013. Teff - Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 351–369). Woodhead Publishing.
- ASADI-SAMANI, M., BAHMANI, M., & RAFIEIAN-KOPAEI, M. 2014. The chemical composition, botanical characteristic and biological activities of *Borago officinalis*: a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7, Supplem, S22–S28.

- ASHOUR, N. I., SERAG, M. S., ABD EL-HALEEM, A. K., & MEKKI, B. B. 1997. Forage production from three grass species under saline irrigation in Egypt. *Journal of Arid Environments*, 37(2), 299–307.
- AUSTIN, M. P. 1980. Searching for a model for use in vegetation analysis. *Vegetatio*, 42(1-3), 11–21.
- AUSTIN, M. P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157(2-3), 101–118.
- AUSTIN, M. P. 2007. Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1–2), 1–19.
- AUSTIN, M. P., & SMITH, T. M. 1990. A new model for the continuum concept. In G. Grabherr, L. Mucina, M. B. Dale, & C. J. F. Braak (Eds.), *Progress in theoretical vegetation science SE - 4* (Vol. 11, pp. 35–47). Springer Netherlands.
- BACH, V., CLAUSEN, M. R., & EDELENBOS, M. 2015. Chapter 12 - Production of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and Impact on Inulin and Phenolic Compounds. In *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 97–102). San Diego: Academic Press.
- BARTHET, V. J. 2016. *Encyclopedia of Food Grains*. *Encyclopedia of Food Grains*. Elsevier.
- BAUDDH, K., SINGH, K., SINGH, B., & SINGH, R. P. 2015. Ricinus communis: A robust plant for bio-energy and phytoremediation of toxic metals from contaminated soil. *Ecological Engineering*, 84, 640–652.
- BEETLE, A., FORECK, E., & LUQUE, C. 1987. *Las gramíneas de México. Volumen II. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos*.
- BEN SALEM, H., ABDOULI, H., NEFZAOUI, A., EL-MASTOURI, A., & SALEM, L. BEN. 2005. Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) and supplemented or not with barley grains or spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. *Small Ruminant Research*, 59(2-3), 229–237.
- BERGLUND, D. R., JANICK, J., & WHIPKEY, A. 2002. Flax: new uses and demands. In *Trends in new crops and new uses. Proceedings of the Fifth National Symposium, Atlanta, Georgia, USA, 10-13 November, 2001*. (pp. 358–360). ASHS Press.
- BERMEJO, J. E. H., & LEÓN, J. 1994. *Neglected crops: 1492 from a different perspective*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- BERTI, M., WILCKENS, R., FISCHER, S., & ARAOS, R. 2002. Borage: A new crop for Southern Chile. In *Trends in new crops and new uses: Strength in diversity*. (pp. 501–505). Alexandria, Virginia, USA: ASHS Press.
- BHARGAVA, A., & SRIVASTAVA, S. 2013. *Quinoa: botany, production and uses*. CABI.
- BISSET, W., & SILLAR, D. 1984. Angleton grass (*Dichanthium aristatum*) in Queensland. *Tropical Grasslands*.
- BORLAUG, N., BALDWIN, A. R., ESTEFAN, R., HARRIS, M., & PLUCKNETT, D. L. 1985. Jojoba: new crop for arid lands. New raw material for industry. *National Academy Press, Washington DC*, 6, 13.
- BOSMA, R., ROTHHAERT, R., & ASIS, P. 2003. *Economic and social benefits of new forage technologies in Mindanao, Philippines and Tuyen Quang, Vietnam*. (CIAT, Ed.). CIAT.
- BOWEN, C. R., & S.E. HOLLINGER. 2002. Alternative Crops Web Site. En: <http://www.sws.uiuc.edu/data/altcrops> Consultado: 01/2/2016
- BOYCE, M. S., VERNIER, P. R., NIELSEN, S. E., & SCHMIEGELOW, F. K. A. 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*, 157(2-3), 281–300.
- BRIGHAM, R. D. 1993. Castor: Return of an old crop. *New Crops, Wiley, New York*, 380–383.
- BRYSON, C., & CARTER, R. 1993. Cogongrass, *Imperata cylindrica*, in the United States. *Weed Technology*, 7(4), 1005 – 1009.
- BULTOSA, G. 2016. Teff: Overview. In J. B. T.-E. of F. G. (Second E. Faubion (Ed.), *Encyclopedia of Food Grains* (Segunda ed, pp. 209–220). Oxford: Academic Press.
- BUSBY, J. 1991. BIOCLIM-a bioclimate analysis and prediction system. *Plant Protection Quarterly (Australia)*.
- BYRT, C. S., GROF, C. P. L., & FURBANK, R. T. 2011. C4 plants as biofuel feedstocks: optimising biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53(2), 120–35.
- CALDERÓN, F. J., VIGIL, M. F., NIELSEN, D. C., BENJAMIN, J. G., & POSS, D. J. 2012. Water use and yields of no-till managed dryland grasspea and yellow pea under different planting configurations. *Field Crops Research*, 125, 179–185.
- CAMPBELL, C. G. 1997. *Grass pea, Lathyrus sativus L.* (Vol. 18). Bioversity International.
- CAMPBELL, K. G. 1997. Spelt: agronomy, genetics, and breeding. *Plant Breeding Reviews*, 15,



187–214.

- CEBALLOS-SILVA, A., & LÓPEZ-BLANCO, J. 2003. Delineation of suitable areas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*, 77(2), 117–136.
- CHASE, J., & LEIBOLD, M. 2003. *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches*. Vasa.
- CHEN, F., LONG, X., YU, M., LIU, Z., LIU, L., & SHAO, H. 2013. Phenolics and antifungal activities analysis in industrial crop Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves. *Industrial Crops and Products*, 47, 339–345.
- CHIKOYE, D., MANYONG, V. M., & EKELEME, F. 2000. Characteristics of speargrass (*Imperata cylindrica*) dominated fields in West Africa: crops, soil properties, farmer perceptions and management strategies. *Crop Protection*, 19(7), 481–487.
- CHOUGUI, N., DJERROUD, N., NARAOU, F., HADJAL, S., ALIANE, K., ZEROUAL, B., & LARBAT, R. 2015. Physicochemical properties and storage stability of margarine containing *Opuntia ficus-indica* peel extract as antioxidant. *Food Chemistry*, 173, 382–390.
- CHOUKR-ALLAH, R., MALCOLM, C., & HAMDY, A. 1995. *Halophytes and biosaline agriculture*. Marcel Dekker Inc.
- CHUFO, A., YUAN, H., ZOU, D., PANG, Y., & LI, X. 2015. Biomethane production and physicochemical characterization of anaerobically digested teff (*Eragrostis tef*) straw pretreated by sodium hydroxide. *Bioresource Technology*, 181, 214–219.
- CLAYTON, W. D., VORONTSOVA, M. S., HARMAN, K. T., & WILLIAMSON, H. 2006. GrassBase - The Online World Grass Flora. En: <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>. Consultado: 14/2/2016
- COSGROVE, D. R., OELKE, D. A., DOLL, J. D., DAVIS, D. W., UNDERSANDER, D. J., & OPLINGER, E. S. 1991. Jerusalem artichoke. In *Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin Press, Wisconsin.
- COTA-SÁNCHEZ, J. H. 2016. Chapter 28 - Nutritional Composition of the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*). In *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 691–712). San Diego: Academic Press. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00028-3>
- DAJUE, L., & MÜNDEL, H.-H. 1996. *Safflower, Carthamus Tinctorius L.* (Vol. 7). Bioversity International.

- DAWODU, F. A., AYODELE, O. O., & BOLANLE-OJO, T. 2014. Biodiesel production from *Sesamum indicum* L. seed oil: An optimization study. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23(2), 191–199.
- DE CANDOLLE, A. P., & DE CANDOLLE, A. 1844. *Théorie élémentaire de la botanique: ou, Exposition des principes de la classification naturelle et de l'art de décrire et d'étudier les végétaux*. Roret.
- DE FINA, A. L. 1966. *Difusión geográfica de cultivos índices en la provincia de Córdoba y sus causas* (Publicació). Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Instituto de Suelos y Agrotecnia.
- DE LA FUENTE, E. B., GIL, A., GIMENEZ, P. I., KANTOLIC, A. G., LOPEZ PEREIRA, M., VILARIÑO, P., & WINDAUER, L. B. 2006. *Cultivos industriales*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- DE SOUZA, E. R., FREIRE, M. B. G. DOS S., DE MELO, D. V. M., & MONTENEGRO, A. DE A. A. 2014. Management of *Atriplex nummularia* Lindl. in a salt affected soil in a semi arid region of Brazil. *International Journal of Phytoremediation*, 16(1), 73–85.
- DUKE, J. 2012. *Handbook of legumes of world economic importance*. Springer Science & Business Media.
- DUKE, J. A. 1983. *Handbook of energy crops*. Unpublished.
- DUNFORD, N. T. 2012. *Food and industrial bioproducts and bioprocessing*. John Wiley & Sons.
- EL BASSAM, N. 2010. *Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications*. Routledge.
- ELIASSON, Å., JONES, R. J. A., NACHTERGAELE, F., ROSSITER, D. G., TERRES, J.-M., VAN ORSHOVEN, J., ... LE BAS, C. 2010. Common criteria for the redefinition of Intermediate Less Favoured Areas in the European Union. *Environmental Science & Policy*, 13(8), 766–777.
- ELLEUCH, M., BEDIGIAN, D., & ZITOUN, A. 2011. Chapter 122 - Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seeds in Food, Nutrition, and Health. In *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp. 1029–1036). San Diego: Academic Press.
- EL-MOSTAFA, K., EL KHARRASSI, Y., BADREDDINE, A., ANDREOLETTI, P., VAMECQ, J., & CHERKAOU-MALKI, M. 2014. Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive

- compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, 19(9), 14879–14901.
- ESRI, E., & REDLANDS, C. A. 2006. ArcGIS. Environmental Scientific Research Institute Redlands.
- FALVEY, J. 1981. Imperata cylindrica and animal production in south-east Asia: A review. *Journal of Experimental Agriculture*, 15(1), 52–56.
- FAO. 2003. Ecocrop 1: the crop environmental requirements database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2004. ECOCROP 1 & 2 - The crop environmental requirements database and The crop environment response database.
- FERN, K. 1997. Plants for a future. *Edible & Useful Plants for a Healthier World. Perm. Publ.*
- FERNÁNDEZ, J., CURT, M. D., & AGUADO, P. L. 2006. Industrial applications of Cynara cardunculus L. for energy and other uses. *Industrial Crops and Products*, 24(3), 222–229.
- FLORABANK. (n.d.). Atriplex nummularia. , En:  
[http://www.florabank.org.au/lucid/key/speciesnavigator/media/html/Atriplex\\_nummularia.htm](http://www.florabank.org.au/lucid/key/speciesnavigator/media/html/Atriplex_nummularia.htm). Consultado: 20/02/2016
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2016. FAOSTAT database. En: <http://faostat.fao.org/site/362/>. Consultado: 2/2/2016
- FOSTER, K. E., KARPISCAK, M. M., TAYLOR, J. G., & WRIGHT, N. 1983. Guayule, jojoba, buffalo gourd and Russian thistle: plant characteristics, products and commercialization potential. *Desert Plants*.
- FOULK, J., & AKIN, D. 2002. *Flax fiber: potential for a new crop in the Southeast. Trends in new crops and new uses*. ASHS Press. En:  
<https://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/pdf/foulk.pdf> En: 15/01/2016
- FOWLER, C., & MOONEY, P. R. 1990. *Shattering: Food, Politics, and the Loss of Genetic Diversity*. University of Arizona Press.
- FRANKLIN, J. 1995. Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*, 19(4), 474–499.
- FRANKLIN, J. 2009. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press.
- FRENCH, R. J. 2016. Lupin: Agronomy. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier.

- GALWEY, N. W. 1992. The potential of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products*, 1(2), 101–106.
- GARDNER, F. P., PEARCE, R. B., & MITCHELL, R. L. 1985. Carbon fixation by crop canopies. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press, 31–57.
- GASTON, K. J. 2003. *The Structure and Dynamics of Geographic Ranges*. Oxford University Press.
- GAUCH JR, H. G., & WHITTAKER, R. H. 1972. Coenocline simulation. *Ecology*, 446–451.
- GEBREMARIAM, M. M., ZARNKOW, M., & BECKER, T. 2014. Teff (*Eragrostis tef*) as a raw material for malting, brewing and manufacturing of gluten-free foods and beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 2881–2895.
- GENTRY, H. S. 1958. The Natural History of Jojoba (*Simmondsia chinensis*) and Its Cultural Aspects. *Economic Botany*, 12(3), 261–295.
- GEORGE, B. H., & NICHOLAS, I. D. 2012. *Developing Options for Integrated Food-Energy Systems. Volume I: Rationale for industry development, species criteria and selection*. IEA Bioenergy.
- GEYTER, E. DE, LAMBERT, E., GEELEN, D., & SMAGGHE, G. 2007. Novel advances with plant saponins as natural insecticides to control pest insects. *Pest Technol*, 1(2), 96–105.
- GLEASON, H. A. 1926. The Individualistic Concept of the Plant Association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 53(1), 7–26.
- GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C. A., OLIVARES, A. R., CARRILLO-GONZÁLEZ, R., & LEAL, E. R. 2015. Crude oil and bioproducts of castor bean (*Ricinus communis* L.) plants established naturally on metal mine tailings. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(7), 2263–2272.
- GRAY, A. 1884. *Parthenium argentatum*. *Synoptical Flora of North America*, 1(2), 40 – 44.
- GRINNELL, J. 1917. The Niche-Relationships of the California Thrasher. *The Auk*, 34(4), 427–433.
- GUISAN, A., & ZIMMERMANN, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147–186.
- GUNNARSSON, I. B., SVENSSON, S.-E., JOHANSSON, E., KARAKASHEV, D., & ANGELIDAKI, I. 2014. Potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a biorefinery crop. *Industrial Crops and Products*, 56, 231–240.

- GUO, Q., & LIU, Y. 2010. ModEco: an integrated software package for ecological niche modeling. *Ecography*, 33(4), 637–642.
- HALL, C. 2016. *Encyclopedia of Food Grains*. *Encyclopedia of Food Grains*. Elsevier.
- HALL, L. M., BOOKER, H., SILOTO, R. M. P., & JHALA, A. J. 2016. *Industrial Oil Crops*. *Industrial Oil Crops*. Elsevier.
- HAQUE, M., & BARMAN, D. 2015. Cogon grass (*Imperata cylindrica*), a potential biomass candidate for bioethanol: cell wall structural changes enhancing hydrolysis in a mild alkali pretreatment regime. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1790–1797.
- HARDMAN, L. L., OPLINGER, E. S., DOLL, J. D., & COMBS, S. M. 1989. Adzuki bean. In *Alternative field crops Manual*:
- HARLAN, J. R. 1975. *Crops and man*. American Society of Agronomy.
- HARRISON, H. C., PARKE, J. L., OELKE, E. A., KAMINSKI, A. R., HUDELSON, B. D., MARTIN, L. J., & KELLING, K. A. 2000. Ginseng. In *Alternative field crops manual*.
- HASANUZZAMAN, M., & NAHAR, K. 2014. Potential use of halophytes to remediate saline soils. *BioMed Research International*.
- HEALTH SYSTEM. 2015. American Ginseng. En:  
<https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjD4tk7ebLAhWEkZAKHd20BM8QFgg3MAA&url=http%3A%2F%2Fwww.uofmhealth.org%2Fhealth-library%2Fhn-2097009&usg=AFQjCNFfPHJ4dDyrEMPqe4kig7bQhPLDGg&bvm=bv.117868183,d.Y2I>  
 Consultado: 20/2/2016.
- HEYWOOD, V. H. 1999. Conservation of germplasm of wild species. *Conservation of Biodiversity for Sustainable Development*. *Scandinavian University Press, Oslo*, 189–203.
- HIGGINS, G. M., & KASSAM, A. H. 1981. The FAO agro-ecological zone approach to determination of land potential. *Pedologie*, 31(2), 147–168.
- HIJMANS, R. J., CAMERON, S. E., PARRA, J. L., JONES, P. G., & JARVIS, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978.
- HIJMANS, R. J., GUARINO, L., CRUZ, M., & ROJAS, E. 2001. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 15–19.

- HIRZEL, A. H., & LE LAY, G. 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*, 45(5), 1372–1381.
- HOLDRIDGE, L. R. 1947. Determination of World Plant Formations From Simple Climatic Data. *Science*, 105(2727), 367–368.
- HOOD, A., CECHE, B., HOSSAIN, H., & SHEFFIELD, K. 2006. Options for Victorian agriculture in a “new” climate: Pilot study linking climate change and land suitability modelling. *Environmental Modelling & Software*, 21(9), 1280–1289.
- HUSTON, M. A. 2002. Introductory essay: critical issues for improving predictions. In M. L. et al. Scott, J. M., Heglund, P. J., Morrison (Ed.), *Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale* (pp. 7–21). Covelo, CA: Island Press.
- HUTCHINSON, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22(2), 415 – 427.
- IJAZ, M., BAHTTI, K. H., ANWAR, Z., DOGAR, U. F., & IRSHAD, M. 2016. Production, optimization and quality assessment of biodiesel from *Ricinus communis* L. oil. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*.
- INTA. 1990. *Atlas de Suelos de la República Argentina* (2 volúmenes). Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. En: <http://geointa.inta.gov.ar>
- JANICK, J., SIMON, J. E., QUINN, J., & BEAUBAIRE, N. 1989. Borage: A source of gamma linolenic acid. Craker, L. E., Simon, J. E. Ed (S). *Herbs, Spices, and Medicinal Plants: Recent Advances in Botany, Horticulture, and Pharmacology*, 4, 145–168.
- JARVIS, A., LANE, A., & HIJMANS, R. J. 2008. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1–2), 13–23.
- JHALA, A., & HALL, L. 2010. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(9), 4304–4312.
- JIANG, Y., LEI, M., DUAN, L., & LONGHURST, P. 2015. Integrating phytoremediation with biomass valorisation and critical element recovery: A UK contaminated land perspective. *Biomass and Bioenergy*, 83, 328–339.
- JIANG, Y., ZENG, K.-W., DAVID, B., & MASSIOT, G. 2014. Constituents of *Vigna angularis* and their in vitro anti-inflammatory activity. *Phytochemistry*, 107, 111–118.
- JING-SONG, S., GUANG-SHENG, Z., & XING-HUA, S. 2012. Climatic suitability of the distribution of the winter wheat cultivation zone in China. *European Journal of Agronomy*, 43(0), 77–

- KAMARODDIN, M., & NYAKUMA, B. 2013. Characterization of the fuel properties of *Imperata cylindrica* grass for thermal applications. In *4th IGCESH*.
- KHOURY, C. K., BJORKMAN, A. D., DEMPEWOLF, H., RAMIREZ-VILLEGAS, J., GUARINO, L., JARVIS, A., ... STRUIK, P. C. 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(11), 4001–4006.
- KIM, S., & KIM, C. H. 2014. Evaluation of whole Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for consolidated bioprocessing ethanol production. *Renewable Energy*, *65*, 83–91.
- KIRCH, B. H., MOSER, L. E., WALLER, S. S., KLOPFENSTEIN, T. J., AIKEN, G. E., & STRICKLAND, J. R. 2007. Selection and Dietary Quality of Beef Cattle Grazing Smooth Bromegrass, Switchgrass, and Big Bluestem1. *The Professional Animal Scientist*, *23*(6), 672–680.
- KLINGEBIEL, A. 1961. Land-capability classification. En: [http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ORTON.xis&B1=Buscar&formato=1&cantidad=50&expresion=KLINGEBIEL, A.A](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ORTON.xis&B1=Buscar&formato=1&cantidad=50&expresion=KLINGEBIEL,A.A). Consultado: 26/02/2016
- KONG, X., BAO, J., & CORKE, H. 2009. Physical properties of Amaranthus starch. *Food Chemistry*, *113*(2), 371–376.
- KÖPPEN, W. P. 1923. *Die Klimate der Erde, Grundriss der Klimakunde ...* Berlin; Leipzig: Walter de Gruyter & Co.
- KUNKEL, G. 1984. *Plants for human consumption; an annotated checklist of the edible phanerogams and ferns*. Koenigstein (Germany, F.R.): Koeltz Scientific Books.
- LADERACH, P., & EITZINGER, A. 2013. Ecocrop suitability modeling Data Analysis. In *Data Analysis Workshop and Adaptation Strategy Development* (p. 20).
- LAMBERS, H., CHAPIN, F. S., & PONS, T. L. 2008. *Plant Physiological Ecology*. Springer.
- LARBI, A., HASSAN, S., KATTASH, G., ABD EL-MONEIM, A. M., JAMMAL, B., NABIL, H., & NAKKUL, H. 2010. Annual feed legume yield and quality in dryland environments in north-west Syria: 2. Grain and straw yield and straw quality. *Animal Feed Science and Technology*, *160*(3–4), 90–97.
- LARIBI, B., KOUKI, K., M'HAMDI, M., & BETTAIEB, T. 2015. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. *Fitoterapia*, *103*, 9–26.
- LATIF, F., IBRAHIM RAJOKA, M., & MALIK, K. A. 1994. Saccharification of *Leptochloa fusca*

- (kallar grass straw) using thermostable cellulases. *Bioresource Technology*, 50(2), 107–111.
- LENIHAN, J. M. 1993. Ecological response surfaces for North American boreal tree species and their use in forest classification. *Journal of Vegetation Science*, 4(5), 667–680.
- LIN, Y., & LEE, W. 2011. Simultaneous saccharification and fermentation of alkali-pretreated cogongrass for bioethanol production. *BioResources*.
- LUAYZA, G., BREVEDAN, R., & PALOMO, R. 1996. *Coriander under irrigation in Argentina*. (C.-CONICET, Ed.). ASHS Press.
- LUMPKIN, T. A., KONOVSKY, J. C., LARSON, K. J., & MCCLARY, D. C. 1993. Potential new specialty crops from Asia: Azuki bean, edamame soybean, and astragalus. *New Crops*. Wiley, New York, 45–51.
- LUO, J., CAI, W., WU, T., & XU, B. 2016. Phytochemical distribution in hull and cotyledon of adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.), and their contribution to antioxidant, anti-inflammatory and anti-diabetic activities. *Food Chemistry*, 201, 350–360.
- MACKEY, B. G. 1994. Predicting the potential distribution of rain-forset structural characteristics. *Journal of Vegetation Science*, 5(1), 43–54.
- MAGNESS, J. R., MARKLE, G. M., & COMPTON, C. C. 1971. Food and feed crops of the United States. Interregional Research Project IR-4, IR Bul. 1 (Bul. 828 New Jersey Agr. Expt. Sta.).
- MANDAL, S., & MANDAL, M. 2015. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(6), 421–428.
- MANLY, B. F. J., McDONALD, L., THOMAS, D. L., & ERICKSON, W. 2002. *Resource Selection by Animals: Statistical Design and Analysis for Field Studies*. New York: Kluwer Press.
- MCKEON, T. A. 2016. Chapter 4 - Castor (*Ricinus communis* L.). In *Industrial Oil Crops* (pp. 75–112). AOCS Press.
- MCLAUGHLIN, S. B., & KSZOS, L. A. 2005. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 28(6), 515–535.
- MENDHAM, N. J., & ROBERTSON, M. J. 2016. *Encyclopedia of Food Grains*. *Encyclopedia of Food Grains*. Elsevier.
- MENESES, R., VARELA, G., & FLORES, H. 2012. Evaluating the use of *Atriplex nummularia* Hay



- on Feed Intake, Growth, and Carcass Characteristics of Creole Kids. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(1), 74–79.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA DE CÓRDOBA. 2014. Resultados campaña agrícola 2012 - 2013. DIRECCIÓN GENERAL DE COORDINACIÓN DE AGENCIAS ZONALES. Unidad Ministerial de Sistema Integrado de Información Agropecuaria.
- MLAKAR, S. G., TURINEK, M., JAKOP, M., BAVEC, M., & BAVEC, F. 2009. Nutrition value and use of grain amaranth: potential future application in bread making. *Agricultura*, 6(4).
- MORALES-SALINAS, L., ACEVEDO, E., CASTELLARO, G., ROMÁN-OSORIO, L., MORALES-INOSTROZA, J., & ALONSO, F. 2015. A simple method for estimating suitable territory for bioenergy species in Chile. *Ciencia E Investigación Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de La Agricultura*, 42(2), 227–242.
- MORRIS, J. B. 2002. Food, industrial, nutraceutical, and pharmaceutical uses of sesame genetic resources. *Trends in New Crops and New Uses*, 153–156.
- MUÑOZ-INSA, A., SELCIANO, H., ZARNKOW, M., BECKER, T., & GASTL, M. 2013. Malting process optimization of spelt (*Triticum spelta* L.) for the brewing process. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 99–109.
- MYERS, R. L. 1996. Amaranth: New crop opportunity. *Progress in New Crops*. ASHS Press, Alexandria, VA, 207–220.
- NAGARAJAN, V., MISRA, M., & MOHANTY, A. K. 2013. New engineered biocomposites from poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)(PHBV)/poly (butylene adipate-co-terephthalate)(PBAT) blends and switchgrass: Fabrication and performance evaluation. *Industrial Crops and Products*, 42, 461–468.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2006. *Lost Crops of Africa. Volume II*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- NHARINGO, T., & MOYO, M. 2016. Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. *Journal of Environmental Management*, 166, 55–72.
- NOBEL, P. S. 2002. *Cacti: biology and uses*. University of California Press.
- NOWAK, V., DU, J., & RUTH CHARRONDIÈRE, U. 2015. Assessment of the Nutritional Composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47–54.
- OELKE, E. A., OPLINGER, E. S., PUTNAM, D. H., DURGAN, B. R., DOLL, J. D., & MILLETS, D. J. U. 1992. Alternative field crops manual. *University of Wisconsin Cooperative Extension*

*Service, University of Minnesota Extension Service, Centre for Alternative Plant and Animal Products.*

- OELKE, E. A., PUTNAM, D. H., TEYNOR, T. M., & OPLINGER, E. S. 1992. Quinoa. In *Alternative field crops manual* (Vol. 8, p. 2014).
- OGLE, B. M., & GRIVETTI, L. E. 1985. Legacy of the chameleon: Edible wild plants in the Kingdom of Swaziland, Southern Africa. A cultural, ecological, nutritional study. Part II - demographics, species availability and dietary use, analysis by ecological zone. *Ecology of Food and Nutrition*, 17(1), 1–30.
- OPLINGER, E. S., OELKE, E. A., DOLL, J. D., BUNDY, L. G., & SCHULER, R. T. 1989. Flax. In *Alternative field crops Manual*:
- OPLINGER, E. S., OELKE, E. A., KAMINSKI, A. R., COMBS, S. M., DOLL, J. D., & SCHULER, R. T. 1990. Castor Beans. In *Aternative field crops Manual* (pp. 93–97).
- OPLINGER, E. S., PUTNAM, D. H., KAMINSKI, A. R., HANSON, C. V., OELKE, E. A., SCHULTE, E. E., & DOLL, J. D. 1990. Sesame. In *Aternative field crops manual*.
- ORTEGA-HUERTA, M. A., & PETERSON, A. T. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79(1), 205–216.
- ORWA, C., MUTUA, A., KINDT, R., JAMNADASS, R., & ANTHONY, S. 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0.
- OTSAMO, A., ÅDJERS, G., HADI, T. S., KUUSIPALO, J., TUOMELA, K., & VUOKKO, R. 1995. Effect of site preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. dominated grasslands. *Forest Ecology and Management*, 73(1-3), 271–277.
- OWSLEY, M. 2011. *Plant fact sheet for Big Bluestem (Andropogon gerardii Vitman)*. (Jimmy Carter Plant Materials Center, Ed.). Jimmy Carter PMC Americus, Georgia: USDA-Natural Resources Conservation Service.
- PADULOSI, S., HODGKIN, T., WILLIAMS, J. T., HAQ, N., ENGLER, J. M. M., RAO, V. R., ... JACKSON, M. T. 2002. *30 Underutilized Crops: Trends, Challenges and Opportunities in the 21st Century*. CABI New York, USA.
- PAN, L., SINDEN, M. R., KENNEDY, A. H., CHAI, H., WATSON, L. E., GRAHAM, T. L., & KINGHORN, A. D. 2009. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem

- artichoke). *Phytochemistry Letters*, 2(1), 15–18.
- PANDEY, J. K., NAGARAJAN, V., MOHANTY, A. K., & MISRA, M. 2015. Commercial potential and competitiveness of natural fiber composites. In *Biocomposites* (pp. 1–15). Woodhead Publishing.
- PANDEY, V. C. 2013. Suitability of *Ricinus communis* L. cultivation for phytoremediation of fly ash disposal sites. *Ecological Engineering*, 57, 336–341.
- PARODA, R. S., & MAL, B. 1989. New plant sources for food and industry in India. *New Crops for Food and Industry* (GE Wickens, N. Haq and P. Day, Eds.). Chapman and Hall, London, 135–149.
- PETERSON, A. T., SOBERÓN, J., PEARSON, R. G., ANDERSON, R. P., MARTÍNEZ-MEYER, E., NAKAMURA, M., & ARAÚJO, M. B. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions* (MPB-49). Princeton University Press.
- PHILLIPS, S. J. 2006. A brief tutorial on Maxent. AT&T Research.
- PIESZAK, M., MIKOLAJCZAK, P. L., & MANIKOWSKA, K. 2012. Borage (*Borago officinalis* L.)-a valuable medicinal plant used in herbal medicine. *Herba Polonica*, 58(4).
- PLANTNET. (n.d.). *Atriplex nummularia*. En: <http://plantnet.rbg Syd.nsw.gov.au/cgi-bin/NSWfl.pl?page=nswfl&lvl=sp&name=Atriplex~nummularia> Consultado: 10/3/2016
- POLHAMUS, L. G. 1962. Rubber, botany cultivation and utilization. London: Leonard Hill.
- PORENSKY, L. M., DAVISON, J., LEGER, E. A., MILLER, W. W., GOERGEN, E. M., ESPELAND, E. K., & CARROLL-MOORE, E. M. 2014. Grasses for biofuels: A low water-use alternative for cold desert agriculture? *Biomass and Bioenergy*, 66, 133–142.
- PORTER, E., & PETERSON, P. 1975. Arsenic accumulation by plants on mine waste (United Kingdom). *Science of the Total Environment*.
- PREMJET, S., PUMIRA, B., & PREMJET, D. 2012. Determining the potential of inedible weed biomass for bio-energy and ethanol production. *BioResources*.
- PUTNAM, D. H., OPLINGER, E. S., HARDMAN, L. L., & DOLL, J. D. 1989. Lupine. *Cooperative Extension. University of Wisconsin Extension, Madison, WI, USA*.
- QADIR, M., QURESHI, R. H., & AHMAD, N. 1996. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma*, 74(3-4), 207–217.
- QUINN, L., STRAKER, K., GUO, J., & KIM, S. 2015. Stress-tolerant feedstocks for sustainable

bioenergy production on marginal land. *BioEnergy* ....

- RACCUIA, S. A., & MELILLI, M. G. 2007. Biomass and grain oil yields in *Cynara cardunculus* L. genotypes grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 101(2), 187–197.
- RAMESH, M. 2016. Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) fibre based bio-materials: A review on processing and properties. *Progress in Materials Science*, 78, 1–92.
- RAMIREZ-VILLEGAS, J., JARVIS, A., & LÄDERACH, P. 2013. Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170(0), 67–78.
- RAO, V. R., BROWN, A. H. D., & JACKSON, M. 2001. *Managing Plant Genetic Diversity*. CABI.
- RASUTIS, D., SORATANA, K., MCMAHAN, C., & LANDIS, A. E. 2015. A sustainability review of domestic rubber from the guayule plant. *Industrial Crops and Products*, 70, 383–394.
- RAY, D. K., GERBER, J. S., MACDONALD, G. K., & WEST, P. C. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6.
- RAZON, L. 2009. Alternative crops for biodiesel feedstock. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4(056).
- REIJNDERS, L., & HUIJBREGTS, M. 2008. *Biofuels for road transport: a seed to wheel perspective*. (Springer, Ed.). Springer Science & Business Media.
- RIPLEY, B. D. 2001. The R project in statistical computing. *MSOR Connections. The Newsletter of the LTSN Maths, Stats & OR Network*, 1(1), 23–25.
- RISCHKOWSKY, B., & PILLING, D. 2007. *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- ROTENBERRY, J. T., PRESTON, K. L., & KNICK, S. T. 2006. GIS-based niche modeling for mapping species' habitat. *Ecology*, 87(6), 1458–64.
- SANDERSON, M. A., REED, R. L., MCLAUGHLIN, S. B., WULLSCHLEGER, S. D., CONGER, B. V., PARRISH, D. J., ... TISCHLER, C. R. 1996. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology*, 56(1), 83–93.
- SANTA CRUZ, R. H. 2001. El *Atriplex nummularia* en un ambiente árido de Catamarca. *Revista Ciencia Y Técnica. Universidad Nacional de Catamarca*, 7(10), 13 – 20.
- SATORRE, E. H., BENECH ARNOLD, R. L., SLAFER, G. A., DE LA FUENTE, E. B., MIRALLES, D. J., OTEGUI, M. E., & SAVIN, R. 2004. *Producción de granos. Bases funcionales para su*

- manejo*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- SAYDUT, A., DUZ, M. Z., KAYA, C., KAFADAR, A. B., & HAMAMCI, C. 2008. Transesterified sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil as a biodiesel fuel. *Bioresource Technology*, 99(14), 6656–6660.
- SCHLICK, G., & BUBENHEIM, D. 1993. Quinoa: An emerging new crop with potential for CELSS. En: <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19940015664> Consultado: 15/2/2016
- SCHLICK, G., & BUBENHEIM, D. 1996. Quinoa: candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. In *Progress in new crops*.
- SCHNEID, C. K. 1907. *Simmondsia chinensis*. *Illustriertes Handbuch Der Laubholzkunde*, 2(141), 77 – 82.
- SHAHID, S., ABDELFAHATTAH, M., & TAHA, F. 2013. Developments in soil salinity assessment and reclamation: innovative thinking and use of marginal soil and water resources in irrigated agriculture. *International Journal of Biometeorology*, 58(7), 1433 – 1441.
- SHRESTHA, D. P., SURIYAPRASIT, M., & PRACHANSRI, S. 2014. Assessing soil erosion in inaccessible mountainous areas in the tropics: The use of land cover and topographic parameters in a case study in Thailand. *CATENA*, 121, 40–52.
- SIMMONDS, M. (n.d.). *Panax quinquefolius* (American ginseng). En: <http://www.kew.org/science-conservation/plants-fungi/panax-quinquefolius-american-ginseng> Consultado: 15/01/2016
- SINGH, V., & NIMBKAR, N. 2006. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Chapter, 6*, 167–194.
- SMALL, E. 1999. New crops for Canadian agriculture. *Perspectives on New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA. USA, 15–52.
- SMITH, L. L., ALLEN, D. J., & BARNEY, J. N. 2015. Yield potential and stand establishment for 20 candidate bioenergy feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, 73, 145–154.
- SRINIVASABABU, N., KUMAR, J. S., & REDDY, K. V. K. 2014. *Imperata cylindrica* / Sacred Grass Long Fibre Reinforced Polyester Composites – An Experimental Determination of Properties. *Applied Mechanics and Materials*, 612, 131–137.
- STALLKNECHT, G. F. 1997. New Crop FactSHEET: Teff.
- STALLKNECHT, G. F., GILBERTSON, K. M., & ECKHOFF, J. L. 1993. Teff: Food crop for humans and animals. *New Crops*. Wiley, New York, 5, 231–234.

- STOCKWELL, D. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(2), 143–158.
- TACHIKAWA, T., HATO, M., KAKU, M., & IWASAKI, A. 2011. Characteristics of ASTER GDEM version 2. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International* (pp. 3657–3660). IEEE.
- TAWFIK, M. M., HAGGAG, W. M., & MIRVAT, E. 2015. Determination of nutritional value and lignocellulosic biomass of six halophytic plants grown under saline irrigation in South Sinai. *International Journal of ChemTech Research*, 8(9), 37 – 42.
- THULASIMANI, C., RAMESH, S., RAMESH, K., & SALMAH, H. 2015. Fabrication and characterization of natural rubber/ *Imperata cylindrica* cellulose fiber biocomposites. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 10(5), 716–723. <http://doi.org/10.1002/apj.1908>
- TILMAN, D. 1982. Resource competition and community structure. *Monographs in Population Biology*, 17, 1–296.
- UNDERSANDER, D. J., PUTNAM, D. H., KAMINSKI, A. R., KELLING, K. A., DOLL, J. D., OPLINGER, E. S., & GUNSOLUS, J. L. 1991. Guar. In *Alternative field crops Manual*.
- VIETMEYER, N. 1990. The new crops era. In J. Janick, J. and Simon (Ed.), *Advances in New Crops. Proceedings of the First National Symposium on New Crops: Research, Development, Economic*. Indianapolis, Indiana: Timber Press.
- VIGLASKY, J., ANDREJCAK, I., HUSKA, J., & SUCHOMEL, J. 2009. Amaranth (*Amarantus L.*) is a potential source of raw material for biofuels production. *Agronomy Research*, 7(2), 865–873.
- VOIGT, T., LEE, D., & KLING, G. 2013. Perennial herbaceous crops with potential for biofuel production in the temperate regions of the USA. *Plant Sciences Reviews 2012*.
- VON HUMBOLDT, A., & BONPLAND, A. 1807. *Essai sur la géographie des plantes*.
- VON MAYDELL, H. J. 1989. Criteria for the selection of food producing trees and shrubs in semi-arid regions. *New Crops for Food and Industry. Chapman and Hall, London*, 66–75.
- WANG, Y., CHOI, H.-K., BRINCKMANN, J. A., JIANG, X., & HUANG, L. 2015. Chemical analysis of *Panax quinquefolius* (North American ginseng): A review. *Journal of Chromatography A*, 1426, 1–15. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2015.11.012>
- WEBBER III, C. L., BHARDWAJ, H. L., & BLEDSOE, V. K. 2002. Kenaf production: fiber, feed,

- and seed. *Trends in New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, 327–339.
- WEIMER, P. J., & SPRINGER, T. L. 2007. Fermentability of eastern gamagrass, big bluestem and sand bluestem grown across a wide variety of environments. *Bioresource Technology*, 98(8), 1615–21. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.003>
- WENNERBERG, S. 2004. BIG BLUESTEM. *Andropogon gerardii* Vitman. Baton Rouge, Louisiana: USDA NRCS National Plant Data Center.
- WHITTAKER, R. H. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountains. *Ecological Monographs*, 26(1), 1. <http://doi.org/10.2307/1943577>
- WHITTAKER, R. H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30, 279–338.
- WHITTAKER, R. H. 1967. Gradient Analysis of vegetation. *Biological Reviews*, 42(2), 207–264. <http://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1967.tb01419.x>
- WOODWARD, F. I. 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press.
- WOODWARD, F. I., & WILLIAMS, B. G. 1987. Climate and plant distribution at global and local scales. *Vegetatio*, 69(1-3), 189–197. <http://doi.org/10.1007/BF00038700>
- YUAN, X., GAO, M., XIAO, H., TAN, C., & DU, Y. 2012. Free radical scavenging activities and bioactive substances of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves. *Food Chemistry*, 133(1), 10–14. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.071>
- ZEB, A. 2016. Chapter 40 - Coriander (*Coriandrum sativum*) Oils A2 - Preedy, Victor R. BT - Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety (pp. 359–364). San Diego: Academic Press. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00040-7>
- ZHANG, K., JOHNSON, L., VARA PRASAD, P. V., PEI, Z., & WANG, D. 2015. Big bluestem as a bioenergy crop: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 740–756. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.144>
- ZUCCA, C., PULIDO-FERNÁNDEZ, M., FAVA, F., DESSENA, L., & MULAS, M. 2013. Effects of restoration actions on soil and landscape functions: *Atriplex nummularia* L. plantations in Ouled Dlim (Central Morocco). *Soil and Tillage Research*, 133, 101–110.