



Zonificación Agroecológica para el cantón de Alvarado de Cartago

MEMORIA TÉCNICA

PROYECTO:

“Desarrollo de capacidades en técnicos y productores de la región central de Costa Rica en la implementación de una herramienta práctica para la zonificación agroecológica y escenarios para la adaptación al cambio climático”



Zonificación Agroecológica para el cantón de Alvarado de Cartago

MEMORIA TÉCNICA

PROYECTO:

“Desarrollo de capacidades en técnicos y productores de la región central de Costa Rica en la implementación de una herramienta práctica para la zonificación agroecológica y escenarios para la adaptación al cambio climático”

631.4
C837z Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en
Tecnología Agropecuaria
Zonificación agroecológica para el cantón de Alvarado de Cartago.
Memoria técnica / Compilado por Julio César Sánchez Campos. --
San José, C.R. : INTA, 2019.
148 páginas
ISBN 978-9968-586-35-1
1. ZONIFICACION. 2. AGROECOLOGIA. 3. ALVARADO
(CARTAGO). 3. COSTA RICA. I. Sánchez Campos, Julio César
(Compilador). II. Título.

Elaborado por:

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)

Equipo Técnico del INTA del Proyecto ZAE

Coordinador General del Proyecto ZAE

MSc. Albán Rosales Ibarra

Componente Edafoclimático

MSc. Eddison Araya

Ing. Víctor G. Corrales González

MSc. Renato Jiménez Zúñiga

MSc. Carlomagno Salazar Calvo

Ing. German Aguilar Vega

Componente de Transferencia de Tecnología

MSc. Laura Ramírez Cartín

Ing. Oscar Bonilla Arrazola

Revisado por:

MSc. Albán Rosales Ibarra. Coordinador Proyecto ZAE

MSc. Laura Ramírez Cartín. Equipo Proyecto ZAE

Ing. Gustavo Corrales González. Equipo Proyecto ZAE

Compilado por:

Ing. Julio César Sánchez Campos

Consultor para Proyecto ZAE

Editado por:

MSc. Laura Ramírez Cartín

Diagramado por:

Handerson Bolívar Restrepo - Jander Bore www.altdigital.co

Este documento se encuentra licenciado con Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Sin obra derivada 3.0 Costa Rica



(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>)

Contenido

Presentación.....	7
Lista de abreviaturas.....	8
Resumen ejecutivo	9
Introducción.....	11
1. Antecedentes.....	13
1.1. Cronología del proyecto.....	15
2. Marco Conceptual de la Zonificación Agroecológica.....	17
2.1. Tipo de uso de la tierra.....	19
2.2. Competitividad	19
2.3. Enfoque ecosistémico	20
2.4. Componente.....	21
2.5. Criterio.....	21
2.6. Variable	22
2.7. Aptitud de las tierras	23
3. Metodología.....	25
3.1. Enfoque del trabajo	25
3.2. Definición del área de estudio.....	26
3.3. Definición de variables, criterios y requerimientos de los rubros contemplados dentro del Proyecto ZAE.....	32
3.4. Métodos y técnicas de análisis espacial para la obtención de zonificación agroecológica.	45
3.5. Socialización con diferentes actores del sector.....	54
4. Resultados	55
4.1. Zonificación agroecológica para el cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	55
4.2. Zonificación agroecológica para el cultivo de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.).....	64
4.3. Zonificación agroecológica para el cultivo de zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	73
4.4. Zonificación agroecológica para el cultivo de repollo (<i>Brassica oleracea</i>).....	82
4.5. Zonificación agroecológica para el cultivo de pasto kikuyo (<i>Kikuyuocloa clandestina</i>)	90

5. Conclusiones y recomendaciones	99
5.1. Conclusiones respecto al proceso metodológico	99
5.2. Conclusiones respecto a los resultados de la zonificación.	100
5.3. Recomendaciones	101
6. Bibliografía.....	103
7. Anexos.....	107
7.1. Mapas de aptitud por criterios para cada cultivo	107

Lista de figuras

Figura 1.	Proceso cronológico del proyecto ZAE.	16
Figura 2.	Diagrama del marco conceptual de la zonificación.....	18
Figura 3.	Esquema jerárquico del componente edafoclimático.	22
Figura 4.	Ubicación cartográfica del cantón.....	28
Figura 5.	Criterios y variables generales utilizadas en la metodología ZAE.....	45
Figura 6.	Diagrama de análisis espacial generalizado.....	47
Figura 7.	Ejemplo de resultado de matriz de orden jerárquico.....	48
Figura 8.	Ejemplo de resultado de ponderación de criterios mediante método Saaty - AHP.....	49
Figura 9.	Diagrama de proceso para la elaboración de mapa de zonificación agroecológica.	50
Figura 10.	Ejemplo del proceso de desarrollo de mapas de aptitud por criterio.	51
Figura 11.	Áreas de restricción y exclusión para el cantón de Alvarado, Cartago.	52
Figura 12.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Floresta en cantón de Alvarado	58
Figura 13.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de laboreo para papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Floresta en cantón de Alvarado	58
Figura 14.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento y tuberización para papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Floresta en cantón de Alvarado	59
Figura 15.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Floresta en cantón de Alvarado	59
Figura 16.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Floresta en cantón de Alvarado	60
Figura 17.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Floresta en cantón de Alvarado.	61

Figura 18.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a pérdida de suelos para papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Floresta en cantón de Alvarado.	61
Figura 19.	Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Floresta en cantón de Alvarado.	62
Figura 20.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para cebolla (<i>Allium cepa</i>) variedad Alvara en cantón de Alvarado.....	67
Figura 21.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de laboreo para cebolla (<i>Allium cepa</i>) variedad Alvara en cantón de Alvarado.	67
Figura 22.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio formación de bulbo para cebolla (<i>Allium cepa</i>) variedad Alvara en cantón de Alvarado.....	68
Figura 23.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para cebolla (<i>Allium cepa</i>) variedad Alvara en cantón de Alvarado.	68
Figura 24.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para cebolla (<i>Allium cepa</i>) variedad Alvara en cantón de Alvarado	69
Figura 25.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para cebolla (<i>Allium cepa</i>) variedad Alvara en cantón de Alvarado	70
Figura 26.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a pérdida de suelos para cebolla (<i>Allium cepa</i>) variedad Alvara en cantón de Alvarado.	70
Figura 27.	Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de cebolla variedad Alvara en cantón de Alvarado	71
Figura 28.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.	76
Figura 29.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de laboreo para zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.	76
Figura 30.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.	77
Figura 31.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.	77
Figura 32.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.	78
Figura 33.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.	79
Figura 34.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a pérdida de suelos para zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.	79
Figura 35.	Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de zanahoria variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado	80
Figura 36.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para repollo (<i>Brassica oleracea</i>) variedad Escazú en cantón de Alvarado	84
Figura 37.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de laboreo para repollo (<i>Brassica oleracea</i>) variedad Escazú en cantón de Alvarado	84
Figura 38.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento repollo (<i>Brassica oleracea</i>) variedad Escazú en cantón de Alvarado.....	85
Figura 39.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para repollo (<i>Brassica oleracea</i>) variedad Escazú en cantón de Alvarado.....	85
Figura 40.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para repollo (<i>Brassica oleracea</i>) variedad Escazú en cantón de Alvarado.....	86
Figura 41.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para repollo (<i>Brassica oleracea</i>) variedad Escazú en cantón de Alvarado.....	87

Figura 42.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a pérdida de suelos para repollo (<i>Brassica oleracea</i>) variedad Escazú en cantón de Alvarado.....	87
Figura 43.	Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de repollo variedad Escazú en cantón de Alvarado.....	88
Figura 44.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para pasto kikuyo (<i>Kikuyuocloa clandestina</i>) en cantón de Alvarado.....	93
Figura 45.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de laboreo para pasto kikuyo (<i>Kikuyuocloa clandestina</i>) en cantón de Alvarado.....	93
Figura 46.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para pasto kikuyo (<i>Kikuyuocloa clandestina</i>) en cantón de Alvarado.....	94
Figura 47.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para pasto kikuyo (<i>Kikuyuocloa clandestina</i>) en cantón de Alvarado.....	94
Figura 48.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para pasto kikuyo (<i>Kikuyuocloa clandestina</i>) en cantón de Alvarado.....	95
Figura 49.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para pasto kikuyo (<i>Kikuyuocloa clandestina</i>) en cantón de Alvarado.....	96
Figura 50.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a pérdida de suelos para pasto kikuyo (<i>Kikuyuocloa clandestina</i>) en cantón de Alvarado.....	96
Figura 51.	Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de pasto kikuyo en cantón de Alvarado.....	97

Lista de cuadros

Cuadro 1.	Definición de clases de aptitud de tierras.....	23
Cuadro 2.	Tipos y fuentes de información utilizados.....	32
Cuadro 3.	Matriz de requerimientos técnicos para papa variedad Floresta en el cantón de Alvarado, Cartago.....	56
Cuadro 4.	Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de papa variedad Floresta en el cantón de Alvarado, Cartago.....	63
Cuadro 5.	Matriz de requerimientos técnicos para cebolla variedad Alvara en el cantón de Alvarado, Cartago.....	65
Cuadro 6.	Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de cebolla variedad Alvara en el cantón de Alvarado, Cartago.....	72
Cuadro 7.	Matriz de requerimientos técnicos para zanahoria variedad Bangor F1 en el cantón de Alvarado, Cartago.....	74
Cuadro 8.	Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de zanahoria variedad Bangor F1 en el cantón de Alvarado, Cartago.....	81
Cuadro 9.	Matriz de requerimientos técnicos para repollo variedad Escazú en el cantón de Alvarado, Cartago.....	83
Cuadro 10.	Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de repollo variedad Escazú en el cantón de Alvarado, Cartago.....	89
Cuadro 11.	Matriz de requerimientos técnicos para pasto kikuyo en el cantón de Alvarado, Cartago.....	91
Cuadro 12.	Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de pasto kikuyo en el cantón de Alvarado, Cartago.....	98

Presentación

El documento que aquí se pone a disposición del Sector Agropecuario Nacional y del público en general, corresponde a un esfuerzo piloto técnico y científico, realizado por el INTA, con el apoyo de FUNDECOOPERACIÓN, a partir de los recursos asignados a Costa Rica, para la adaptación de la agricultura nacional, al cambio climático global.

En este sentido, es muy importante destacar que las actividades económicas que se realizan en el Sector Agropecuario, se encuentran fuertemente afectadas por el estado de los recursos naturales suelo-agua, en el marco del ciclo hidrológico, cuyas condiciones actuales, obligan a comprender claramente, cómo las limitaciones de las tierras influyen sobre los rendimientos y la competitividad de los cultivos comerciales en el país.

Es importante destacar que el proceso realizado arrancó sobre la elaboración en el cantón de Alvarado de los mapas digitales de suelos y capacidad de uso de las tierras a escala 1:50 000, sobre los cuales se basó el trabajo de Zonificación Agroecológica de los cultivos de pastos, papa, cebolla, zanahoria y repollo, cuyos resultados se detallan en la Memoria que aquí se presenta.

La construcción de mapas digitales de Zonificación Agroecológica de los cultivos más importantes del país, tendrá una importancia determinante en el siglo XXI y dentro del escenario de cambio climático global, en materia de adaptación al mismo, mediante la definición de la ubicación geográfica de la investigación científica en agronomía de los cultivos, el fomento o no de cultivos por medio de políticas públicas de crédito y mercadeo, la justificación técnica para el emprendimiento de proyectos de riego, avenamiento, cosecha y aprovechamiento del agua de las lluvias o incluso el cambio de uso del suelo, a otros más viables, como la reforestación comercial, la regeneración natural del bosque, el agroturismo, por mencionar los más comunes en el país.

Finalmente, se debe resaltar al lector, que el INTA tomará este proyecto piloto como línea de base, para la Zonificación Agroecológica de los cultivos para ser repetido en otras zonas del país y con aquellos cultivos que sean de importancia, para que el sector agropecuario nacional cuente, en el mediano plazo, con información práctica para la toma de sus decisiones y la adaptación al cambio climático global.

*Ing. Agr. Renato Jiménez Zúñiga, MSc. Edafología
Jefe Departamento de Servicios Técnicos del INTA*

Lista de abreviaturas

AHP:	Proceso de Análisis Jerárquico (The Analytic Hierarchy Process), desarrollado por Thomas L. Saaty.
EIN:	Ente de Implementación Nacional.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
FITTACORI:	Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica.
IFAM:	Instituto de Fomento y Asesoría Municipal.
IMN:	Instituto Meteorológico Nacional.
INDER:	Instituto de Desarrollo Rural.
INTA:	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
MAG:	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía.
PIMA:	Programa Integral de Mercadeo Agropecuario.
PRIICA:	Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola (UE/IICA).
SEPSA:	Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, MAG.
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación.
UPRA:	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria de Colombia.
ZAE:	Zonificación agroecológica.

Resumen ejecutivo

Como parte del Proyecto Piloto denominado “*Desarrollo de capacidades en técnicos y productores de la Región Central de Costa Rica en la implementación de una herramienta práctica para la zonificación agroecológica (ZAE) y escenarios para la adaptación al cambio climático*” (Proyecto ZAE), se presenta la memoria técnica de la Zonificación Agroecológica para hortalizas y pastos del cantón de Alvarado, provincia de Cartago; escala 1:50 000, la cual permite identificar y delimitar las áreas con aptitud para la producción de Papa Comercial (Variedad *Floresta*), Cebolla (Variedad *Alvara*), Zanahoria (Variedad *Bangor F1*), Repollo (Variedad *Escazú*) y también de Pasto Kikuyo, como base para el desarrollo técnico, ambiental y competitivo de estas actividades.

De los tres componentes de la zonificación, este proyecto piloto abarca el componente físico o edafoclimático en forma completa y el componente socioecosistémico de forma parcial. No menos importante es el componente socioeconómico, que el INTA debe desarrollar a corto plazo. También han sido utilizados, los lineamientos legales, técnicos y normativos que inciden en la delimitación de las áreas de aptitud de esos rubros.

A partir de la definición y aplicación de 16 variables y 8 criterios físicos, mediante una metodología de castigo, apoyada en una modelación geoespacial y el análisis multicriterio, se obtuvieron los mapas de zonificación, los cuales identificaron las áreas de aptitud alta, media, baja y de exclusión para cada uno de los rubros analizados. No se identificó ninguna superficie del cantón de Alvarado con condiciones de aptitud alta para ninguno de los rubros analizados.

Superficie (ha) del cantón de Alvarado por cultivo y tipo de aptitud

Cultivo	Tipo de aptitud						Exclusión	%	Total
	Alta	%	Media	%	Baja	%			
Papa	ND	ND	697,82	8,77	3920,72	49,26	3341,09	41,97	7959,63
Cebolla	ND	ND	3236,80	40,66	1826,31	22,94	2896,52	36,40	7959,63
Zanahoria	ND	ND	1096,43	14,00	3513,00	44,00	3350,20	42,00	7959,63
Repollo	ND	ND	1960,71	24,63	3221,48	40,47	2777,44	34,90	7959,63
Pasto	ND	ND	3202,30	40,00	1725,20	22,00	3032,13	38,00	7959,63

Introducción

El Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), creado en el año 2001 mediante la Ley 8149, como un órgano de desconcentración máxima, especializado en investigación, innovación y transferencia de tecnología y adscrito al Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. Su objetivo es contribuir al mejoramiento y sostenibilidad del Sector Agropecuario, por medio de la generación, innovación, validación, investigación y difusión de tecnología, en beneficio de la sociedad costarricense.

Por su parte, el INTA en su Plan Estratégico 2012-2021 tiene como uno de sus objetivos estratégicos, generar tecnología que contribuya a la modernización de los sistemas de producción agropecuaria sostenibles mediante el desarrollo de la zonificación agroecológica para contribuir al ordenamiento de la producción.

El cambio climático está alterando los patrones de fenología de los cultivos y sus rendimientos, para lo cual la zonificación de cultivos con adaptabilidad al cambio climático, es una herramienta de vital importancia a considerar en la planificación e implementación de los sistemas productivos.

En este marco, el Proyecto ZAE promueve el desarrollo de capacidades en adaptación al cambio climático en técnicos y productores de la Región Central de Costa Rica, mediante la implementación de una herramienta práctica para la zonificación agroecológica y escenarios para la adaptación al cambio climático.

El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una metodología de zonificación de cultivos que contempla las variables y criterios edafoclimáticos en su totalidad; y las variables y criterios socioambientales de manera parcial. Los criterios socioeconómicos serán motivo de estudios posteriores.

El Proyecto ZAE tiene dos componentes, el componente agropecuario y el componente de desarrollo de capacidades.

Dentro de los objetivos específicos del proyecto para el componente agropecuario están:

- Elaborar los lineamientos técnicos y metodológicos para la zonificación de cultivos con fines comerciales a escala 1:50 000, mediante la definición de los componentes, criterios y variables que inciden en la delimitación desde el punto de vista edafoclimático de las áreas con aptitud para los cultivos de papa, zanahoria, cebolla,

repollo, pasto kikuyo, café, aguacate, limón mesino, maracuyá y pasto OM-22, en los cantones de Alvarado, Naranjo, Puriscal (cota 1000 m hacia arriba) y una sección de la zona de Los Santos.

- Una cartografía digital a escala 1:50 000 que incluye: mapas de zonificación de aptitud de los cultivos seleccionados, mapas de las variables y de los criterios de aptitud por cada cultivo.

En este sentido, se presenta la memoria técnica para el cantón de Alvarado del proceso para obtener la zonificación agroecológica a escala 1:50 000 con fines comerciales de papa, zanahoria, cebolla, repollo y pasto kikuyo. Se encuentra dividida en cinco capítulos. El primero desarrolla el contexto general del proyecto, que incluye el marco político y legal relacionado con la zonificación en Costa Rica. El segundo capítulo describe los fundamentos conceptuales y metodológicos sobre los cuales se basa la zonificación. El tercer capítulo describe la metodología utilizada que es una adaptación de la metodología de zonificación desarrollada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria de Colombia (UPRA-Colombia). En este sentido, el INTA agradece la cooperación institucional facilitada por los funcionarios Ricardo Siachoque Bernal y Luz Marina Arévalo Sánchez; y el apoyo virtual brindado por Edward Moreno Bojacá todos de la UPRA. El cuarto capítulo describe los resultados o mapas de zonificación y los mapas de variables y criterios de cada uno de los cultivos estudiados. El quinto capítulo describe las conclusiones y recomendaciones generales, recogidas como producto de la experiencia del desarrollo y aplicación de la metodología de zonificación aquí empleada. Además, se adjunta en los anexos los mapas de aptitud por criterio para cada cultivo en estudio.

Como resultado de este proyecto se espera que Costa Rica cuente con una metodología para desarrollar la zonificación de cultivos desde el punto de vista físico o edafoclimático, que ayude a los tomadores de decisión, a mejorar el ordenamiento de la producción, utilizando procedimientos cualitativos y cuantitativos adaptados a la problemática de la zona, que permitan potenciar el desarrollo de las actividades agrícolas a nivel local, regional o nacional, para promover la competitividad según áreas de aptitud, disminuyendo la vulnerabilidad de los sistemas productivos incentivando el uso de medidas de adaptación de cara al cambio climático.

1. Antecedentes

La Región Central de Costa Rica, compuesta por las subregiones Central Oriental, Central Occidental y Central Sur, representan importantes áreas geográficas en las que se sustenta gran parte de la producción agrícola nacional, en importantes cultivos como café, caña de azúcar, hortalizas (papa, cebolla, zanahoria, chile, tomate, por citar los más importantes), frutales (naranja, mandarina y aguacate), pastos y algunos rubros de menor importancia en área, pero que representan el sustento diario de miles de familias de pequeños y medianos productores agropecuarios. En adición a lo anterior, las tres subregiones citadas, presentan condiciones de pendiente, precipitación, degradación sufrida de la tierra, fertilidad de los suelos, drenaje moderadamente excesivo a excesivo; que condicionan la sostenibilidad de estas actividades, que representan en gran medida, la seguridad alimentaria de la población urbana y rural ubicada en esta área del centro del país y donde se concentra un 63 % de la población.

Se presenta un intensivo uso de la tierra en vastas áreas de la Región Central, caracterizado por prácticas intensivas de labranza, altas tasas de erosión de suelos, incremento sostenido en el uso de agroquímicos (fertilizante y pesticidas) y pérdida constante de la fertilidad natural y la materia orgánica del suelo. Esta realidad ineludible, aunada a la falta total de información práctica en manos de los productores agrícolas, hace que estos sistemas productivos tengan escasas posibilidades de poder maniobrar hacia una efectiva adaptación a los problemas ya citados y al nuevo escenario en el que se encuentra esta región del país, con respecto al cambio climático.

En el cuarto trimestre del 2018, del total de la fuerza de trabajo nacional (2 489 237 personas) el 11,9 % corresponde al sector agropecuario, según los datos de la Encuesta Continua de Empleo (ECE); es decir, el sector aportó a la misma 293 716 personas, mostrando una tendencia al crecimiento ya que registró un aumento de un 2,9 % con respecto al mismo período del 2017 (SEPSA, 2019), lo que hace necesaria la implementación de medidas y acciones que puedan potenciar la actividad y disminuir, mediante acciones de adaptación, aspectos relacionados con el cambio climático que directa o indirectamente afecten dicha actividad. Por otra parte, el cambio climático está alterando los patrones de fenología de cultivos y rendimientos, lo que involucra zonificar cultivos con adaptabilidad al cambio, o bien, implementar medidas de adaptación al cambio climático en los sistemas de producción ya establecidos, siendo un aspecto de vital importancia hoy en día.

La modernización del Sector Agropecuario lleva implícito acciones para el logro de una agricultura más amigable con el ambiente al disminuir el uso de pesticidas (enfermedades y plagas), el deterioro del suelo (erosión, contaminación) y paralelamente disminuir los costos de producción para el agricultor en áreas con mayores rendimientos para el logro de una mayor competitividad de las actividades agropecuarias.

La Zonificación Agroecológica (ZAE) responde al problema generalizado de realizar cambios en el uso de la tierra sin considerar la aptitud de la tierra, lo que provoca serios problemas de sub-uso y sobre-uso de los terrenos; ésta consiste en la identificación de áreas relativamente homogéneas, su caracterización con respecto a factores físicos (clima, suelo, formas de la tierra, etc.) y biológicos (vegetación, fauna, etc.) con relación a su potencial de uso sustentable para algunos fines específicos.

La ZAE busca disminuir la vulnerabilidad de los sistemas productivos, pretende un mejor ordenamiento de la producción, utilizando procedimientos cualitativos y cuantitativos adaptados a la problemática regional que permitan potenciar el desarrollo de actividades agrícolas a nivel regional y local con miras al logro de una competitividad en los sistemas productivos según áreas de aptitud.

Actualmente el país no dispone de una zonificación agropecuaria actualizada, la última se elaboró en los años 80's a escala 1:200 000, la cual es obsoleta y la escala no permite focalizar medidas de adaptación en sistemas productivos.

Al tener el país zonificado, el agricultor tendría alternativas de uso con riesgos previstos al conocer las limitantes de sus sistemas de uso de la tierra. Su aplicación es un proceso en el cual los agricultores y sus organizaciones, los investigadores y encargados de transferencia de tecnología agropecuaria, así como cualquier otra institución o ente interesado, deben considerar sus resultados para la toma de decisiones, principalmente, como insumo para la planificación productiva y en el marco del diseño de medidas de adaptación ante el cambio climático.

Este proyecto piloto pretendió aplicar y probar una metodología de zonificación agroecológica que sirviese como herramienta para la toma de decisión hacia el diseño de medidas de adaptación al cambio climático en algunos sectores de la Región Central del país a escala 1:50 000 de manera que se tengan alternativas de uso con riesgos previstos al conocer las limitantes de sus sistemas de uso de la tierra. Se busca beneficiar en el mediano plazo a una gran parte de la población de la Región Central, principalmente a las familias de pequeños y medianos productores, las organizaciones y empresas relacionadas con el sector agrícola, las instituciones gubernamentales locales y nacionales principalmente, sin excluir a cualquier otro ente interesado en el tema. Con la aplicación de esta herramienta, podrían verse beneficiados directamente al menos unas 30 000 familias.

1.1. CRONOLOGÍA DEL PROYECTO

Los fondos económicos de este proyecto se gestaron durante la Conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, mediante la decisión 10/CP.7 (2001) donde se estableció el Fondo de Adaptación para el financiamiento de proyectos y programas concretos de adaptación en países en desarrollo.

Entre sus resultados del V Informe de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Degradación de las Tierras, la desertificación y la sequía del 2001, se resalta la creciente degradación de las tierras en la Vertiente Pacífica de Costa Rica y el resto de Centroamérica.

El área Central del país se ha caracterizado por el uso intensivo de la tierra, la utilización de métodos de labranza tradicionales y poco amigables con el ambiente; esto sumado a las condiciones de irregularidad en las lluvias presentes durante los últimos 5 años, han facilitado la aparición de enfermedades y plagas de los principales cultivos, que a su vez, tiene como consecuencia el incremento de los costos de producción y la disminución de la competitividad de los sistemas de producción agropecuarios.

Con recursos del Fondo de Adaptación al Cambio Climático de Naciones Unidas, cuyo Ente de Implementación Nacional en Costa Rica es FUNDECOOPERACION, en abril del 2015 surge la iniciativa de profesionales del INTA de presentar este Proyecto ZAE (Zonificación Agroecológica de la Región Central de Costa Rica) para ser financiado con dichos recursos. Este proyecto fue aprobado y tiene como objetivo general “Desarrollar una metodología de Zonificación Agroecológica que sea una herramienta de adaptación al cambio climático y paralelamente formar capacidades en técnicos y productores para su validación e implementación en apoyo a la toma de decisiones para mejorar los sistemas de producción”.

Adicionalmente, se identificaron como objetivos específicos los siguientes: 1) establecer una plataforma para la actualización y elaboración de escenarios de zonificación, de acuerdo a las prácticas agroconservacionistas a implementar, o a los cambios climáticos que puedan ocurrir de forma natural, o a la misma degradación o recuperación de las tierras del sitio de interés, 2) desarrollar capacidades en técnicos y productores en opciones tecnológicas de adaptación al cambio climático acordes a la ZAE, por medio de procesos de gestión de conocimiento y 3) desarrollar agentes de cambio en las comunidades beneficiarias sobre los alcances del cambio climático y las medidas de adaptación.

Este proyecto conlleva la participación de varios actores para su ejecución:

- La Autoridad Designada (AD) ante el Fondo de Adaptación es la DIRECCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO del MINAE.
- FUNDECOOPERACIÓN como organización sin fines de lucro, acreditada por la AD ante el Fondo de Adaptación como el Ente de Implementación Nacional (EIN), la cual canaliza los fondos donados.
- EL INTA como órgano de desconcentración máxima, especializado en investigación y transferencia en tecnología agropecuaria, adscrito al Ministerio de Agricultura y Ganadería cuyo objetivo es contribuir al mejoramiento y la sostenibilidad del sector agropecuario, por medio de la generación, innovación, validación, investigación y difusión de tecnología, en beneficio de la sociedad costarricense, por lo que el proyecto se ajusta a sus objetivos y funge como ente ejecutor del proyecto.

En la siguiente figura se muestra el proceso cronológico que ha seguido el proyecto ZAE.



Figura 1. Proceso cronológico del proyecto ZAE.

2. Marco Conceptual de la Zonificación Agroecológica

Entre las grandes necesidades de una población creciente, la degradación del ambiente y de los recursos naturales hay un nexo, ya que para satisfacer las necesidades se requiere aumentar la capacidad productiva de los recursos y eso tiene límites.

Es un hecho comprobado, que, a mayor presión de la población sobre su entorno, mayor degradación de recursos y en consecuencia menor posibilidad de satisfacer las necesidades básicas. Este círculo vicioso hace peligrar la capacidad del planeta para sostener la calidad de vida de los diferentes grupos humanos que lo habitan.

Para lograr realizar un cambio en esta situación se requiere encontrar soluciones y fórmulas que domestiquen su carácter globalizador, esto es, lograr no sólo la conjunción y participación de todos los sectores de una sociedad determinada, sino el compromiso global de todos los grupos sociales que habitan nuestro planeta.

Se puede conocer entonces, la importancia del desarrollo sostenible, los acuerdos y los objetivos, sin embargo, esto no es suficiente, ya que corresponde llevar a la práctica lo planteado, y emprender acciones concretas para obtener resultados que beneficien a la economía de los países, a sus habitantes y a su medio ambiente de forma integral (López, 2016).

Para una planificación efectiva del uso del suelo con fines productivos, los gobiernos y las entidades encargadas de la planificación agrícola requieren información sobre la capacidad de la tierra para apoyar diversos usos de esta, ya que este sector es uno de los más importantes para el bienestar humano, debido a que aumenta los ingresos y la condición social de los agricultores, y depende de la distribución y calidad de los recursos disponibles en determinado lugar. En este contexto, es necesario aplicar y mejorar el modelo conceptual de la zonificación de aptitud a partir de un enfoque multidisciplinario que tome en consideración, para su aplicación, los principios y fundamentos de un esquema de tipos de uso de la tierra, el enfoque socioecosistémico y el enfoque de competitividad como pilares para su desarrollo, los cuales se abordan en términos de criterios de carácter físico (edafoclimático), socioeconómico y socioecosistémico, asociados a las características particulares de cada sitio.



Figura 2. Diagrama del marco conceptual de la zonificación.

Adicionalmente, la metodología de zonificación debe integrar un proceso analítico jerárquico como técnica de análisis multicriterio, el cual permita generar las alternativas de decisión más adecuadas de uso del suelo, donde se incluya la participación de diversos actores dentro del proceso de planificación, quienes asignarán pesos a cada uno de los criterios. De esta forma, la zonificación apoya la planeación del uso del suelo necesaria para el diseño de estrategias y prioridades en materia de un desarrollo rural sostenible.

La evaluación de tierras es un proceso que permite identificar y valorar usos específicos que se adaptan a condiciones concretas de las tierras evaluadas (FAO 2007, citado por UPRA 2016), cuya finalidad es proponer sistemas de uso apropiados, sostenibles a largo plazo. Aun cuando el marco de la FAO presenta limitaciones por centrarse básicamente en el aspecto físico, ha sido el procedimiento más utilizado en todo el mundo para hacer frente al ordenamiento territorial local, regional y nacional, y las adaptaciones que han surgido en los últimos años ofrecen una alternativa de aplicación frente a nuevos retos agroambientales.

La FAO propone un conjunto de cualidades y características para ser usadas en el proceso de evaluación de tierras (en este desarrollo metodológico, denominados criterios y variables, respectivamente), cuyo número es flexible y está determinado por los objetivos de aplicación, la escala de trabajo y los datos disponibles. En el presente plan piloto la aplicación del modelo de evaluación de tierras y zonificación agroecológica se trabajó desde un enfoque de criterios para el componente físico o edafoclimático, tomando en cuenta de forma parcial el componente socioecosistémico. Sin embargo, se reconoce que es muy importantes reforzar en futuras implementaciones un análisis que incluya la ampliación de este componente y el desarrollo total del componente socioeconómico, para lograr una fotografía más integral del área estudiada. Una de las principales limitantes para un mayor desarrollo de la metodología fue la falta de información confiable o concreta en la escala de análisis del presente trabajo. Para algunos de los elementos

fue necesario generar dicha información, por ejemplo, para las variables de capacidad de uso de la tierra se elaboraron, en las zonas de trabajo, estudios semidetallados de suelos a escala 1:50 000 por parte de los técnicos del INTA.

2.1. TIPO DE USO DE LA TIERRA

El tipo de utilización de la tierra (TUT) es una descripción, en un nivel apropiado de detalle, del uso de la tierra; incluye las características del sistema de producción, los contextos socioeconómico y ecológico, entre otros, que le confieren rasgos diferenciadores a los cultivos desde un punto de vista de evaluación de tierras, es decir que pueden ser expresados como requisitos o requerimientos de uso de la tierra con valores cualificables o cuantificables en el país, o que sirven para delimitar las opciones de uso de la tierra (UPRA 2016). Bajo los objetivos y alcances del Proyecto ZAE los TUT's aquí desarrollados incluyen solamente aspectos edafoclimáticos.

2.2. COMPETITIVIDAD

La competitividad definida por la productividad con la que un país utiliza sus recursos humanos, económicos y naturales para la producción de bienes y servicios de mayor calidad y menor precio que otros productores domésticos e internacionales (UPRA 2016) constituye el factor determinante del modelo de crecimiento y desarrollo del sector agropecuario, toda vez que es la condición de viabilidad de los productos en el mercado y genera oportunidades sostenibles para todos los habitantes del campo.

En relación con la zonificación, la competitividad se entiende como la capacidad de una región para generar las condiciones de producción que promuevan el desarrollo de uno o varios cultivos, y así mejorar permanentemente las condiciones de vida y bienestar de sus habitantes. Es decir, la competitividad implica tener claros los requerimientos y condiciones multidimensionales necesarios para que los cultivos se desarrollen y su comercialización sea efectiva.

2.3. ENFOQUE ECOSISTÉMICO.

El Instituto de Recursos Globales (WRI por sus siglas en inglés) reconoce cinco categorías principales de ecosistemas, que representan casi el 90 por ciento de la superficie terrestre: agroecosistemas, ecosistemas costeros, forestales, de agua dulce y de pastizales. Define un agroecosistema como un sistema de recursos biológicos y naturales manejados por humanos con el propósito principal de producir alimentos, así como otros bienes no alimenticios socialmente valiosos y servicios ambientales (FAO 2007).

Según la FAO, los agroecosistemas son aquellos ecosistemas que se utilizan para la agricultura. Sobre la base de los sistemas y el pensamiento ecológico, Gordon Conway desarrolló a finales de los 80's el análisis de agroecosistemas.

El análisis de agroecosistemas fue tan poderoso y práctico que se superpuso rápidamente y contribuyó a una evaluación rural rápida y participativa. El énfasis está en la combinación de la productividad y las preocupaciones ambientales en un marco revisado que apunta al uso sostenible de los recursos de la tierra (FAO 2007).

El enfoque socioecosistémico reconoce los vínculos existentes entre los ecosistemas y el bienestar humano, donde cambios de uso del suelo están determinados por decisiones en el sistema social que afectan directamente el estado de los ecosistemas y por tanto, los diferentes niveles de organización biológica; es decir, cualquier toma de decisiones relativa a la gestión de los servicios de los ecosistemas afecta la estructura y funcionamiento tanto de los ecosistemas como de los sistemas sociales (UPRA 2016). Este enfoque dentro de la zonificación aporta de manera transversal los fundamentos para el mantenimiento del capital natural (biodiversidad, integridad ecológica y prestación de bienes y servicios ambientales), de una forma equitativa, incluyendo la sociedad, la economía y la cultura.

2.4. COMPONENTE

Debe entenderse como las dimensiones o perspectivas macro, bajo los cuales se definen criterios cuyo análisis combinado determinará la aptitud de un área o región, para un tipo de uso de la tierra específico.

Los componentes para la zonificación agroecológica son: de tipo físico, socioecosistémico y socioeconómico. Para los efectos de la metodología desarrollada en este proyecto piloto, solamente se ha tomado en cuenta el componente físico referido a las variables y criterios edafoclimáticos y de manera parcial al componente socioecosistémico, al tomar en cuenta algunas restricciones legales relacionadas con la cobertura de la tierra. El componente socioeconómico, si bien es uno de los pilares para el análisis de evaluación de la tierra, no es considerado en este plan piloto, esperando poder integrarlo en el mediano plazo mediante futuros proyectos sobre el tema.

2.5. CRITERIO

Un criterio es considerado como el conjunto de variables que definen decisiones de aptitud de uso de un territorio rural. Estos pueden ser de dos tipos: factores (para los cuales se definen los niveles de aptitud) o restricciones (que para este caso se consideran de carácter técnico, normativo, o técnico-normativo) (UPRA 2015).

Un criterio se construye mediante la combinación de dos o más variables (características medibles), describe una condición determinante para asignar el nivel de aptitud de un área o sitio, dentro del marco del tipo de uso de la tierra previamente definido, para un cultivo en concreto. Para cada criterio existen rangos de valores que demarcan los límites de cada clase de aptitud.

2.6. VARIABLE

Una variable es una característica o atributo medible y/o estimable, de un elemento del clima o suelo, qué combinado con uno o más variables permite emitir criterio respecto a la aptitud de un sitio para determinado cultivo.

En la definición de la FAO de 1976 las variables actúan de manera distinta en su influencia sobre la idoneidad de la tierra para un tipo específico de uso. Algunos ejemplos son la disponibilidad de humedad, la resistencia a la erosión, el riesgo de inundaciones, el valor nutritivo de los pastos, la accesibilidad. Cuando se dispone de datos, también se pueden emplear variables agregadas de la tierra, por ejemplo, rendimientos de cultivos, incrementos anuales medios de especies de madera, resistencia a la degradación de la vegetación, etc.

El presente plan piloto aplica la metodología de zonificación desde el punto de vista edafoclimático casi de manera completa, esto se debió a que la información necesaria para trabajar los otros componentes no existe en la actualidad de manera accesible en la escala de trabajo (1:50 000). Sin embargo, la aplicación bajo este escenario permite determinar limitantes edafoclimáticas precisas, que son de utilidad en la definición de medidas de adaptación para el mejoramiento de los procesos productivos de cara al cambio climático.

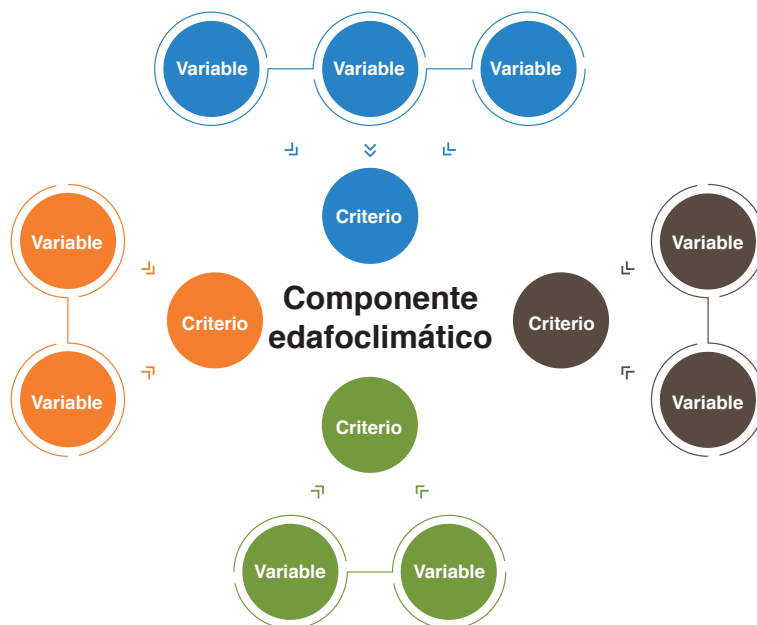


Figura 3. Esquema jerárquico del componente edafoclimático.

2.7. APTITUD DE LAS TIERRAS

La aptitud se refiere, en términos muy generales, a la mejor combinación de condiciones físicas, socioecosistémicas y socioeconómicas que facilitan el establecimiento, desarrollo y comercialización de los cultivos en un sitio determinado. Para el caso de este proyecto piloto se va a entender la aptitud como la capacidad de un lugar específico para producir un cultivo determinado en base a las condiciones agroclimáticas y de suelos (Salvatore *et al.* 1978).

Representa el potencial del territorio para el establecimiento y permanencia de una cadena productiva; las áreas con mayor aptitud son aquellas donde la actividad productiva genera un menor impacto en los bienes y servicios que proveen los ecosistemas o contribuye a mejorarlos (UPRA 2016).

Para los fines de la metodología aplicada en este plan piloto la aptitud se enmarca en 4 categorías a razón de como los criterios limitan la capacidad del sitio para el desarrollo de los cultivos.

Cuadro 1. Definición de clases de aptitud de tierras

Clase de aptitud		Definición
Apto	Alto	Presenta las mejores condiciones desde el punto de vista de la combinación de variables edafoclimáticas (criterio) definidas en la matriz de requerimientos para el cultivo analizado.
	Medio	Existen limitaciones moderadas, en uno o más criterios edafoclimáticos, que afectan la capacidad del sitio para el desarrollo idóneo del cultivo.
	Bajo	El sitio tiene fuertes limitaciones, en uno o más criterios edafoclimáticos, las cuales restringen de manera significativa el desarrollo de los cultivos; sin embargo, dichas condiciones pueden ser atenuadas mediante la utilización de nuevas tecnologías y/o realizando inversión en insumos agrícolas.
No apto		Se manifiesta al menos una variable o criterio edafoclimático que, según la matriz de requerimientos para el cultivo, imposibilita el desarrollo de la actividad productiva en un sitio determinado desde el punto de vista técnico.
Restricciones técnicas o legales		Se refiere a las condiciones normativas o técnico-normativas que impiden la práctica de actividades de producción relacionadas con un cultivo en concreto, así como la presencia de elementos materiales incompatibles con la actividad agrícola (p.ej. presencia de edificaciones, carreteras, lagos, parques, infraestructura industrial)

En el contexto de la utilización de esta herramienta metodológica de zonificación para el diseño de medidas de mitigación ante el cambio climático, los niveles de aptitud deben de entenderse como un parámetro de que tan intensivas o profundas deben ser las medidas de mitigación o adaptación a implementar, lo que a su vez significaría mayor inversión económica y de recursos para lograr el estado óptimo deseado en un sitio.

3. Metodología

3.1. ENFOQUE DEL TRABAJO

La alteración del clima global está afectando los patrones de fenología de los cultivos y sus rendimientos, para lo cual la zonificación agroecológica con adaptabilidad al cambio climático es una herramienta de vital importancia a considerar en la planificación e implementación de los sistemas productivos.

Siendo en sí misma, desde el punto de vista de la transferencia de tecnologías, una medida de identificación de las limitaciones de un sitio o región por medio de variables y criterios conmensurables, en relación a los elementos sobre los cuales se deben realizar adaptaciones técnicas con el fin de lograr mayores utilidades económicas con el menor impacto ambiental.

Ante la necesidad de una herramienta de planificación actualizada, que mediante el análisis de criterios técnicos permitiera tomar decisiones sustentadas y objetivas acerca de las medidas o acciones a tomar en determinada región al respecto cultivo comercial de algunos productos agrícolas, se inicia por parte del personal del INTA la investigación de metodologías existentes a nivel regional e internacional.

Este proceso dio como resultado contactos con la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria de Colombia (UPRA), la cual creó un proceso metodológico robusto y confiable para realizar Zonificación Agroecológica aplicada a varios cultivos desde un enfoque multicriterio.

Tras estudiar a profundidad la metodología de UPRA los especialistas del INTA inician el proceso de desarrollo de su propia herramienta de zonificación agroecológica para 10 cultivos en la Región Central de Costa Rica, sobre la base de mapas a escala 1:50 000, de manera que los agricultores, técnicos de las organizaciones locales, empresas, gobiernos municipales y demás interesados cuenten con alternativas de información, con riesgos previstos al conocer las limitantes edafoclimáticas de sus sistemas de uso de la tierra y con ello definir medidas de adaptación.

El presente plan piloto consistió en la aplicación de una metodología de análisis multicriterio basada en la desarrollada por UPRA, enfocada mayoritariamente en condiciones

edafoclimáticas y considerando las restricciones técnico-normativas con influencia en el área de estudio. Este esquema se da así, tal como se ha explicado anteriormente, ante la falta de información concreta actualizada a la escala de análisis, cuya generación implicaría aumentar por mucho los plazos de tiempo definidos para la implementación del proyecto.

3.2. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El plan piloto del proyecto de zonificación agroecológica se desarrolla en la Región Oriental del Valle Central específicamente en el cantón de Alvarado de Cartago.

Este cantón es el sexto de la provincia de Cartago, su ciudad cabecera es Pacayas. Se sitúa al noreste de la ciudad de Cartago, en medio de los macizos volcánicos del Irazú y Turrialba, con una altitud media de alrededor de 1600 msnm (Municipalidad de Alvarado 2016).



Escudo del cantón de Alvarado

3.2.1. Reseña histórica

En la época precolombina el territorio que actualmente corresponde al cantón de Alvarado estuvo habitado por indígenas del llamado Reino Huetar de Oriente, que fue dominio del cacique Guarco. A principios del siglo XIX llegaron los primeros pobladores a la región, provenientes de San Pedro del Mojón (hoy cantón Montes de Oca) (IFAM 2002).

El cantón de Alvarado debe su nombre en agradecimiento de los habitantes al Presbítero Joaquín Alvarado Ruiz, quien realizó una importante labor apostólica y contribuyó con el progreso material y cultural de la provincia de Cartago (Municipalidad de Alvarado 2016).

Por medio de la ley N°. 47, del 17 de julio de 1903, fueron establecidos los distritos de Pacayas, Capellades y Santa Cruz, como octavo, noveno, y décimo respectivamente, del cantón de Cartago.

Posteriormente fue fundado el Cantón de Alvarado, mediante la Ley N. 28 del 9 de julio de 1908, con cuatro distritos: Pacayas, Cervantes, Santa Cruz y Capellades. Sin embargo, Santa Cruz perteneció a Alvarado durante pocos años, ya que por decreto del 28 de febrero de 1920 se anexó a Turrialba.

Hasta su fundación, los distritos de Alvarado formaban parte del cantón central de Cartago, pero no contaban con la debida atención, quizás por la carencia de medios de comunicación, ya que no había carretera.

Estas razones produjeron un deseo de independencia, que fue promovido por los vecinos más progresistas. Ellos gestionaron la designación de cantón ante funcionarios del Gobierno del Lic. Cleto González Víquez, y ante los miembros del congreso y lo lograron. La misma ley que crea el cantón de Alvarado le otorgó el título de Villa a la hasta entonces, Aldea de Pacayas.

Posteriormente, el 4 de mayo de 1970 fue promulgado el Código Municipal, que, en su artículo tercero, le confirió el título de Ciudad de Pacayas, por ser cabecera del Cantón.

El cantón de Alvarado se ubica en las coordenadas geográficas 9° 56' 46 de latitud norte y 83° 48' 08 de longitud oeste.

La anchura máxima es de 16 km, en la dirección Norte Sur, desde la confluencia con el río Peñas con el río Pilas, hasta 600 metros sur de Mata de Guineo, sobre la Línea Férrea.

Limita al este con Jiménez, al oeste con Oreamuno, al sur con Paraíso, al noreste con Turrialba y al noroeste con Oreamuno. Alvarado tiene un área de 81,06 km² (Municipalidad de Alvarado 2016).

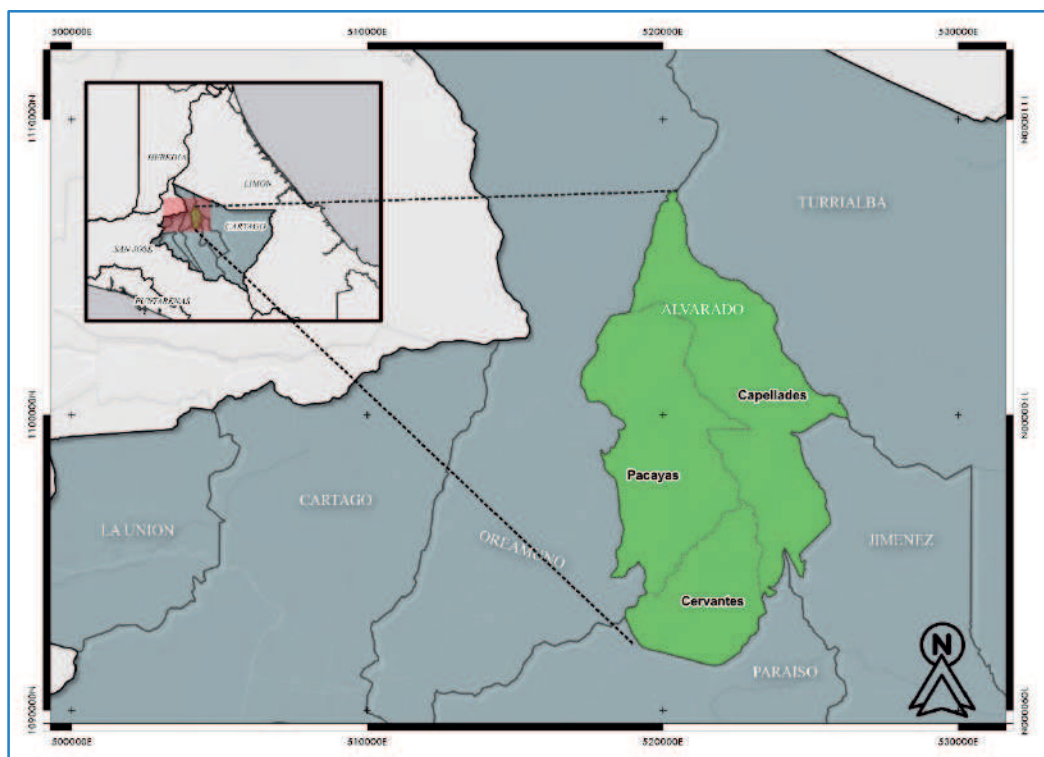


Figura 4. Ubicación cartográfica del cantón.

3.2.2. Contexto socioeconómico

Alvarado se caracteriza por su identidad rural, que lo define cultural, social y económicamente. Es también un cantón donde los factores naturales tienen una gran importancia por sus áreas protegidas al norte (Volcán Irazú), zonas de recarga acuífera, así como una gran cantidad de zonas de riesgo y zonas vulnerables, sumado a las difíciles condiciones topográficas, reducen mucho las áreas idóneas para urbanizar.

Este cantón tiene la particularidad de que el gobierno municipal solo rige en los distritos de Pacayas y Capellades, ubicándose en el núcleo de Pacayas. A su vez, el distrito de Cervantes posee su municipalidad distrital. Ambas municipalidades recaudan impuestos y generan sus propios presupuestos. Esta división administrativa a lo interno del cantón ha provocado que no solo haya divisiones en cuanto a las decisiones municipales, sino que también ha generado una barrera sociocultural entre Cervantes y Pacayas. Se puede decir por lo tanto que coexisten dentro del cantón dos realidades autónomas bien diferenciadas. A pesar de contar con dos vías que conectan ambos centros, no existe servicio de transporte público entre ellos (Municipalidad de Alvarado 2015).

La actividad agrícola es la base de la economía. Así mismo, el turismo es otra importante fuente de empleo en el cantón.

En las fincas localizadas en el cantón de Alvarado encontramos poca diversificación agrícola, ya que tradicionalmente los pobladores se han dedicado a los cultivos de papa, cebolla, remolacha, zanahoria, coliflor, entre otros. Destaca, eso sí, la presencia de un número mayor de lecherías por lo que los distritos de Pacayas y Capellades muestran una clara inclinación pecuaria, en tanto que el distrito de Cervantes es mayormente agrícola, aunque también cuenta con una explotación pecuaria importante (Inder 2016).

3.2.3. Hidrografía

El cantón de Alvarado posee una red fluvial muy dispersa y muy baja, la misma cuenta con un grupo de ríos y quebradas, dicha red de drenaje está compuesta principalmente por:

- Río Birrís
- Río Caris
- Quebrada Pacayas
- Río Coliblanco
- Quebrada Presidio
- Río Turrialba

De estos ríos y quebradas algunos han disminuido el período de recurrencia de inundaciones a un año. Así mismo, se observa que otros ríos tienen períodos de inundación más frecuente, debido a la ocupación de las planicies, desarrollo agropecuario y el desarrollo urbano en forma desordenada y sin ninguna planificación.

El sistema fluvial del cantón de Alvarado corresponde a las subvertientes del Caribe y Norte de la Vertiente del Caribe. A la subvertiente Caribe pertenece la cuenca del Río Reventazón Parismina, la cual es drenada por el Río Birrís con sus afluentes, los ríos Ortega, Caris y las quebradas Presidio, Lajas, Pacayas, Central, Roscaván y Tapada; lo mismo que por el Río Turrialba y sus tributarios los ríos Playas y Cariblanco, así como por el Río Maravilla. Los citados cursos de agua nacen en el cantón, en la ladera sureste del Volcán Irazú, los cuales presentan una dirección de noroeste a sureste. Los ríos Turrialba, Cariblanco, Maravilla y Birrís son límites cantonales; el primero con Turrialba, los dos siguientes con Jiménez, y el último con Oreamuno.

A la subvertiente Norte, corresponde la cuenca del Río Chirripó; la cual es irrigada por los ríos Peñas y Pilas, que nacen en la región y presentan una dirección de sur a norte; a la vez son límites cantonales; el primero con Oreamuno y el segundo con Turrialba (Inder 2016).

3.2.4. Clima

El clima de Alvarado se caracteriza por ser fresco durante todo el año. En general las temperaturas son bastante frías. La temperatura promedio es de 14,1 °C; la máxima se registra en el mes de junio con 16,2 °C y la mínima en el mes de enero con 12,4 °C. En Pacayas la temperatura promedio es 16,7 °C; la máxima se registra en los meses de junio y setiembre con 17,3 °C y la mínima en el mes de enero con 15,9 °C (Datos de la Estación IMN de Pacayas).

El promedio anual de precipitación es de 177,28 mm, siendo los meses de enero y febrero los más secos con 18,6 y 35,6 mm, respectivamente. Los meses de octubre y setiembre son los más lluviosos con 301,6 y 249 mm, respectivamente. En la Estación de Pacayas el promedio anual de precipitación es de 227,76 mm, siendo marzo el más seco con 66,2 mm y octubre el más lluvioso con 275,1 mm (Inder, 2016).

3.2.5. Geología

De acuerdo con un proyecto de evaluación de este territorio realizado por la Universidad de Manitoba en 2007¹, este cantón está asentado sobre materiales de la época Holoceno, periodo Cuaternario, siendo las rocas volcánicas las que predominan en la región. Las rocas volcánicas pertenecen a edificios volcánicos recientes y actuales y piroclásticos asociados, los cuales se ubican en la mayor superficie del cantón. Las rocas sedimentarias corresponden a depósitos fluviales y coluviales, localizados al este de Alvarado (EcoPlan / Deppat 2016).

3.2.6. Geomorfología

El mismo estudio referido anteriormente señala que el cantón de Alvarado forma parte de la unidad de origen volcánico. Esta unidad se divide a la vez en dos subunidades, que señala el citado documento, se denominan volcán Irazú y colinas irregulares de la lava de Cervantes.

1 Disponible en www.umanitoba.ca/afs/centralamerica_cbpm/docs/Informe_Equipo_Comunitario_CR07.pdf

La primera se localiza en el sector aledaño a la ciudad de Pacayas, así como al norte de esta. La subunidad presenta laderas que tienen todo tipo de pendientes.

Como lo describe el estudio referido, los contornos de las lomas se presentan redondeados por el grueso espesor de las cenizas recientes presentes en el macizo de la subunidad. Esta subunidad está conformada por rocas volcánicas, lavas, tobas, aglomerados, ignimbritas, ceniza y también muchas corrientes de lodo y lahares. Se cita que el grado de meteorización de las rocas es muy variable, su origen se debe al cúmulo de rocas volcánicas de diferente tipo, la erosión ha tomado parte en el labrado del sistema de drenaje con carácter radial, el lado de la Vertiente Norte es más escarpado como consecuencia de la mayor precipitación que recibe.

La otra subunidad que corresponde a las colinas irregulares de lava de Cervantes se localiza en el sector de este distrito. Esta subunidad se caracteriza por una irregularidad en su superficie la cual es ocasionada por la presencia de bloques de lavas semiescoriácea.

Las mayores pendientes se presentan hacia el norte del cantón, en una franja central en dirección suroeste-noroeste y en los sectores asociados a los cauces de los principales ríos. Los sectores de menor gradiente se encuentran en los entornos inmediatos de Capellades y Cervantes. En la franja intermedia al sur de la unidad de mayor pendiente, también hay sectores con menor grado de gradiente (EcoPlan / Deppat 2016).

El plan regulador de la Municipalidad de Alvarado señala que, por las condiciones topográficas y geológicas presentes en la zona, se presentan problemas con la estabilidad de laderas. La fragilidad por deslizamientos es muy alta en Alvarado (Municipalidad de Alvarado 2015).

3.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES, CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS DE LOS RUBROS CONTEMPLADOS DENTRO DEL PROYECTO ZAE

En este apartado se definen las variables y criterios utilizados en el proceso de evaluación de aptitud de uso de la tierra, para cada uno de los rubros (tipo de uso) que conlleva la metodología de zonificación agroecológica aplicada en el plan piloto para el cantón de Alvarado.

3.3.1. Fuentes de la información para desarrollo de plan piloto

Se resume a continuación las principales fuentes de los datos utilizados en el plan piloto.

Cuadro 2. Tipos y fuentes de información utilizados

Variable	Tipo	Fuente	Fecha de revisión de la información
Temperatura	Climática	IMN	2017
Precipitación			
Brillo solar			
Pendiente	Suelos	INTA. Estudio Semidetallado de Suelos. Escala 1:50 000 del cantón de Alvarado. 2018	2018
Textura			
Pedregosidad			
Profundidad efectiva			
Régimen de humedad			
Drenaje natural			
Erosión actual			
Susceptibilidad a deslizamientos			
Susceptibilidad a inundaciones			
Suma de bases	Fertilidad		
Acidez intercambiable			
Porcentaje de saturación de acidez			
Carbono orgánico del suelo			
Acidez (pH)			
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Procedimental	Klaus D. Goepel. AHP On Line Software. 2012	2015
Zonas silvestres protegidas	Referencia	SINAC 2014	2017
Zonas urbanizadas		INTA. Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra de la región de Los Santos, En elaboración, sin publicar.	2017
Límites cantonales y distritales		Instituto Geográfico Nacional. Capas básicas.	2017

3.3.2. Componente físico (edafoclimático)

El componente edafoclimático del territorio considera los distintos elementos que lo constituyen como son el clima, los suelos, las geoformas y por supuesto los requerimientos técnicos de cada rubro analizado.

La definición de las variables y criterios desde este componente cobra importancia para la evaluación de uso y zonificación agroecológica ya que determina en primera instancia los diferentes grados de aptitud del terreno para el rubro definido.

Metodológicamente, el componente se fundamenta en el concepto de “tierra” que considera no solamente los suelos, sino también el clima, riesgos fitosanitarios, el relieve y posibilidades de amenazas naturales.

A continuación, se describen las variables y los criterios considerados para el análisis dentro de este componente.

3.3.2.1. Temperatura

Es una medida del movimiento de las partículas del medio. Un objeto tiene más o menos temperatura dependiendo de la velocidad de movimiento, o frecuencia de vibración, de las partículas que lo componen (Ambientum.com 2019).

La temperatura del aire atmosférico está condicionada ya que además varía con la latitud geográfica y de la altitud, y en agroecología se toma generalmente como índice de balance calórico de las plantas.

En términos meteorológicos la temperatura del aire es la que existe a una altura de dos metros sobre el nivel del suelo.

3.3.2.2. Precipitación

Cantidad de agua que cae sobre la superficie terrestre en forma líquida o sólida. En términos prácticos, es la cantidad de lluvia media que se precipita en una determinada zona y contribuye a la necesidad hídrica de los cultivos. La unidad de precipitación es el milímetro (mm). Un milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie (10 m^3 de agua/ha) (UPRA 2016).

La precipitación como suministro de agua al suelo y a las plantas permite la dinámica química y biológica que facilita la nutrición vegetal y mejora las propiedades físicas de los suelos haciéndolos más permeables.

3.3.2.3. Brillo solar

Cantidad de horas en la que los rayos del sol llegan directamente sobre la superficie terrestre; también se denomina insolación.

Como la radiación solar directa recibida por cualquier superficie depende de si el Sol ha estado descubierto o no, se puede tener una idea de cuánta radiación ha llegado al suelo si se conoce la cantidad de tiempo diario durante el cual el Sol estuvo en esta condición. A la medición del tiempo en el cual un lugar ha recibido radiación directa se denomina heliofanía o brillo solar.

El concepto de heliofanía está asociado a diversos calificativos relacionados con la interpretación que se le dé al fenómeno. La heliofanía efectiva es el período de tiempo durante el cual el lugar ha recibido radiación solar directa, sin ser bloqueada por factores atmosféricos u otros obstáculos. La heliofanía teórica astronómica, para un lugar y fecha específicos, es el período de tiempo máximo durante el cual un lugar podría recibir radiación solar directa, sin ser obstaculizada por nubes o relieves topográficos. Ambos conceptos se pueden relacionar por medio de la heliofanía relativa, que es la razón entre la heliofanía efectiva y la teórica astronómica (IMN - MINAE 2013).

3.3.2.4. Humedad relativa

La cantidad de vapor de agua en el aire se mide calculando la relación que existe entre la cantidad de vapor que tiene y la cantidad máxima que puede contener a esa misma temperatura. Este valor se denomina humedad relativa del aire y se expresa en porcentaje.

La humedad relativa de un volumen determinado de aire puede cambiar. Puede aumentar si está en contacto con una masa de agua en evaporación, como un río, un lago o el mar. También cambia con la temperatura (Ambientum.com 2019).

3.3.2.5. Régimen de humedad

Se refiere a la presencia o ausencia ya sea de un manto freático o al agua retenida a una tensión menor de 1500 kPa en el suelo, o en horizontes específicos, por periodos del año. Los regímenes de humedad están condicionados a la distribución de las lluvias de cada una de las regiones de un lugar y al número de días secos consecutivos durante el año (UPRA 2016).

El régimen de humedad de un suelo determina los tipos de plantas que crecerán en este, afectando además la forma en que se distribuyen las raíces (Universidad de Chile 2019).

3.3.2.6. Profundidad efectiva de los suelos

Se define como la profundidad efectiva al grosor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales las raíces pueden penetrar sin dificultad, en busca de agua, nutrimentos y sostén.

Su límite inferior está definido por capas u horizontes compactos que impiden el desarrollo de las raíces, como arcillas muy densas y compactas, horizontes cementados, compactos (panes endurecidos), estratos rocosos o pedregosos continuos, nivel freático asociado con gleización, horizontes con concentraciones tóxicas de algún elemento (Cu, Mn, Na) (MAG-MIRENEM 1994).

3.3.2.7. Pedregosidad

Es el contenido de piedras y rocas que interfieren en las labores de labranza, crecimiento de raíces y el movimiento de agua.

Para propósitos metodológicos, la pedregosidad se define como el contenido de grava cuyo tamaño varía de 0,2 a 20 mm, las piedras tienen más de 2 cm de diámetro y rocosidad es la proporción relativa de exposición de la roca fija, ya sea por afloramiento en suelos muy delgados o por conglomerados (MAG-MIRENEM 1994).

3.3.2.8. Textura de los suelos

Las texturas consideradas serán aquellas dominantes en el suelo y subsuelo, donde la clase textural será definida por la limitante más fuerte del suelo o subsuelo.

La textura se refiere a la proporción relativa de los tamaños de las partículas de la fracción fina del suelo, a saber: arcilla, limo y arena (MAG-MIRENEM 1994).

Para la aplicación en esta metodología se tomó la textura predominante desde 0 a 40 cm de profundidad.

3.3.2.9. Grado de erosión de los suelos

Es la pérdida actual o potencial de suelo provocada por la escorrentía superficial y la acción del viento. La erosión actual o sufrida ocurre por malas prácticas de manejo de la tierra y potencial según el grado de inclinación de la pendiente (MAG-MIRENEM 1994). Los grados de erosión reflejan la intensidad actual y la afectación en la superficie por estos procesos.

3.3.2.10. Pendiente del terreno

Inclinación de un terreno respecto a un plano horizontal que pasa por su base (UPRA 2015). Para estudios de suelos a nivel de detalle o superiores, la pendiente debe tener una mayor consideración en el microrelieve, por lo que la frecuencia de su medición debe ser mayor, pues afecta labores de labranza y movimiento del agua sobre el suelo (MAG-MIRENEM 1994). Se expresa como un gradiente calculado en grados o porcentaje.

3.3.2.11. Susceptibilidad por deslizamientos

Probabilidad de ocurrencia de procesos de movimientos en masa en el terreno. Los deslizamientos son movimientos fuertes de suelo o roca que se mueven, respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de roturas netas al superar estas la resistencia al corte; las masas generalmente se desplazan en conjunto y se comportan como una unidad en su recorrido (UPRA 2016).

Los deslizamientos constituyen un riesgo geológico pueden ser naturales o inducidos, que debe considerarse a la hora de tomar decisiones para el establecimiento de cultivos comerciales.

3.3.2.12. Susceptibilidad a inundaciones

Se refiere a probabilidad y frecuencia de ocurrencia de un desborde de una corriente de agua fuera de su cauce normal ocasionando un peligro para las áreas aledañas.

El anegamiento puede ser causado por el estancamiento de aguas en depresiones y llanuras, en especial sobre suelos con problemas de drenaje (MAG-MIRENEM 1994).

3.3.2.13. Drenaje natural

Agrupar las limitaciones causadas por exceso o deficiencia de humedad en el suelo o por riesgo de inundación. Es la rapidez con que el agua se desplaza, ya sea por escurrimiento superficial o por su movimiento a través del perfil hacia espacios subterráneos (MAG-MIRENEM 1994).

El drenaje natural combina el drenaje interno y externo del suelo, tiene en cuenta la relación entre pendiente, escorrentía e infiltración y las evidencias de procesos de óxido-reducción y colores gley; también de la profundidad a la cual aparece el nivel freático (UPRA 2016).

3.3.2.14. Acidez de los suelos (pH)

Un ácido es una sustancia que tiende a entregar protones (H^+). Por otro lado, una base es cualquier sustancia que acepta protones. La acidez de una solución está determinada entonces por la actividad de los iones hidrógeno (H^+). Haciendo uso de estos principios químicos, la acidez en el suelo se determina midiendo la actividad del H^+ en la solución del suelo y se expresa con un parámetro denominado potencial hidrógeno (pH) (Espinoza y Molina 1999).

EL pH del suelo tiene una importancia determinante para la disponibilidad de los iones nutritivos, lo que incide directamente en el crecimiento vegetal afectando principalmente la disponibilidad de los nutrientes y el proceso fisiológico de absorción de nutrientes por parte de las raíces.

Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes permaneciendo en forma no disponibles para las plantas. Todas las especies vegetales presentan rangos característicos de pH en los que su absorción es ideal, fuera de este rango la absorción radicular se dificulta y si los valores de pH son extremos, puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos (Aluminio) (UPRA 2015).

3.3.2.15. Porcentaje de saturación de acidez

La saturación de acidez es una medida del % del complejo de intercambio catiónico que está ocupado por aluminio e hidrógeno. El valor del % de saturación de Al o acidez intercambiable es el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez. Cada cultivo, variedad o cultivar tiene su grado de tolerancia a la acidez, lo cual depende de las características genéticas de la planta. Sin embargo, en términos generales se puede indicar que casi ningún cultivo soporta más de 60 % de saturación de acidez, y el valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10 y 25 % (Bertsch Hernández 1995).

3.3.2.16. Capacidad de intercambio catiónico (Suma de bases)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH_4 etc.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica.

La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo cmolc/kg o meq/ 100 g de suelo (FAO 2019).

La importancia de la CIC radica en que con ella se calcula el porcentaje de saturación de bases o cantidad relativa de bases en el suelo para determinar su fertilidad.

3.3.2.17. Saturación de bases

En el suelo se encuentran los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) y los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo de refiere al porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neutral) su saturación de bases llega a un 100 por ciento y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo (FAO 2019).

Suma de las bases cambiables (Ca, Mg, K y Na), expresada como porcentaje de la capacidad total de intercambio catiónico; el porcentaje de acidez intercambiable (Al y H) corresponde al complemento del 100 %. El pH es directamente proporcional al porcentaje de saturación de bases, excepto cuando los materiales de origen de los suelos son diferentes (UPRA 2016).

3.3.2.18. Porcentaje de materia orgánica en el suelo (Carbono orgánico)

La vegetación fija el carbono de la atmósfera por fotosíntesis transportándolo a materia viva y muerta de las plantas. Los organismos del suelo descomponen esta materia transformándola a Materia Orgánica del Suelo (MOS). El carbono se libera de la biomasa para la MOS, en organismos vivos por un cierto tiempo o se vuelve a emitir para la atmósfera por respiración de los organismos (organismos del suelo y raíces) en forma de dióxido carbono, CO₂, o metano CH₄, en condiciones de encharcamiento en el suelo. El Carbono Orgánico del Suelo (COS) mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la Capacidad de Intercambio Catiónico, la retención de humedad y contribuye con estabilidad de suelos arcillosos al ayudar a aglutinar las partículas para formar agregados. La MOS está compuesta en su mayoría de carbono, tiene una capacidad de retener una gran proporción de nutrientes, cationes y oligoelementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Gracias a la MOS la lixiviación de nutrientes se inhibe y es integral a los ácidos orgánicos que disponibilizan los minerales para las plantas y regulador del pH del suelo. Se reconoce globalmente que el tenor de carbono orgánico en el suelo sea un factor fundamental para la salud del suelo, forma parte fundamental del Ciclo de Carbono y tiene gran importancia en la mitigación a los efectos del cambio climático (FAO 2019).

3.3.2.19. Salinidad o sodicidad

Se refiere a la acumulación de sales solubles en agua en el suelo. Las sales que se pueden encontrar en un nivel freático salino se transportan con el agua a la superficie del suelo mediante ascenso capilar y una vez que el agua se evapora se acumulan en la superficie del suelo. La salinización suele ocurrir con manejo de riego inapropiado sin tomar en consideración el drenaje y lixiviación de las sales por fuera de los suelos. Las sales también se pueden acumular naturalmente o por la intrusión de agua marina. La salinización elevada en el suelo lleva a la degradación de los suelos y la vegetación. Las sales más comunes se encuentran en combinaciones de los cationes de sodio, calcio, de magnesio y de potasio con los aniones de cloro, sulfato y carbonatos.

La alcalinización, o sodicidad del suelo, se define como el exceso de sodio intercambiable en el suelo. A medida que su concentración incrementa en el suelo empieza a reemplazar otros cationes. Los suelos sódicos son frecuentes en regiones áridas y semiáridas y se encuentran muchas veces inestables con propiedades físicas y químicas muy pobres. Debido a ello el suelo se encuentra impermeable disminuyendo la infiltración, percolación, infiltración del agua por el suelo y por último el crecimiento de las plantas (FAO 2019).

3.3.2.20. Saturación de aluminio (acidez intercambiable)

El aluminio soluble (Al^{+3}) es el factor más limitante para el crecimiento y la producción de los cultivos en suelos ácidos; conlleva a la disminución de la solubilidad del fósforo y del molibdeno, y al descenso de la concentración de macronutrientes en la solución del suelo; y en la planta, causa una alteración del metabolismo general, especialmente inhibe el crecimiento radical, lo cual tiene como consecuencia una reducción en la toma de agua y nutrientes. Sin embargo, la magnitud de estos efectos depende de las propiedades fisicoquímicas del suelo y de la tolerancia de las especies vegetales (Rivera *et al.* 2016).

3.3.3. Componente socioecosistémico

El componente socioecosistémico aporta a la zonificación una mirada desde la estructura, función y dinámicas ecológicas de las coberturas introducidas en paisajes culturales y en áreas con mosaicos de transformación de sus coberturas naturales. Al igual que los criterios físicos, ayuda a definir si un territorio tiene o no aptitud para el desarrollo de determinado cultivo.

Desde el componente socioecosistémico se aborda un grupo de criterios que delimitan áreas de aptitud (factores), otro grupo que condiciona o da ciertas alertas a la utilización

de un área para el establecimiento y desarrollo del cultivo por aspectos legales y, por último, un grupo que por aspectos normativos y legales excluye cualquier actividad asociada a esta cadena productiva (UPRA 2016).

En este plan piloto se consideró este componente como ese grupo de restricciones legales y técnico legales que limitan o imposibilitan el establecimiento de cultivos comerciales, principalmente relacionadas con la cobertura de la tierra.

3.3.3.1. Cobertura de la tierra

La cobertura de la tierra es la cubierta biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra y un término amplio que no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también se describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (UPRA 2015).

A través de este criterio es posible identificar áreas con vegetación natural sujetas a exclusiones (bosques, cuerpos de agua,) y áreas transformadas donde es favorable establecer el cultivo comercial (zonas urbanizadas o industriales), bajo una visión integral del territorio.

Para las áreas de aplicación del plan piloto ZAE se están determinando como categorías de coberturas limitantes las siguientes, usando como base la clasificación de la Corine Land Cover modificada para Costa Rica (INTA 2015).

Zonas urbanizadas

Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados a ella que configuran un tejido urbano. Presenta dos unidades:

- **Zona urbana continua:** Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada, que cubren más del 80 % del terreno. Es un área densamente construida. Incluye: centro de aglomeraciones y centros históricos; zonas de habitación periféricas; parqueos y áreas cubiertas por asfalto o cemento; casas individuales y condominios; infraestructura hotelera; red de carreteras; áreas verdes (parques y prados) cuando representan menos de 20 % del área de la unidad; edificaciones de servicios públicos (escuelas, hospitales), mercados o industrias, con sus infraestructuras asociadas (parqueos, infraestructuras de comunicación, áreas asfaltadas y verdes); cementerios con vegetación o sin ella.

- **Zona urbana discontinua:** Son espacios conformados por edificaciones y zona verdes, las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren artificialmente la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierto por vegetación. Se nota un crecimiento lineal generalizado a lo largo de una vía de comunicación (carretera o vía férrea) y no se distingue la formación de cuadras o es incipiente. Incluye: Casas individuales, con jardín y espacios verdes; red de carreteras; áreas deportivas, pequeños parques y zonas peatonales; áreas verdes; instalaciones de servicios públicos, mercados o industrias, con sus infraestructuras asociadas (parqueos, carreteras, áreas asfaltadas y verdes).

Bosques

Ecosistema nativo o autóctono, intervenido o no, regenerado por sucesión natural u otras técnicas forestales, que ocupa una superficie de dos o más hectáreas, caracterizada por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado, con uno o más doseles que cubran más del setenta por ciento (70 %) de esa superficie y donde existan más de sesenta árboles por hectárea de 15 o más centímetros de diámetro medido a la altura del pecho (DAP)².

Se distinguen tres (3) tipos de unidades:

- **Bosque denso:** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman estratos de copas más o menos continuos, con una altura superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales.
- **Bosque secundario:** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos y arbustivos, los cuales forman estratos de copas menos continuas, con una altura superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales si han sido intervenidas y se ha alterado su estructura original y las características funcionales. Tierra con vegetación leñosa de carácter sucesional secundaria, que se desarrolla una vez que la vegetación original ha sido eliminada por actividades humanas y/o fenómenos naturales, con una superficie mínima de 0,5 hectáreas, y con una densidad no menor a 500 árboles por hectárea de todas las especies, con diámetro mínimo a la altura del pecho de 5 cm³.

² Tomado de: Artículo 3 inciso (d) Ley Forestal 7575

³ Tomado de: Decreto 27-998 MINAE

- **Bosque de galería:** Son coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitado por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales.

3.3.3.2. Exclusiones técnicas e Identificación de exclusiones y condiciones legales

Dentro del proceso de análisis realizado se determinaron áreas de exclusión por criterios técnicos y / o condiciones legales que imposibilitan su utilización para el establecimiento de los cultivos; dentro de los primeros se incluyen aquellos cuyos rangos en las variables físicas no permite el establecimiento o desarrollo del cultivo, por ejemplo, temperatura elevada o muy baja, muy poca profundidad efectiva, alta pendiente.

En cuanto a las condiciones legales establecidas como exclusiones están las zonas dentro de cualquier categoría de protección por parte del SINAC, siempre y cuando las mismas hayan sido adquiridas (compradas) o expropiadas por parte del gobierno.

3.3.4. Criterios contemplados para la metodología ZAE

Utilizando las variables que anteriormente se han descrito para cada uno de los componentes, se definen 9 criterios evaluativos y 2 exclusiones para la aplicación de la metodología de zonificación agroecológica en este plan piloto para el cantón de Alvarado.

La formulación de estos criterios surge en primer lugar de una propuesta general del equipo técnico que en talleres con especialistas, en cada cultivo de las distintas áreas geográficas de trabajo, fue depurada y consensuada en cuanto a las variables que compondrían cada criterio a utilizar, los rubros a considerar como ideales para el establecimiento comercial de cada cultivo y los niveles o rangos óptimos de cada uno.

3.3.4.1. Criterio: Condiciones climáticas

Se refiere al conjunto de condiciones meteorológicas correspondientes a un espacio geográfico específico, es caracterizado por elementos del clima referente al estado de la atmósfera en este espacio. Se compone de las variables Temperatura, Precipitación y Brillo Solar.

3.3.4.2. Criterio: Capacidad de laboreo

Es la facilidad o dificultad que tiene un terreno para su preparación en busca de adecuarlo para establecer un cultivo, sea mediante la utilización de maquinaria o de manera manual. Se incluyen las variables de Pendiente, Textura y Pedregosidad.

3.3.4.3. Criterio: Condiciones de enraizamiento y tuberización

Son las características físicas del suelo que permiten el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas y la formación adecuada de los tubérculos. En la medida en que las raíces pueden explorar mayor volumen de suelo, mayores son las posibilidades de las plantas para abastecerse de agua y nutrientes. Está compuesto por las variables de Profundidad efectiva, Textura y Pedregosidad.

3.3.4.4. Criterio: Disponibilidad de humedad

Se entiende como la capacidad que tienen los suelos para aportar agua utilizable para las plantas en cantidades suficientes para su desarrollo. El criterio se define como la interacción del Régimen de humedad y la Textura de los suelos.

3.3.4.5. Criterio: Disponibilidad de oxígeno

Cualidad del suelo que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo está libre de saturación de agua, los poros del suelo permiten la libre circulación del CO₂ hacia la atmósfera y la entrada del oxígeno del exterior para ser absorbido por las plantas. Se determina basado en la Susceptibilidad del suelo a permanecer inundado y a factores relacionados con el Drenaje natural.

3.3.4.6. Criterio: Disponibilidad de nutrientes

Es la capacidad o potencialidad que tienen los suelos de aportar a las plantas los nutrientes necesarios para su óptimo desarrollo.

Para la construcción de este criterio se utilizó la metodología de mapeo digital de suelos a partir de una base de datos georreferenciada, proveniente de los cateos simples realizados durante la fase inicial del estudio semidetallado de suelos a escala 1:50 000 del cantón de Alvarado, realizado como una contrapartida de INTA al Proyecto ZAE. Estos mapas se modelaron con la utilización de software R, aplicando dos métodos complementarios.

Este mapa de fertilidad de suelo obtenido representa el criterio de disponibilidad de nutrientes.

Se conforma por las variables de Acidez (pH), Suma de bases con Olsen modificado, Acidez intercambiable (Al⁺³/kg de suelo), Porcentaje de saturación de acidez y Porcentaje de carbono orgánico.

3.3.4.7. Criterio: Toxicidad por sales, sodio y aluminio

La concentración excesiva de minerales y nutrientes necesarios para las plantas puede llegar a ser tóxica, es el caso del hierro, manganeso, cloro, zinc; o también las sales como los carbonatos, sulfatos, nitratos o el sodio o aluminio. Este criterio considera las variables de Salinidad y Sodicidad así como la Saturación de aluminio.

3.3.4.8. Criterio: Susceptibilidad a pérdida de suelos

Es el grado o nivel de vulnerabilidad de las tierras a ser afectadas por los agentes erosivos; integra las variables que causan o que originan dichas pérdidas: Pendiente, Erosión actual, Susceptibilidad a deslizamientos.

3.3.4.9. Criterio: Riesgo fitosanitario

Se refiere al conjunto de las principales variables ambientales (Temperatura, Precipitación y Humedad relativa) que aumentan la probabilidad de que se desarrollen infecciones y propagación de enfermedades en los cultivos comerciales.

Existe un elemento a resaltar en esta variable, para el presente plan piloto la determinación de los parámetros o rangos referentes a las categorías de aptitud no fue posible de unificar entre el grupo de especialistas consultados, esto a razón de que no existe suficiente información técnica que respalde de manera robusta los elementos que los definan. Como resultado de lo anterior, por el momento se omite del proceso de análisis.

3.3.4.10. Exclusión: Cobertura de la tierra

Serán consideradas áreas de exclusión los sectores que según los tipos de cobertura se identificaron como Bosques y Zonas urbanizadas en cada una de sus respectivas unidades.

3.3.4.11. Exclusión: Condiciones técnicas legales

Todas aquellas áreas que están bajo la administración del SINAC y que hayan sido adquiridas de manera definitiva por el gobierno serán también contempladas como exclusiones legales. Así mismo, los sectores que presentan valores fuera de los rangos ideales para una o más variables, en cuanto al desarrollo y establecimiento de los cultivos comerciales, serán excluidas al realizar el mapeo de zonificación.



Figura 5. Criterios y variables generales utilizadas en la metodología ZAE.

3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA

En el marco del desarrollo del proyecto, se realiza el análisis de diferentes criterios técnicos utilizando métodos de análisis espacial orientado a estructurar los datos de una forma sencilla y adecuada para su homogenización e interpretación.

3.4.1. Técnicas de análisis

3.4.1.1. Evaluación multicriterio

Es un método que se ha diseñado para cubrir un objetivo específico cuando se requiere evaluar varios criterios y mediante la combinación de estos generar una decisión. Los criterios pueden ser de dos tipos: factores (para los cuales se definen los niveles de aptitud) o restricciones (que para este caso se consideran de carácter técnico, normativo, o técnico-normativo), en donde un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración y una restricción es un criterio que limita, condiciona o excluye dichas alternativas.

Dentro de la evaluación multicriterio, una de las técnicas más sencillas y más frecuentemente aplicadas es la suma lineal ponderada a partir de la cual se puede combinar la información de varios criterios aplicando un peso a cada uno, para obtener un índice único de evaluación, o en este caso el mapa de aptitud.

Debido a las diferentes unidades sobre las cuales se miden los criterios, es necesario estandarizarlos antes de combinarlos; generalmente la normalización se desarrolla asignando valores a cada unidad de evaluación en donde los valores altos corresponden a las mejores condiciones y los valores bajos a las condiciones menos favorables en la aptitud de una unidad de evaluación para fines del establecimiento comercial de los cultivos como se muestra a continuación:

- $X = 3$ Si la unidad de evaluación se encuentra dentro de la categoría de aptitud Alta
- $X = 2$ Si la unidad de evaluación se encuentra dentro de la categoría de aptitud Media
- $X = 1$ Si la unidad de evaluación se encuentra dentro de la categoría de aptitud Baja
- $X = 0$ Si la unidad de evaluación se encuentra dentro de la categoría de exclusión técnica o legal

Donde:

X : Criterio Normalizado

3.4.1.2. Normalización y estandarización de la información espacial

El análisis espacial incluye un amplio conjunto de operadores o algoritmos que se ejecutan sobre una o varias capas ráster con el propósito de producir una nueva capa ráster de salida. El uso de operadores lógicos y/o condicionales permite elaborar operadores complejos para implementar procesos de análisis de datos en estructuras de tipo ráster.

Una de las operaciones más comunes utilizadas en el proyecto es la reclasificación, la cual se emplea para la estandarización o re-escalamiento de las variables y criterios definidos en cada componente para su espacialización. Los criterios se estandarizan en rangos entre cero (0) y tres (3), que indican la transición entre lo no apto (0) y lo muy apto (3). Para el caso donde los criterios no están conformados por variables continuas, la estandarización se realiza directamente asignando la calificación de la categoría de aptitud, basada en los atributos asociados al criterio.

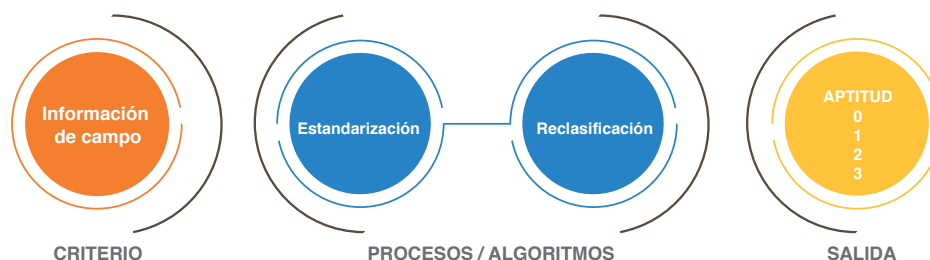


Figura 6. Diagrama de análisis espacial generalizado.

3.4.1.3. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Este método fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico. El propósito del método es permitir que los agentes decisores (especialistas consultados), puedan estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un Modelo Jerárquico. Para este plan piloto se utilizó una herramienta informática de dicho método desarrollada por Klaus D. Goepel en su versión de mayo del 2016.

AHP se basa en la estructuración jerárquica y comparación de pares de alternativa y permite mediante la realización de una matriz de doble entrada (Matriz de comparación pareada) para generar la calificación del grado de incidencia que un factor tiene sobre los otros, comparándolos por pares; así mismo, mediante la generación de los vectores propios de estas relaciones (acción implícita en el proceso analítico jerárquico), se estima el grado de consistencia de las calificaciones como un valor de significancia estadística de las calificaciones, y a su vez, genera el valor de la ponderación para así poder realizar la suma lineal ponderada.

Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones de a pares entre dichos elementos (criterios) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de estas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento de este proceso descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas (especialistas), logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, que va desde 1 hasta 9 (UPRA 2015).

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada	Experiencia y juicio favorecen levemente un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte	Experiencia y juicio favorecen fuertemente un elemento sobre otro
7	Importancia muy fuerte	Un elemento es fuertemente favorecido sobre otro, su dominancia es demostrada en la práctica
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece un elemento sobre otro es del orden más alto posible en cuanto a la afirmación
2, 4, 6, 8 pueden ser usados para expresar valores intermedios		

Un ejemplo de la aplicación de esta matriz de proceso se muestra en la siguiente imagen, corresponde al caso del cultivo de papa en la zona del cantón de Alvarado.

	Condiciones climáticas	Capacidad de laboreo	tuberización	Disponibilidad de humedad	Disponibilidad de oxígeno	Disponibilidad de nutrientes	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Susceptibilidad a pérdida de suelos	Riesgo fitosanitario	Total	Pesos	Consistency Ratio	Consistencia
Condiciones climáticas	1	1	4	5	2	3	3	3	3	25,000	0,156	0,033	La matriz es consistente
Capacidad de laboreo	1	1	2	2	2	2	2	2	2	16,000	0,100	11 x 11 (10%)	
Condiciones de enraizamiento y tuberización	0,250	0,500	1	4	4	4	4	4	4	25,750	0,161		
Disponibilidad de humedad	0,200	0,500	0,250	1	6	6	7	9	9	38,950	0,243		
Disponibilidad de oxígeno	0,500	0,500	0,250	0,167	1	1	2	5	5	15,417	0,096		
Disponibilidad de nutrientes	0,333	0,500	0,250	0,167	1	1	2	5	5	15,250	0,095		
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	0,333	0,500	0,250	0,143	0,5	0,5	1	5	5	13,226	0,082		
Susceptibilidad a pérdida de suelos	0,333	0,500	0,250	0,111	0,2	0,2	0,2	1	5	7,794	0,049		
Riesgo fitosanitario	0,333	0,500	0,250	0,111	0,2	0,2	0,2	0,2	1	2,994	0,019		
Total	4,283	5,500	8,500	12,698	16,900	17,900	21,400	34,200	39,000	160,382	1		
TABLA INTENSIDAD DE LA IMPORTANCIA ENTRE ELEMENTOS													
Intensidad de la importancia	Definición			Explicación									
1	Igual importancia			Dos elementos contribuyen igualmente al objetivo									
3	Importancia moderada			Experiencia y juicio favorecen levemente un elemento sobre otro									
5	Importanciaa fuerte			Experiencia y juicio favorecen fuertemente un elemento sobre otro									
7	Importancia muy fuerte			Un elemento es fuertemente favorecido sobre otro, su dominancia es demostrada en la práctica									
9	Importancia extrema			La evidencia que favorece un elemento sobre otro es del orden más alto posible en cuanto a la afirmación									
2,4,6,8 pueden ser usados para expresar valores intermedios													

Figura 7. Ejemplo de resultado de matriz de orden jerárquico.

Las casillas resaltadas en color corresponden a los valores de intensidad asignados para cada para de variables.

Se presenta a continuación el resumen de la ponderación, mediante la herramienta de Goepel, para los valores de los criterios obtenidos de las matrices pareadas para el caso del cultivo de papa en el cantón de Alvarado con siete participantes.

En este ejemplo el criterio “Condiciones Climáticas” tiene el peso más alto con 26,2 %, mientras que el criterio “Susceptibilidad a la pérdida de suelos” tiene el peso más bajo con un 5,4 %.

AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)
 K. D. Goepel Version **04.05.2016** Free web based AHP software on: <http://bpmsg.com>
Only input data in the light green fields and worksheets!

n= Number of criteria (2 to 10) Scale: **AHP 1-9**

N= Number of Participants (1 to 20) a: Consensus: **64,8%**

p= selected Participant (0=consol.) 2 7 **Consolidated**

Objective

Author

Date Thresh: Iterations: 4 EVM check: 2,1E-09

Table	Criterion	Comment	Weights	Rk
1	Criterion 1	Condiciones climáticas	26,2%	1
2	Criterion 2	Capacidad de laboreo	12,8%	4
3	Criterion 3	Condiciones de enraizamiento y tuberización	14,2%	2
4	Criterion 4	Disponibilidad de humedad	12,8%	3
5	Criterion 5	Disponibilidad de oxígeno	5,7%	8
6	Criterion 6	Disponibilidad de nutrientes	9,0%	5
7	Criterion 7	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	7,0%	7
8	Criterion 8	Suceptibilidad a la pérdida de suelos	5,4%	9
9	Criterion 9	Riesgo fitosanitario	7,1%	6
10		question section ("+" in row 66)	0,0%	

Result

Eigenvalue lambda: **9,274**

Consistency Ratio 0,37 GCI: **0,09** CR: **2,4%**

Matrix	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Criterion 4	Criterion 5	Criterion 6	Criterion 7	Criterion 8	Criterion 9	0	10	normalized principal Eigenvector
Criterion 1	1	3 1/5	2 1/2	2	5	2 4/7	2 5/7	4 1/6	3	-	-	26,20%
Criterion 2	2	1/3	1 2/7	1 1/6	2 1/6	2 1/4	1 4/9	2	1 1/2	-	-	12,77%
Criterion 3	3	2/5	7/9	1 1/4	3 1/3	2	3	2 1/7	1 4/7	-	-	14,17%
Criterion 4	4	1/2	6/7	4/5	2 1/4	2 1/5	2 5/9	2 1/9	1 1/3	-	-	12,78%
Criterion 5	5	1/5	1/2	1/3	4/9	-	3/4	4/5	1 1/5	1	-	5,70%
Criterion 6	6	2/5	4/9	1/2	1 1/3	-	1 3/4	2 1/8	2	-	-	8,95%
Criterion 7	7	3/8	2/3	1/3	2/5	1 1/4	4/7	-	1 7/8	1	-	6,97%
Criterion 8	8	1/4	1/2	1/2	5/6	1/2	1/2	-	1	-	-	5,38%
Criterion 9	9	1/3	2/3	5/8	3/4	1	1/2	1	1	-	-	7,07%
0	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00%

Figura 8. Ejemplo de resultado de ponderación de criterios mediante método Saaty - AHP.

3.4.1.4. Combinación de criterios por suma ponderada entre los mapas de aptitud

Con base en los valores de ponderación, se combina la información de los criterios considerados realizando una suma lineal ponderada, en la cual los criterios son combinados aplicando los pesos calculados a cada uno y obteniendo así un mapa preliminar de zonificación.

Es importante tener en cuenta que luego de realizar la suma ponderada, se deben reclasificar los datos para obtener los valores establecidos para las categorías de aptitud definidos.

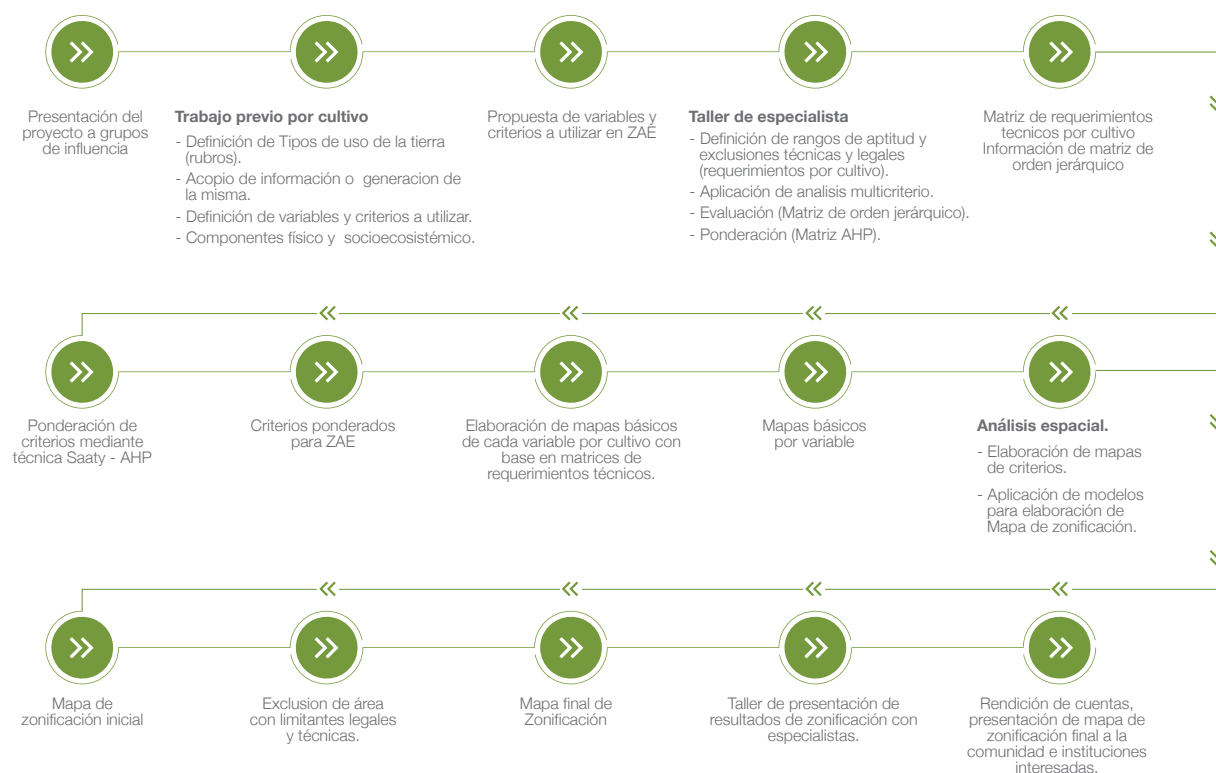


Figura 9. Diagrama de proceso para la elaboración de mapa de zonificación agroecológica.

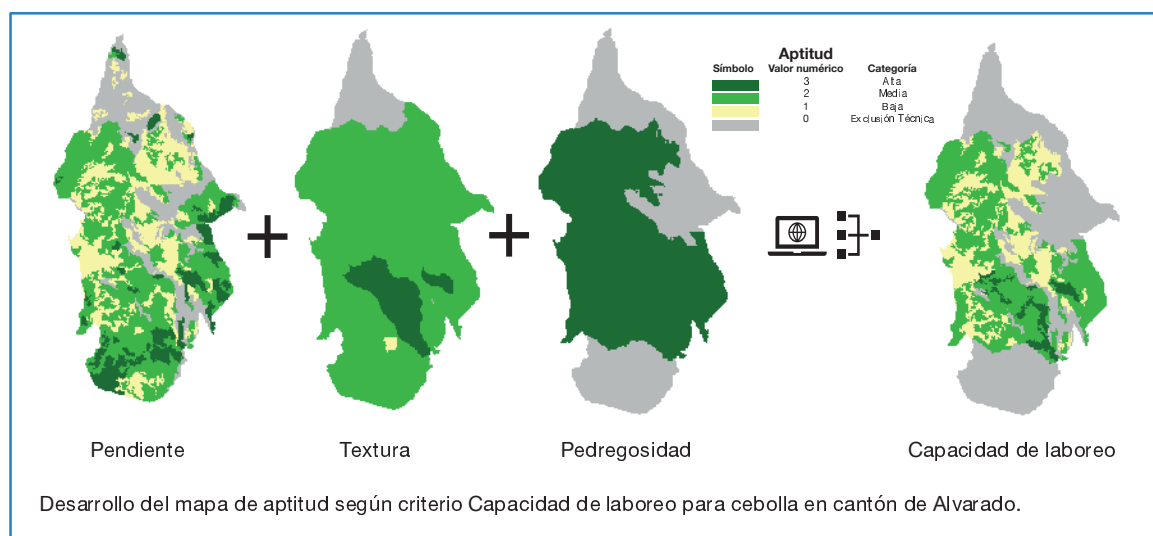


Figura 10. Ejemplo del proceso de desarrollo de mapas de aptitud por criterio.

3.4.2. Incorporación de zonas de exclusión técnicas y legales y obtención del mapa final de ZAE

Las exclusiones legales son aquellas áreas donde no se pueden realizar actividades productivas con fines comerciales, en tanto existe un marco normativo que impide dicho uso del suelo, mientras que las condicionantes normativas son áreas que tienen un marco legal que reconoce aspectos diferenciales de los pobladores y la forma en que toman decisiones sobre el uso que dan a su territorio. En este contexto se excluyen de la clasificación de aptitud los terrenos que se encuentren bajo administración del SINAC, en tanto hayan sido adquiridos definitivamente por el gobierno central.

Adicionalmente, se consideran las áreas con coberturas boscosas y zonas urbanizadas como exclusiones, bajo los criterios de que no pueden ser usados para el establecimiento de cultivos, ya que en el caso de los primeros la ley exige su conservación y para los segundos, las propias condiciones de uso humano no son compatibles con la producción comercial. Estos sectores se les asigna valor 0 dentro de análisis espacial y se superponen a los datos hasta el momento obtenidos de tal manera que cubran los resultados de la combinación de criterios.

Para el cantón de Alvarado se identificaron las áreas que se muestran en la siguiente figura como las que deben ser excluidas en la zonificación.

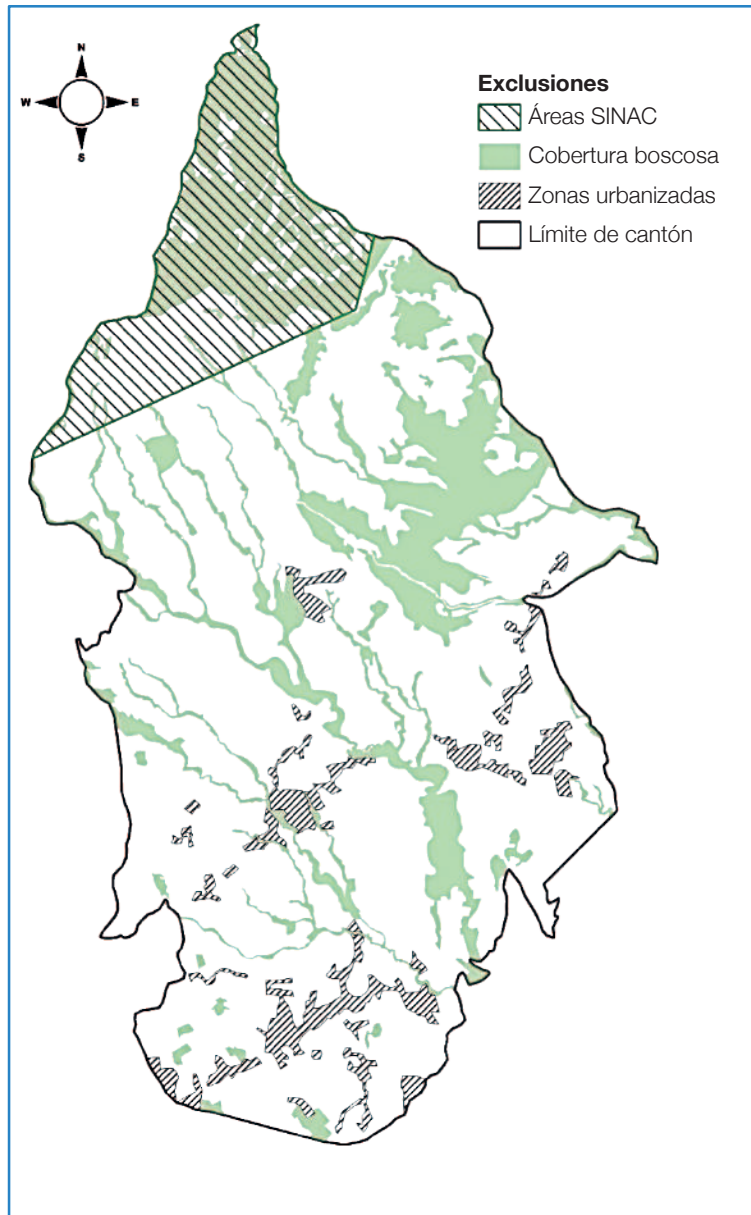


Figura 11. Áreas de restricción y exclusión para el cantón de Alvarado, Cartago.

3.4.3. Proceso de validación del mapa

Tras el proceso de elaboración de los mapas de zonificación es necesario realizar la verificación de la coherencia de la información con la realidad. Existen diversos métodos para realizar este análisis, para este plan piloto se decidió contrastar, en caso de poseerlos, datos de producción del cultivo de interés en contraposición de las áreas donde se asignan las categorías de aptitud y verificar si las tendencias corresponden adecuadamente.

Para el cultivo de papa se procesó la base de datos producto de los censos anuales realizados por el MAG entre los años 2013 y 2018, donde se consolida la información brindada por los productores a través de encuestas de campo. La información por distrito se transformó a un formato geoespacial y se comparó con el mapa de aptitud, sin embargo, no se encontró ningún tipo de correlación entre ambas variables. Igual resultado arrojaron los datos aportados para el cultivo de cebolla. Lo anterior indica que otros medios de validación deben ser probados con el fin de realizar los mejores ajustes a la matriz de requerimientos técnicos. Igualmente, no puede dejarse de lado el hecho de que algunos productores pueden conseguir buenas producciones aun teniendo fincas en zonas de baja aptitud, indica que posiblemente emplean buenas prácticas agrícolas como medidas de adaptación al cambio climático. Para los otros 3 cultivos no efectuó este proceso al considerarse la prueba realizada en papa y cebolla como indicadora de validez de los resultados.

Finalmente, en el taller donde se presentan los resultados del análisis espacial en cada región, se da un espacio para discusión y realimentación donde las personas participantes dan su opinión para mejorar la matriz de requerimientos técnicos. No obstante, lo anterior, se recomienda ampliar el uso de otros mecanismos de validación.

3.5. SOCIALIZACIÓN CON DIFERENTES ACTORES DEL SECTOR

La presente metodología para determinar categorías de aptitud si bien se basa en la evaluación técnica y objetiva de los criterios y variables definidos para cada uno de los cultivos, incorpora ciertos puntos donde la opinión de los especialistas directamente relacionados con la cadena productiva es de vital importancia, sus conocimientos son esenciales en aras de lograr un resultado lo más apegado a la realidad de la región evaluada y del cultivo analizado.

De manera similar la comunicación de los resultados y el involucramiento de las Agencias de Extensión Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería, así como de las empresas, cooperativas e instituciones privadas y grupos de productores, permiten que la metodología de zonificación logre su objeto de convertirse en una herramienta práctica y útil en la planificación de las cadenas productivas en una región particular.

En el marco de este Proyecto de Zonificación Agropecuaria, se realizaron varios eventos para informar, sensibilizar e involucrar a los beneficiarios y usuarios potenciales de esta herramienta. En la zona piloto de Alvarado se llevó a cabo un taller de sensibilización con la comunidad, espacio que permitió dar a conocer los alcances del cambio climático y acciones que desde las comunidades pueden llevarse a cabo para disminuir y/o bajar los riesgos e impactos producto del cambio climático. Se realizó otro taller con técnicos y productores para presentar los resultados iniciales. Posteriormente se presentaron los resultados finales del proyecto a beneficiarios de la comunidad. Durante este espacio se dio un intercambio y análisis de los resultados con los participantes y, se determinó la utilidad de la información para tomar decisiones en cuanto a medidas de adaptación al cambio climático que se deben aplicar, siendo la zonificación agroecológica una herramienta para hacer intervenciones de cara a la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas de producción ante el cambio climático.

4. Resultados

En este apartado se presentan los resultados de la aplicación de la metodología planteada al territorio del cantón de Alvarado para los 5 cultivos analizados.

4.1. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)

La papa es originaria de la región andina de Sudamérica. Las primeras siembras se realizaron cerca de las orillas del lago Titicaca, entre las fronteras de Perú y Bolivia. Entre 160 y 180 de las 2000 especies de *Solanum* conocidas forman tubérculos, de las cuales solo ocho son especies comestibles cultivadas (INTA 2017).

La papa es la principal fuente de alimento para los habitantes de las zonas altas de muchos países, con un consumo anual per cápita creciente, que pasó de 17,42 kg/año en 2002 a 20,84 kg/año en 2012, de acuerdo con información del Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA).

Según los datos del 2016 de la Comisión Nacional de Papa y Cebolla del MAG, en Costa Rica el cultivo de la papa es una actividad a la que pequeños y medianos agricultores se han dedicado durante muchos años. Este tubérculo, de gran importancia para consumo en fresco y para comercialización industrial, ocupa una posición preponderante en la canasta básica. La principal zona productora de papa en el país es la provincia de Cartago, donde se cultivan alrededor de 2800 hectáreas, seguida por Zarcero con 300 hectáreas.

Los principales cantones de producción de papa son Alvarado, Oreamuno, Zarcero, Cartago, Goicoechea, Naranjo y Dota, siendo Alvarado el de mayor producción en 2016 con un 35 % (INTA 2017).

La Dirección de Investigaciones Agrícolas del MAG y posteriormente el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) han aportado en el

desarrollo y liberación de diferentes variedades de papa, tanto para consumo en fresco como para la industria. En las áreas donde se aplicó la metodología de zonificación predomina la variedad Floresta.

Esta variedad ingresó al país en 1990 proveniente del Centro Internacional de la Papa (CIP), ubicado en Perú. Es una variedad altamente productiva, con tubérculos de forma ovalada, ojos superficiales de piel lisa y pulpa blanca. Tiene la cualidad de que su piel no se oscurece, aunque se mantenga por un período prolongado en el campo. Se adapta a todos los pisos altitudinales donde se cultiva la papa en Costa Rica, siendo las zonas más aptas las faldas del volcán Irazú (INTA 2017).

La variedad Floresta está bien posicionada en el mercado y es utilizada por los productores por sus características de tubérculo de color blanco y muy productivo; de ahí que cubra el 80 % del área de siembra a nivel nacional.

4.1.1. Variables y criterios específicos

En el cuadro a continuación se muestran los rangos de valores para las variables del componente edafoclimático determinadas como óptimas para el desarrollo del cultivo de papa. Tal como se explicó previamente los valores de cada variable fuera de estos rangos se consideran áreas de exclusión técnica.

Cuadro 3. Matriz de requerimientos técnicos para papa variedad Floresta en el cantón de Alvarado, Cartago

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Condiciones climáticas	Altitud	msnm	≥2500 a <3200	>1500 a <2500	≥900 a ≤1500	<900 y >3200
	Temperatura promedio anual	°C	≥10 a ≤18	>18 a ≤25	<10 y >25	nd
	Precipitación	mm/año	≥1500 a ≤2200	≥1000 a <1500	≥600 a <1000	<600 y >2200
	Época seca	(días secos consecutivos x ciclo)	≥7 a <15	>15 a <22	>22 a <30	≥22 a 30
	Humedad relativa	%	≥80 a <95	≥60 a <80	≥45 a <60 y >95 a <100	<45 y >95
	Brillo solar	Horas luz/año	1300 a 2000	900 a 1300	<900 y >2100	nd
		diario x ciclo	≥8 a ≤11	≥5 a <8	>3 a <5	<3
Capacidad de laboreo	Vientos	km/h	Ausente	Moderado	Fuerte (>80 km/h)	nd
	Pendiente	%	≥0 a ≤20	>20 a ≤35	>35 a ≤50	>50
	Textura 1	Clase textural	Moderadamente finas	Moderadamente gruesas, medianas	Gruesas	Finas y muy finas
	Pedregosidad	%	SP, LP	Mod P	Muy P, P	FP, EP

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Condiciones de enraizamiento y tuberización	Profundidad efectiva	cm	≥40	≥30 a <40	≥10 a <30	<10
	Textura 2	Clase textural	Mediana	Moderadamente gruesa	Moderadamente fina y gruesas	Finas y muy finas
	Pedregosidad	%	SP y LP	Mod P	Muy P y P	FP y EP
Disponibilidad de humedad	Régimen de Humedad	Adimensional	Udico	Ustico	nd	Acuico
	Textura 3	Clase textural	Muy finas, finas, moderadamente finas,	Medianas	Moderadamente gruesas, gruesas	nd
Disponibilidad de oxígeno*	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nulo	Leve	Moderada	Severo y muy severo
	Drenaje natural	Adimensional	Bueno y excesivo	Moderado	Imperfecto y pobre	Muy pobre
Disponibilidad de nutrientes	pH	pH	≥5,5 a <7,5	≥5,0 a <5,5	≥4,5 a <5,0	<4,5
	Suma de bases	cmol/kg suelo	≥15	>7 a <15	≥4 a ≤7	< 4,0
	Sat, Acidez	%	≤ 10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	Acidez	cmol/L	≤ 0,5	>0,5 a <1	≥1 a ≤1,5	>1,5
	Carbono orgánico del suelo	%	>5	>2 a ≤5	≥0,5 a ≤2	<0,5
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Salinidad y/o sodicidad	dS/m PSI	nd	nd	nd	nd
	Saturación de acidez	%	≤10	>10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
Susceptibilidad a pérdida de suelos	Pendiente	%	≥0 a ≤20	>20 a ≤35	>35 a ≤50	>50
	Erosión actual	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Alta

Observaciones:

Capacidad de intercambio catiónico = Suma de bases (Ca+Mg+K+Na extraídas en Olsen modificado)

Saturación de bases = (Suma de bases/Suma de bases+Al) x 100

SP: sin pedregosidad, LP: ligeramente pedregoso, Mod P: moderadamente pedregoso, P: pedregoso, Muy P: muy pedregoso, FP: fuertemente pedregoso, EP: extremadamente pedregoso

* Para el caso de Alvarado este criterio se consideró técnicamente no discriminante por lo que se asumió un valor de aptitud de 3 (Alta) para todo el cantón.

4.1.2. Desarrollo de proceso de conformación de los criterios según aptitud y variable

Cada uno de los criterios utilizados en la zonificación de los cultivos surge a partir de la combinación de variables específicas, cada una de estas combinaciones y sus resultados para el caso de papa en el cantón de Alvarado se muestran a continuación.

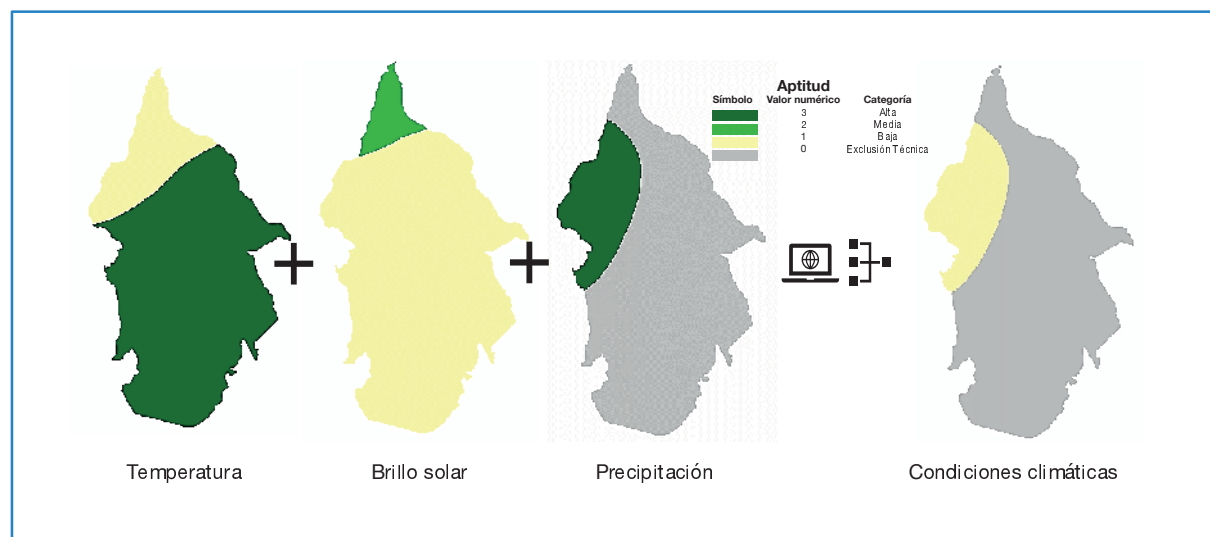


Figura 12. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones climáticas** para papa (*Solanum tuberosum*) variedad Floresta en cantón de Alvarado.

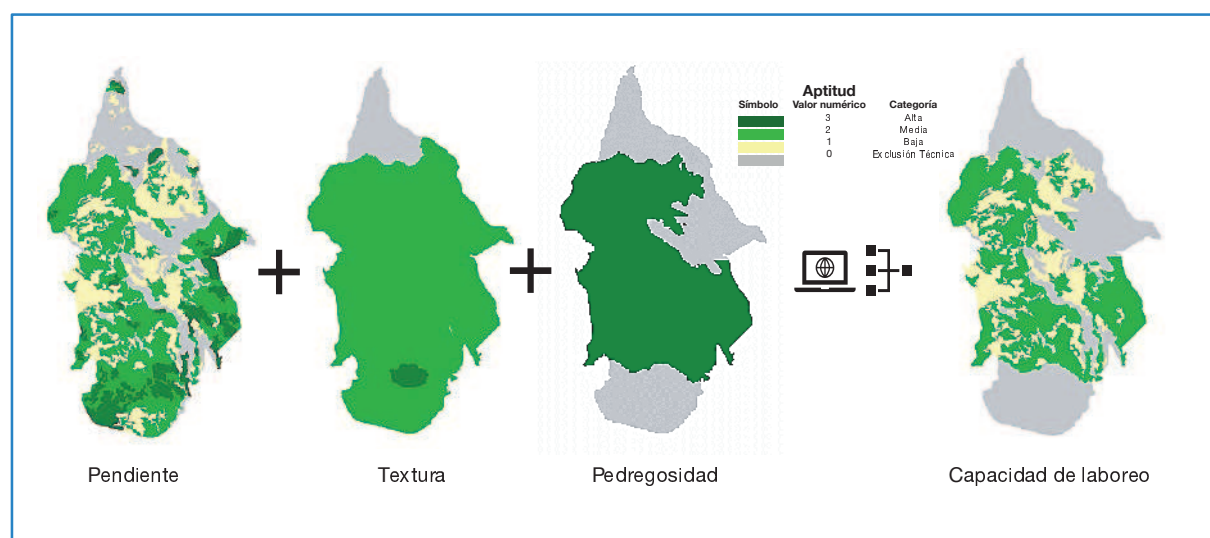


Figura 13. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio capacidad de laboreo** para papa (*Solanum tuberosum*) variedad Floresta en cantón de Alvarado.

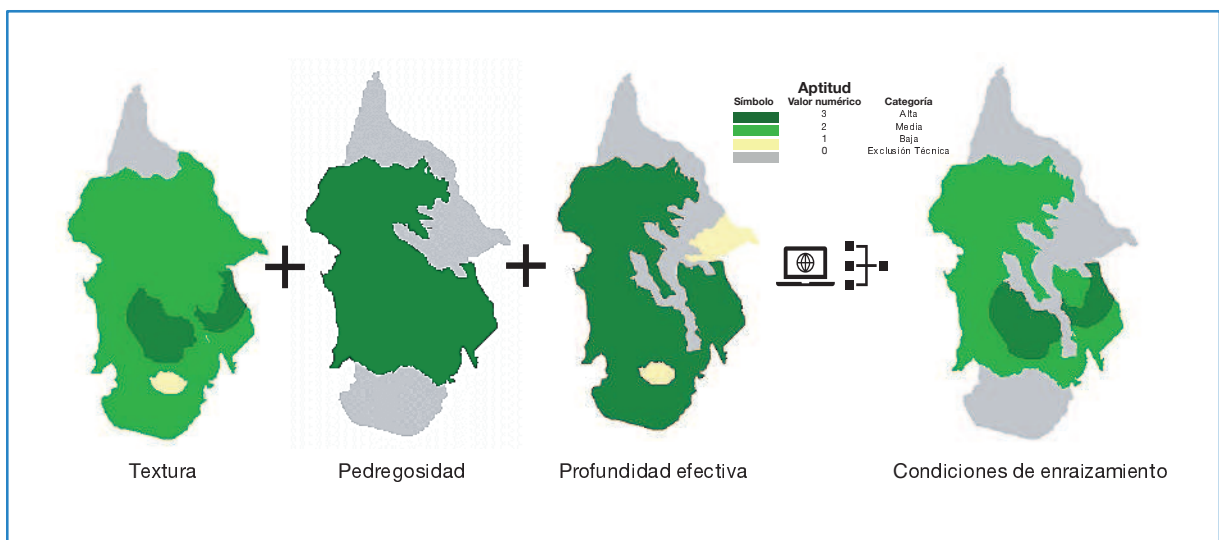


Figura 14. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones de enraizamiento y tuberización** para papa (*Solanum tuberosum*) variedad Floresta en cantón de Alvarado.

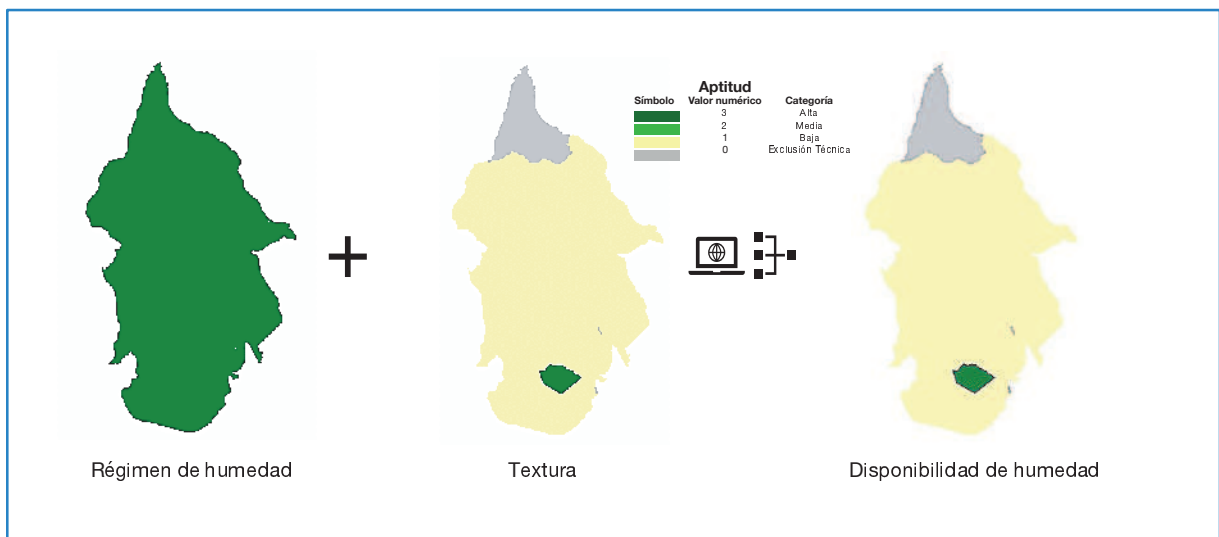


Figura 15. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de humedad** para papa (*Solanum tuberosum*) variedad Floresta en cantón de Alvarado.

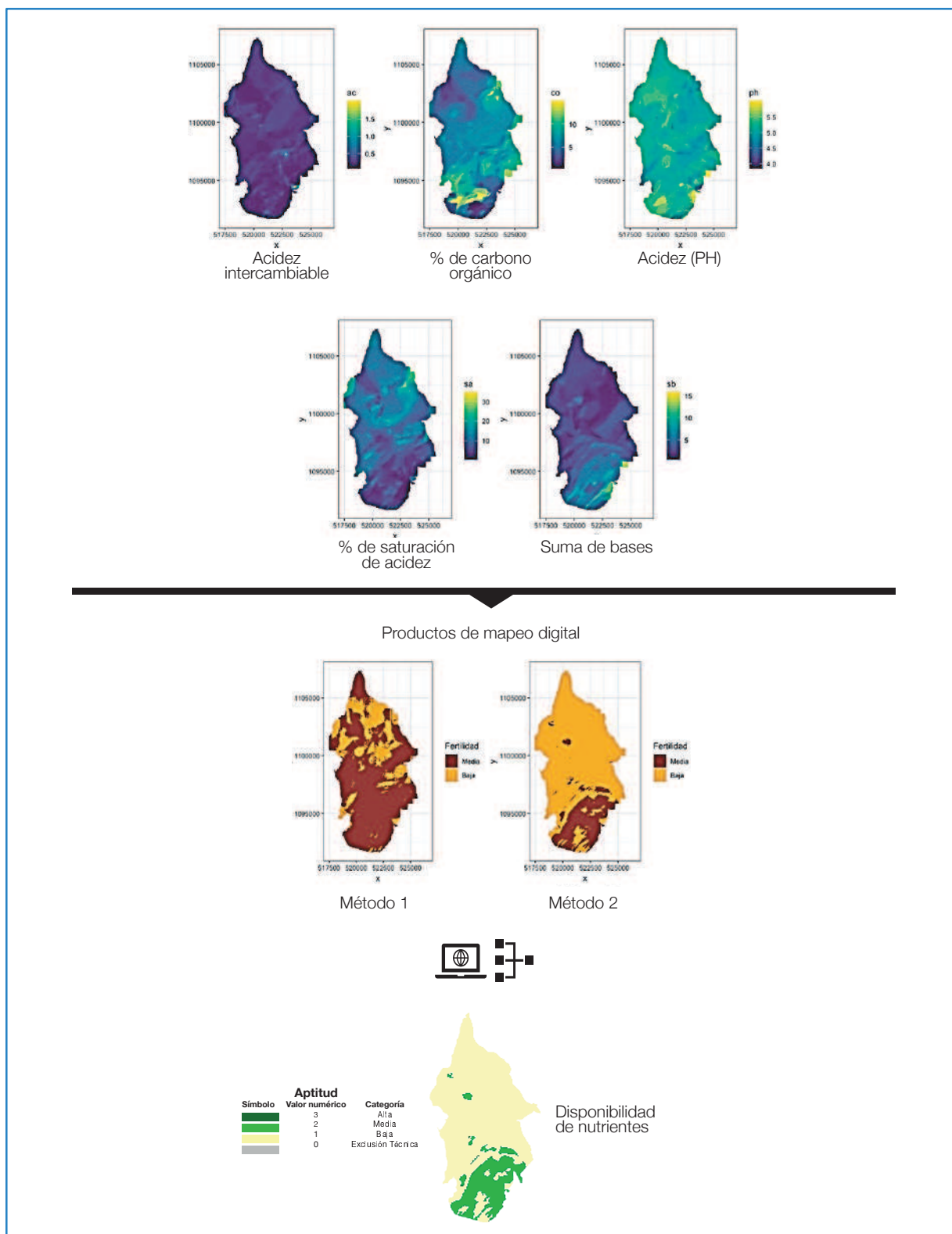


Figura 16. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de nutrientes** para papa (*Solanum tuberosum*) variedad Floresta en cantón de Alvarado.

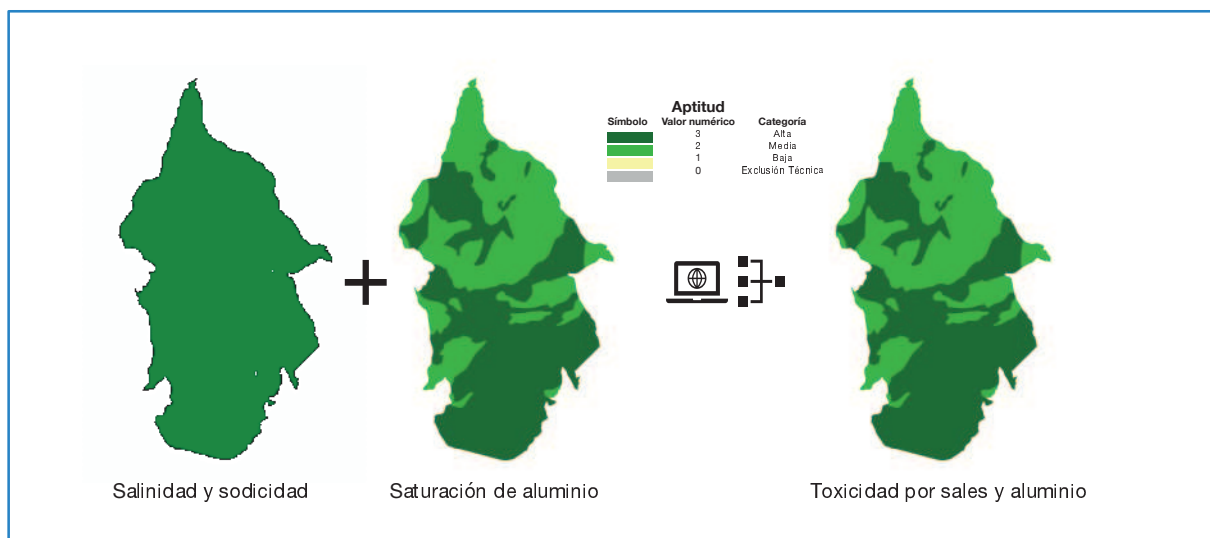


Figura 17. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio toxicidad por sales y aluminio** para papa (*Solanum tuberosum*) variedad Floresta en cantón de Alvarado.

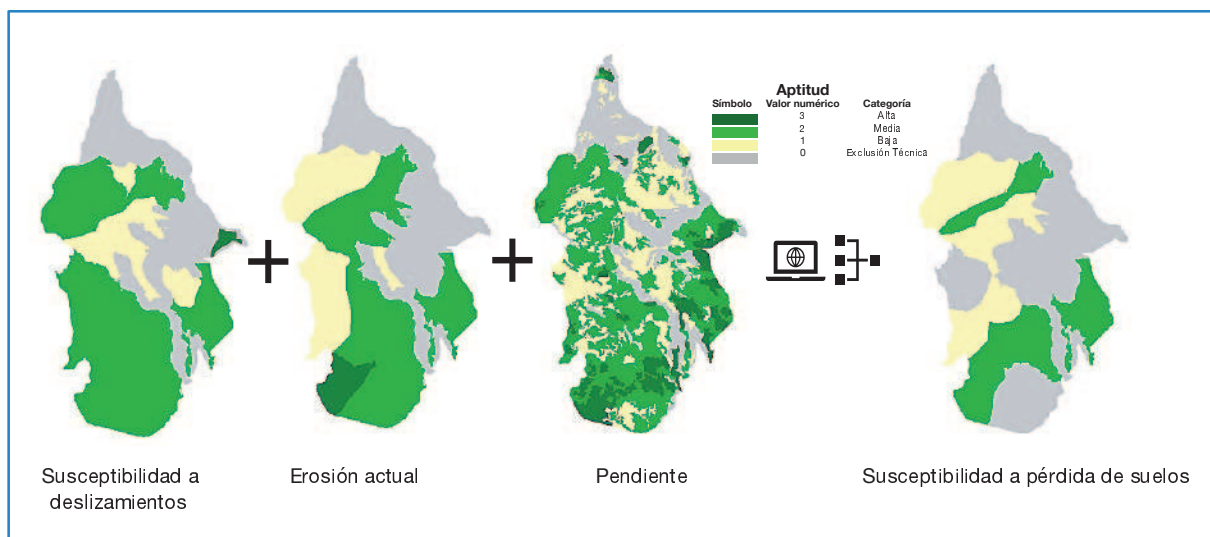


Figura 18. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio susceptibilidad a pérdida de suelos** para papa (*Solanum tuberosum*) variedad Floresta en cantón de Alvarado.

4.1.3. Mapa de zonas aptas según aplicación de metodología ZAE

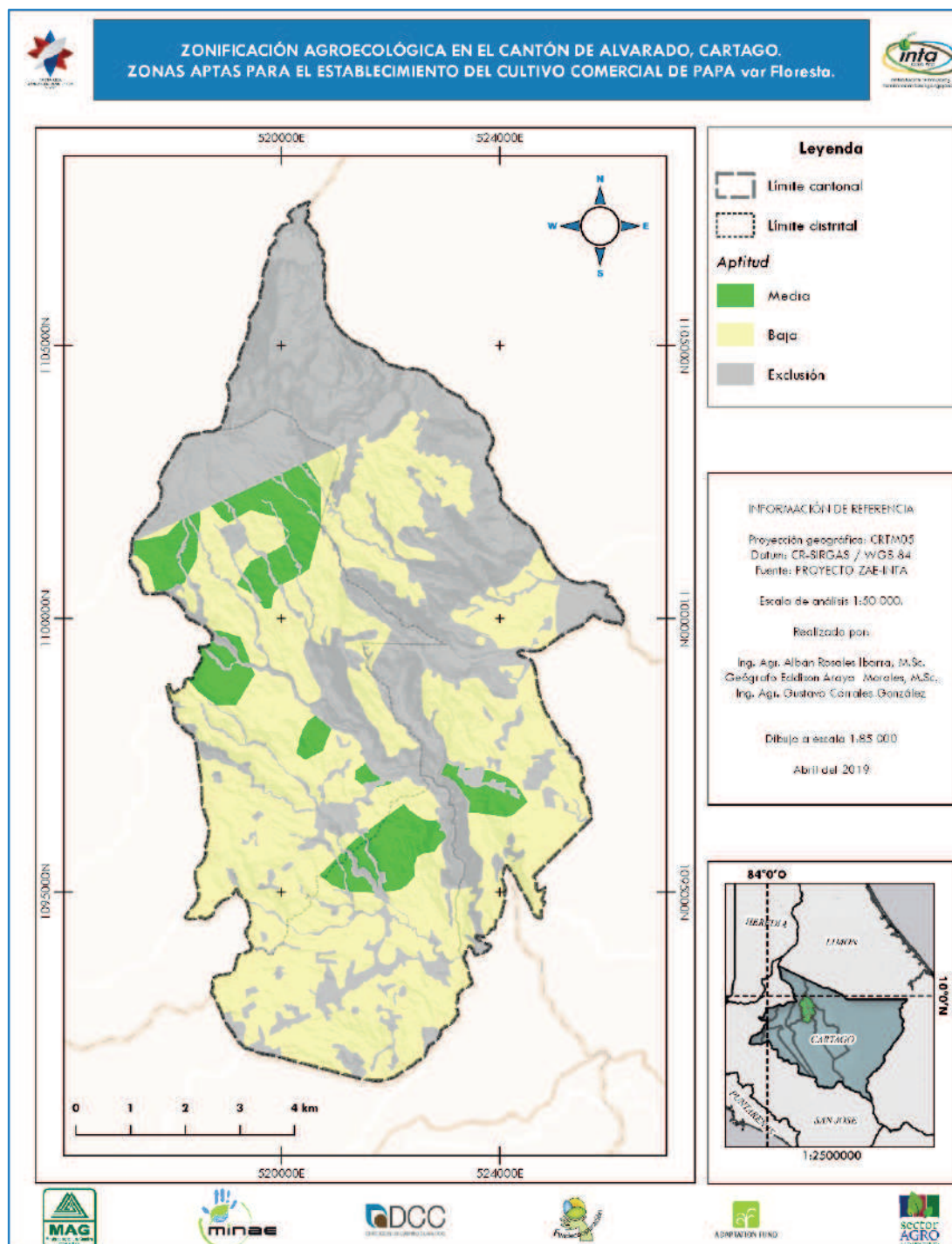


Figura 19. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Floresta en cantón de Alvarado.

Cuadro 4. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de papa variedad Floresta en el cantón de Alvarado, Cartago

Símbolo	Aptitud		Área (ha)	% de ocupación
	Valor numérico	Categoría		
	3	Alta	0,00	0,00 %
	2	Media	697,82	8,77 %
	1	Baja	3920,72	49,26 %
	0	Exclusión técnica	3342,09	41,97 %
Total			9959,63	100,00 %

Fuente: resultados de análisis.

El cantón de Alvarado reúne 4618,54 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo de papa, lo que representa el 58,03 % del área total del cantón. Esta aptitud se clasifica entre los niveles media y baja. En este sitio no se encontraron áreas de aptitud alta para este rubro, mientras que el 41,97 % del área de estudio presenta algún tipo de exclusión legal o técnica para el desarrollo de este cultivo.

Al analizar las variables y criterios involucrados, se nota que el criterio de condiciones climáticas es el factor que más condiciona los resultados de la zonificación, dentro de este criterio las variables de brillo solar y principalmente precipitación son las que representan las mayores condicionantes de la aptitud de estas tierras para este cultivo. El criterio de disponibilidad de nutrientes también podría estar condicionando fuertemente la aptitud de estas tierras, ya que, una gran parte del cantón de Alvarado presenta bajos niveles de fertilidad del suelo. Otros criterios como la Disponibilidad de humedad, la toxicidad por sales y aluminio y la susceptibilidad a la pérdida de suelos, también pudieron influir en la clasificación de la aptitud de tierras para el cultivo de la papa.

4.2. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.)

La cebolla (*Allium cepa* L.) pertenece a la familia de las Alliaceas, dentro de la cual, se encuentra el ajo y otras hortalizas de menor importancia en nuestro país como el cebollino y el puerro.

La cebolla es originaria de las regiones secas de Asia y tanto la anatomía como la fisiología de la planta indican con claridad que este cultivo se desarrolla bien en condiciones de baja humedad relativa, alta insolación y bajo suministro de agua. Esta especie es bianual. Su primera fase es la vegetativa, que inicia con la germinación de la semilla y finaliza con la formación del bulbo, que es el órgano de la planta conformado por túnica, escamas, un tallo verdadero y yemas. La segunda fase es la reproductiva donde la planta produce tallos florales y semillas (Araya Umaña 2012).

En el país existen cuatro regiones productoras: Región Central Oriental, (cantones Cartago y Oreamuno), que produce todo el año, con una participación aproximada del 90 % de la producción nacional. Región Central Sur (cantones Santa Ana y Escazú), Región Central Occidental (cantones Alajuela y Alfaro Ruiz) y Región Chorotega (cantones Bagaces, Cañas y Carrillo). Estas tres producen una vez al año, durante el verano (Delgado 2009).

En el país existe un amplio número de variedades e híbridos disponibles, tanto en forma experimental como comercial. En el marco del programa de hortalizas del INTA-Costa Rica, se han evaluado diferentes variedades, de las cuales se citan en este documento las que mejor resultado han dado. En la zona norte de Cartago para las siembras bajo condiciones lluviosas, se dispone de la variedad Gladalan Brown, en Potrero Cerrado y Tierra Blanca (Araya Umaña 2012).

La cebolla cuenta con una amplia demanda en el mercado en fresco pues como ingrediente, forma parte de la preparación de muchas comidas y debe estar disponible durante todo el año.

El promedio de producción mensual en 2017 fue de 3 157 toneladas métricas, mientras que en 2018 incrementó a 3 299 t. Con los datos obtenidos en el 2018, se observa que los cantones de Cartago, Oreamuno y Zarcero son los de mayor volumen de producción, en ellos se concentra el 74 % del volumen registrado ese año (Caravaca 2019).

4.2.1. Variables y criterios específicos

Se presentan en el cuadro siguiente los requerimientos establecidos como ideales para cada una de las categorías de aptitud para el cultivo comercial de cebolla variedad *Alvara* en el cantón de Alvarado. Aquellos fuera de los rangos ideales se consideran exclusiones técnicas.

Se resalta la modificación en el criterio de Condiciones de enraizamiento, el cual, por las características anatómicas de la especie, se entiende como Formación de bulbo, sin embargo, se utilizan las mismas variables para su construcción.

Cuadro 5. Matriz de requerimientos técnicos para cebolla variedad Alvara en el cantón de Alvarado, Cartago

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Condiciones climáticas	Altitud	msnm	≥1300 a ≤1700	>1700 a ≤2200	≥1000 a <1300 y >2200 a ≤2500	<1000 y >2500
	Temperatura promedio anual	°C	≥15 a ≤24	≥13 a <15 y >24 a ≤28	≥10 a <13 y >26 a ≤30	<10 y >30
	Precipitación	mm/año	≥1000 a ≤1500	≥700 a <1000 y >1500 a ≤2000	≥500 a <700 y >2000 a ≤2500	<500 y >2500
	Época seca	(días secos consecutivos x ciclo)	≥7 a <15	>15 a <22	>22 a <30	>30
	Humedad relativa	%	≥70 a <80	≥60 a <70 y >80 a ≥90	≥40 a <60	<40 y >90
	Brillo solar:	Horas luz/año				
		diario x ciclo	≥8 a ≤11,5	≥5 a <8	≥3 a <5	<3
Capacidad de laboreo	Vientos	km/h	Ausente (<15 km/h)	Moderado (15 - 30 km/h)	Fuerte (>30 y <80 km/h)	Muy Fuerte (>80 km/h)
	Pendiente	%	≥0 a ≤15	>15 a ≤25	>25 a ≤45	>45
	Textura	Clase textural	medianas	Gruesas, Moderadamente gruesas	Moderadamente finas	Finas, Muy Finas
Formación de bulbo*	Pedregosidad	%	SP, LP	Mod P	Muy P, P	FP, EP
	Profundidad efectiva	cm	≥30	≥25 a <30	≥20 a <25	<20
	Textura	Clase textural	Medianas	Moderadamente gruesas, Moderadamente finas	Gruesas, Finas	Muy Finas
Disponibilidad de humedad	Pedregosidad	%	SP, LP	Mod P	Muy P, P	FP, EP
	Régimen de Humedad	Adimensional	Udico	Ustico	Ustico	Acuico
Disponibilidad de humedad	Textura 3	Clase textural	medianas	Gruesas, Moderadamente gruesas	Moderadamente finas	Finas, Muy Finas

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Disponibilidad de oxígeno**	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nulo	Leve	Moderado	Severo y muy severo
	Drenaje natural	Adimensional	Bueno	Moderadamente excesivo	Excesivo, moderadamente lento	Nulo, Muy lento, lento
Disponibilidad de nutrientes	pH	pH	≥5,5 a <7,5	≥5,0 a <5,5	≥4,5 a <5,0	<4,5
	Suma de bases	cmol/kg suelo	≥15	>7 a <15	≥4 a ≤7	< 4,0
	Sat, Acidez	%	≤ 10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	Acidez	cmol/L	≤ 0,5	>0,5 a <1	≥1 a ≤1,5	>1,5
	Carbono orgánico del suelo	%	>5	>2 a ≤5	≥0,5 a ≤2	<0,5
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Salinidad y/o sodicidad	dS/m PSI	≥0 a ≤4	>4 a ≤ 8	>8 a <16	≥16
	Saturación de acidez	%	≤ 10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
Susceptibilidad a pérdida de suelos	Pendiente	%	≥0 a ≤15	>15 a ≤25	>25 a ≤45	>45
	Erosión actual	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Nula	Leve	Moderada a Severa	Muy Severa

Observaciones:

Capacidad de intercambio catiónico = Suma de bases (Ca+Mg+K+Na extraídas en Olsen modificado)

Saturación de bases = (Suma de bases/Suma de bases+Al) x 100

SP: sin pedregosidad, LP: ligeramente pedregoso, Mod P: moderadamente pedregoso, P: pedregoso, Muy P: muy pedregoso, FP: fuertemente pedregoso, EP: extremadamente pedregoso

* Se entiende bajo la misma definición de Capacidad de enraizamiento, siendo equivalente por las características anatómicas del cultivo.

** Para el caso de Alvarado este criterio se consideró técnicamente no discriminante por lo que se asumió un valor de aptitud de 3 (Alta) para todo el cantón.

4.2.2. Desarrollo de proceso de conformación de los criterios según aptitud y variable

Cada uno de los criterios utilizados en la zonificación de los cultivos surge a partir de la combinación de variables específicas, cada una de estas combinaciones y sus resultados para el caso de cebolla en el cantón de Alvarado se muestran a continuación.

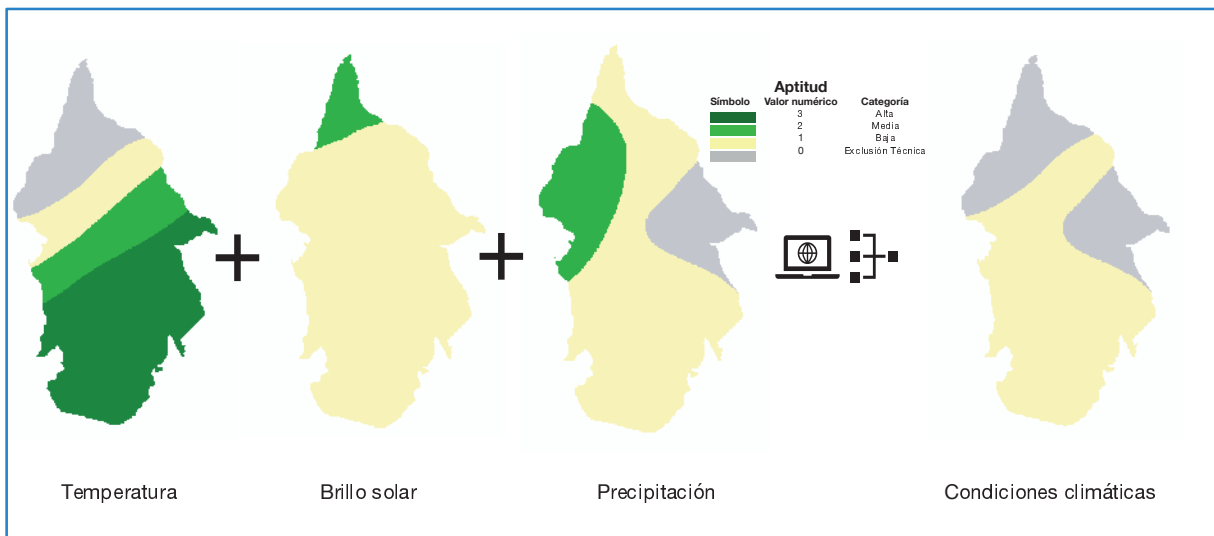


Figura 20. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones climáticas** para cebolla (*Allium cepa*) variedad Alvara en cantón de Alvarado.

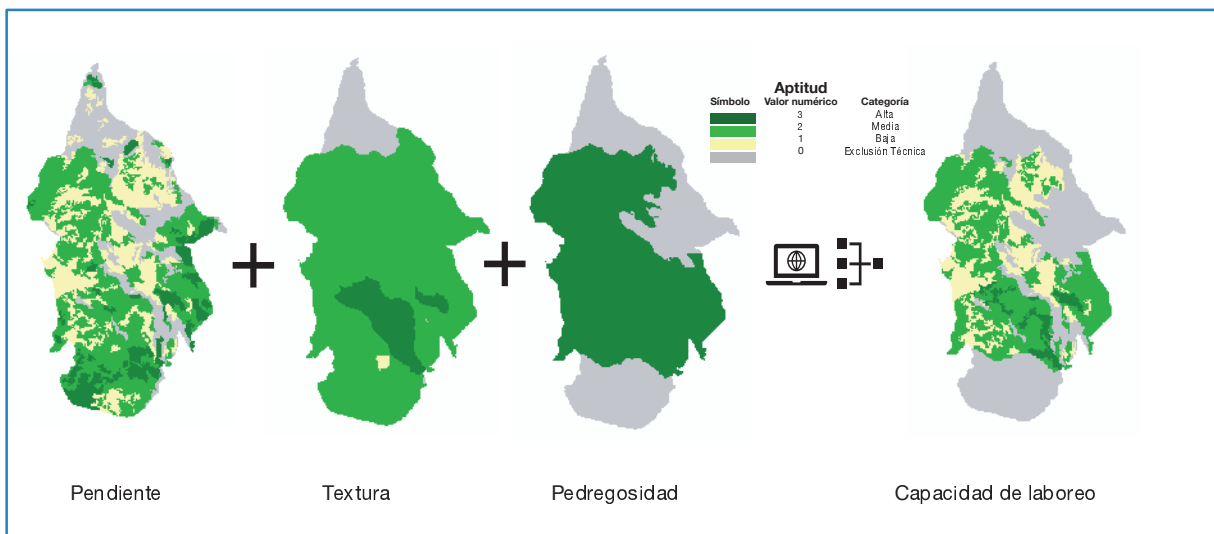


Figura 21. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio capacidad de laboreo** para cebolla (*Allium cepa*) variedad Alvara en cantón de Alvarado.

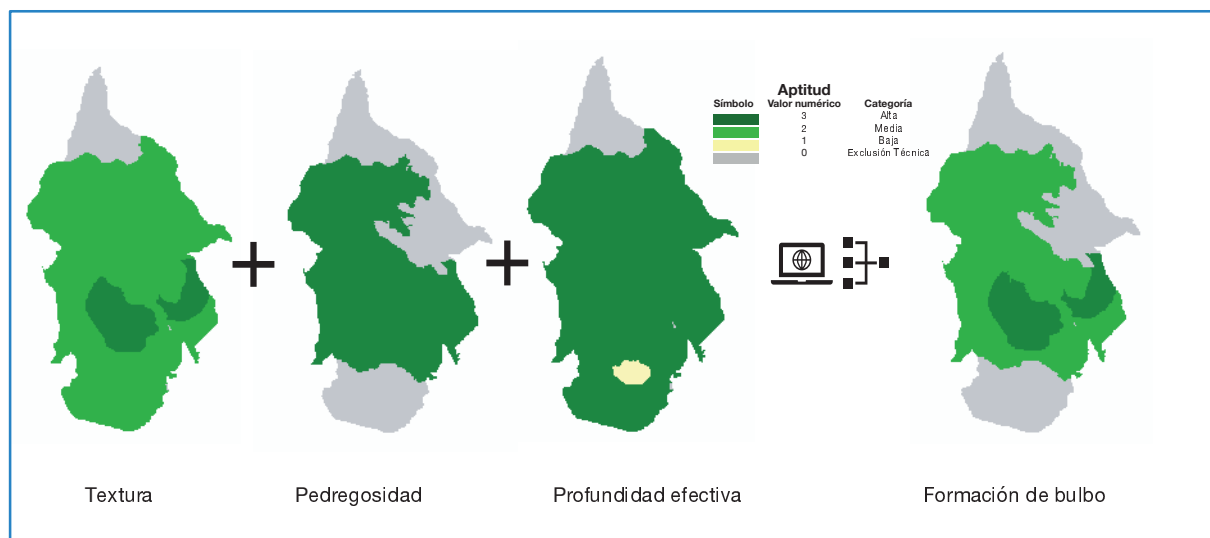


Figura 22. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio formación de bulbo** para cebolla (*Allium cepa*) variedad Alvara en cantón de Alvarado.

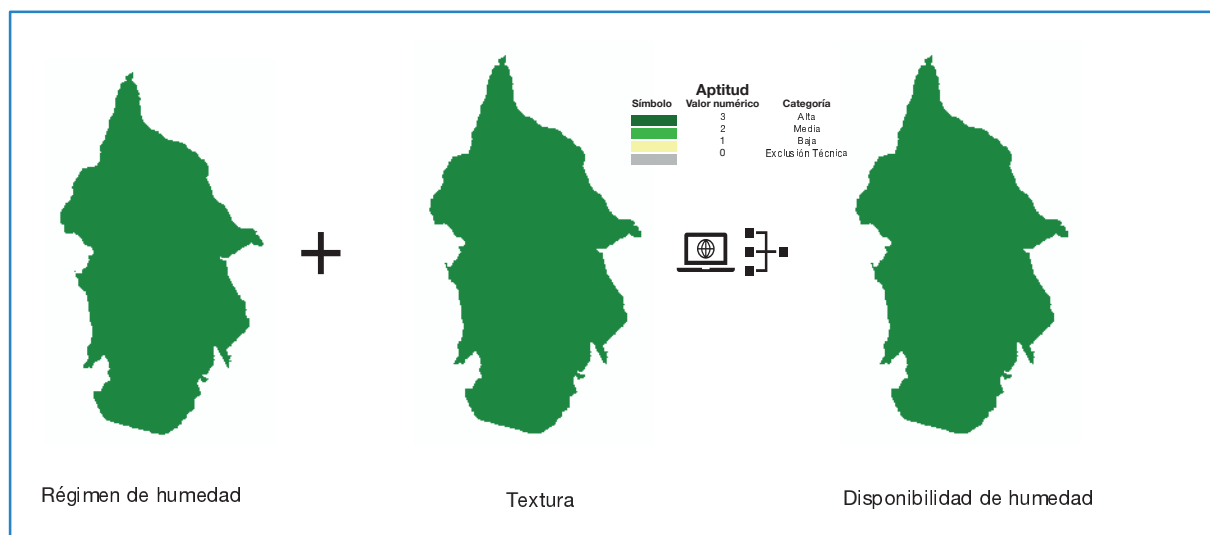


Figura 23. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de humedad** para cebolla (*Allium cepa*) variedad Alvara en cantón de Alvarado.

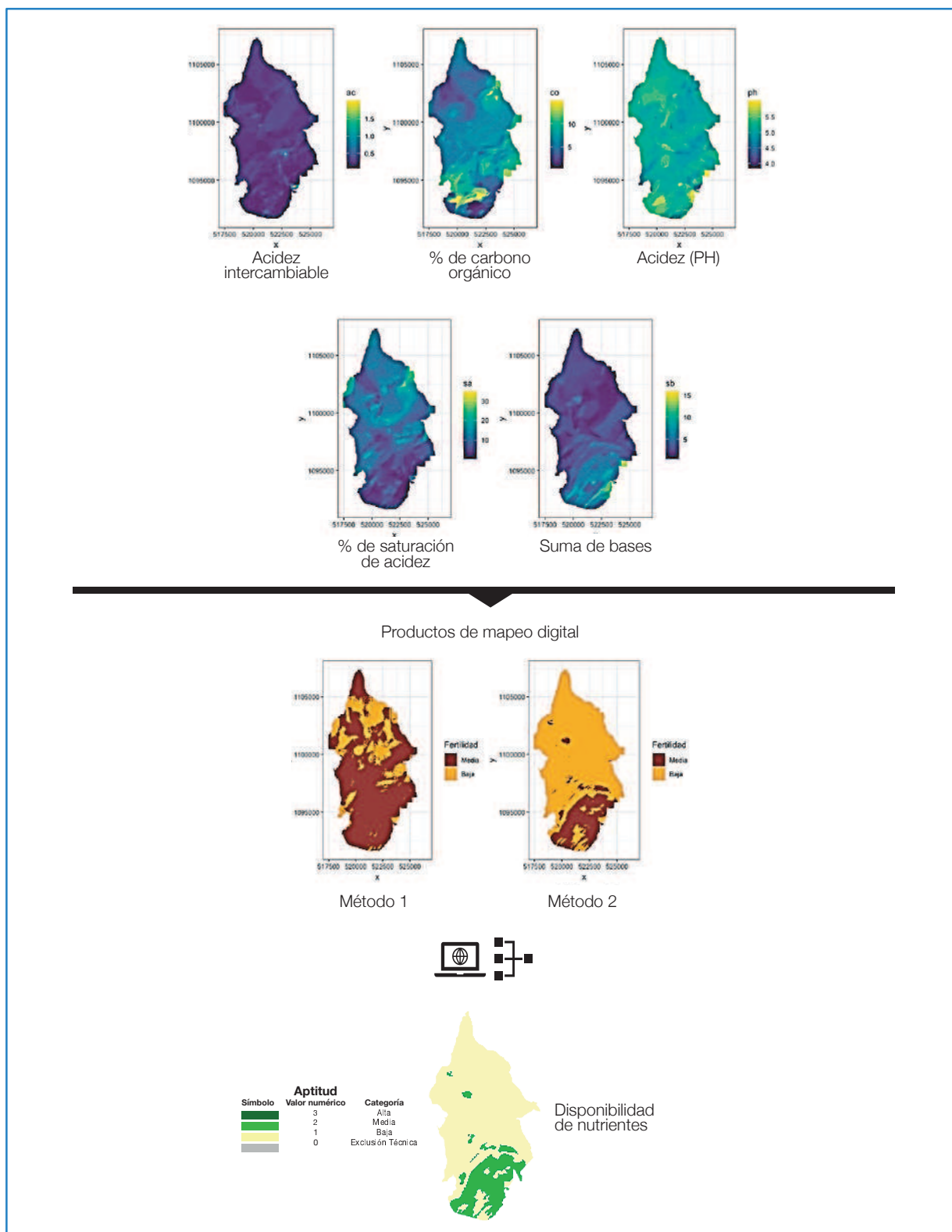


Figura 24. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de nutrientes** para cebolla (*Allium cepa*) variedad Alvara en cantón de Alvarado.

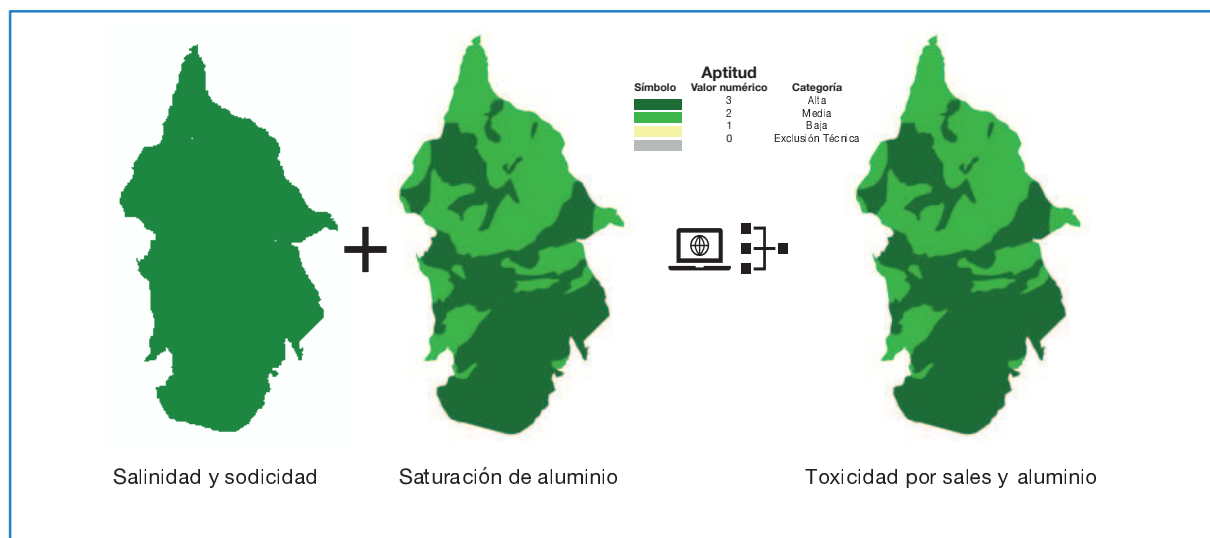


Figura 25. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio toxicidad por sales y aluminio** para cebolla (*Allium cepa*) variedad Alvara en cantón de Alvarado.

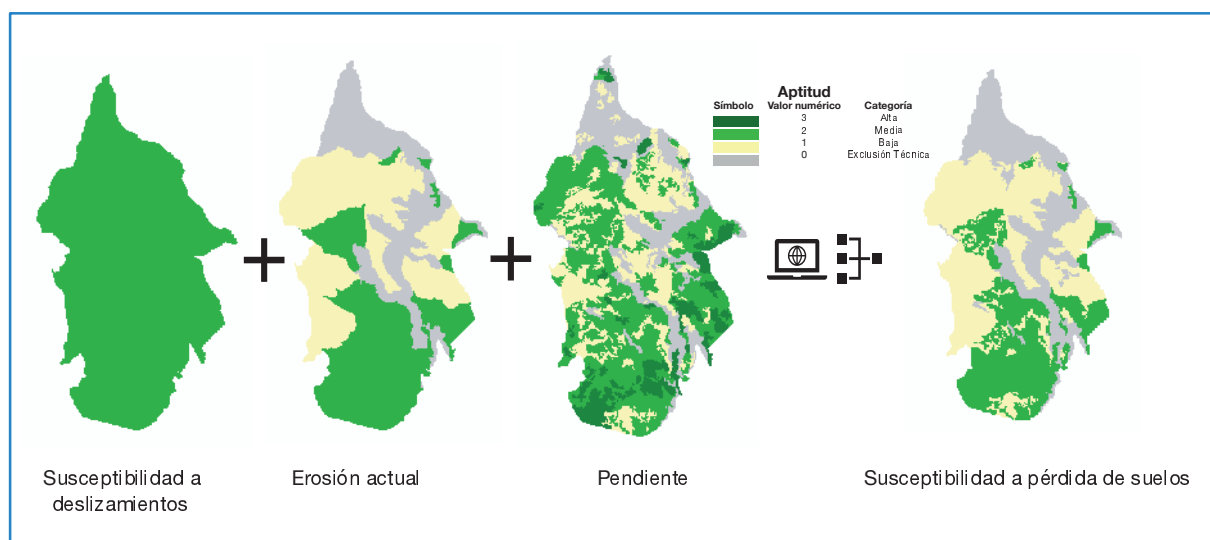


Figura 26. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio susceptibilidad a pérdida de suelos** para cebolla (*Allium cepa*) variedad Alvara en cantón de Alvarado.

4.2.3. Mapa de zonas aptas según aplicación de metodología ZAE.

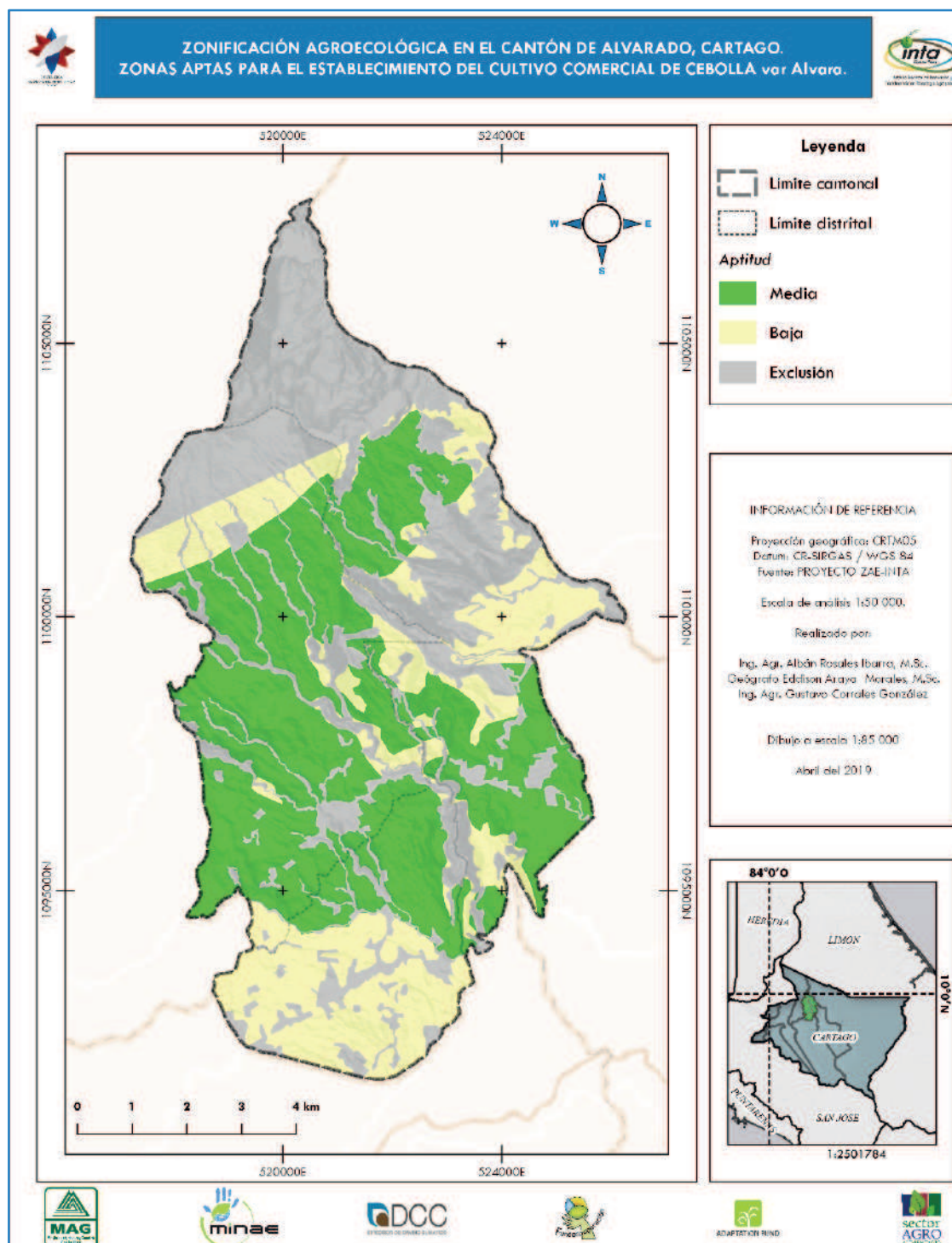


Figura 27. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de cebolla variedad Alvara en cantón de Alvarado.

Cuadro 6. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de cebolla variedad Alvara en el cantón de Alvarado, Cartago

Símbolo	Aptitud		Área (ha)	% de ocupación
	Valor numérico	Categoría		
	3	Alta	0,00	0,00 %
	2	Media	3236,80	40,66 %
	1	Baja	1826,31	22,94 %
	0	Exclusión técnica	2896,52	36,40 %
Total			7959,63	100,0 %

Fuente: resultados de análisis.

El cantón de Alvarado reúne 5063,11 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo de cebolla, lo que representa el 63,60 % del área total del cantón. Esta aptitud se clasifica entre los niveles media y baja. En este sitio no se encontraron áreas de aptitud alta para este rubro, mientras que el 36,40 % del área de estudio presenta algún tipo de exclusión legal o técnica para el desarrollo de este cultivo.

Al analizar las variables y criterios involucrados, se nota que el criterio de condiciones climáticas es el factor que más condiciona los resultados de la zonificación y dentro de este criterio las variables de brillo solar y precipitación son las que representan las mayores condicionantes de la aptitud de estas tierras para este cultivo. El criterio de disponibilidad de nutrientes también podría estar condicionando fuertemente la aptitud de estas tierras, ya que, una gran parte del cantón de Alvarado presenta bajos niveles de fertilidad del suelo. Otros criterios como la toxicidad por sales y aluminio y la susceptibilidad a la pérdida de suelos, también pudieron influir en la clasificación de la aptitud de tierras para el cultivo de cebolla.

4.3. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE ZANAHORIA (*Daucus carota* L.)

La zanahoria (*Daucus carota*) es una planta bienal que crece durante dos o tres años antes de morir naturalmente. Su follaje de textura fina emana del suelo desde un punto común sobre la raíz, parecido a un helecho. Cada hoja surge de un tallo delgado y tiene forma triangular, con cientos de folíolos pequeños; estas hojas se mantienen erguidas en un racimo con penachos.

La raíz tuberosa más común es de color naranja, con una forma que varía desde larga y afilada hasta más robusta y redondeada. En suelos húmedos y sueltos, las raíces de la zanahoria se alargan más que en suelos densos. Dependiendo de la variedad, la longitud del tubérculo maduro puede ser tan corto como 2 pulgadas, o tan larga como 3 pies. Típicamente, la parte superior de la raíz que queda expuesta a la luz solar sobre el suelo se tiñe de verde (Leyva 2008).

En Costa Rica el cultivo de zanahorias se ha concentrado en las zonas altas de la provincia de Cartago, aunque en otras regiones se siembra en áreas pequeñas, con buenos resultados. Esta concentración en cuanto a la expansión del cultivo se debe principalmente a los cultivares que tradicionalmente se han sembrado en el país, los cuales no se adaptan a las temperaturas de las tierras bajas.

El género *Daucus* tiene muchas especies silvestres, que crecen en la cuenta de mediterráneo, el suroeste de Asia, África, Australia y Norte América, pero la zanahoria comestible es originaria de Afganistán, de donde se diseminó al resto del mundo (Bolaños 1998).

La zanahoria ha sido considerada por mucho tiempo como fuente importante de vitamina A, por lo que en los programas de mejoramiento genético, se dejaron de lado características como el color, la textura y el sabor, para concentrarse en su valor nutricional; sin embargo, en los últimos años han salido al mercado cultivares que además de conservar sus cualidades nutricionales mejoraron las características que se habían relegado, en busca de lograr adaptarse al gusto de cada clase de consumidor.

La cosecha se realiza entre 4 y 5 meses después de la siembra. Dependiendo de la época de siembra y la zona, se debe tener presente que las raíces de zanahoria se cosechan cuando aún no han alcanzado su madurez fisiológica, y si se permite que las plantas permanezcan en el campo por mucho tiempo, las raíces se endurecen, perdiendo calidad (Bolaños 1998).

4.3.1. Variables y criterios específicos.

Se presentan en el cuadro siguiente los requerimientos establecidos como ideales para cada una de las categorías de aptitud para el cultivo comercial de zanahoria variedad *Bangor F1* en el cantón de Alvarado. Aquellos fuera de los rangos ideales se consideran exclusiones técnicas.

Cuadro 7. Matriz de requerimientos técnicos para zanahoria variedad Bangor F1 en el cantón de Alvarado, Cartago

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Condiciones climáticas	Altitud	msnm	≥1600 a ≤2200	>1000 a <1600 y >2200 a <2500	≥800 a ≤1000 y ≥2500 a ≤2700	<800 y >2700
	Temperatura promedio anual	°C	≥15 a ≤20	≥13 a <15 y >20 a ≤25	≥9 a <13 y >25 a ≤30	<9 y >30
	Precipitación	mm/año	≥1000 a ≤1500	≥700 a <1000 y >1500 a ≤2000	≥500 a <700 y >2000 a ≤2500	<500 y >2500
	Época seca	(días secos consecutivos x ciclo)	≥7 a <10	≥10 a <22	>22 a <30	>30
	Humedad relativa	%	≥60 a <70	≥50 a <60 y >70 a ≥80	≥40 a <50 y >80 a <90	<40 y >90
	Brillo solar	diario x ciclo	≥8 a ≤11	≥5 a <8	>3 a <5	<3
	Vientos	km/h	Ausente	Moderado	Fuerte (80 km/h)	Muy Fuerte (>80 km/h)
Capacidad de laboreo	Pendiente	%	≥0 a ≤15	>15 a ≤25	>25 a ≤45	>45
	Textura	Clase textural	Medianas	Gruesas, Moderadamente gruesas	Moderadamente finas	Finas, Muy Finas
	Pedregosidad	%	SP, LP	Mod P	Muy P, P	FP, EP
Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva	cm	≥50	≥30 a <50	≥20 a <30	<20
	Textura	Clase textural	Medianas	Gruesas, Moderadamente gruesas	Moderadamente finas	Finas, Muy finas
	Pedregosidad	Adimensional	SP, LP	Mod P	Muy P, P	EP, FP
Disponibilidad de humedad	Régimen de Humedad	Adimensional	Udico	Ustico	Ustico	Acuico
	Textura	Clase textural	Medianas	Gruesas, Moderadamente gruesas	Moderadamente finas	Finas, Muy Finas
Disponibilidad de oxígeno*	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nulo	Leve	Moderada	Severo y muy severo
	Drenaje natural	Adimensional	Bueno	Moderadamente excesivo	Excesivo, moderadamente lento	Nulo, Muy lento, lento

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Disponibilidad de nutrientes	pH	pH	$\geq 5,5$ a $< 7,5$	$\geq 5,0$ a $< 5,5$	$\geq 4,5$ a $< 5,0$	$< 4,5$
	Suma de bases	cmol/kg suelo	≥ 15	> 7 a < 15	≥ 4 a ≤ 7	$< 4,0$
	Sat, Acidez	%	≤ 10	> 10 a ≤ 30	> 30 a ≤ 70	> 70
	Acidez	cmol/L	$\leq 0,5$	$> 0,5$ a < 1	≥ 1 a $\leq 1,5$	$> 1,5$
	Carbono orgánico del suelo	%	> 5	> 2 a ≤ 5	$\geq 0,5$ a ≤ 2	$< 0,5$
Toxicidad por aluminio	Saturación de acidez	%	≤ 10	> 10 a ≤ 30	> 30 a ≤ 70	> 70
	Salinidad y/o sodicidad	dS/m PSI	nd	nd	nd	nd
Susceptibilidad a pérdida de suelos	Pendiente	%	≥ 0 a ≤ 15	> 15 a ≤ 25	> 25 a ≤ 45	> 45
	Erosión actual	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Alta

Observaciones:

Capacidad de intercambio catiónico = Suma de bases (Ca+Mg+K+Na extraídas en Olsen modificado)

*Saturación de bases = (Suma de bases/Suma de bases+Al) *100*

SP: sin pedregosidad, LP: ligeramente pedregoso, Mod P: moderadamente pedregoso, P: pedregoso, Muy P: muy pedregoso, FP: fuertemente pedregoso, EP: extremadamente pedregoso

* Para el caso de Alvarado este criterio se consideró técnicamente no discriminante por lo que se asumió un valor de aptitud de 3 (Alta) para todo el cantón

4.3.2. Desarrollo del proceso de conformación de los criterios según aptitud y variable

Cada uno de los criterios utilizados en la zonificación de los cultivos surge a partir de la combinación de variables específicas, cada una de estas combinaciones y sus resultados para el caso de zanahoria variedad Bangor F1 en el cantón de Alvarado se muestran a continuación.

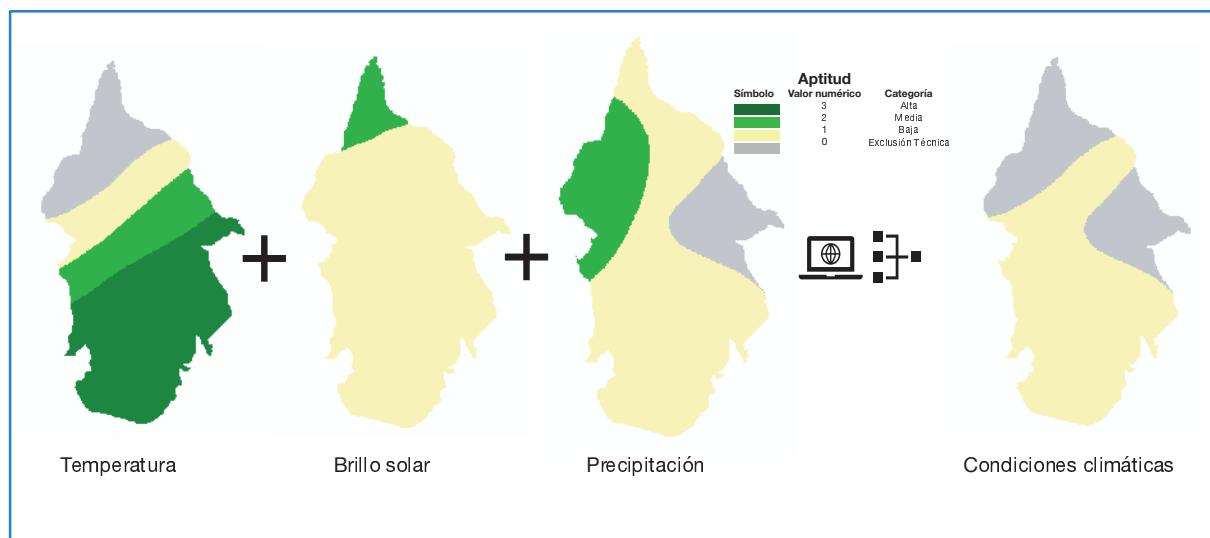


Figura 28. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones climáticas** para zanahoria (*Daucus carota* L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.

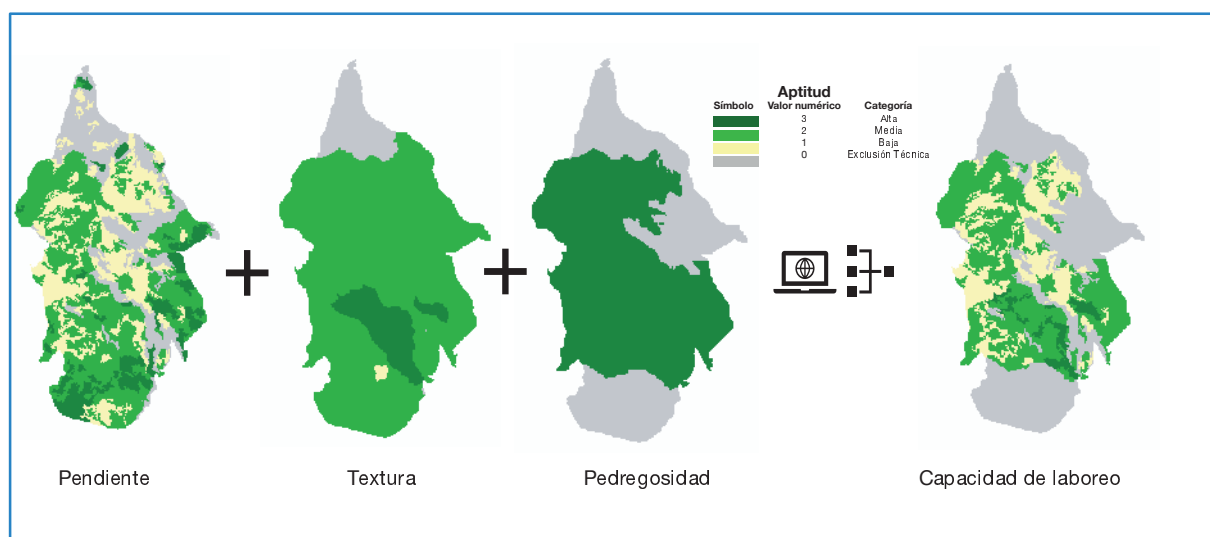


Figura 29. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio capacidad de laboreo** para zanahoria (*Daucus carota* L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.

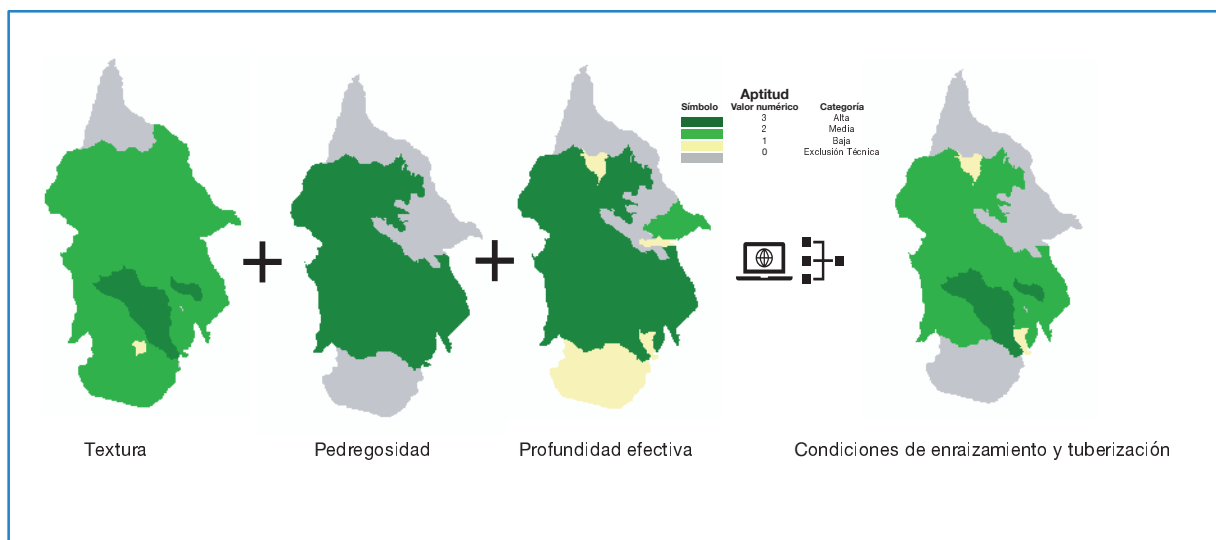


Figura 30. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones de enraizamiento** para zanahoria (*Daucus carota L.*) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.

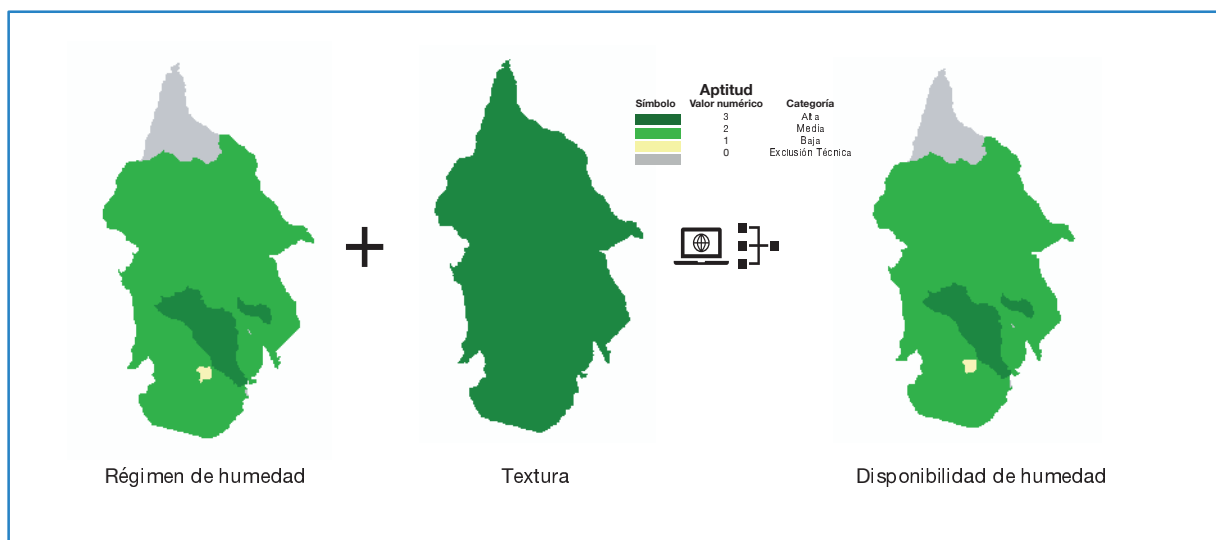


Figura 31. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de humedad** para zanahoria (*Daucus carota L.*) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.

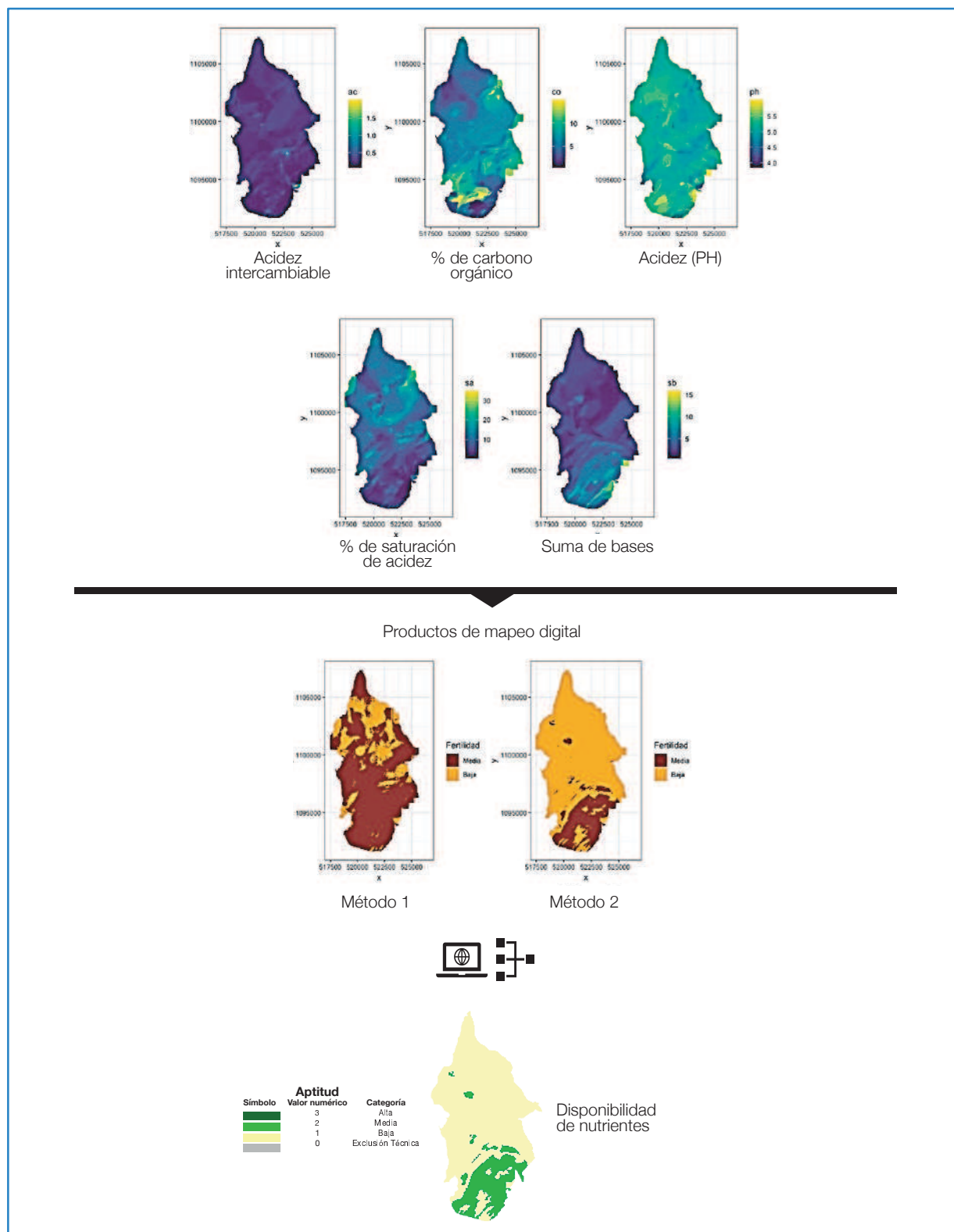


Figura 32. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de nutrientes** para zanahoria (*Daucus carota* L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.

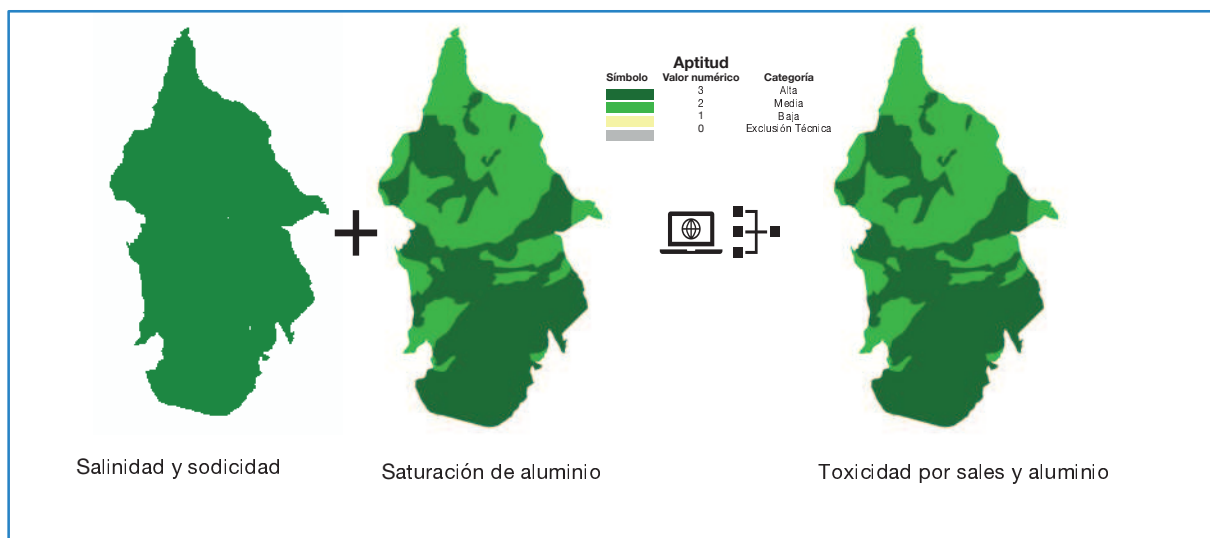


Figura 33. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio toxicidad por sales y aluminio** para zanahoria (*Daucus carota* L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.

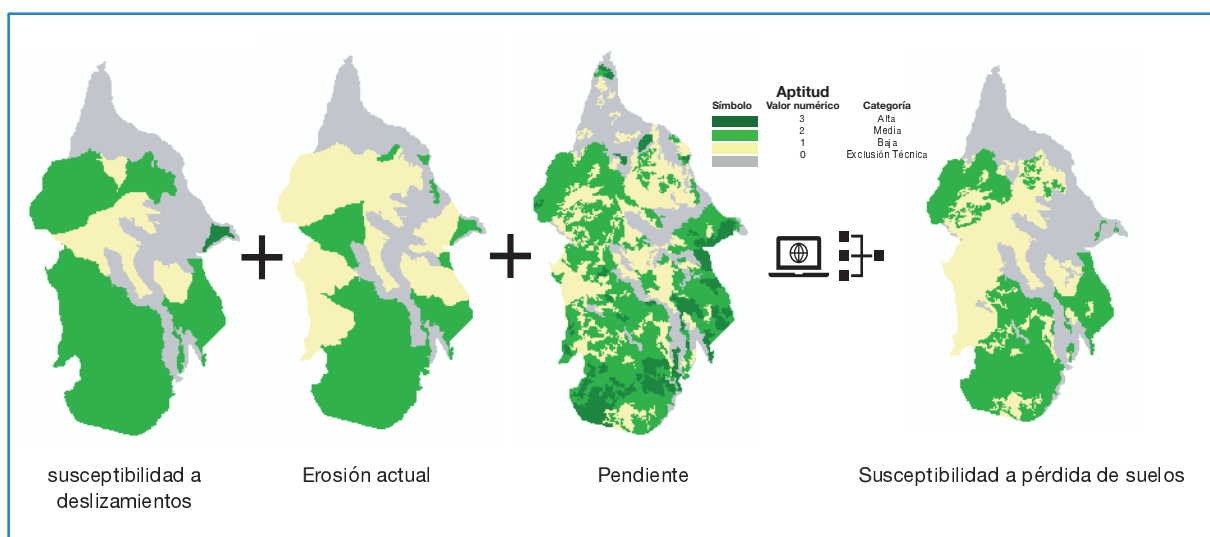


Figura 34. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio susceptibilidad a pérdida de suelos** para zanahoria (*Daucus carota* L.) variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.

4.3.3. Mapa de zonas aptas según aplicación de metodología ZAE.

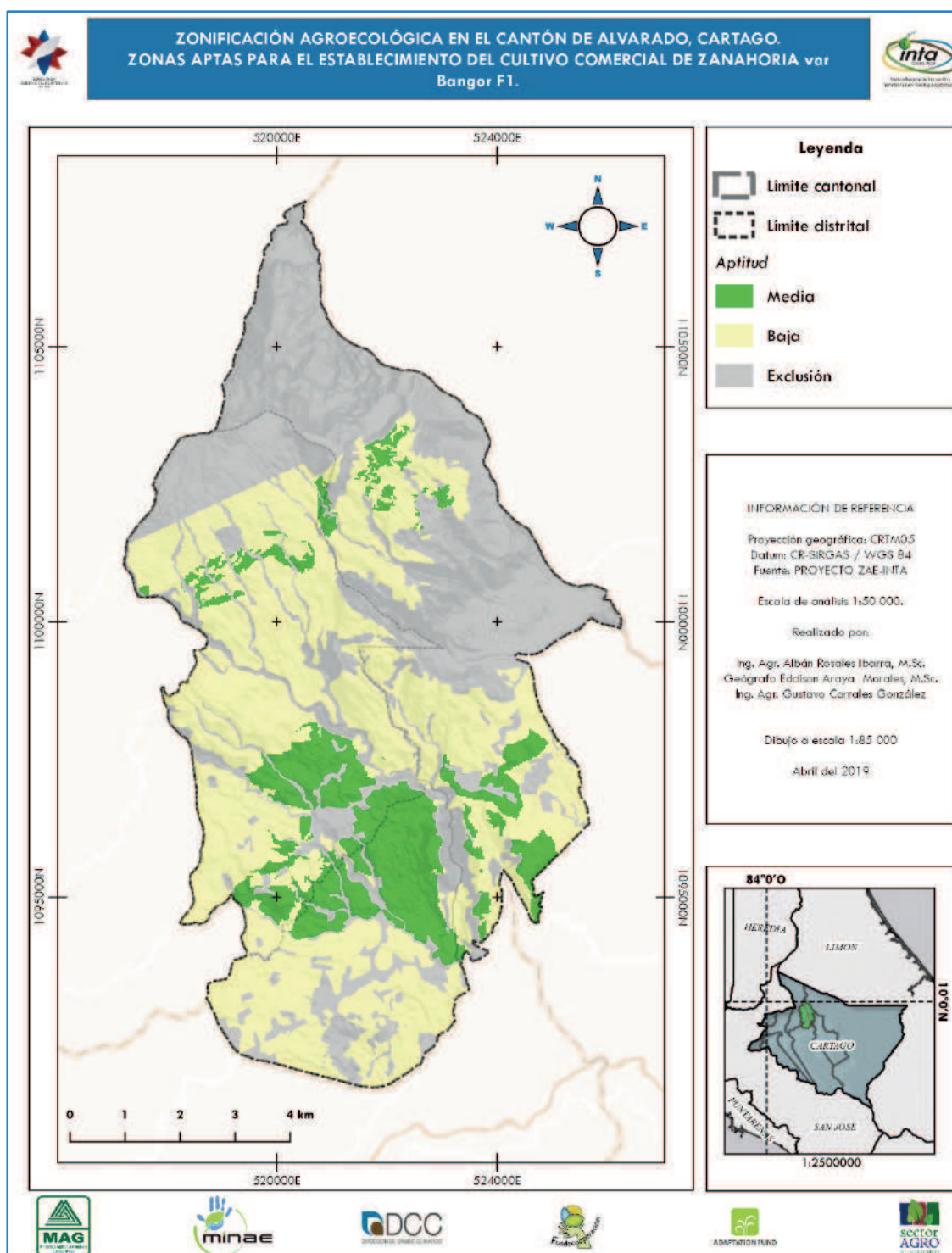


Figura 35. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de zanahoria variedad Bangor F1 en cantón de Alvarado.

Cuadro 8. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de zanahoria variedad Bangor F1 en el cantón de Alvarado, Cartago

Símbolo	Aptitud		Área (ha)	% de ocupación
	Valor numérico	Categoría		
	3	Alta	0,00	0,00 %
	2	Media	1096,43	14,00 %
	1	Baja	3513,00	44,00 %
	0	Exclusión técnica	3350,20	42,00 %
Total			7959,63	100,0 %

Fuente: resultados de análisis.

El cantón de Alvarado reúne 4609,43 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo de zanahoria, lo que representa el 58 % del área total del cantón. Esta aptitud se clasifica entre los niveles media y baja. En este sitio no se encontraron áreas de aptitud alta para este rubro, mientras que el 42,00 % del área de estudio presenta algún tipo de exclusión legal o técnica para el desarrollo de este cultivo.

Al analizar las variables y criterios involucrados, se nota que el criterio de condiciones climáticas es el factor que más condiciona los resultados de la zonificación y dentro de este criterio las variables de brillo solar y precipitación son las que representan las mayores condicionantes de la aptitud de estas tierras para este cultivo. El criterio de disponibilidad de nutrientes también podría estar condicionando fuertemente la aptitud de estas tierras, ya que, una gran parte del cantón de Alvarado presenta bajos niveles de fertilidad del suelo. Otros criterios como la toxicidad por sales y aluminio y la susceptibilidad a la pérdida de suelos, también pudieron influir en la clasificación de la aptitud de tierras para el cultivo de zanahoria.

4.4. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE REPOLLO (*Brassica oleracea*)

El repollo es una planta dicotiledónea, herbácea y bienal, la cual se cultiva como planta anual. Pertenece a la familia botánica Brassicaceae, antes conocida como Cruciferae (por tener flores en forma de cruz), y bajo la cual también se encuentran otros cultivos comestibles importantes. Algunos de estos pertenecen a la misma especie (*Brassica oleracea*) pero de un grupo o variedad botánica diferente, como es el caso de brócoli (*B. oleracea* var. *italica*), la coliflor (*B. oleracea* var. *botrytis*), la col de Bruselas (*B. oleracea* var. *gemmifera*), repollo común (*B. oleracea* var. *acephala*), y el kholrabi (*B. oleracea* var. *caulorapa*) (Fornaris 2014).

Las hojas parten del tallo con un ángulo que difieren según la variedad, y que van a definir la compactación de la cabeza, son de color verde azulado, verdes y rojas según la variedad (Lopez-Montes, s/f).

Es originario de las costas del mediterráneo y Europa occidental, crece de manera silvestre en Dinamarca, Inglaterra, Francia y Grecia, se desarrolla mejor en zonas de clima fresco. Fue cultivada por los egipcios al parecer desde 2500 aC (Fuentes y Pérez 2003).

El repollo se adapta a diferentes tipos de suelos, pues suelen utilizarse desde los arenosos hasta los pesados, debido entre otras causas a sus finas ramificaciones radicales. No obstante, se prefieren suelos de gran poder de retención de humedad, fértiles profundos y de buen drenaje (Fundación de Desarrollo Agropecuario Inc., 1993).

4.4.1. Variables y criterios específicos

Se presentan en la tabla siguiente los requerimientos establecidos como ideales para cada una de las categorías de aptitud para el cultivo comercial de repollo variedad *Escazú* en el cantón de Alvarado. Aquellos fuera de los rangos ideales se consideran exclusiones técnicas.

Cuadro 9. Matriz de requerimientos técnicos para repollo variedad Escazú en el cantón de Alvarado, Cartago

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Condiciones climáticas	Altitud	msnm	≥1600 a ≤2200	>1000 a <1600 y >2200 a <2500	≥800 a ≤1000 y ≥2500 a ≤2700	<800 y >2700
	Temperatura promedio anual	°C	≥15 a ≤20	≥13 a <15 y >20 a ≤25	≥9 a <13 y >25 a ≤30	<9 y >30
	Precipitación	mm/año	≥1000 a ≤1500	≥700 a <1000 y >1500 a ≤2000	≥500 a <700 y >2000 a ≤2500	<500 y >2500
	Época seca	(días secos consecutivos x ciclo)	≥7 a <10	≥10 a ≤22	>22 a <30	≥30
	Humedad relativa	%	≥60 a <70	≥50 a <60 y ≥70 a <80	≥40 a <50 y ≥80 a <90	<40 y ≥90
	Brillo solar	diario x ciclo	≥8 a ≤11	≥5 a <8	>3 a <5	<3
	Vientos	km/h	Ausente	Moderado	Fuerte (80 km/h)	Muy Fuerte (>80 km/h)
Capacidad de laboreo	Pendiente	%	≥0 a ≤20	>20 a ≤30	>30 a ≤45	>45
	Textura	Clase textural	Medianas	Gruesas, Moderadamente gruesas	Moderadamente finas	Finas, Muy finas
	Pedregosidad	%	SP, LP	Mod P	Muy P, P	FP, EP
Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva	cm	≥40	≥30 a <40	≥20 a <30	<20
	Textura	Clase textural	Medianas	Gruesas, Moderadamente gruesas	Moderadamente finas	Finas, Muy finas
	Pedregosidad	%	SP, LP	Mod P	Muy P, P	EP, FP
Disponibilidad de humedad	Régimen de Humedad	Adimensional	Udico	Ustico	nd	Acuico
	Textura	Clase textural	Medianas	Gruesas, Moderadamente gruesas	Moderadamente finas	Finas, Muy Finas
Disponibilidad de oxígeno	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nulo	Leve	Moderada	Severo y muy severo
	Drenaje natural	Adimensional	Bueno	Moderadamente excesivo	Excesivo, moderadamente lento	Nulo, Muy lento, lento
Disponibilidad de nutrientes	pH	pH	≥5,5 a <7,5	≥5,0 a <5,5	≥4,5 a <5,0	<4,5
	Suma de bases	cmol/kg suelo	≥15	>7 a <15	≥4 a ≤7	< 4,0
	Sat, Acidez	%	≤ 10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	Acidez	cmol/L	≤ 0,5	>0,5 a <1	≥1 a ≤1,5	>1,5
	Carbono orgánico del suelo	%	>5	>2 a ≤5	≥0,5 a ≤2	<0,5
Toxicidad por aluminio	Saturación de acidez	%	≤10	>10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
Susceptibilidad a pérdida de suelos	Pendiente	%	≥0 a ≤20	>20 a ≤30	>30 a ≤45	>45
	Erosión actual	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Alta

Observaciones:

Capacidad de intercambio catiónico = Suma de bases (Ca+Mg+K+Na extraídas en Olsen modificado)

Saturación de bases = (Suma de bases/Suma de bases+Al) *100

SP: sin pedregosidad, LP: ligeramente pedregoso, Mod P: moderadamente pedregoso, P: pedregoso, Muy P: muy pedregoso, FP: fuertemente pedregoso, EP: extremadamente pedregoso

* Para el caso de Alvarado este criterio se consideró técnicamente no discriminante por lo que se asumió un valor de aptitud de 3 (Alta) para todo el cantón

4.4.2. Desarrollo del proceso de conformación de los criterios según aptitud y variable

Cada uno de los criterios utilizados en la zonificación de los cultivos surge a partir de la combinación de variables específicas, cada una de estas combinaciones y sus resultados para el caso de repollo variedad *Escazú* en el cantón de Alvarado se muestran a continuación.

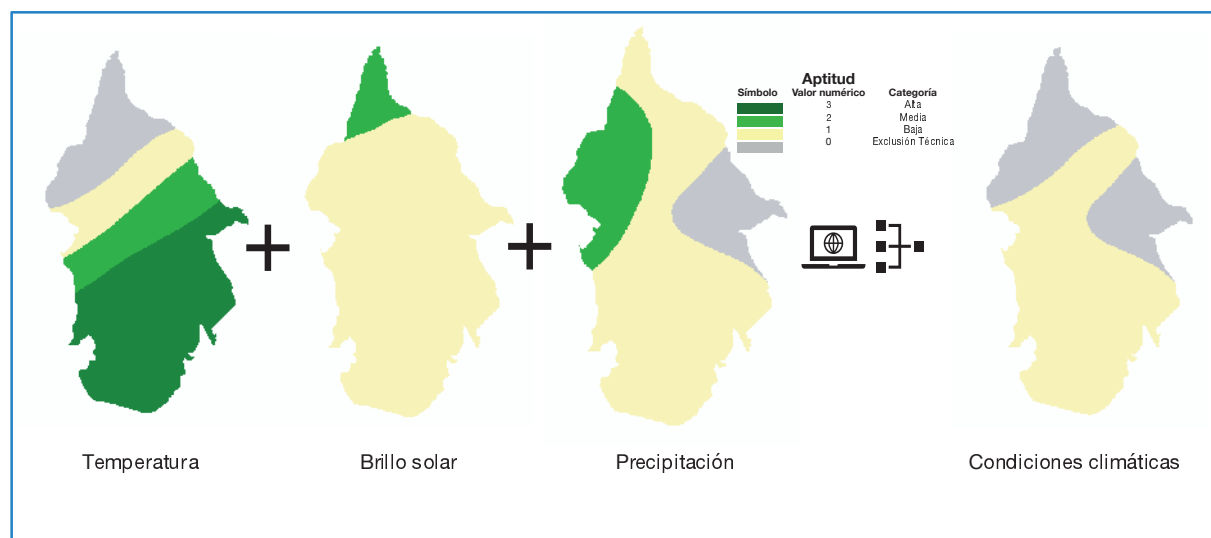


Figura 36. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones climáticas** para repollo (*Brassica oleracea*) variedad Escazú en cantón de Alvarado.

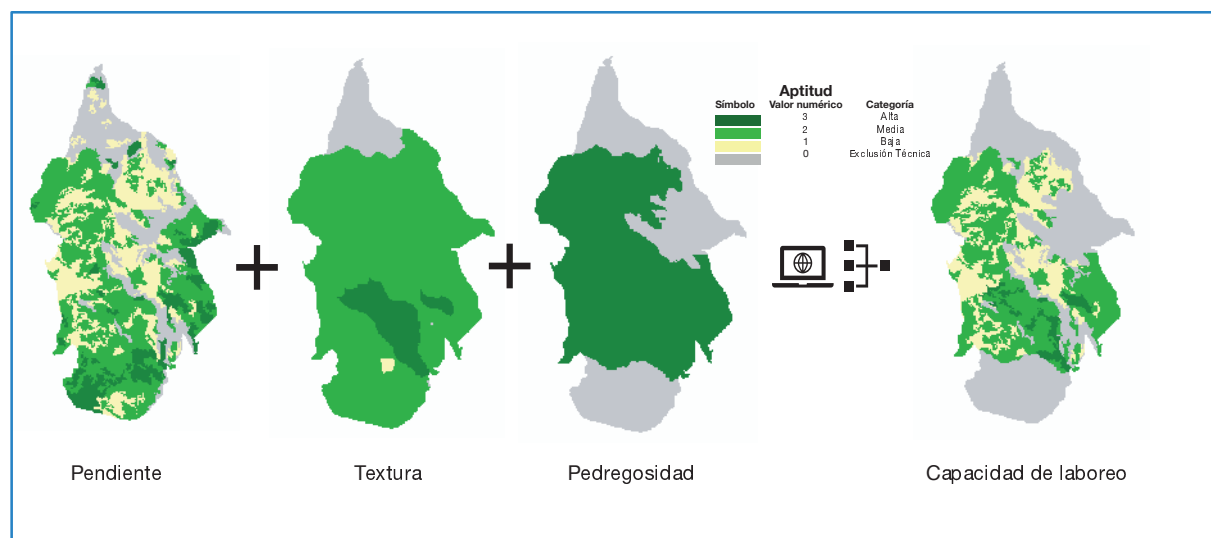


Figura 37. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio capacidad de laboreo** para repollo (*Brassica oleracea*) variedad Escazú en cantón de Alvarado.

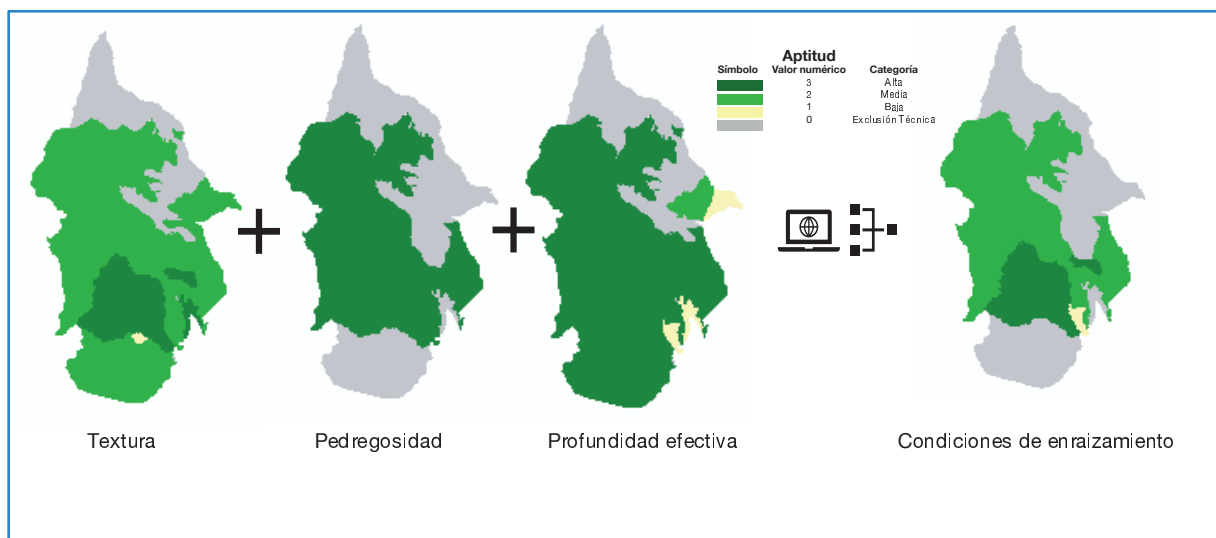


Figura 38. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones de enraizamiento** repollo (*Brassica oleracea*) variedad Escazú en cantón de Alvarado.

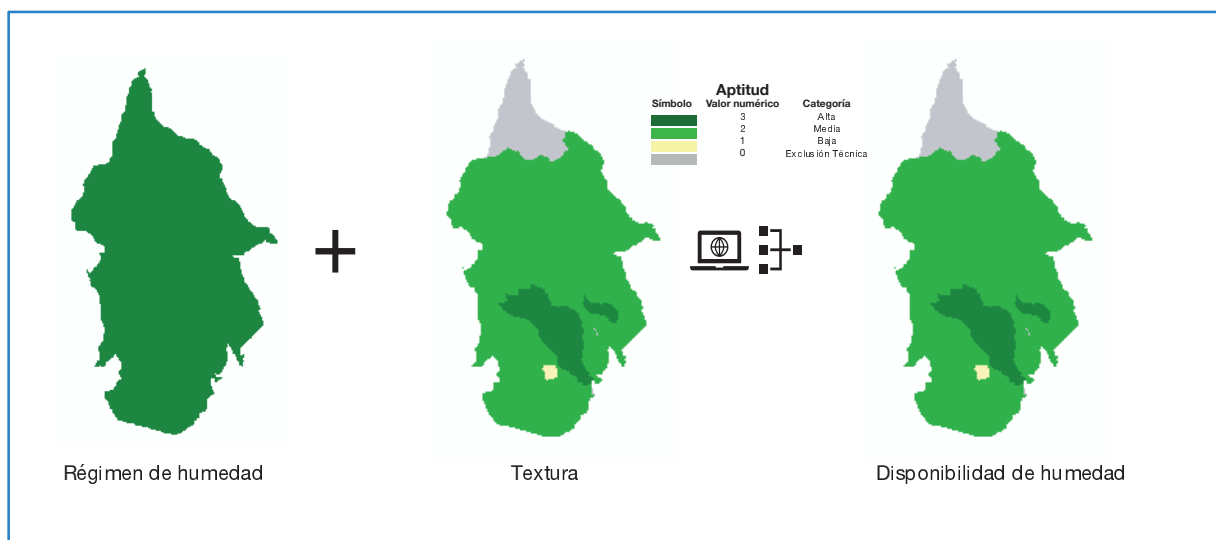


Figura 39. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de humedad** para repollo (*Brassica oleracea*) variedad Escazú en cantón de Alvarado.

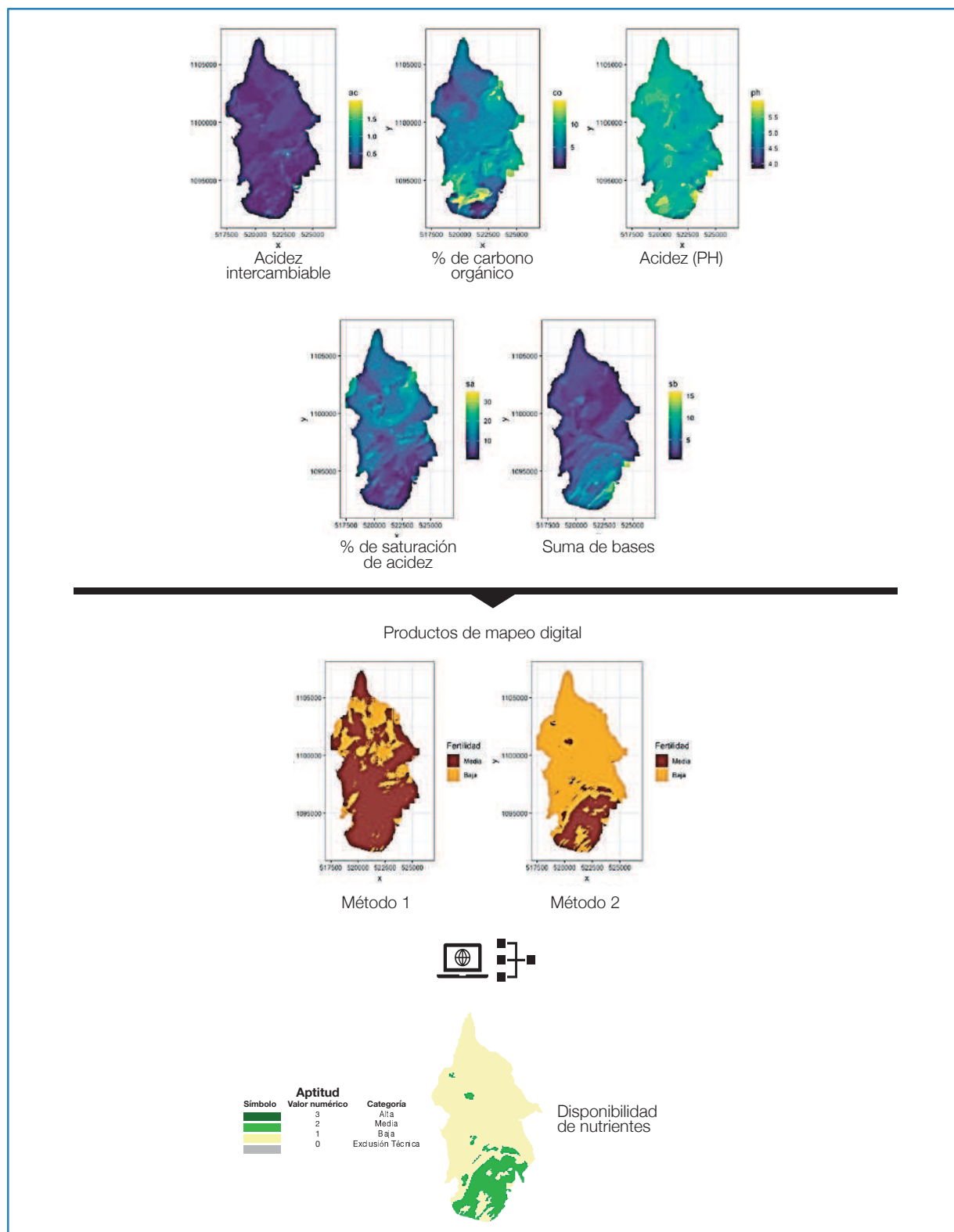


Figura 40. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de nutrientes** para repollo (*Brassica oleracea*) variedad Escazú en cantón de Alvarado.

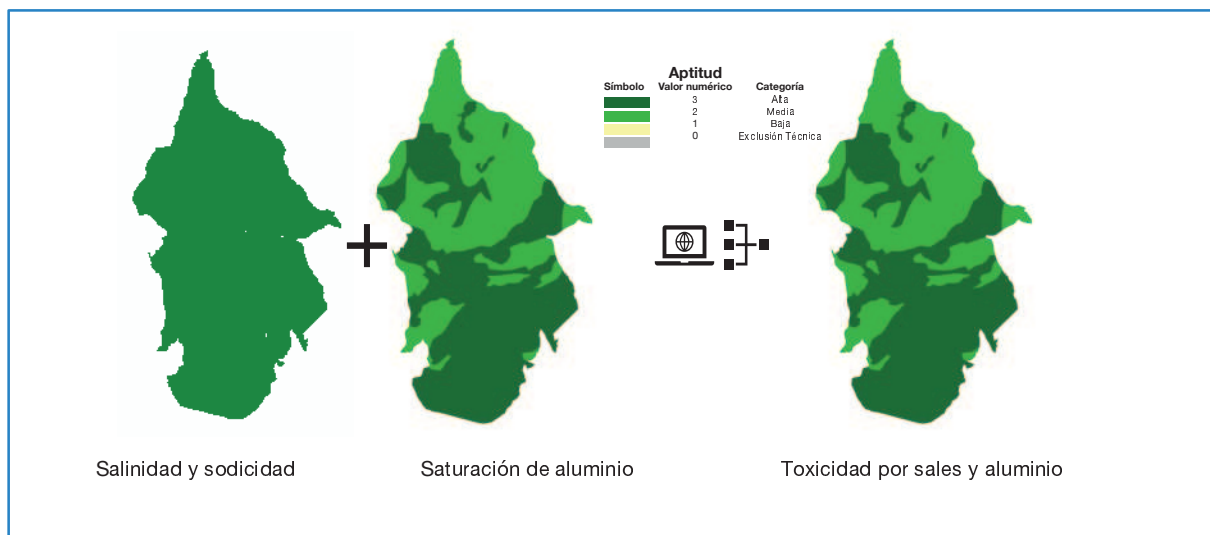


Figura 41. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio toxicidad por sales y aluminio** para repollo (*Brassica oleracea*) variedad Escazú en cantón de Alvarado.

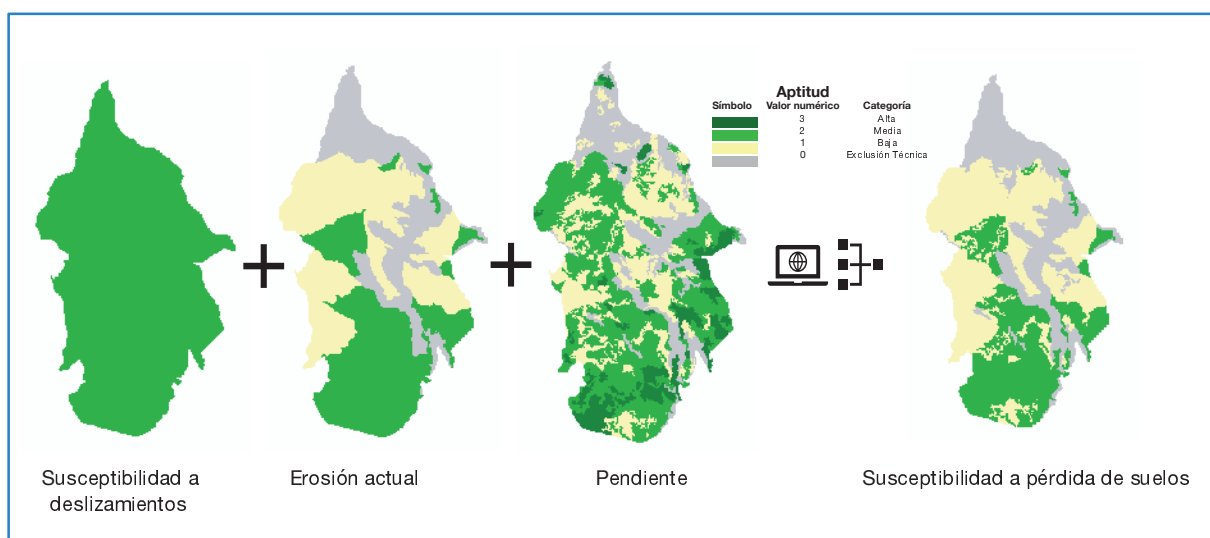


Figura 42. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio susceptibilidad a pérdida de suelos** para repollo (*Brassica oleracea*) variedad Escazú en cantón de Alvarado.

4.4.3. Mapa de zonas aptas según aplicación de metodología ZAE.

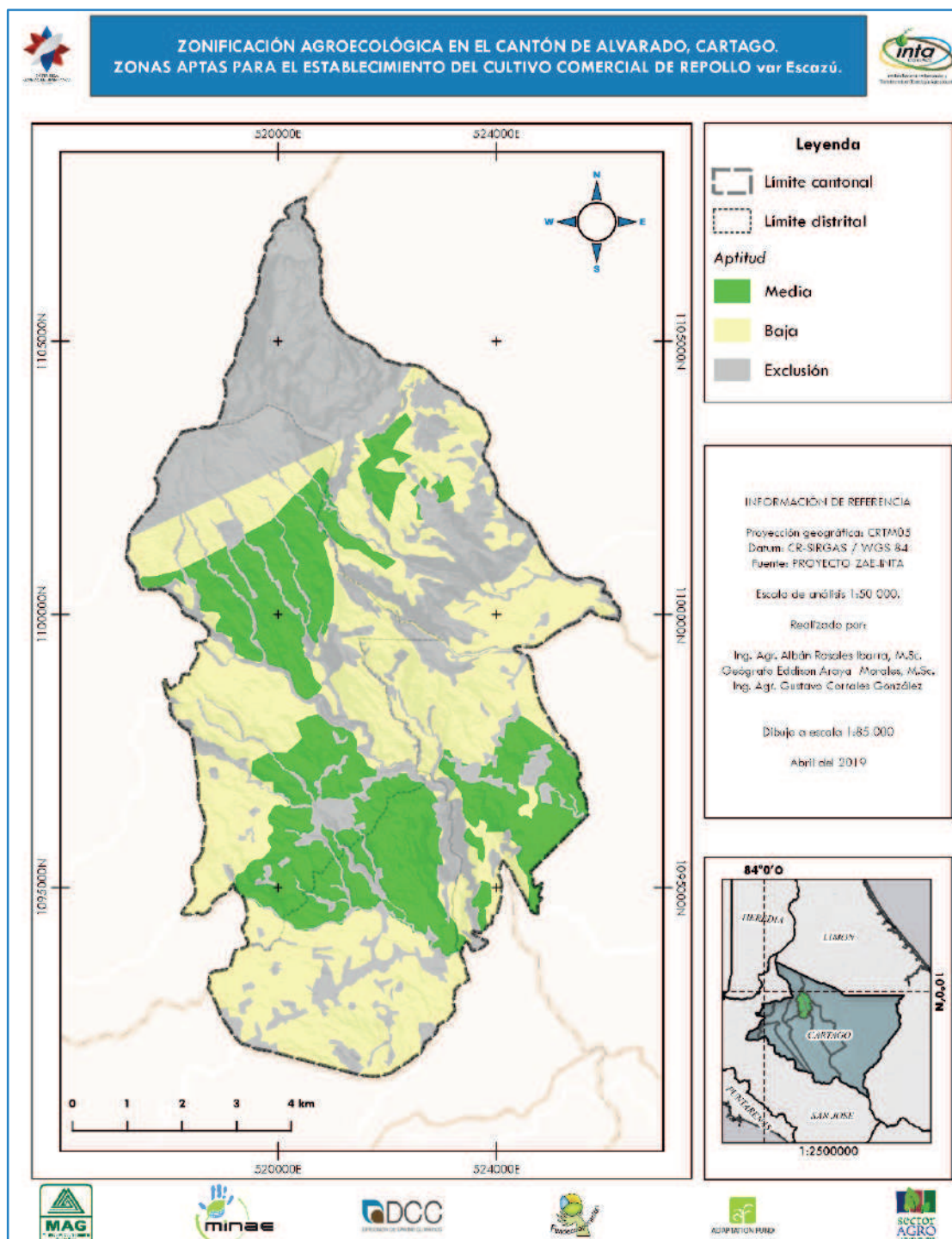


Figura 43. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de repollo variedad Escazú en cantón de Alvarado.

Cuadro 10. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de repollo variedad Escazú en el cantón de Alvarado, Cartago

Símbolo	Aptitud		Área (ha)	% de ocupación
	Valor numérico	Categoría		
	3	Alta	0,00	0,00 %
	2	Media	1960,71	24,63 %
	1	Baja	3221,48	40,47 %
	0	Exclusión técnica	2777,44	34,90 %
Total			7959,63	100,0 %

Fuente: resultados de análisis.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el cantón de Alvarado reúne 5182,19 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo comercial de repollo var Escazú, lo que representa el 64,10 % del área total del cantón. Esta aptitud se clasifica entre los niveles media y baja. En este sitio no se encontraron áreas de aptitud alta para este rubro, mientras que el 34,90 % del área de estudio presenta algún tipo de exclusión legal o técnica para el desarrollo de este cultivo.

Al analizar las variables y criterios involucrados, se nota que el criterio de condiciones climáticas es el factor que más condiciona los resultados de la zonificación y dentro de este criterio las variables de brillo solar y precipitación son las que presentan las mayores condicionantes con grandes áreas clasificadas como de baja aptitud para este cultivo. El criterio de disponibilidad de nutrientes también podría estar condicionando fuertemente la aptitud de estas tierras, ya que, una gran parte del cantón de Alvarado presenta bajos niveles de fertilidad del suelo. Otros criterios como la toxicidad por sales y aluminio y la susceptibilidad a la pérdida de suelos, también pudieron influir en la clasificación de la aptitud de tierras para el cultivo de repollo.

4.5. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE PASTO KIKUYO (*Kikuyuocloa clandestina*)

Pertenece a la familia de las gramíneas y es uno de los pastos más adaptados y usados en las zonas frías, comprendidas entre 1600 a 2200 m de altitud. Es originario del pueblo Kikuyu en Kenya, África. Se introdujo a Costa Rica en el año 1920 conjuntamente con las razas lecheras de origen europeo como Holstein y Jersey. Situación que impulsó la actividad en la zona alta lechera de Costa Rica, comprendida entre 1750 y 2900 msnm. No es exigente a la humedad, por lo que tolera sequías cortas, siempre y cuando la precipitación supere los 1000 mm anuales (Sánchez y Mesén 2010).

La planta de kikuyo es perenne, vigorosa y de porte mediano, que dependiendo de las condiciones de clima y suelo puede llegar a alcanzar hasta 60 cm de altura, con raíces profundas y extensas. Produce gran cantidad de tallos y estolones hasta de tres metros de longitud con entrenudos cortos.

El kikuyo se adapta a todo tipo de suelo, pero se desarrolla mejor en suelos profundos, bien drenados y con mediana o alta fertilidad. En Costa Rica se adapta muy bien en suelos de origen volcánico de textura franco-arenosa, como los que se encuentran en la Cordillera Volcánica Central (Sánchez y Mesén 2010).

4.5.1. Variables y criterios específicos

Se presentan en la tabla siguiente los requerimientos establecidos como ideales para cada una de las categorías de aptitud para el cultivo comercial de pasto en el cantón de Alvarado. Aquellos fuera de los rangos ideales se consideran exclusiones técnicas.

Cuadro 11. Matriz de requerimientos técnicos para pasto kikuyo en el cantón de Alvarado, Cartago

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Condiciones climáticas	Altitud	msnm	≥1800 a ≤2300	≥1650 a <1800 y >2300 a ≤2800	≥1500 a <1650 y >2800	<1500
	Temperatura promedio anual	°C	≥15 a ≤22	≥10 a <15 y >22 a ≤25	≥8 a <10 y >25 a ≤28	<8 y >28
	Precipitación	mm/año	≥1800 a ≤2000	≥1000 a <1800 y >2000 a ≤2300	≥600 a <1000 y >2300 a ≤3000	<600 y >3000
	Época seca	(días secos consecutivos x ciclo)	≥10 a ≤15	>15 a ≤25	>25 a ≤30	nd
	Humedad relativa	%	≥80 a ≤85	≥70 a <80 y >85 a ≤90	≥60 a <70	<60 y >90
	Brillo solar:	Horas luz/año				
		diario x ciclo	≥6 a ≤12	≥4 a <6	≥3 a <4	<3
	Vientos	km/h	Ausente	Moderado	Fuerte	
Capacidad de laboreo	Pendiente	%	≥0 a ≤15	>15 a ≤30	>30 a ≤50	>50
	Textura 1	Clase textural	Medianas	Moderadamente Fina, Moderadamente gruesas	Finas	Muy Finas, Gruesas
	Pedregosidad	%	SP, LP, Mod P	P, Muy P	FP	EP
Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva	cm	≥60	≥30 a <60	≥20 a <30	nd
	Textura 2	Clase textural	Medianas	Moderadamente Fina, Moderadamente gruesas	Finas	Muy finas, gruesas
	Pedregosidad	%	SP, LP, Mod P	P, Muy P	FP	EP
Disponibilidad de humedad	Régimen de Humedad	Adimensional	Udico	Ustico	nd	Acuico
	Textura 3	Clase textural	Medianas	Moderadamente Fina, Moderadamente gruesas	Finas	Muy Finas, gruesas
Disponibilidad de oxígeno	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nulo	Leve	Moderada	Severo y muy severo
	Drenaje natural	Adimensional	Bueno	Moderadamente lento, Moderadamente excesivo	Lento	Nulo, Muy lento, excesivo

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Disponibilidad de nutrientes	pH	pH	≥5,5 a <7,5	≥5,0 a <5,5	≥4,5 a <5,0	<4,5
	Suma de bases	cmol/kg suelo	≥15	>7 a <15	≥4 a ≤7	< 4,0
	Sat, Acidez	%	≤ 10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	Acidez	cmol/L	≤ 0,5	>0,5 a <1	≥1 a ≤1,5	>1,5
	Carbono orgánico del suelo	%	>5	>2 a ≤5	≥0,5 a ≤2	<0,5
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Salinidad y/o sodicidad	dS/m PSI	nd	nd	nd	nd
	Saturación de acidez	%	≤10	>10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
Susceptibilidad a pérdida de suelos	Pendiente	%	≥0 a ≤15	>15 a ≤30	>30 a ≤50	>50
	Erosión actual	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Alta

Observaciones:

Capacidad de intercambio catiónico = Suma de bases (Ca+Mg+K+Na extraídas en Olsen modificado)

Saturación de bases = (Suma de bases/Suma de bases+Al) *100

SP: sin pedregosidad, LP: ligeramente pedregoso, Mod P: moderadamente pedregoso, P: pedregoso, Muy P: muy pedregoso, FP: fuertemente pedregoso, EP: extremadamente pedregoso

* Para el caso de Alvarado este criterio se consideró técnicamente no discriminante por lo que se asumió un valor de aptitud de 3 (Alta) para todo el cantón

4.5.2. Desarrollo del proceso de conformación de los criterios según aptitud y variable

Cada uno de los criterios utilizados en la zonificación de los cultivos surge a partir de la combinación de variables específicas, cada una de estas combinaciones y sus resultados para el caso de pasto kikuyo en el cantón de Alvarado se muestran a continuación.

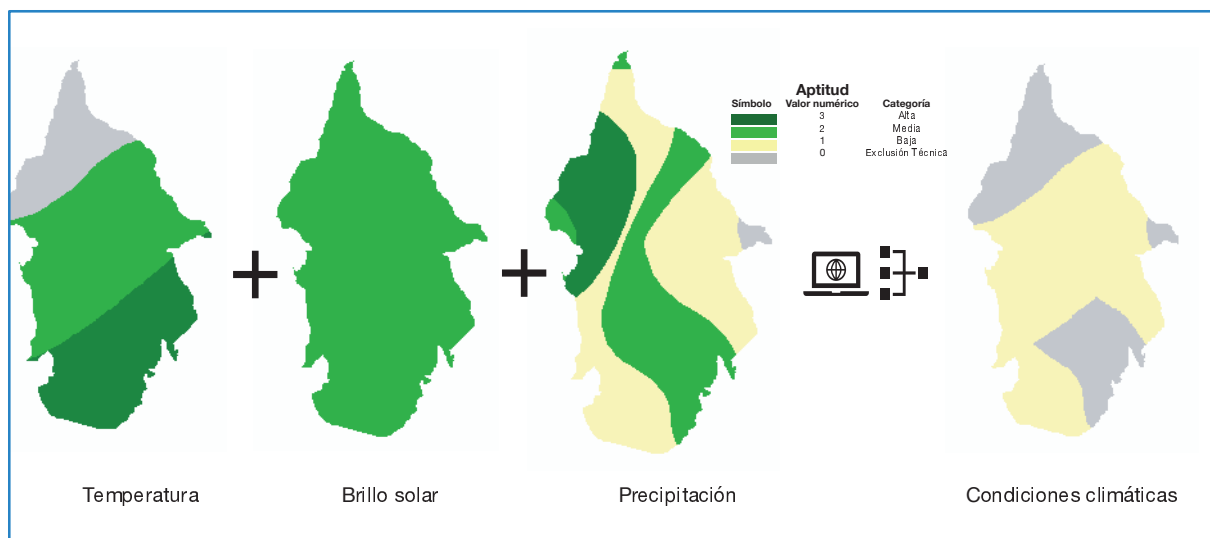


Figura 44. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones climáticas** para pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en cantón de Alvarado.

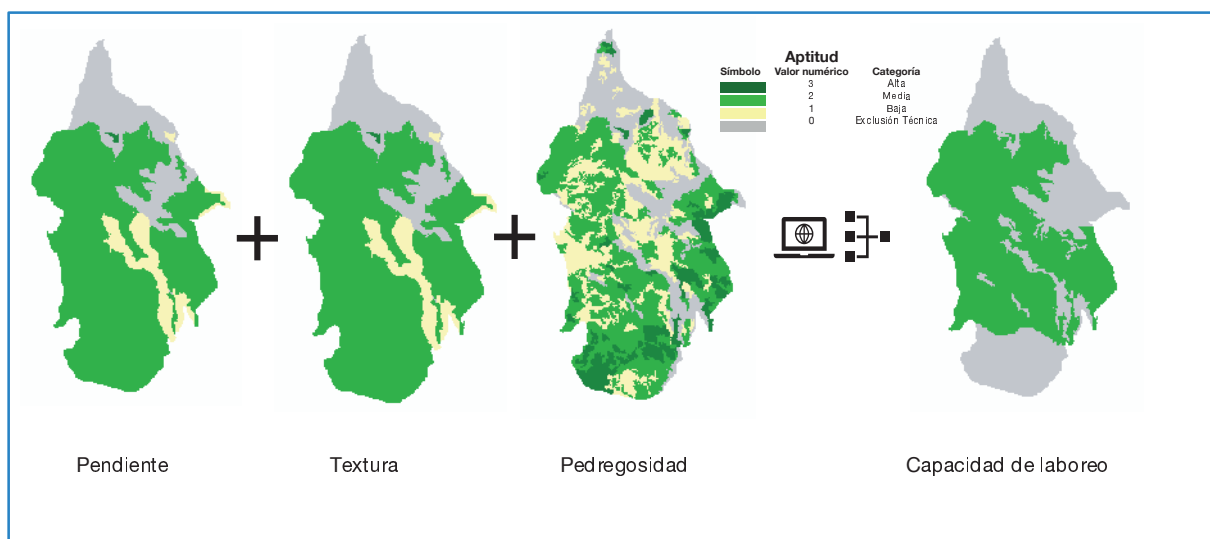


Figura 45. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio capacidad de laboreo** para pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en cantón de Alvarado.

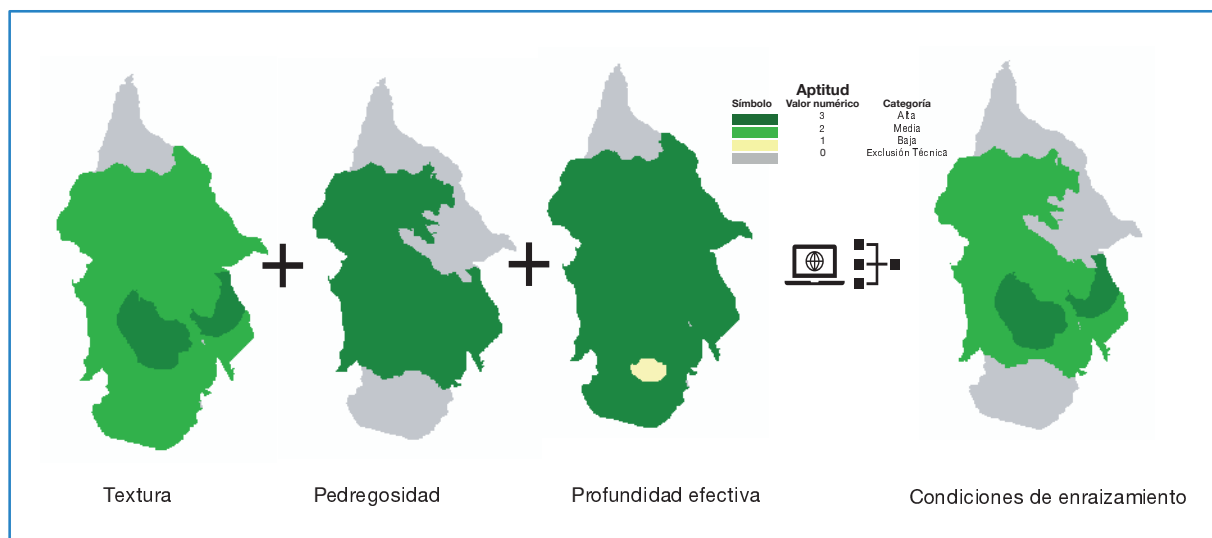


Figura 46. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones de enraizamiento** para pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en cantón de Alvarado.

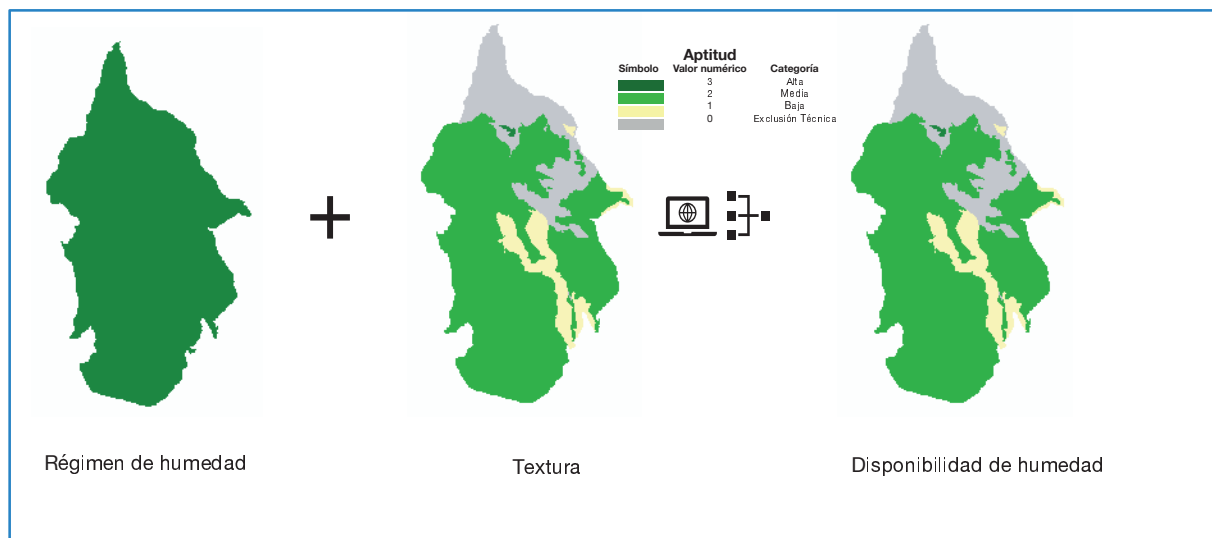


Figura 47. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de humedad** para pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en cantón de Alvarado.

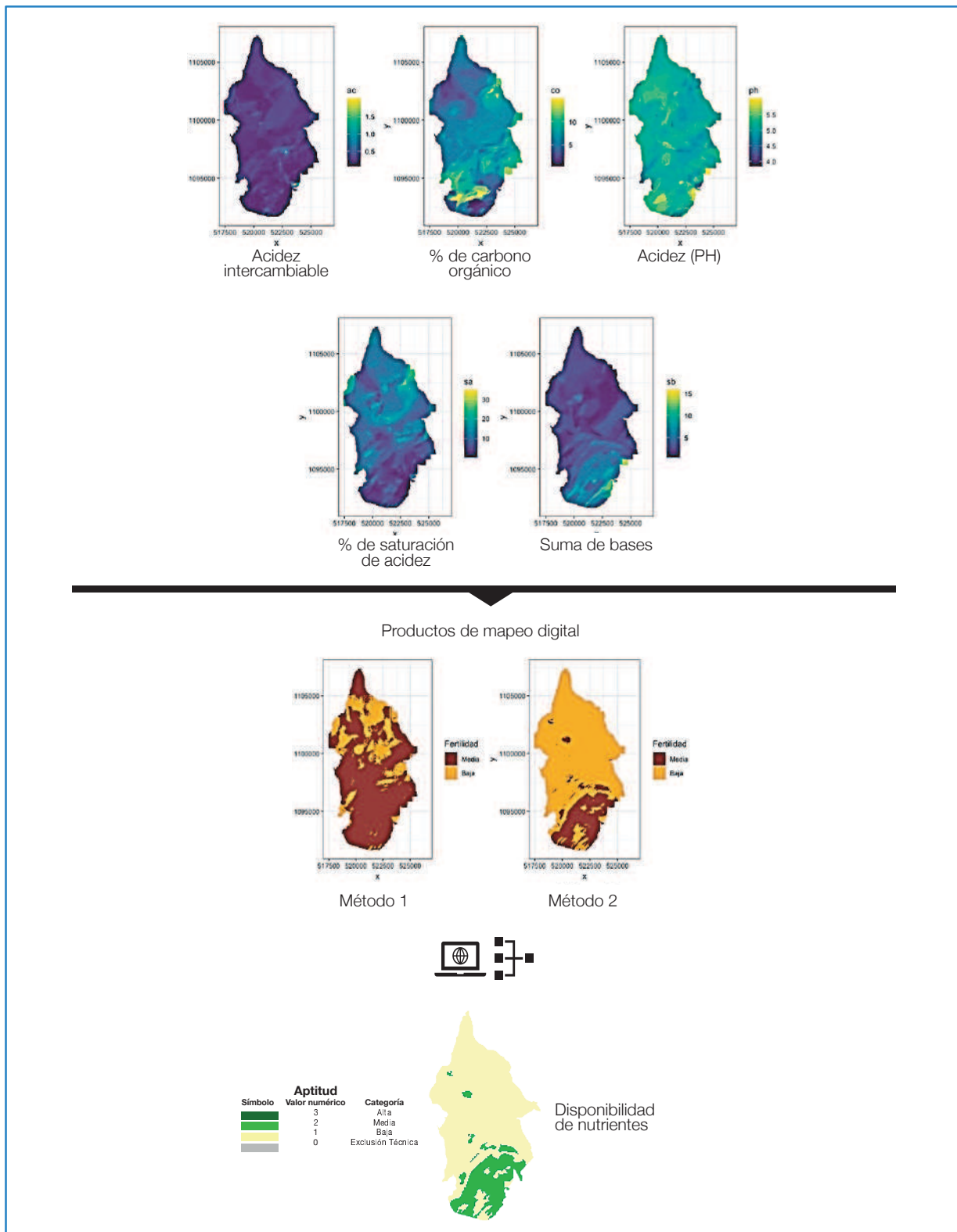


Figura 48. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de nutrientes** para pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en cantón de Alvarado.

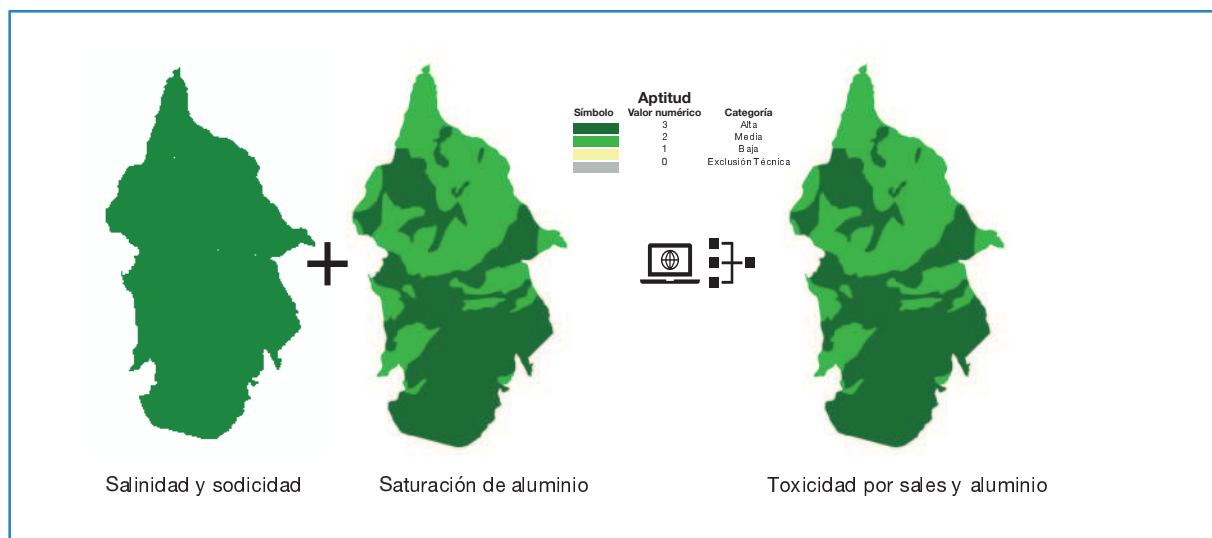


Figura 49. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio toxicidad por sales y aluminio** para pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en cantón de Alvarado.

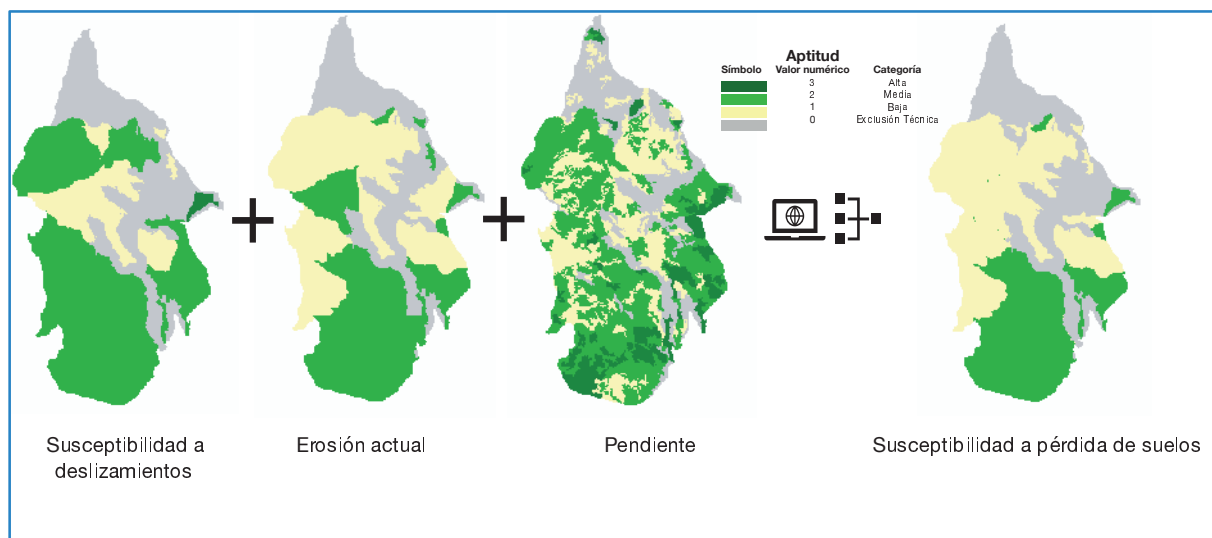


Figura 50. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio susceptibilidad a pérdida de suelos** para pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en cantón de Alvarado.

4.5.3. Mapa de zonas aptas según aplicación de metodología ZAE.

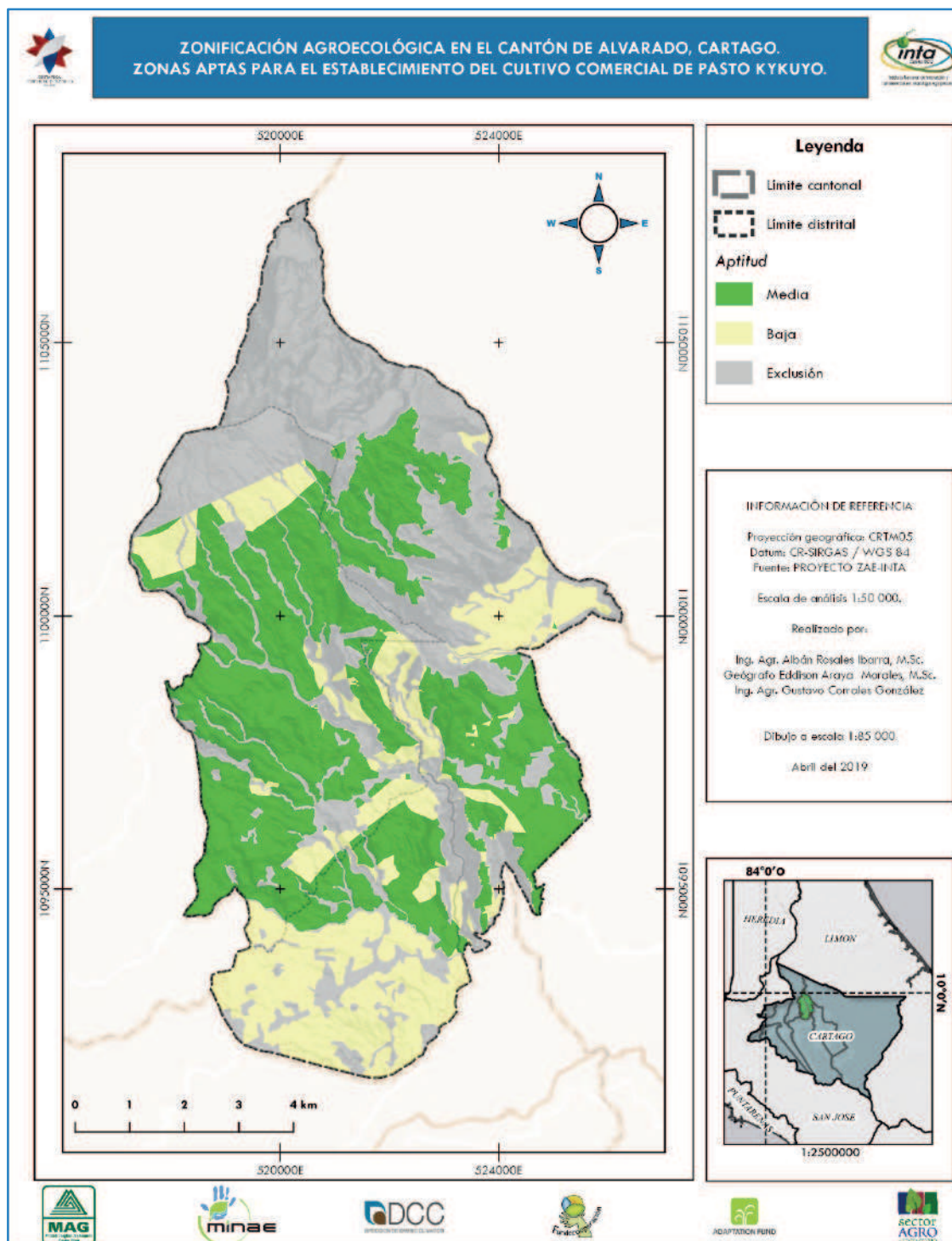


Figura 51. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de pasto kikuyo en cantón de Alvarado.

Cuadro 12. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de pasto kikuyo en el cantón de Alvarado, Cartago

Símbolo	Aptitud		Área (ha)	% de ocupación
	Valor numérico	Categoría		
	3	Alta	0,00	0,00 %
	2	Media	3202,30	40,00 %
	1	Baja	1725,20	22,00 %
	0	Exclusión técnica	3032,13	38,00 %
Total			7959,63	100,00 %

Fuente: resultados de análisis.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el cantón de Alvarado reúne 4927,50 ha de tierras con aptitud para el desarrollo de potreros con Pasto Kikuyo, lo que representa el 62,00 % del área total del cantón. Esta aptitud se clasifica entre los niveles media y baja. Finalmente, en este sitio no se encontraron áreas de aptitud alta para este rubro, mientras que solo un 38,00 % del área de estudio presenta algún tipo de exclusión legal o técnica para el desarrollo de este tipo de pasto.

Al analizar las variables y criterios involucrados, se nota que el criterio de condiciones climáticas es el factor que más condiciona los resultados de la zonificación y dentro de este criterio la variable de precipitación es la que representa la mayor condicionante. El criterio de disponibilidad de nutrientes también podría estar condicionando fuertemente la aptitud de estas tierras. Otros criterios a tomar en cuenta son la toxicidad por sales y aluminio y la susceptibilidad a la pérdida de suelos.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. CONCLUSIONES RESPECTO AL PROCESO METODOLÓGICO

- El país dispone ahora de una metodología de zonificación agropecuaria actualizada y más robusta, debido a que considera una gran gama de variables y criterios técnicos, que combinados con un sistema de análisis jerárquico permite obtener resultados más sólidos y mapas de zonificación más confiables.
- Variables y criterios técnicos más confiables, permiten focalizar mejores medidas de adaptación al cambio climático en los sistemas agroproductivos.
- A pesar de sus bondades, esta metodología sigue dependiendo del mapeo de suelos y éstos son muy costosos. El INTA está desarrollando el Proyecto PCS, que contempla el mapeo semidetallado de suelos a escala 1:50 000 de todos los cantones costeros de Costa Rica, esto representa casi la mitad del territorio nacional.

5.2. CONCLUSIONES RESPECTO A LOS RESULTADOS DE LA ZONIFICACIÓN

- De acuerdo con los resultados obtenidos se podría decir, que el cantón de Alvarado tiene un 50 % de tierras con aptitud para el desarrollo de los cultivos de papa, cebolla, zanahoria, repollo y pasto kikuyo. Pero esa aptitud se encuentra entre los niveles de media a baja, lo que significa que esas tierras presentan limitantes moderadas a severas para el desarrollo pleno de estos rubros. En otras palabras, para la obtención de buenas cosechas se hace necesario el uso de medidas de adaptación con las cuales los productores puedan sobreponerse a dichas limitaciones físicas o edafoclimáticas y conseguir mejores cosechas. Por otro lado, entre un 38 y un 50 % de estas tierras, presentan condiciones no aptas para el desarrollo de cualquier actividad agropecuaria; estas tierras incluyen áreas boscosas (bosque denso, bosque secundario o bosque de galería), áreas silvestres protegidas y áreas con cobertura de tejido urbano continuo o discontinuo.
- Este proceso de zonificación, ha producido información muy valiosa para los productores agrícolas y ganaderos del cantón de Alvarado, revelando la mayoría de las limitaciones físicas o sea de clima y suelo. Pero lo más importante es que esa información se encuentra recolectada en forma de capas geoespaciales, las cuales serán administradas y distribuidas por la Agencia de Extensión del MAG en Pacayas. Esta información es como una radiografía del cantón de Alvarado que va a permitir mejorar la toma de decisión sobre las medidas de adaptación al cambio climático que se van a utilizar para superar esas limitaciones, obtener mejores cosechas y mejorar la calidad de vida de las familias.

5.3. RECOMENDACIONES

- En tierras con aptitud media y baja, es necesario que los productores realicen medidas de adaptación a las limitaciones físicas ya mencionadas, pero esas adaptaciones traen consigo un gasto extra para el productor, que afecta de manera inequívoca sus ingresos. Desde este punto de vista, el INTA está en el compromiso de desarrollar el componente socioeconómico de la zonificación agroecológica, esto con el fin de determinar y recomendar la superación de aquellas limitantes económicas que pudieran impedir una mejor rentabilidad de las actividades agropecuarias en esta zona de estudio.
- Un proceso de capacitación a los técnicos de la zona de estudio en el uso de la herramienta ZAE es decir, en el uso de las diferentes capas geoespaciales es necesario para comprender las limitaciones de clima y suelo a nivel de finca y proceder a escoger las mejores prácticas agronómicas para superarlas. Este trabajo deben realizarlo en conjunto los técnicos y los productores.
- Los cultivos se componen de diferentes variedades y como tales pueden llegar a tener un comportamiento diferente de cara a las condiciones de clima y suelo de un mismo sitio de producción. Por tal motivo, se recomienda construir una tabla de requerimientos técnicos por variedad antes de iniciar el proceso de zonificación de cualquier cultivo. Igualmente, se recomienda que el INTA intensifique los estudios científicos para establecer los requerimientos técnicos de los cultivos que en el futuro se van a zonificar.
- Se recomienda aprovechar los mapas de suelos desarrollados por el Proyecto PCS donde esta metodología podría contribuir al desarrollo de mapas de zonificación a escala 1:50 000 apropiados para la toma de decisiones a nivel cantonal o regional.

6. Bibliografía

Ambientum.com. 2019. Conceptos generales de meteorología (en línea, sitio web). Disponible en https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/conceptos-generales-en-meteorologia.asp.

Araya Umaña, G. 2012. Manual de recomendaciones para el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.). Mesén, M; Ramírez, L (eds.). San José, Costa Rica, MAG / INTA.

Bertsch Hernández, F. 1995. La fertilidad de suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de Ciencias del Suelo. 157 p.

Bolaños, A. 1998. Cultivo de zanahoria (en línea). San José, Costa Rica, [infoagro.go.cr](http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Manual_tecnico_EL_CULTIVO_DE_ZANAHORIA_en_Costa_Rica.pdf). Disponible en http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Manual_tecnico_EL_CULTIVO_DE_ZANAHORIA_en_Costa_Rica.pdf.

Caravaca Vega, P. 2019. Análisis y monitoreo de mercados de CEBOLLA. (en línea, sitio web). Disponible en https://www.simacr.go.cr/images/SIIM/sector_agricola/Hortalizas/cebolla/Analisis_de_Mercado/2019/M_cebolla_01_08-03-2019.pdf.

Delgado, JC. 2009. Sistema de información de mercados agroalimentarios. Ficha técnica de Cebolla. (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.simacr.go.cr/index.php/mercados-de-cebollas-2>.

EcoPlan / Deppat. 2016. Plan cantonal de desarrollo humano local del cantón de Alvarado 2016-2026. Cartago, Costa Rica, Municipalidad de Alvarado. 143 p.

Espinoza, J; Molina, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Quito, Ec / San José, CR, International Plant Nutrition Institute (IPNI).

FAO. 2007. Land Evaluation: Towards a Revised Framework. Rome, Italy, s.e., (Land and water discussion paper N°6).

_____. 2019. Clasificación de suelos / Propiedades Químicas (en línea, sitio web). Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>.

Fornaris Rullán, GJ. 2014. Conjunto tecnológico para la producción de repollo - Características de la planta. Mayagüez, Puerto Rico., Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico. p. 4.

Fuentes, F; Pérez, J. 2003. Cultivo de repollo. Guía técnica N°16. San Salvador, El Salvador, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). 36 p.

Fundación de Desarrollo Agropecuario Inc. 1993. Cultivo de repollo Boletín técnico N° 18. Santo Domingo, Rep. Dominicana, s.e. 27 p.

IFAM. 2002. Cantones de Costa Rica. Guía interactiva de cantones de CR. San José, Costa Rica, Instituto de Fomento y Asesoría Municipal / Departamento de Planificación.

IMN - MINAE. 2013. Series de brillo solar en Costa Rica. San José, Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional / Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. 25 p.

Inder. 2016. Plan de desarrollo rural territorial del territorio Paraiso - Alvarado 2016-2021. Cartago, Costa Rica, Consejo territorial de desarrollo rural Paraiso - Alvarado. 107 p.

INTA. 2015. Manual de definición de clases y especificaciones cartográficas de la leyenda CLC-CR para la generación de mapas de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica. Rosales-Ibarra, A (ed.). San José, Costa Rica, MAG/INTA/FITTACORI/SUNII. 94 p.

_____. 2017. Manual de cultivo de papa en Costa Rica. *Solanum tuberosum* L. Avilés Chaves, J; Piedra Naranjo, R (eds.). San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Alimentaria (INTA). 94 p.

Leyva, LF. 2008. Tubérculos: Zanahoria (en línea, sitio web). Disponible en www.tuberculos.org.

Lopez-Montes, J. s/f. Manual de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de repollo. Universidad Politécnica de Nicaragua/ICIDRI (ed.). Managua, Nicaragua, s.e. 24 p.

López González, B. 2016. Modelos de gestión para impulsar el desarrollo sostenible. Artículos - UCI Universidad para la Cooperación Internacional (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.uci.ac.cr/articulos/modelos-gestion-impulsar-desarrollo-sostenible/>.

MAG-MIRENEM. 1994. Decreto ejecutivo N° 23214-MAG-MIRENEM. Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. Costa Rica, Periódico oficial La Gaceta N° 107.

Municipalidad de Alvarado. 2015. Plan regulador territorial del cantón de Alvarado. Cartago, Costa Rica, s.e. 507 p.

_____. 2016. Municipalidad de Alvarado. Historia del cantón. (en línea, sitio web). Disponible en <http://www.munialvarado.go.cr/index.php/mn-conozcanos/mn-micanton/mn-historiacanton>.

Rivera, Y; Moreno, L; Herrera, M; Romero, HM. 2016. La toxicidad por aluminio (Al^{3+}) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. Palmas 37(l) :11–23.

Salvatore, M; Kassam, A; Gutierrez, AC; Bloise, M; Marinelli, M. 1978. FAO - Metodología para la clasificación de las tierras. Bioenergía y seguridad alimentaria “BEFS” :11–19.

Sánchez Ledezma, W; Mesén Villalobos, M. 2010. Establecimiento y manejo del pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*). Alcances tecnológicos 8(1):71–80.

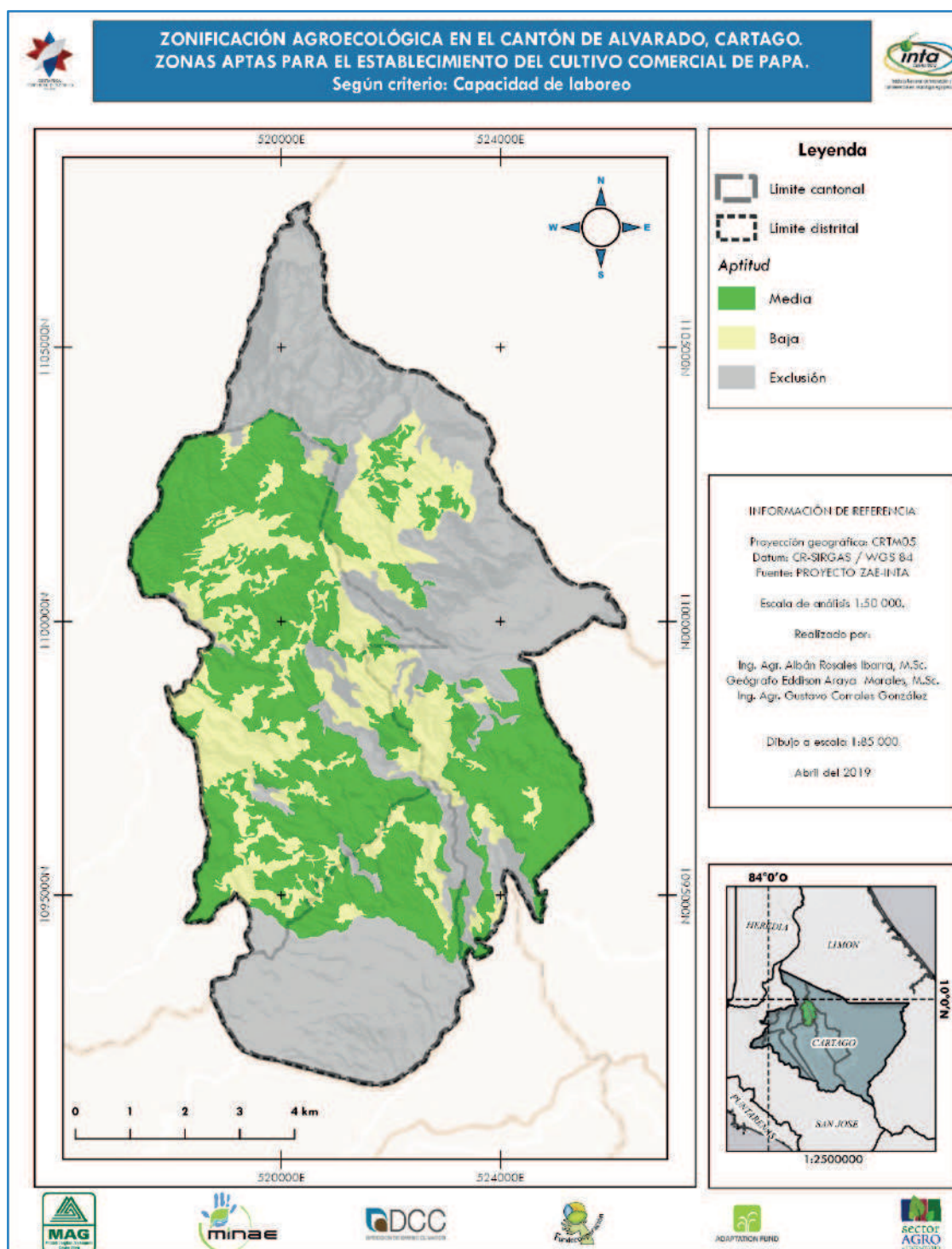
Universidad de Chile. 2019. Modulo Determinación de la humedad del suelo. Modernización e Integración transversal de la enseñanza de pregrado en ciencia de la tierra. (en línea, sitio web). Consultado 5 jun. 2019. Disponible en <http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio.html>.

UPRA. 2015. Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales - Colombia Escala 1:100 000. Bogotá, Colombia, UPRA. 225 p.

_____. 2016. Cultivo comercial de papa: identificación de zonas aptas en Colombia, a escala 1:100 000. Bogotá, Colombia, UPRA. 432 p.

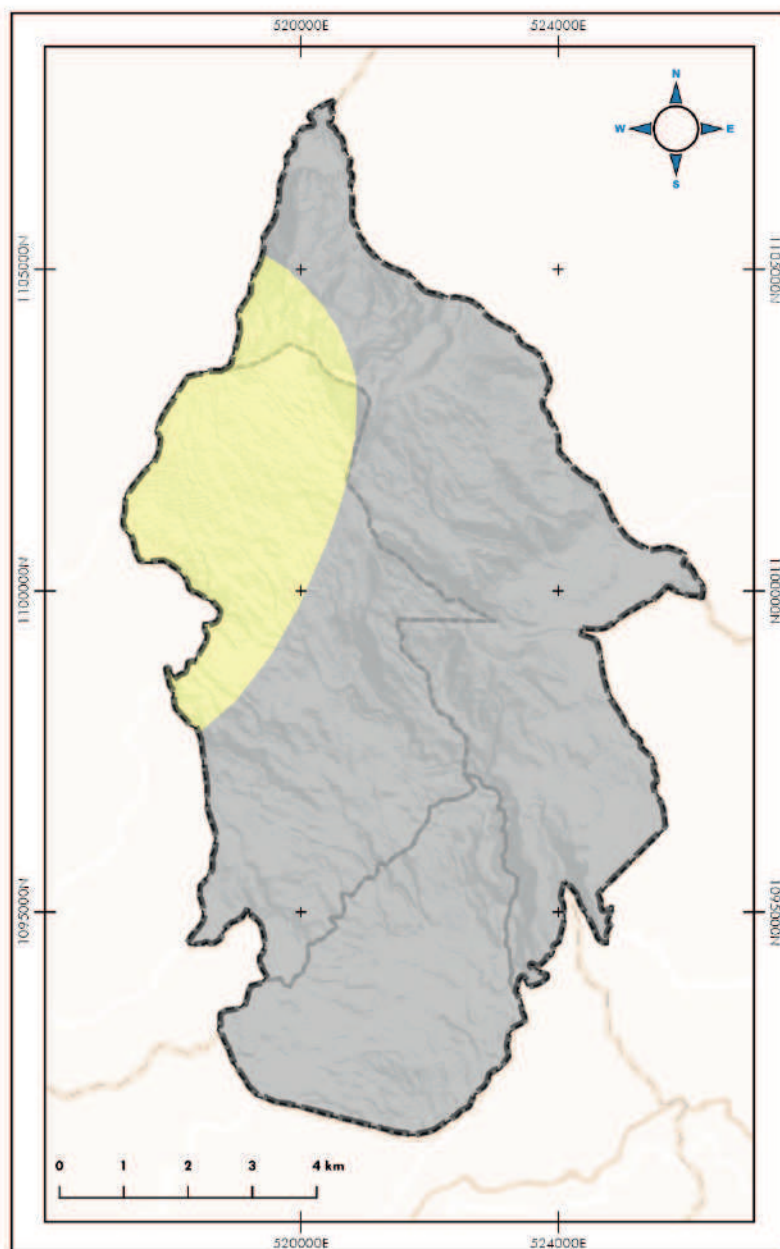
7. Anexos

7.1. MAPAS DE APTITUD POR CRITERIOS PARA CADA CULTIVO





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PAPA.
Según criterio: Condiciones Climáticas



Legenda

- Límite cantonal
- Límite distrital
- Aptitud**
- Baja
- Exclusión

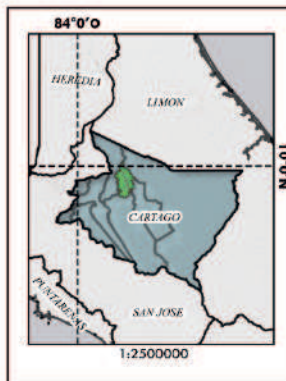
INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

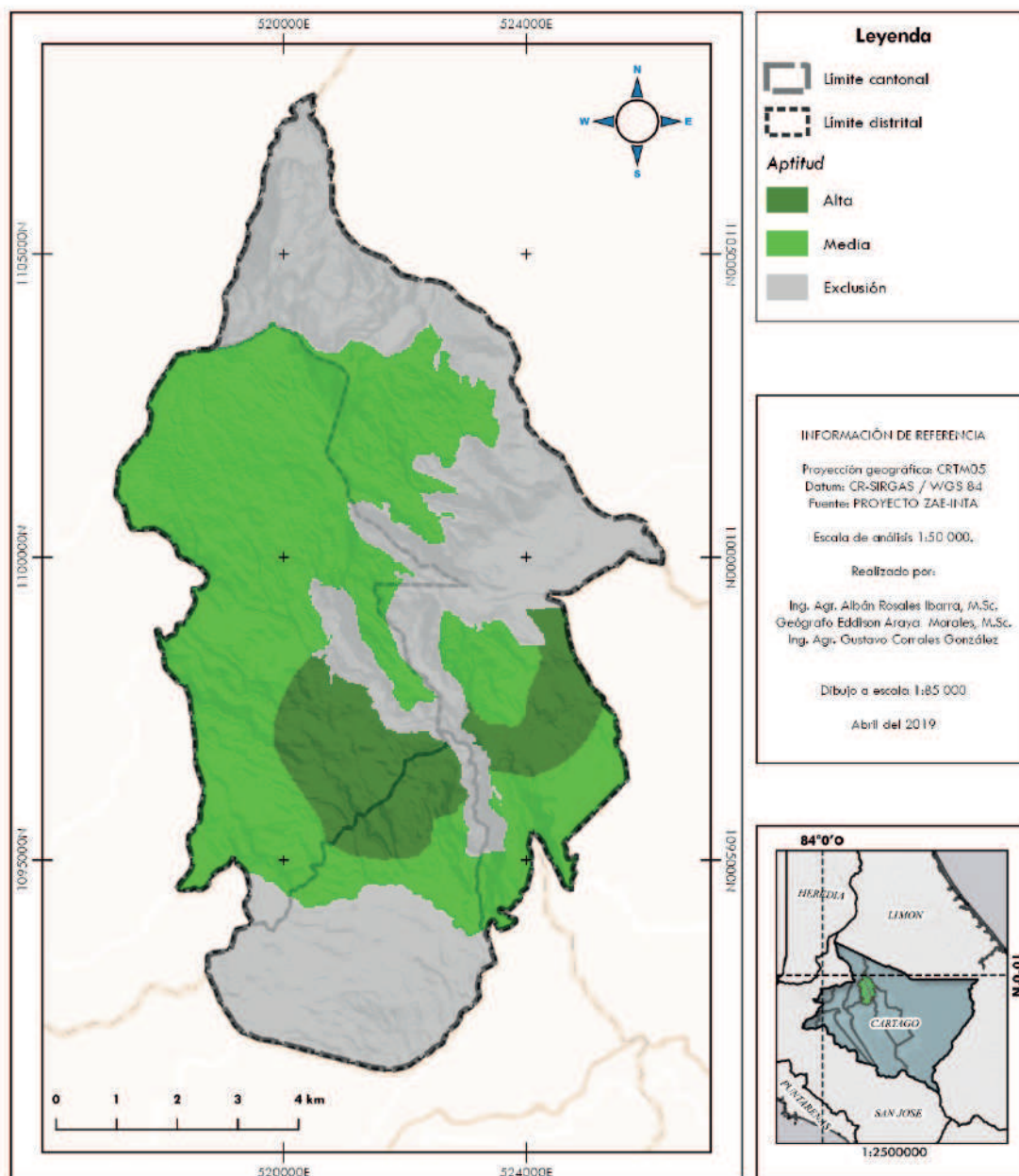
Realizado por:
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

Dibujo a escala 1:85 000
Abril del 2019



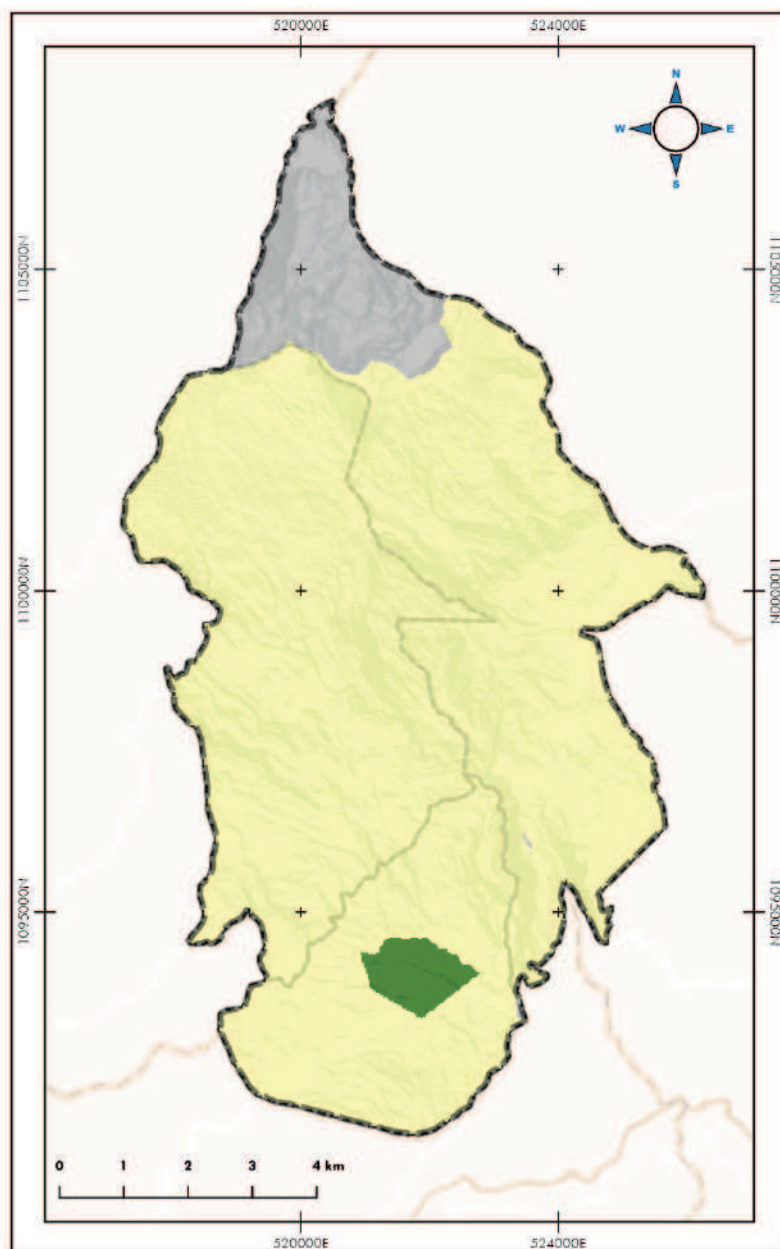


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PAPA.
Según criterio: Condiciones de enraizamiento y tuberización





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PAPA.
Según criterio: Disponibilidad de humedad



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Exclusión
■ Baja
■ Alta

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

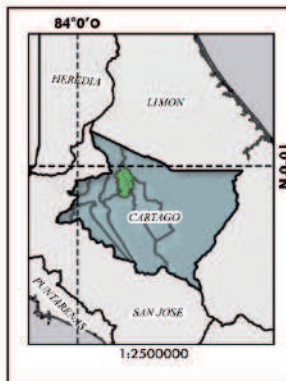
Escala de análisis: 1:50 000.

Realizado por:

Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

Dibujo a escala: 1:85 000

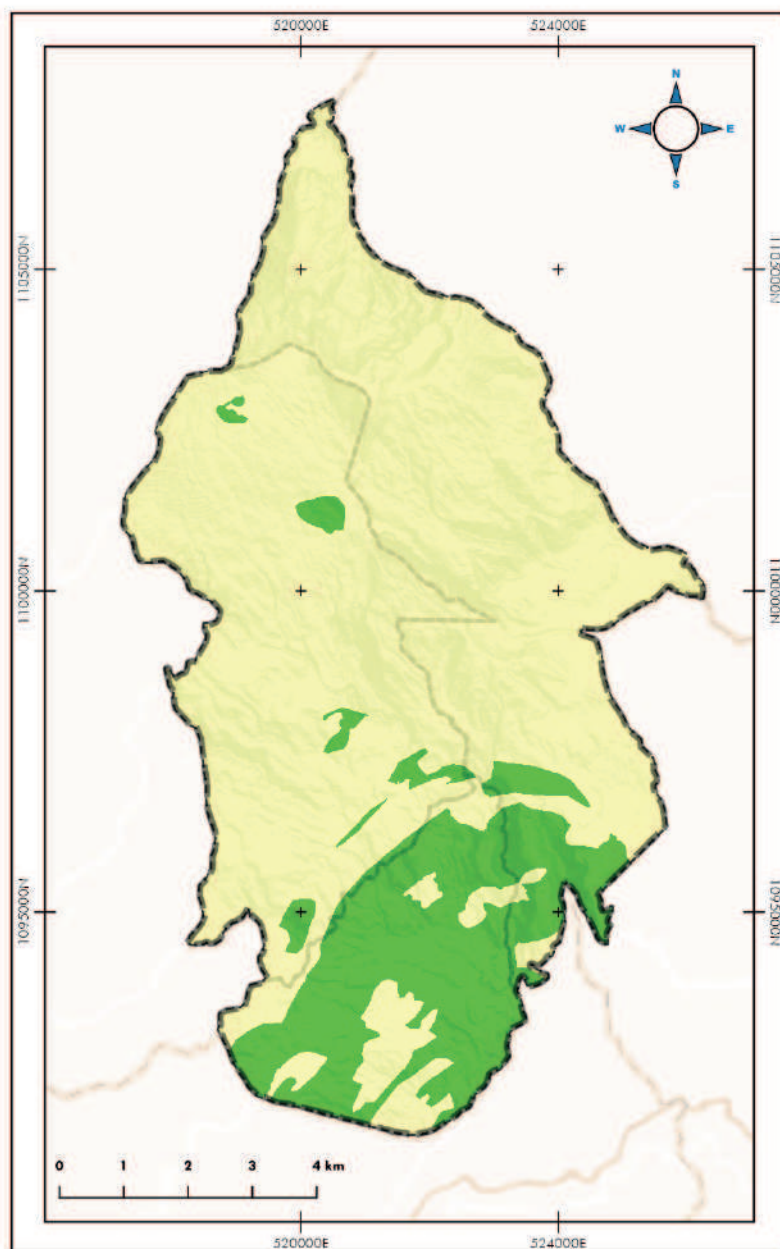
Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO. ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PAPA.

Según criterio: Disponibilidad de nutrientes



Legenda

□ Limite cantonal

□ Limite distrital

Aptitud

□ Baja

□ Media

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05

Datum: CR-SIRGAS / WGS 84

Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis: 1:50 000.

Realizado por:

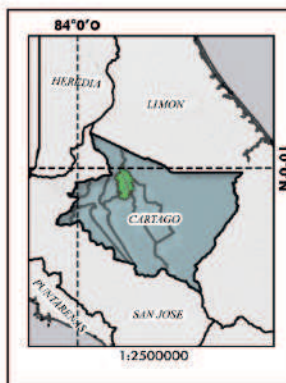
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.

Geógrafo Eddison Araya Morales, M.Sc.

Ing. Agr. Gustavo Corrales González

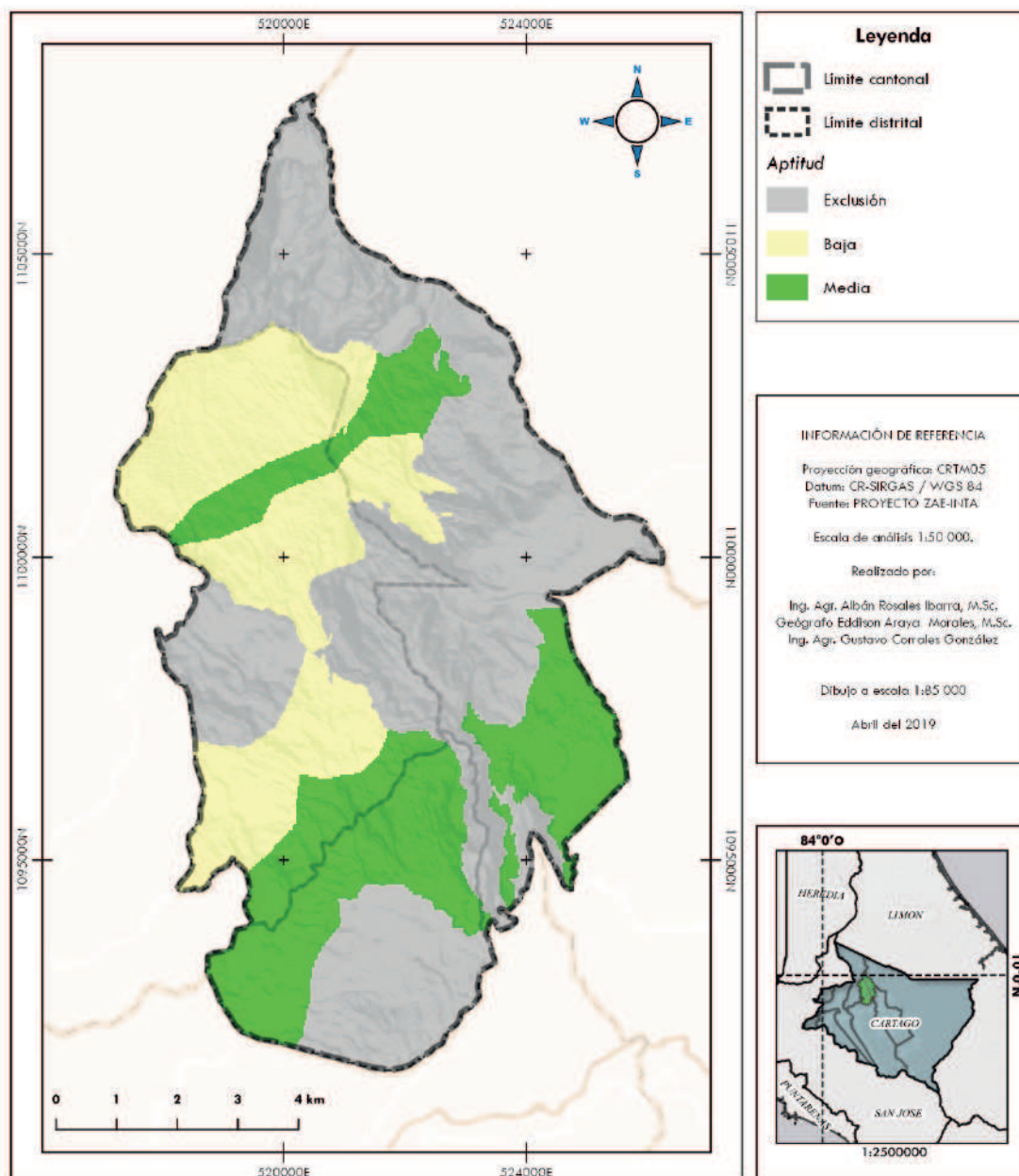
Dibujo a escala: 1:85 000

Abril del 2019



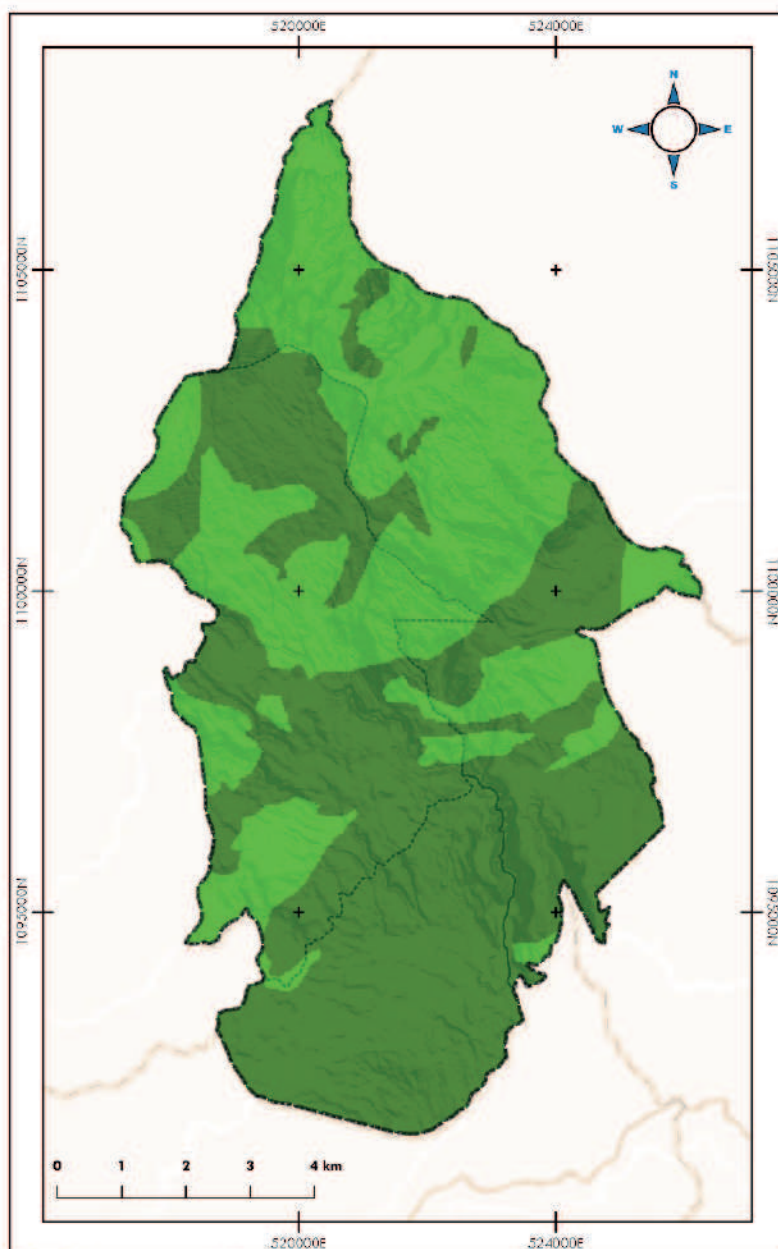


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PAPA.
Según criterio: Susceptibilidad a pérdida de suelo





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PAPA.
Según criterio: Toxicidad por sales, sodio y aluminio.



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

Media
Alta

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

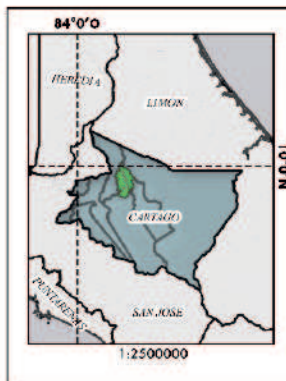
Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

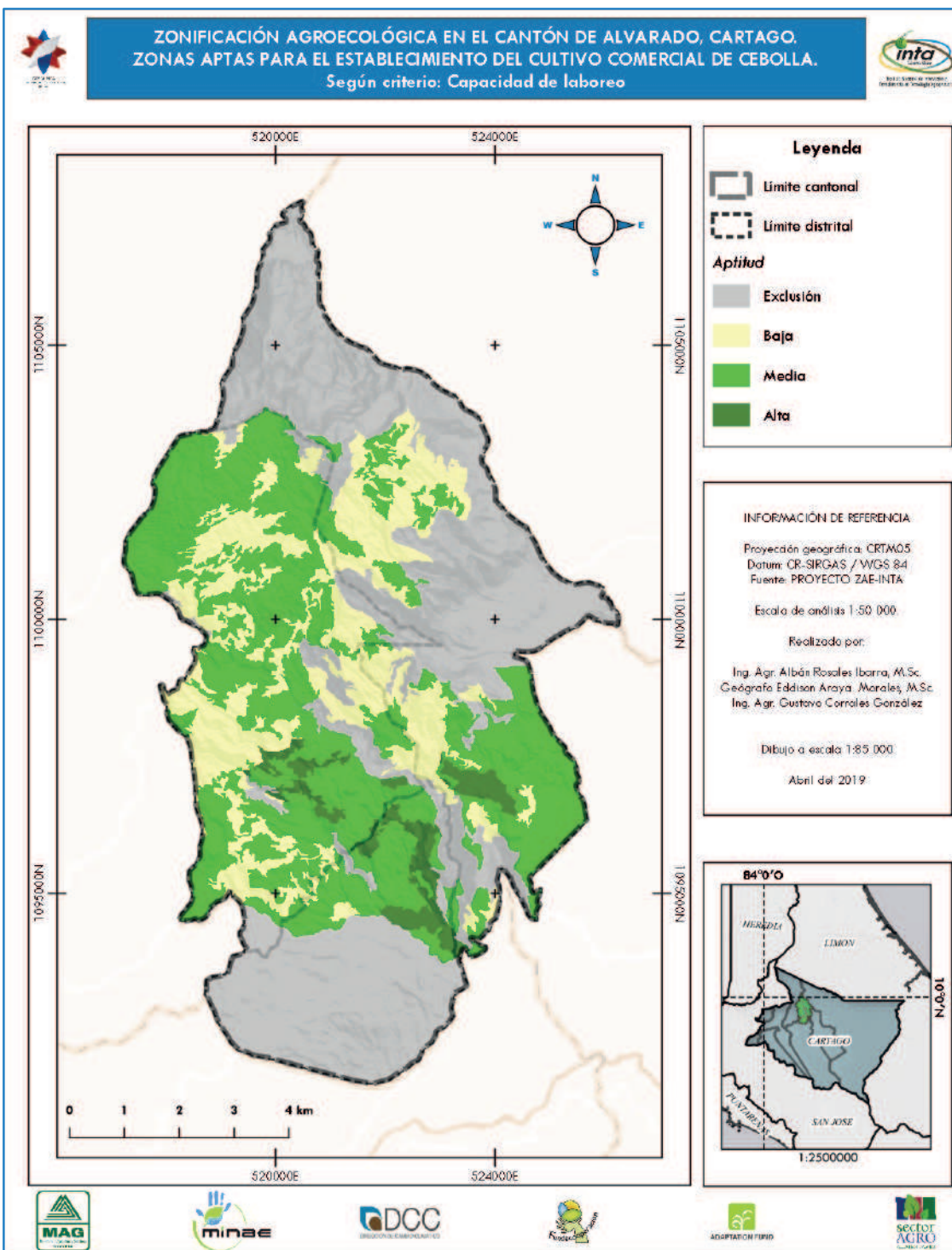
Escala de análisis 1:50 000.

Realizado por:
Ing. Agr. Alban Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

Dibujo a escala 1:65 000

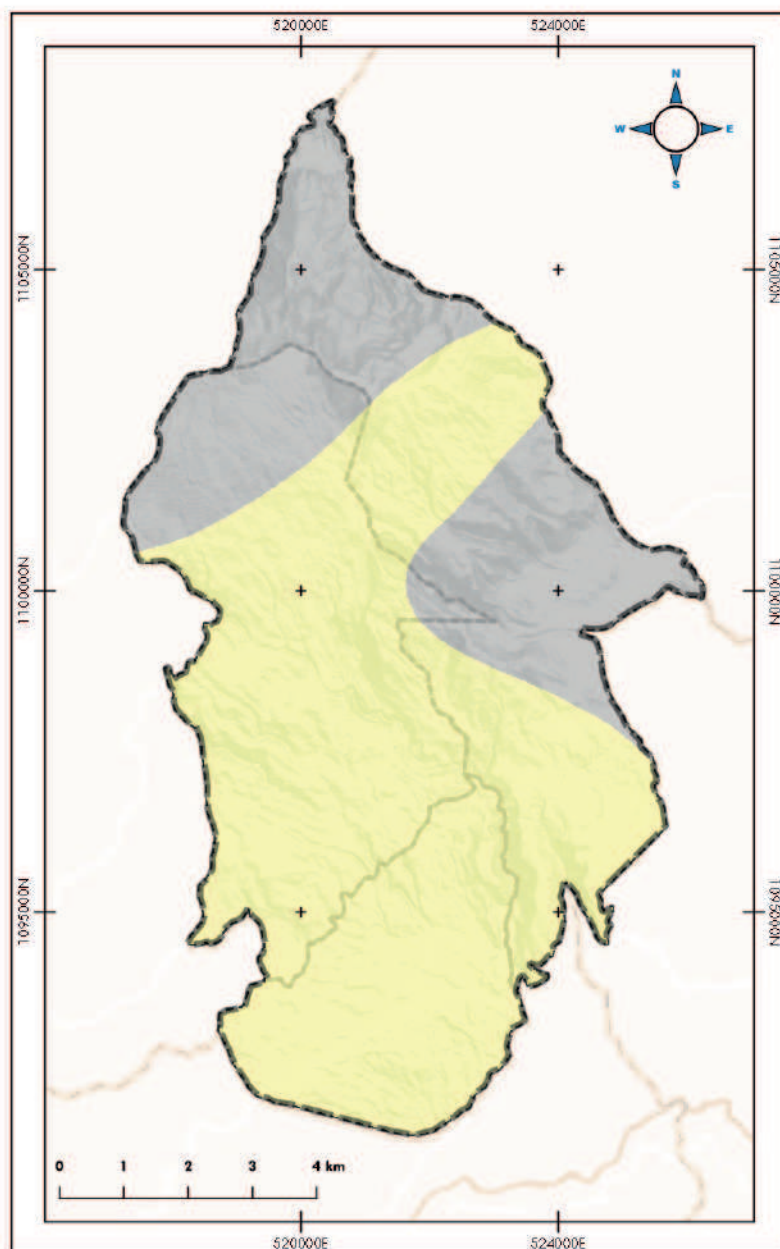
Abril del 2019







ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CEBOLLA.
Según criterio: Condiciones Climáticas



Legenda

□ Limite cantonal
□ Limite distrital

Aptitud

■ Baja
■ Exclusión

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

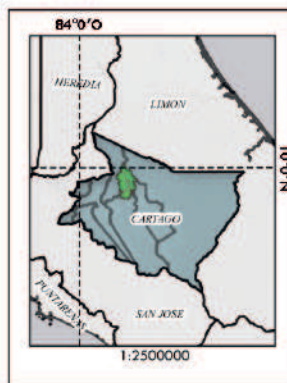
Proyección geográfica: CRTM05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000

Realizado por:
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafa Edilison Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

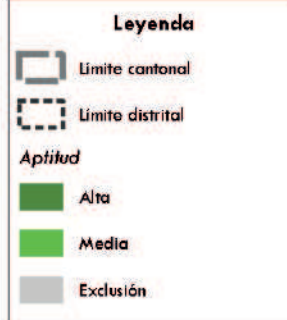
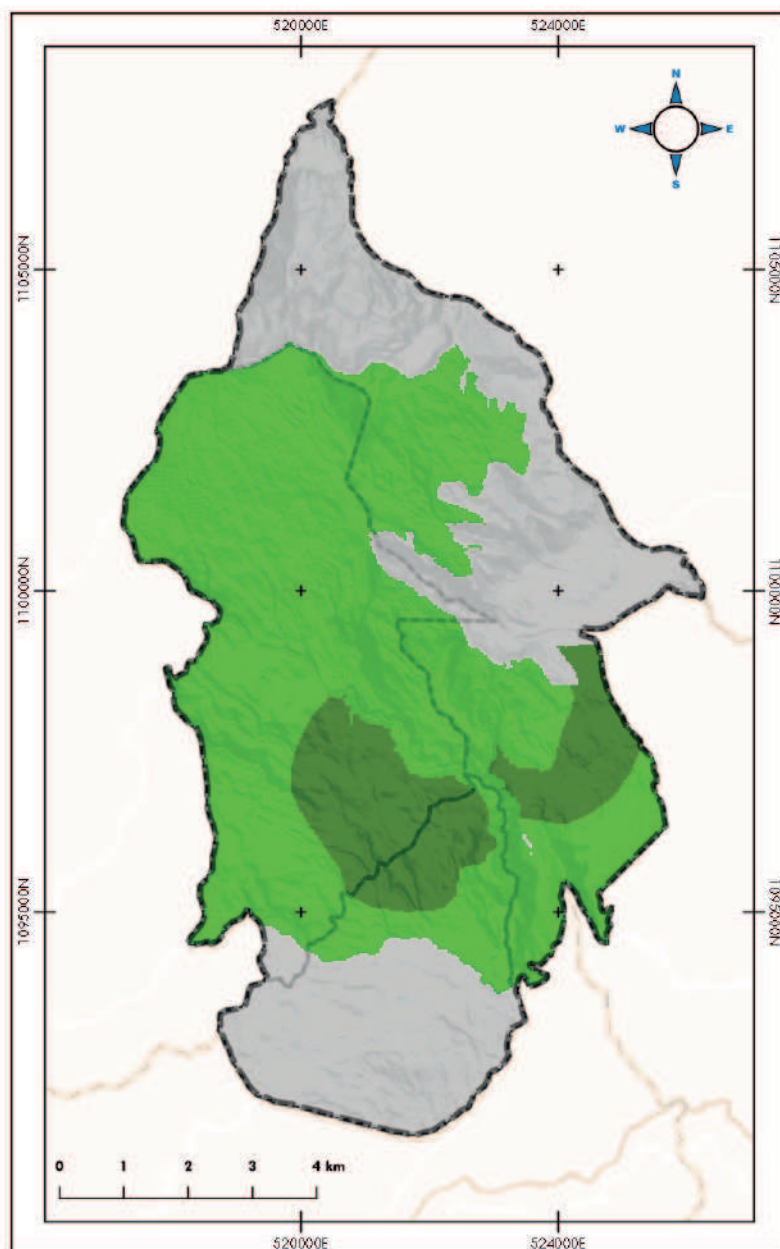
Dibujo a escala 1:85 000

Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CEBOLLA.
Según criterio: Formación de bulbo.



INFORMACIÓN DE REFERENCIA

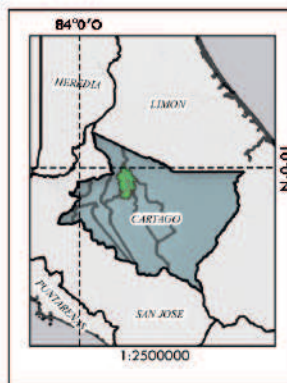
Proyección geográfica: CRTM05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000

Realizado por:
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafa Edilison Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

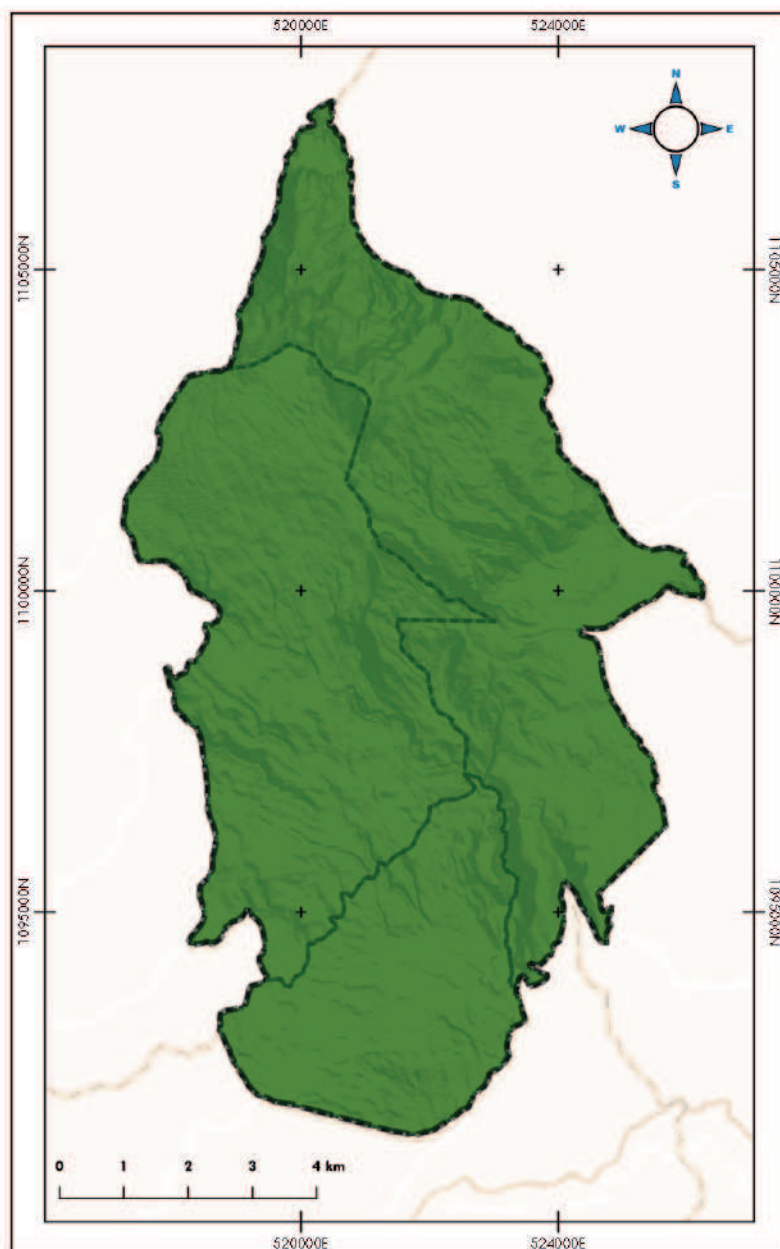
Dibujo a escala 1:85 000

Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CEBOLLA.
Según criterio: Disponibilidad de humedad



Legenda

□ Límite cantonal

□ Límite distrital

Aptitud

■ Alta

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTM05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

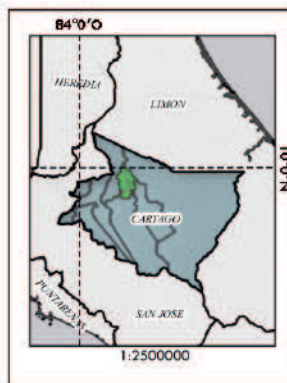
Escala de análisis 1:50 000

Realizado por

Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edison Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

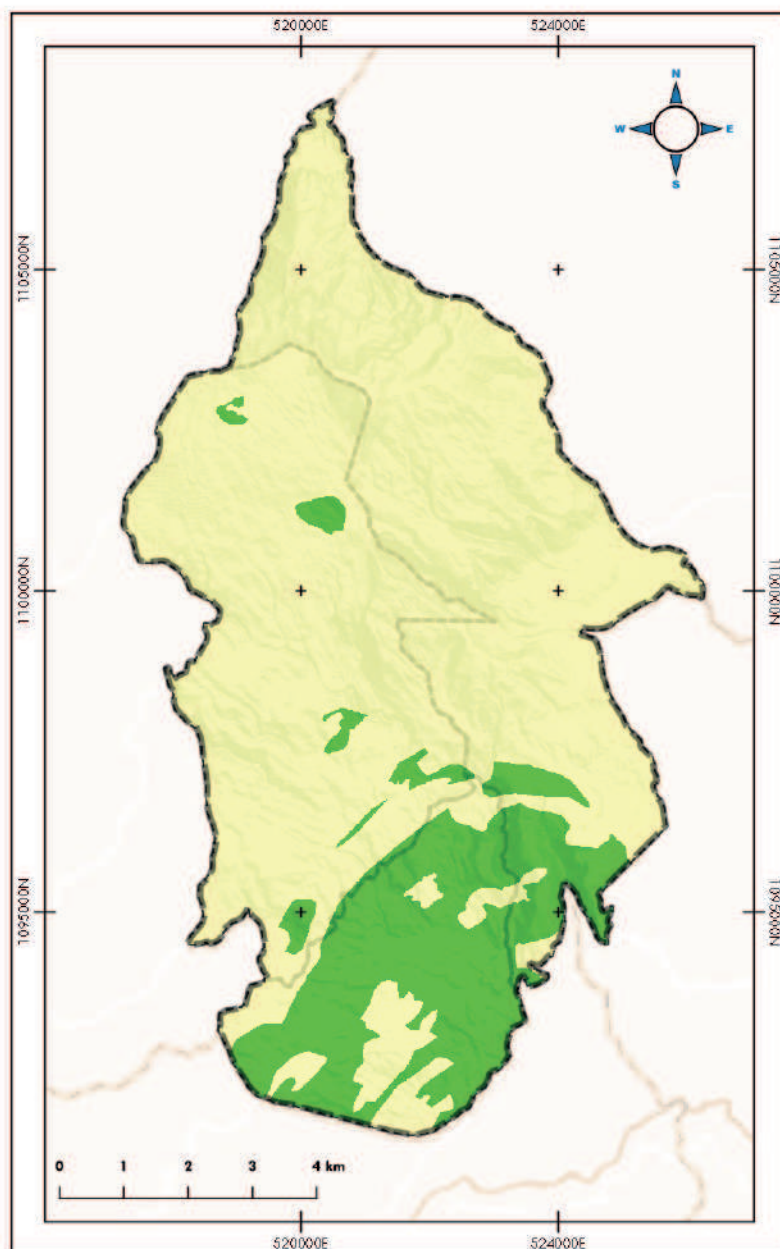
Dibujo a escala 1:85 000

Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CEBOLLA.
Según criterio: Disponibilidad de nutrientes



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Baja
■ Media

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

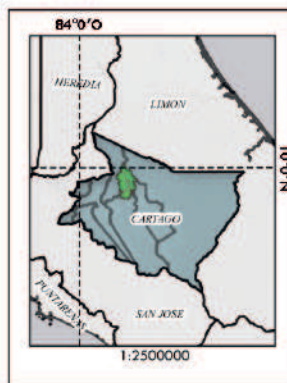
Proyección geográfica: CRTM05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000

Realizado por:
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafa Edilison Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

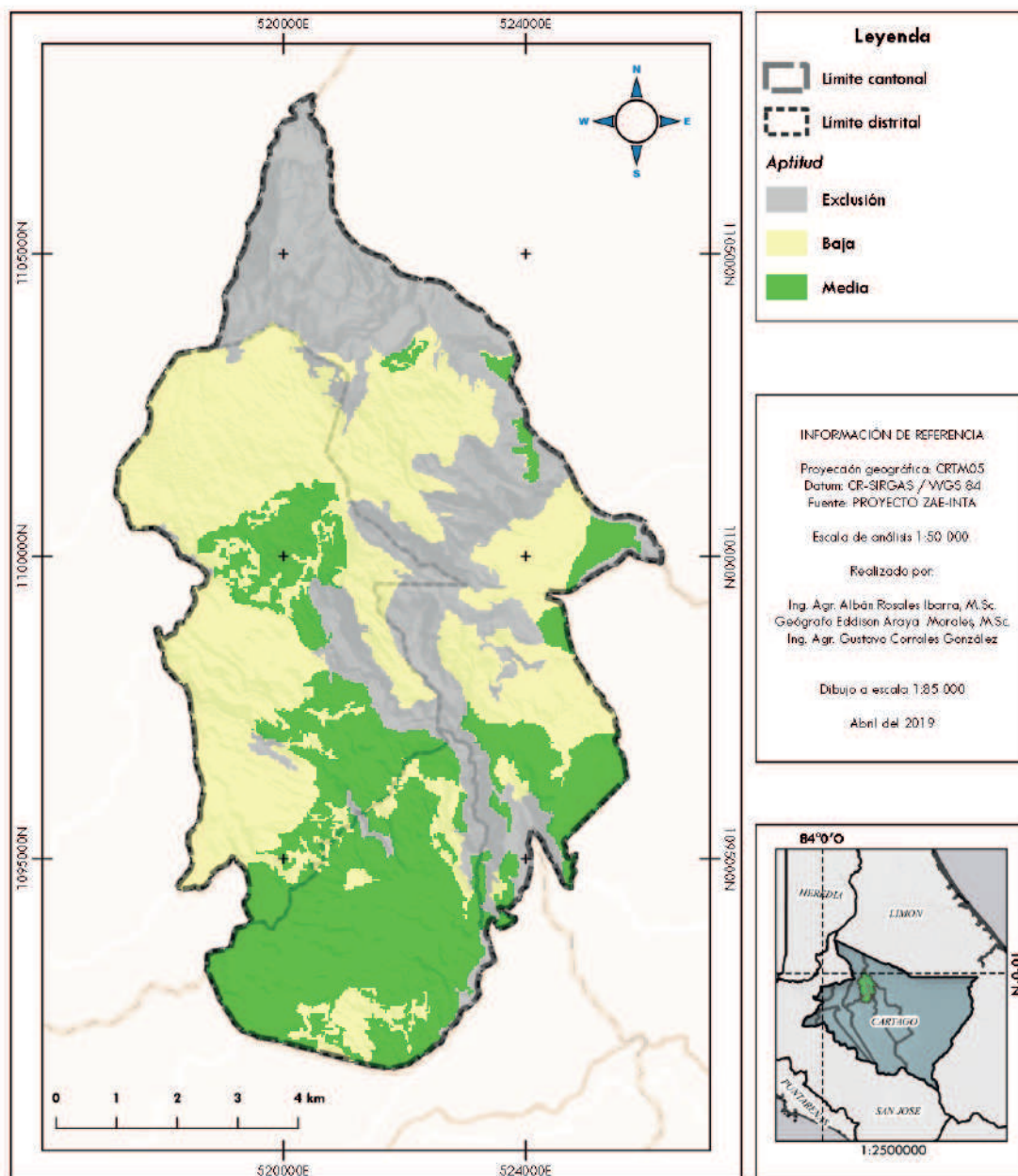
Dibujo a escala 1:85 000

Abril del 2019



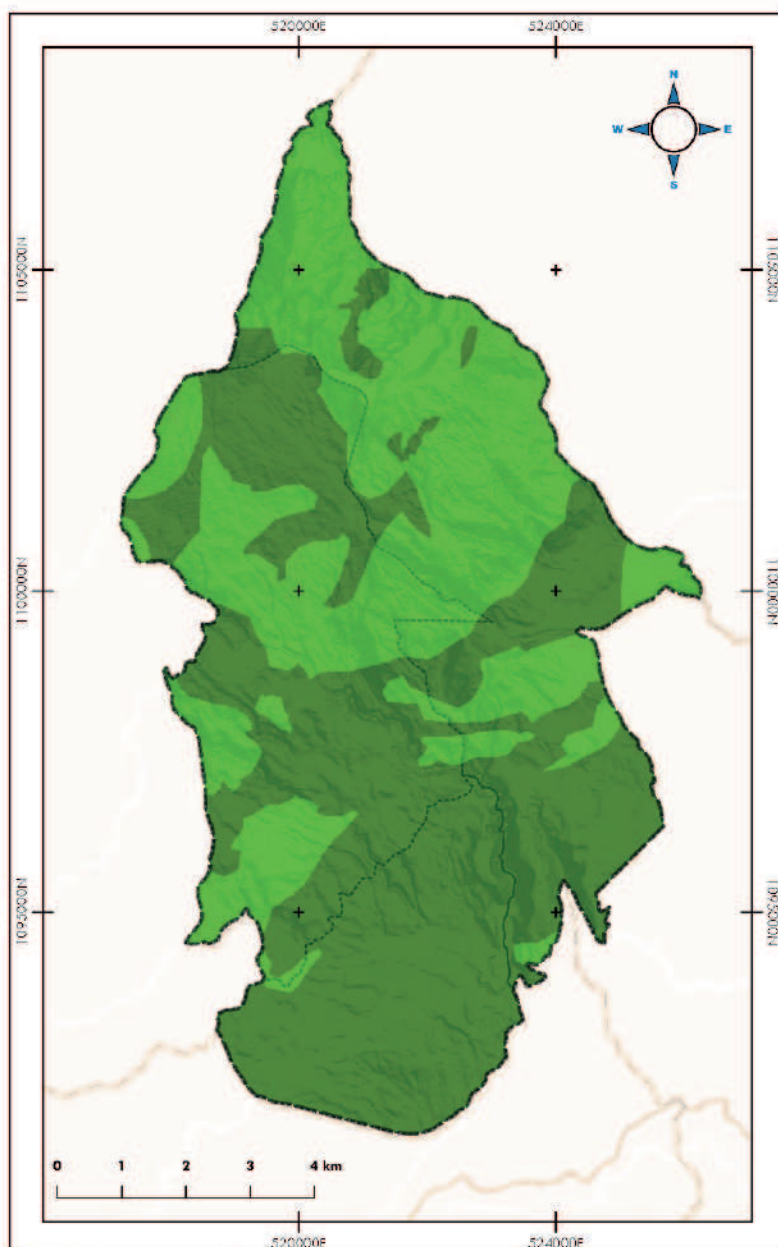


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CEBOLLA.
Según criterio: Susceptibilidad a pérdida de suelo





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CEBOLLA.
Según criterio: Toxicidad por sales, sodio y aluminio.



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Alta
■ Media

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

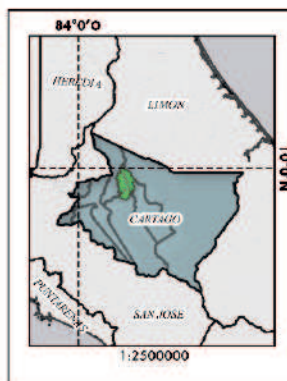
Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

Realizado por:
Ing. Agr. Alban Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

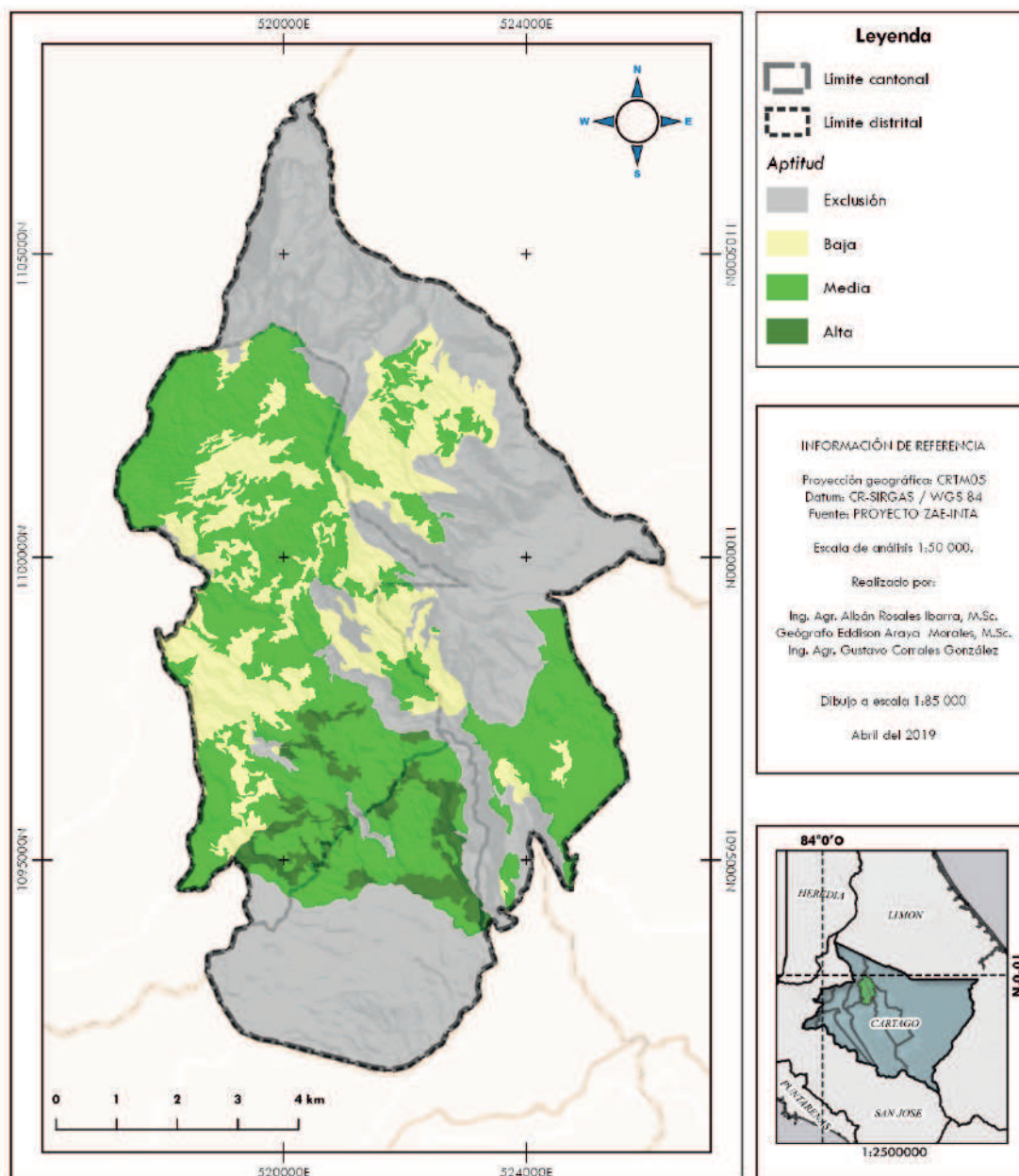
Dibujo a escala 1:65 000

Abril del 2019



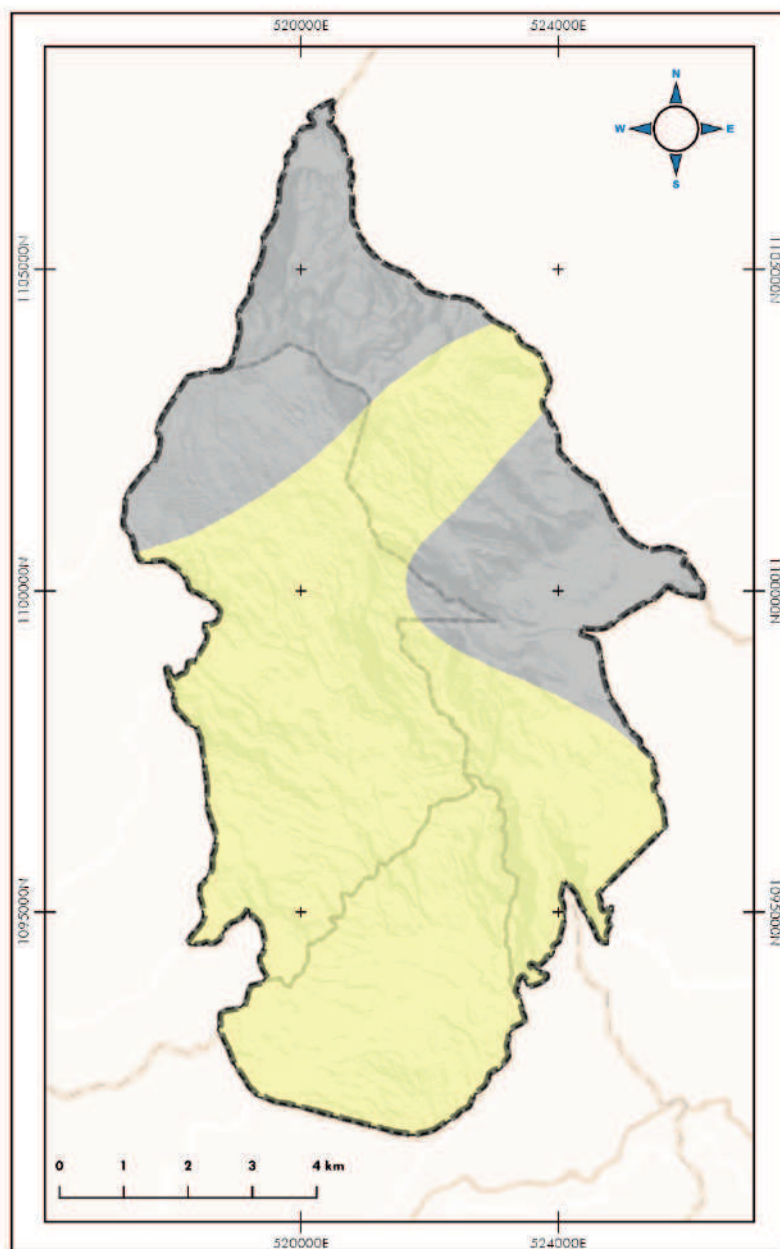


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE ZANAHORIA.
Según criterio: Capacidad de laboreo





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE ZANAHORIA.
Según criterio: Condiciones Climáticas



Legenda

Límite cantonal

Límite distrital

Aptitud

Baja

Exclusión

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05

Datum: CR-SIRGAS / WGS 84

Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis: 1:50 000.

Realizado por:

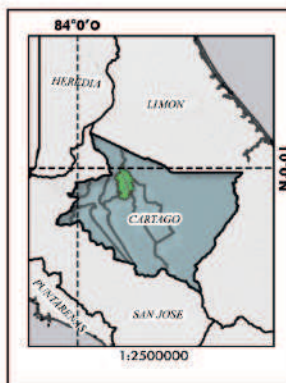
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.

Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.

Ing. Agr. Gustavo Corrales González

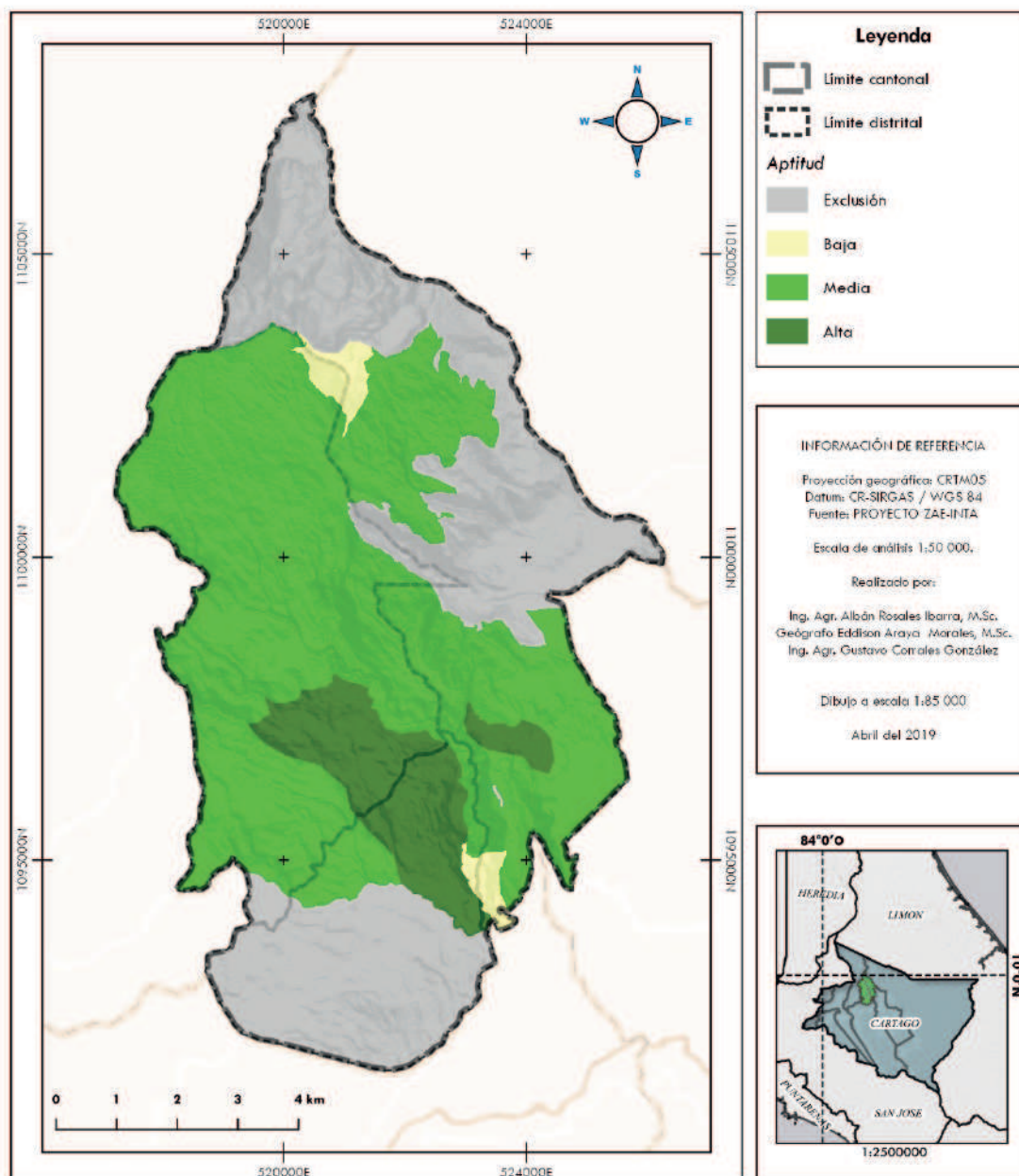
Dibujo a escala: 1:85 000

Abril del 2019



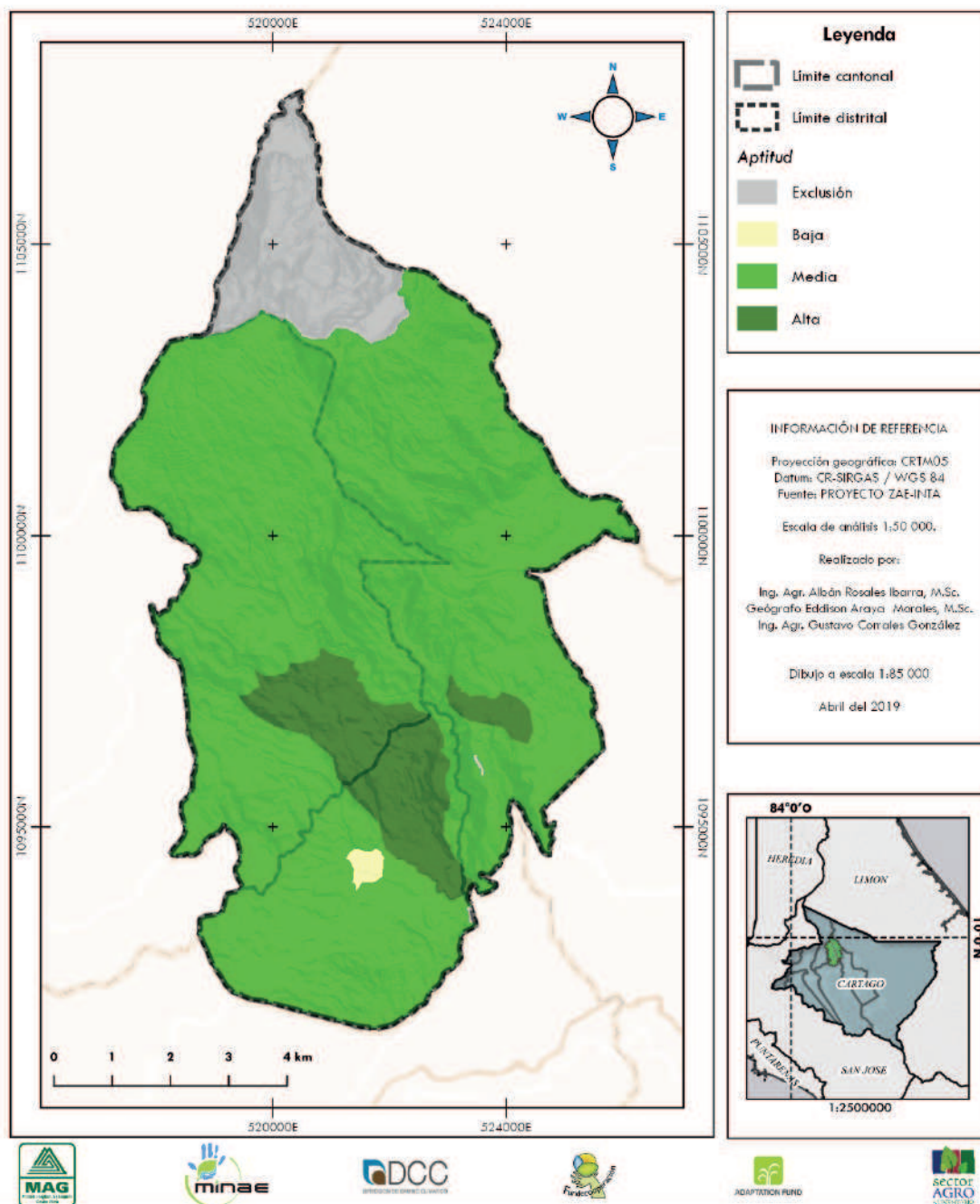


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE ZANAHORIA.
Según criterio: Condiciones de enraizamiento



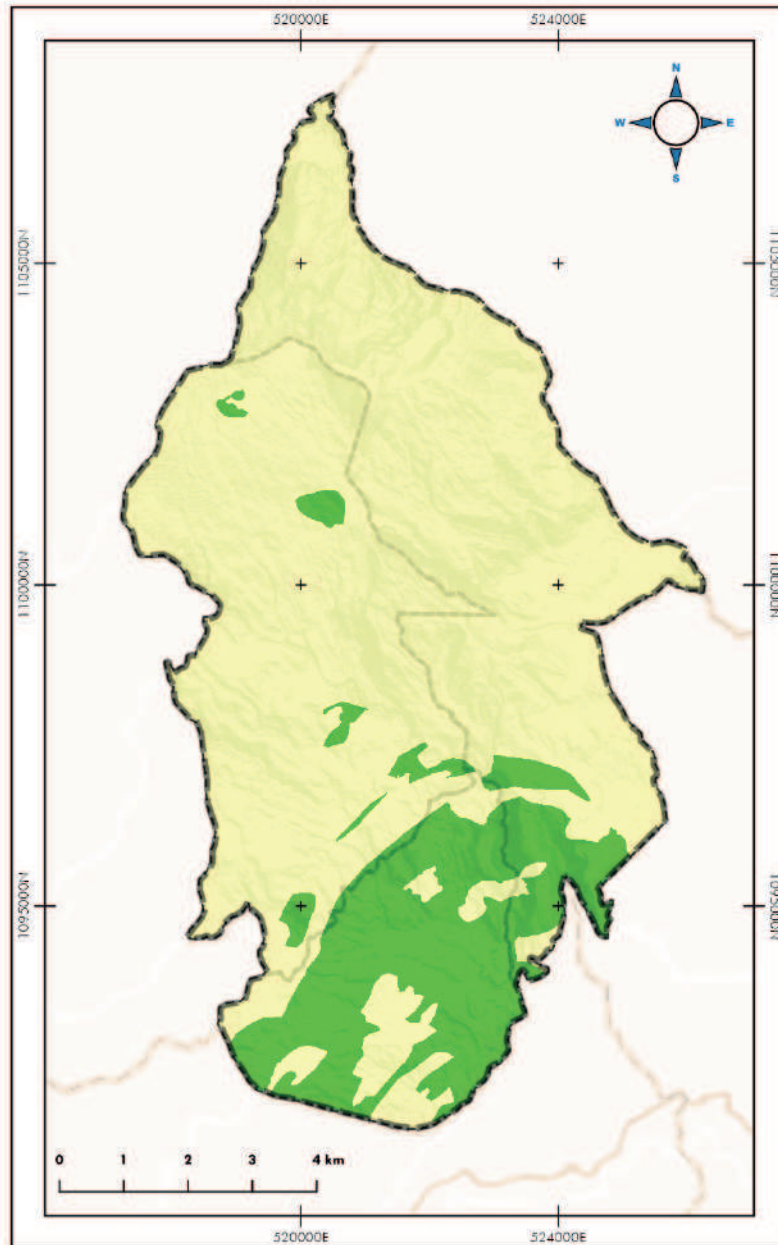


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE ZANAHORIA.
Según criterio: Disponibilidad de humedad





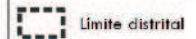
ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE ZANAHORIA.
Según criterio: Disponibilidad de nutrientes



Legenda



Límite cantonal



Límite distrital

Aptitud



Baja



Media

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

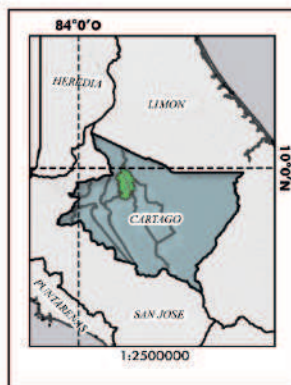
Escala de análisis 1:50 000.

Realizado por:

Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

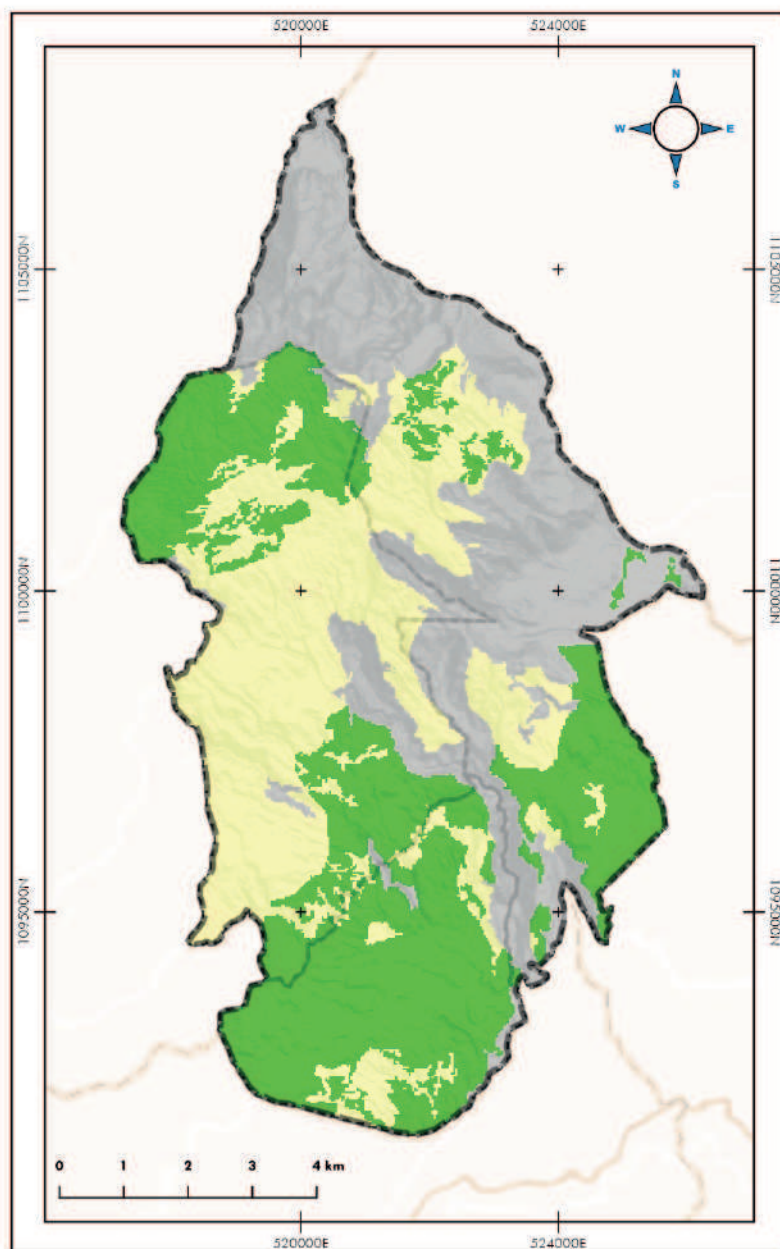
Dibujo a escala 1:85 000

Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE ZANAHORIA.
Según criterio: Susceptibilidad a pérdida de suelo



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Exclusión
■ Baja
■ Media

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

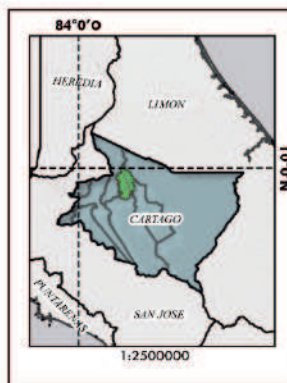
Escala de análisis: 1:50 000.

Realizado por:

Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

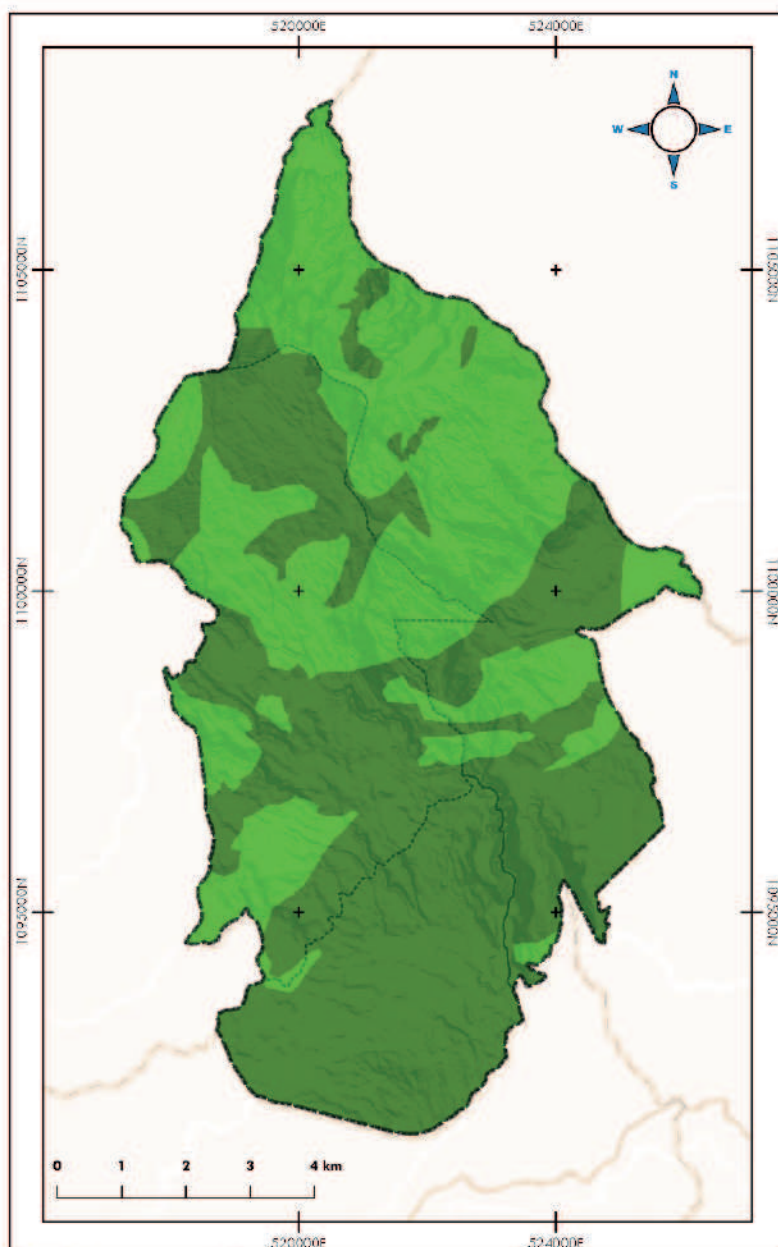
Dibujo a escala: 1:85 000

Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE ZANAHORIA.
Según criterio: Toxicidad por sales, sodio y aluminio.



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Alta
■ Media

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

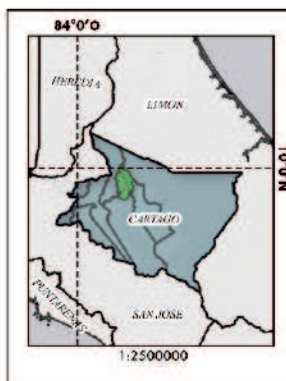
Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

Realizado por:
Ing. Agr. Alban Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

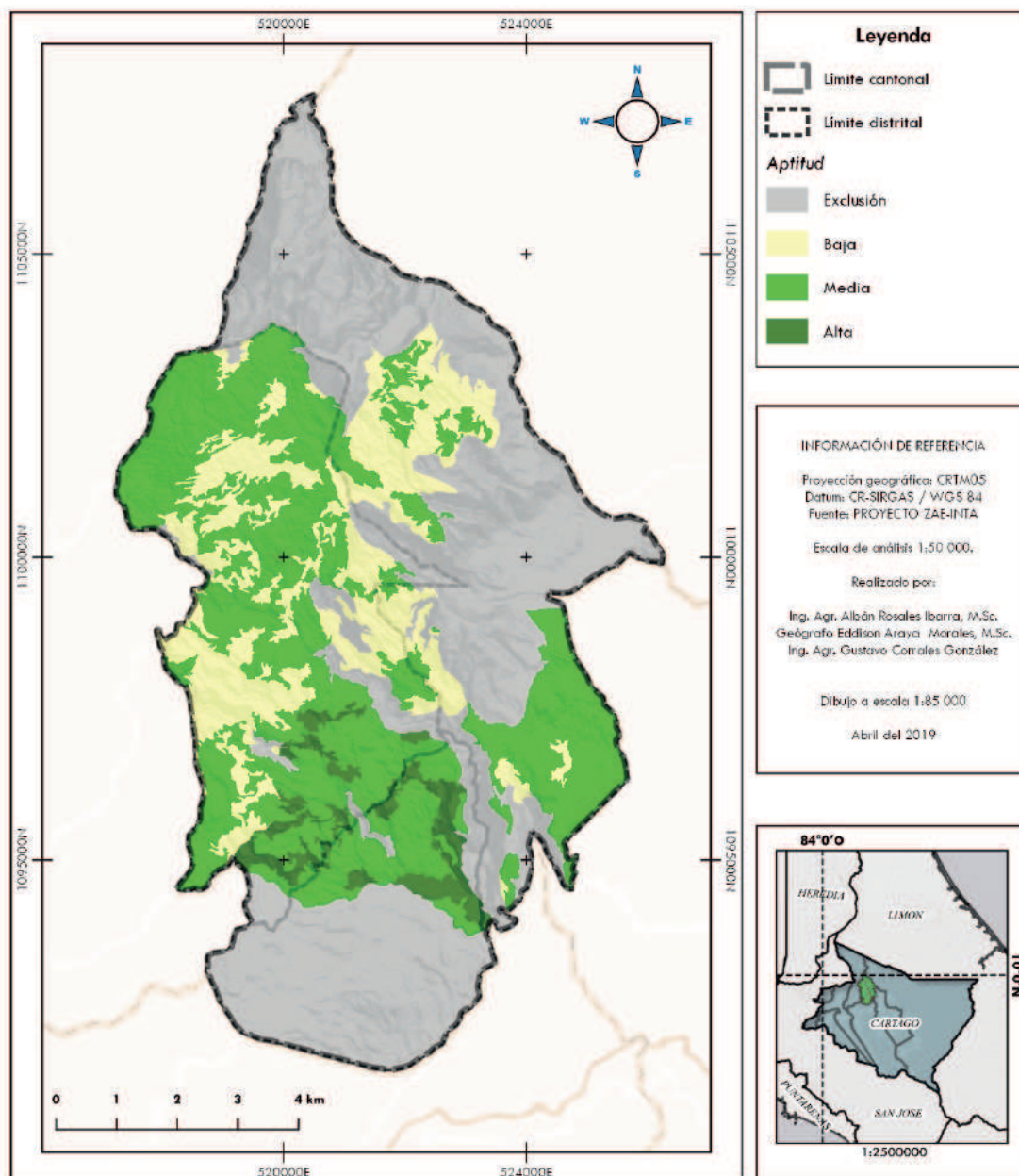
Dibujo a escala 1:65 000

Abril del 2019



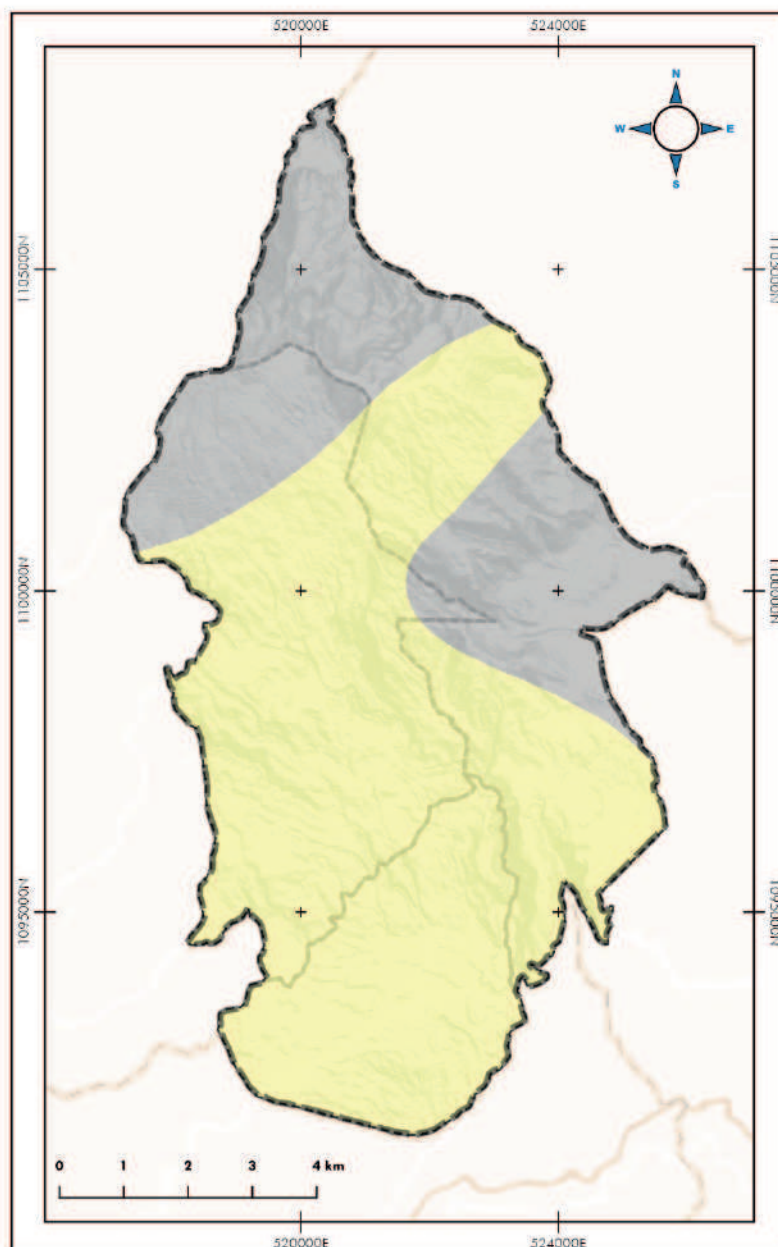


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE REPOLLO.
Según criterio: Capacidad de laboreo





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE REPOLLO.
Según criterio: Condiciones Climáticas



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Baja
■ Exclusión

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

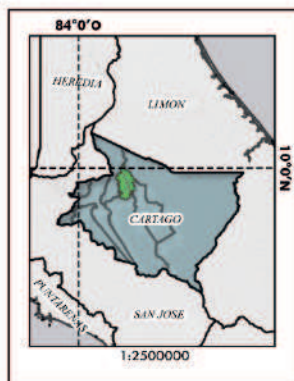
Escala de análisis: 1:50 000.

Realizado por:

Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Eddison Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

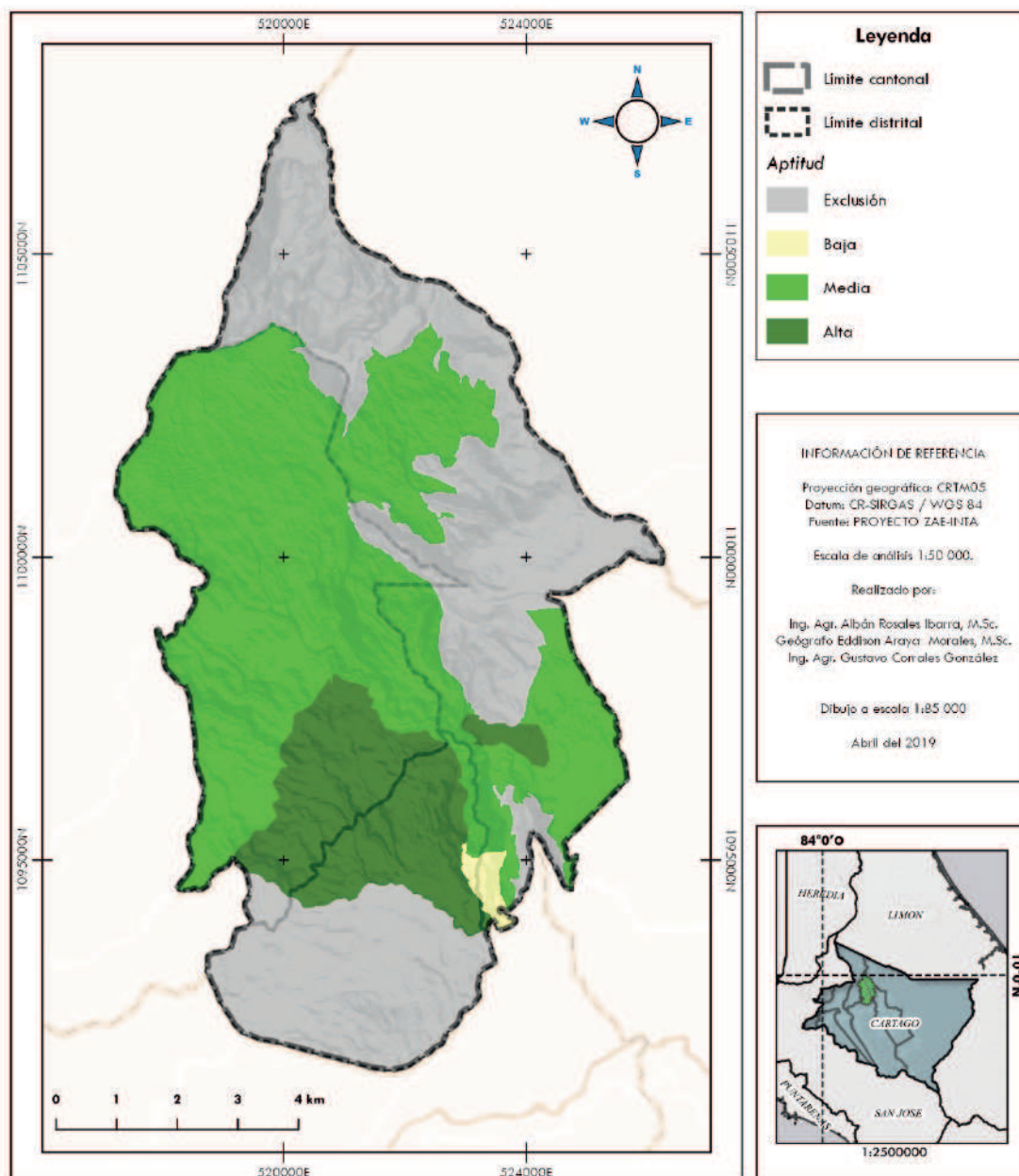
Dibujo a escala: 1:85 000

Abril del 2019



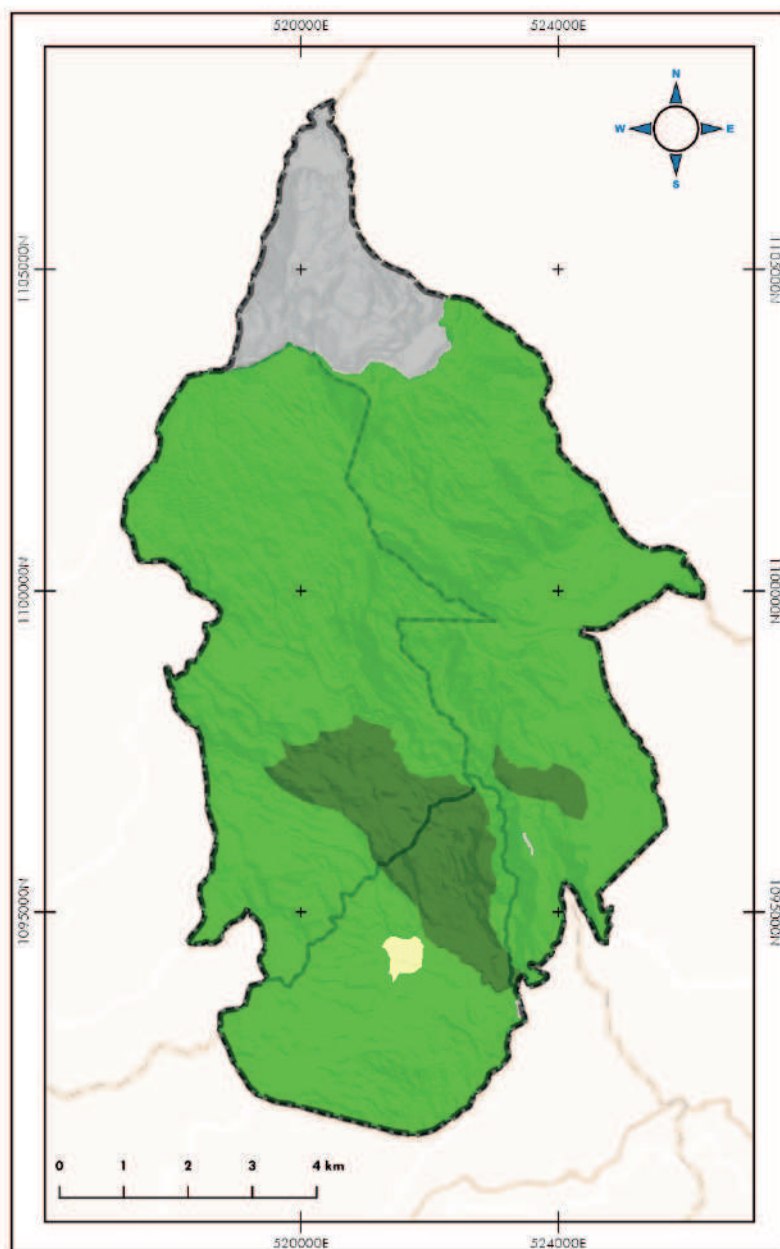


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE REPOLLO.
Según criterio: Condiciones de enraizamiento





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE REPOLLO.
Según criterio: Disponibilidad de humedad



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Exclusión
■ Baja
■ Media
■ Alta

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

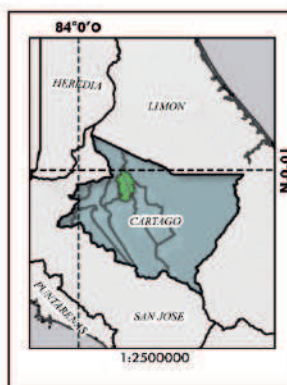
Escala de análisis 1:50 000.

Realizado por:

Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

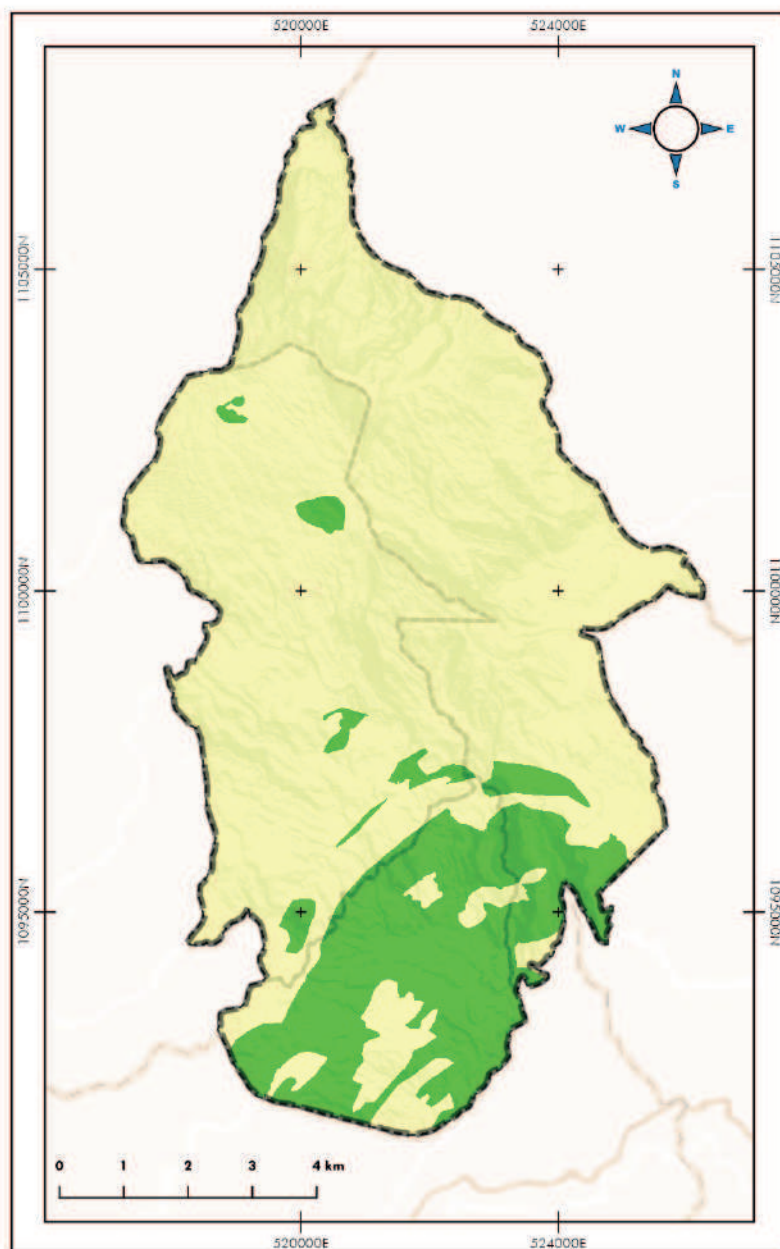
Dibujo a escala 1:85 000

Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE REPOLLO.
Según criterio: Disponibilidad de nutrientes



Legenda

- Límite cantonal
- Límite distrital
- Aptitud**
- Baja
- Media

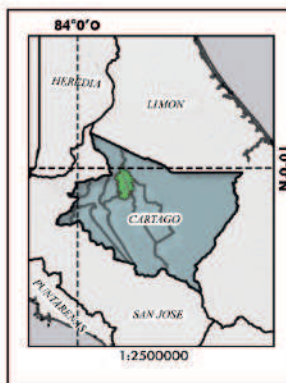
INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis: 1:50 000.

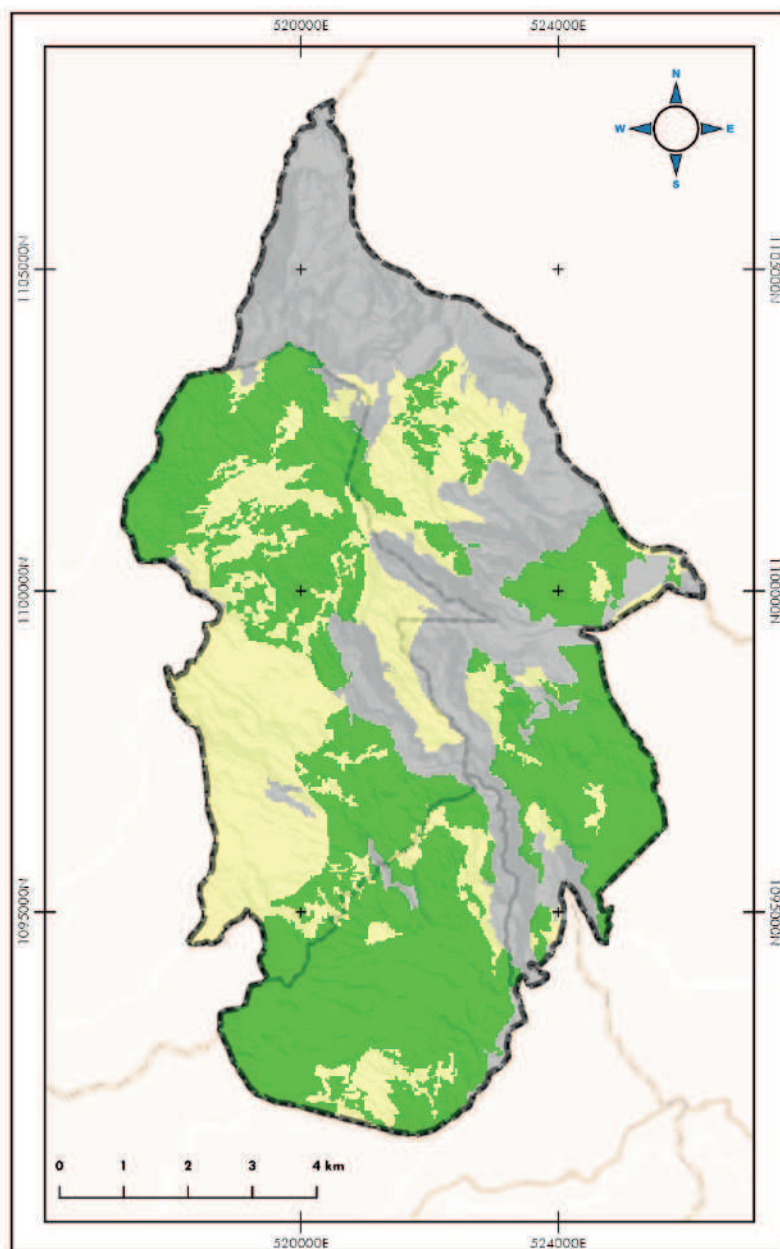
Realizado por:
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

Dibujo a escala: 1:85 000
Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE REPOLLO.
Según criterio: Susceptibilidad a pérdida de suelo



Legenda

- Límite cantonal
- Límite distrital
- Aptitud**
- Exclusión
- Baja
- Media

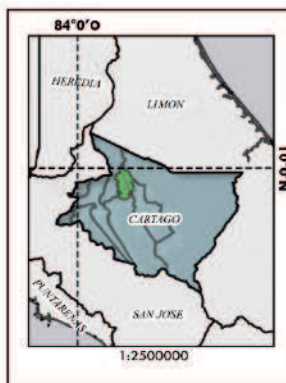
INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

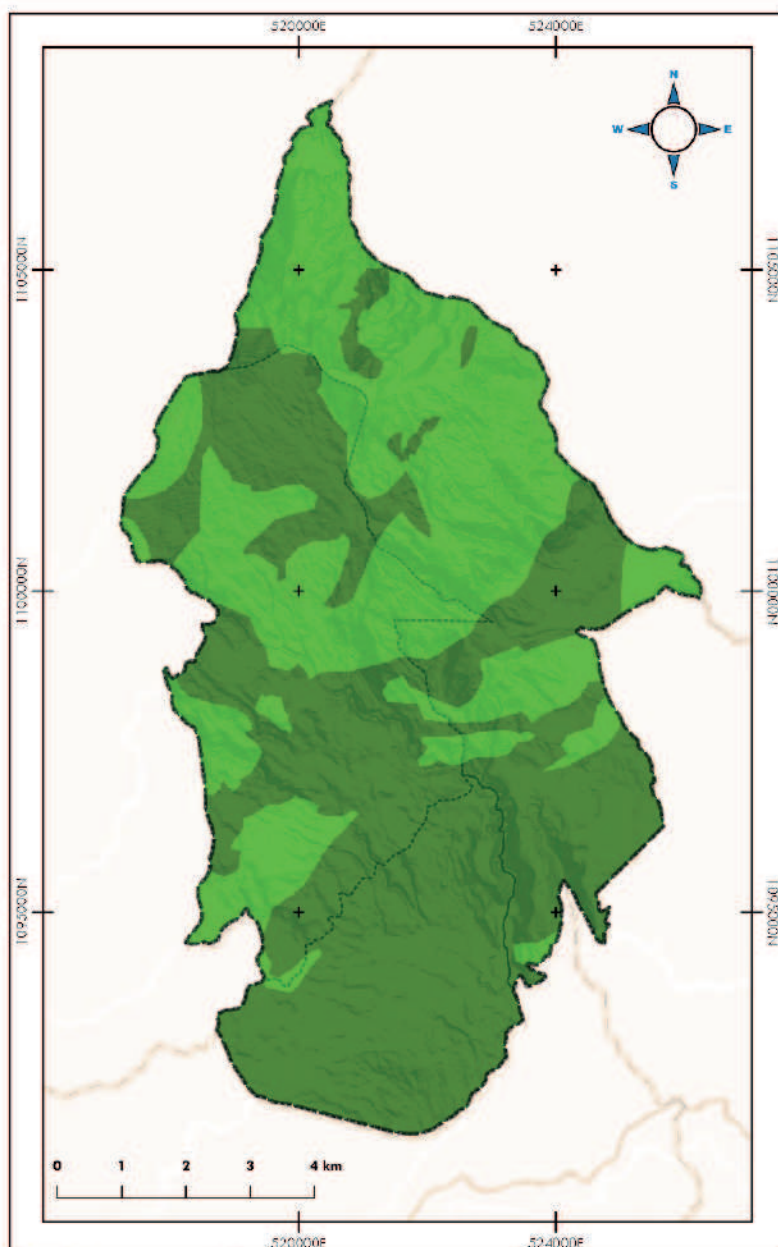
Realizado por:
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Eddison Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

Dibujo a escala: 1:85 000
Abril del 2019





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE REPOLLO.
Según criterio: Toxicidad por sales, sodio y aluminio.



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Alta
■ Media

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

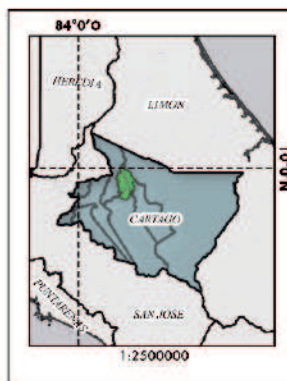
Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

Realizado por:
Ing. Agr. Alban Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

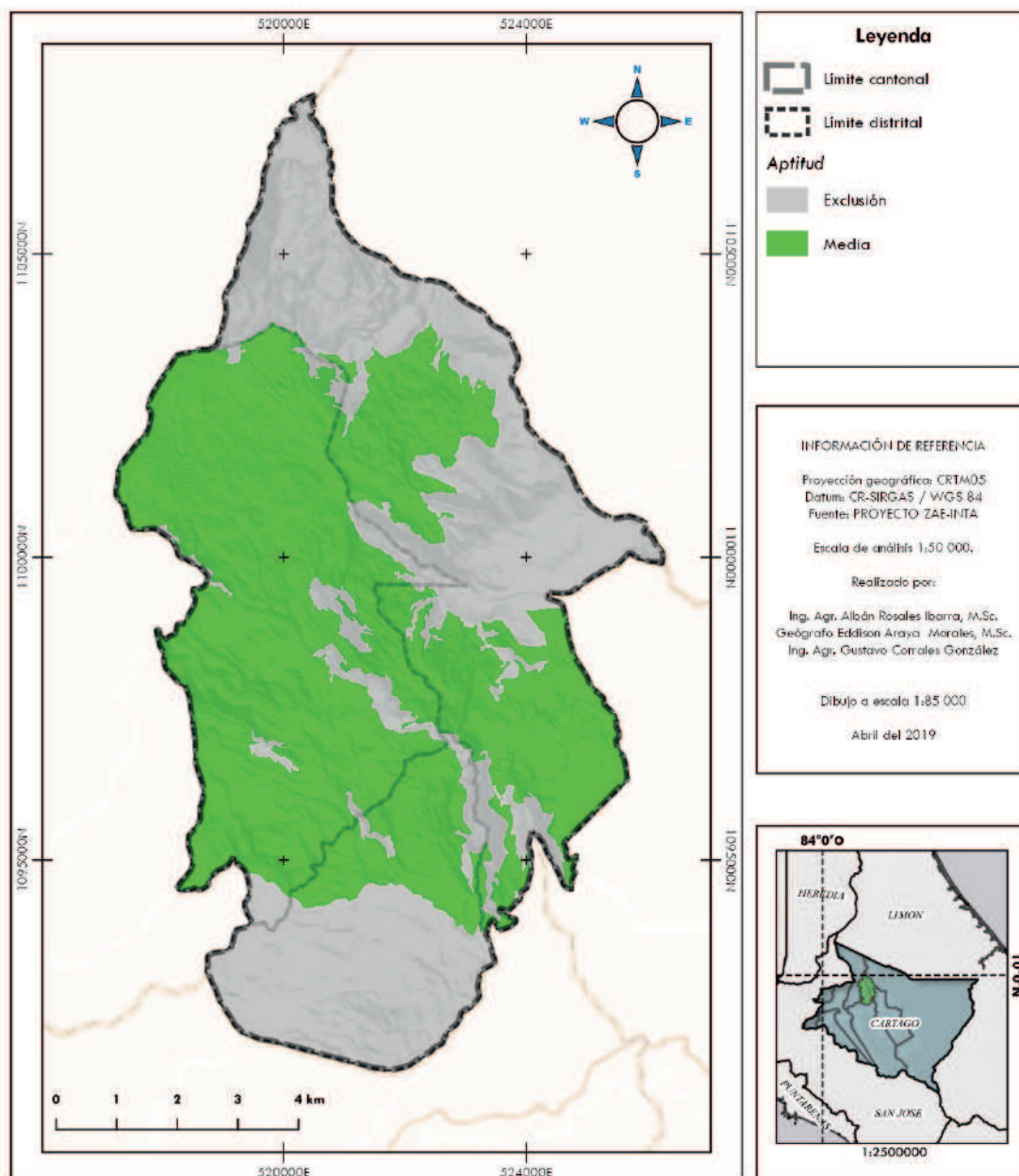
Dibujo a escala 1:65 000

Abril del 2019



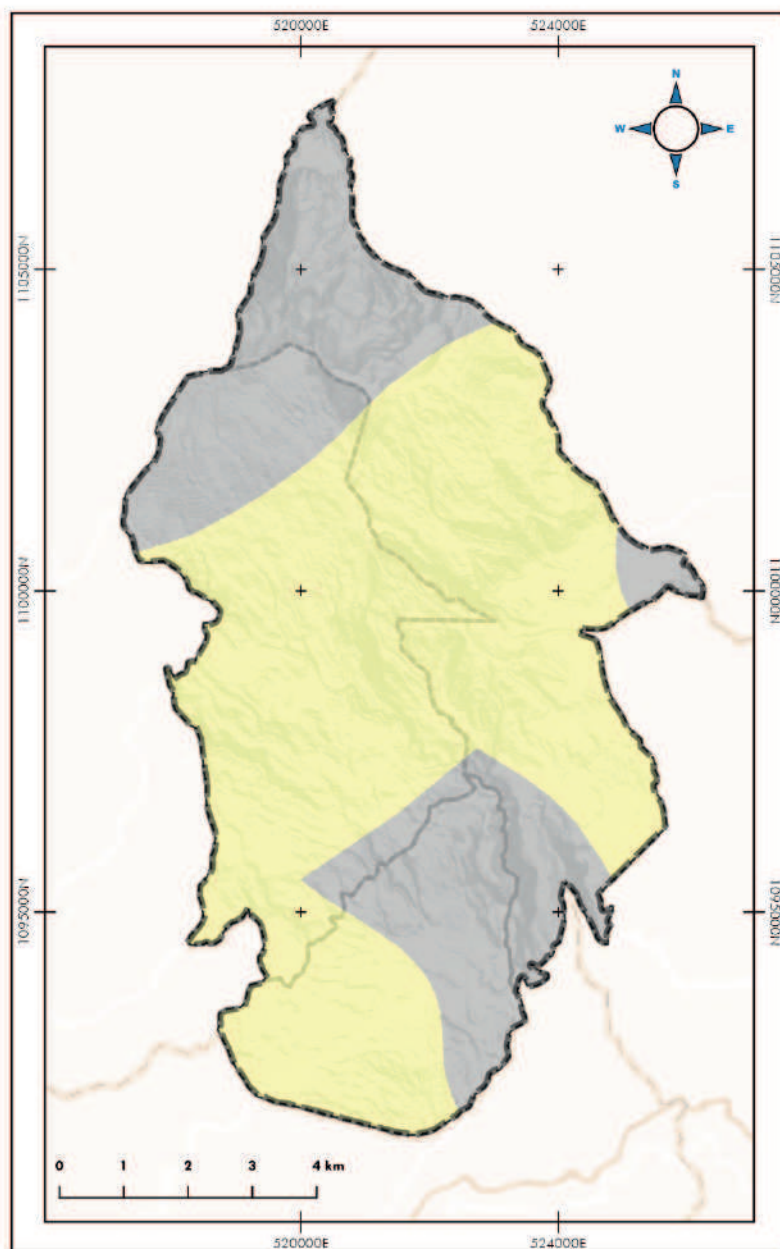


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PASTO KIKUYO.
Según criterio: Capacidad de laboreo





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PASTO KIKUYO.
Según criterio: Condiciones Climáticas



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Baja
■ Exclusión

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

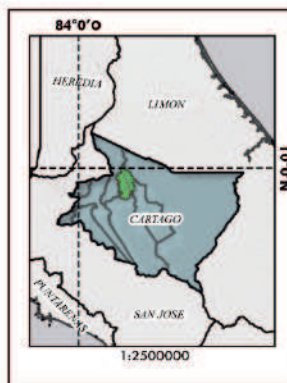
Escala de análisis: 1:50 000.

Realizado por:

Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Eddison Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

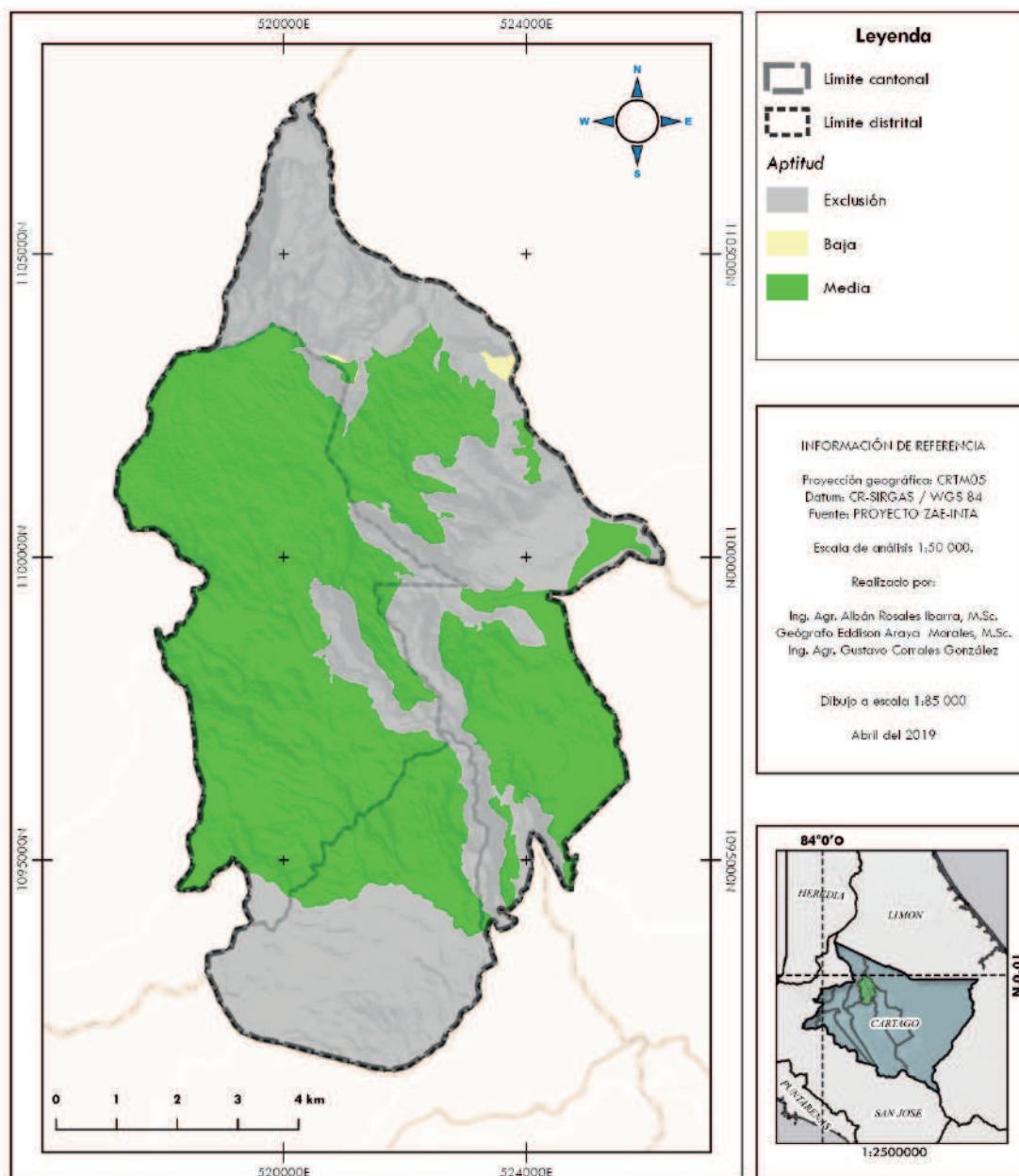
Dibujo a escala: 1:85 000

Abril del 2019



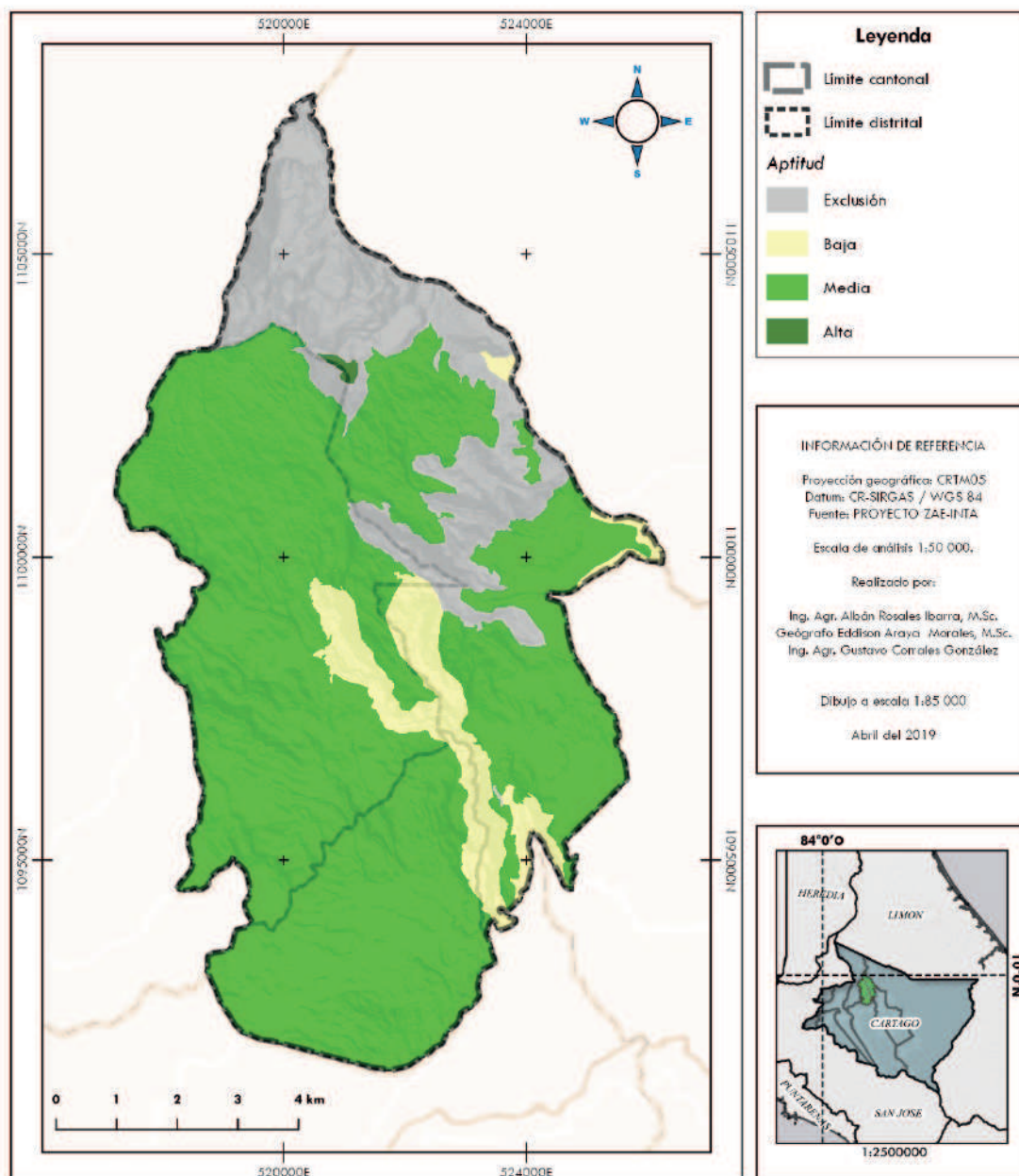


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PASTO KIKUYO.
Según criterio: Condiciones de enraizamiento



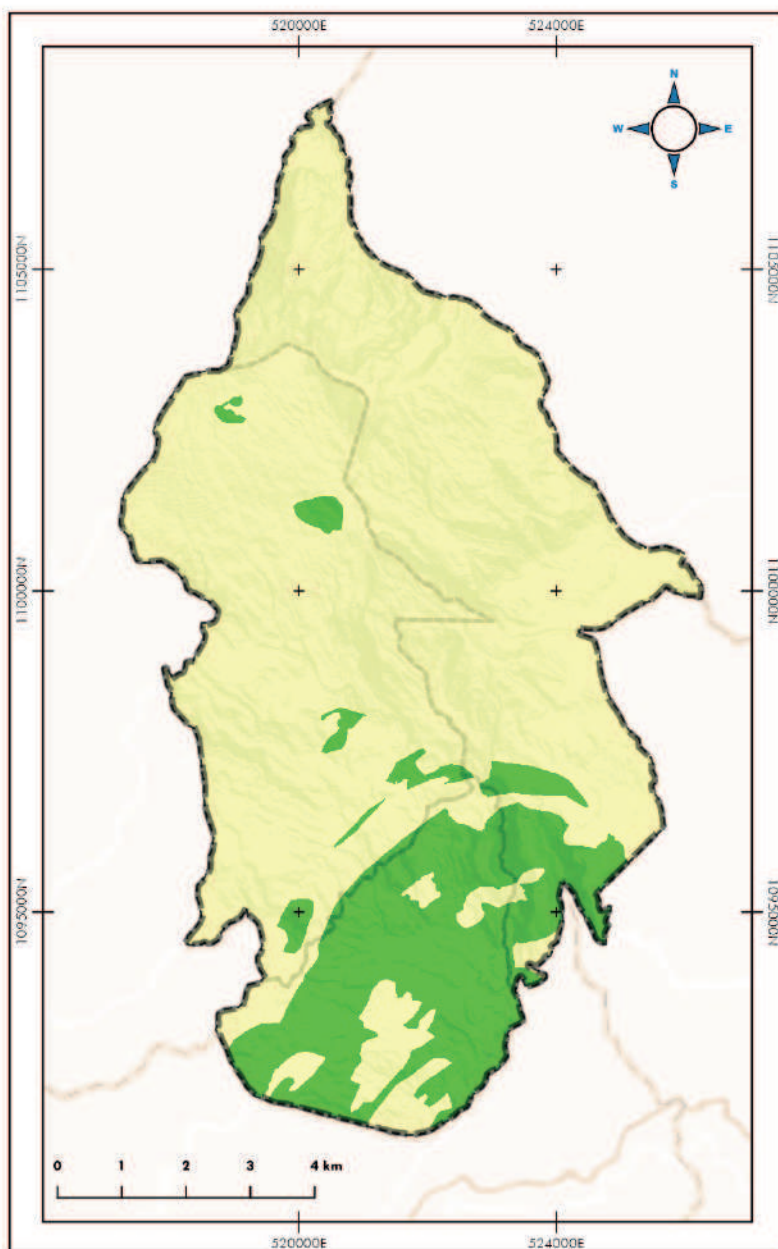


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PASTO KIKUYO.
Según criterio: Disponibilidad de humedad





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PASTO KIKUYO.
Según criterio: Disponibilidad de nutrientes



Legenda

- Límite cantonal
- Límite distrital
- Aptitud**
- Baja
- Media

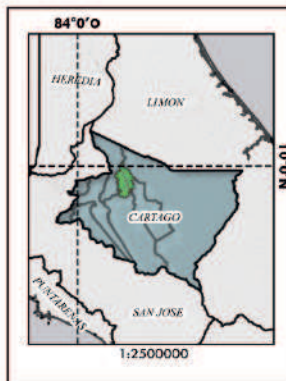
INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis: 1:50 000.

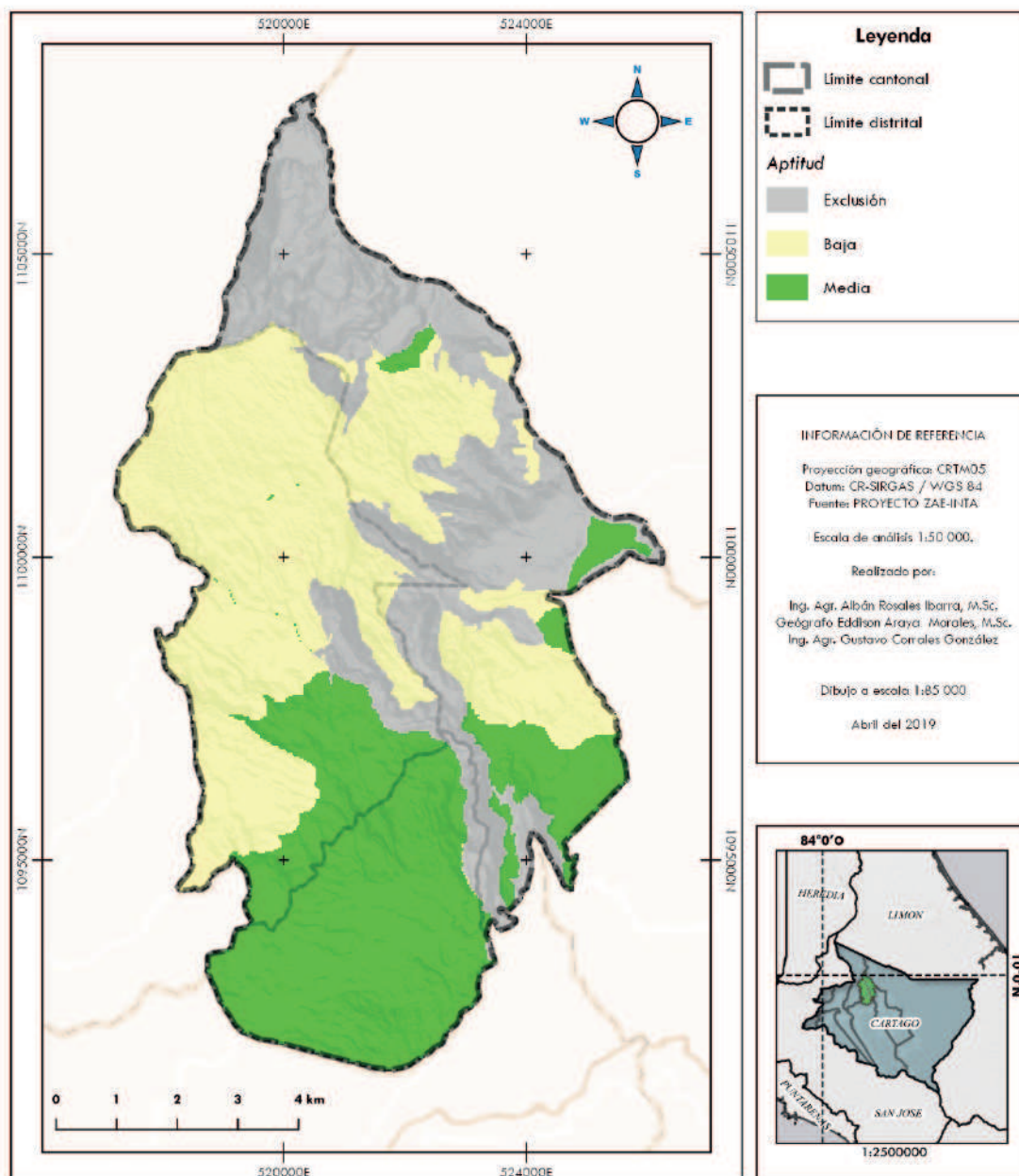
Realizado por:
Ing. Agr. Albán Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Eddison Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

Dibujo a escala: 1:85 000
Abril del 2019



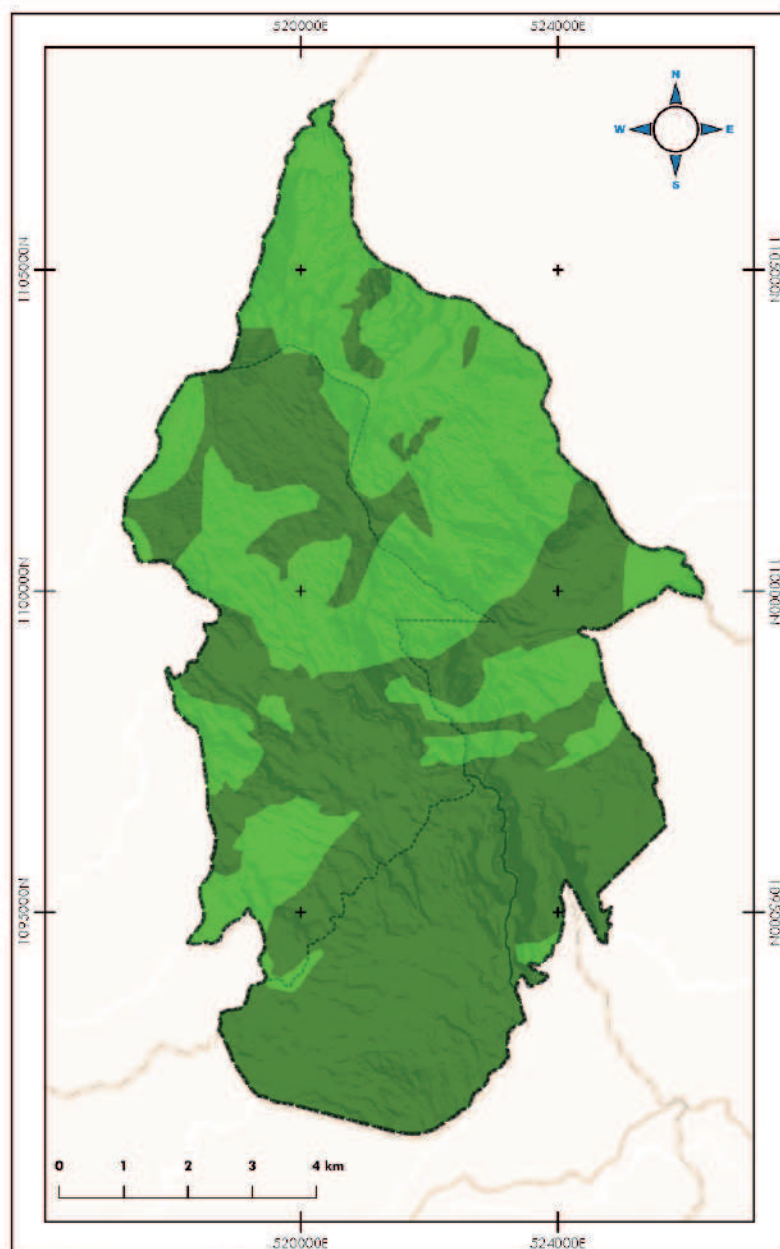


ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PASTO KIKUYO.
Según criterio: Susceptibilidad a pérdida de suelo





ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE ALVARADO, CARTAGO.
ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE PASTO KIKUYO.
Según criterio: Toxicidad por sales, sodio y aluminio.



Legenda

□ Límite cantonal
□ Límite distrital

Aptitud

■ Alta
■ Media

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyección geográfica: CRTA05
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

Realizado por:
Ing. Agr. Alban Rosales Ibarra, M.Sc.
Geógrafo Edilson Araya Morales, M.Sc.
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

Dibujo a escala 1:65 000

Abril del 2019

