



# Zonificación Agroecológica para el cantón de Naranjo de Alajuela

---

## 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 Naranjo de Alajuela

---

## 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

C837zo Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en  
Tecnología Agropecuaria  
Zonificación agroecológica para el cantón de Naranjo de Alajuela.  
Memoria técnica / Compilado por Julio César Sánchez Campos. --  
San José, C.R. : INTA, 2019.  
84 páginas  
ISBN 978-9968-586-37-5  
1. ZONIFICACION. 2. AGROECOLOGIA. 3. NARANJO  
(ALAJUELA). 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. Victor 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. Alban 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](http://www.altdigital.co)

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



[\(http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/\)](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.....	20
2.5. Criterio.....	21
2.6. Variable .....	21
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.....	31
3.4. Métodos y técnicas de análisis espacial para la obtención de zonificación agroecológica .....	46
3.5. Socialización con diferentes actores del sector.....	53
4. Resultados .....	55
4.1. Zonificación agroecológica para el cultivo de Café ( <i>Coffea arabica</i> var Caturra) .....	55
4.2. Zonificación agroecológica para el cultivo de Aguacate ( <i>Persea americana</i> var Hass).....	65

5. Conclusiones y recomendaciones .....	77
5.1. Conclusiones respecto al proceso metodológico .....	77
5.2. Conclusiones respecto a los resultados de la zonificación por cultivos .....	78
5.3. Recomendaciones .....	79
Bibliografía .....	81
Anexos .....	83

## 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. ....	27
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. ....	50
Figura 9. Diagrama de proceso para la elaboración de mapa de zonificación agroecológica. ....	51
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 Naranjo, Alajuela. ....	52
Figura 12. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio condiciones climáticas</i> para café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo. ....	58
Figura 13. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio capacidad de siembra</i> para café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo. ....	58

Figura 14. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio condiciones de enraizamiento</i> para café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo. ....	59
Figura 15. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio disponibilidad de humedad</i> para café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo. ....	59
Figura 16. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio disponibilidad de nutrientes</i> para café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo. ....	60
Figura 17. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio toxicidad por sales y aluminio</i> para café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo. ....	61
Figura 18. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio susceptibilidad a pérdida de suelos</i> para café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo....	61
Figura 19. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio disponibilidad de oxígeno</i> para café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo .....	62
Figura 20. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de café ( <i>Coffea arabica</i> ) variedad Caturra en cantón de Naranjo .....	63
Figura 21. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio condiciones climáticas</i> para aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo.....	68
Figura 22. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio capacidad de siembra</i> para aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo. ....	69
Figura 23. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio condiciones de enraizamiento</i> para aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo.....	70
Figura 24. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio disponibilidad de humedad</i> para aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo.....	70
Figura 25. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio disponibilidad de nutrientes</i> para aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo.....	71
Figura 26. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio toxicidad por sales y aluminio</i> para aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo.....	72
Figura 27. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio susceptibilidad a pérdida de suelos</i> para aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo. ....	72
Figura 28. Desarrollo del mapa de aptitud según <i>criterio disponibilidad de oxígeno</i> para aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo.....	73
Figura 29. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de aguacate ( <i>Persea americana</i> ) variedad Hass en cantón de Naranjo.....	74

## 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 café variedad Caturra en el cantón de Naranjo, Alajuela .....	56
Cuadro 4. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de café variedad Caturra en el cantón de Naranjo, Alajuela.....	64
Cuadro 5. Matriz de requerimientos técnicos para aguacate variedad Hass en cantón de Naranjo, Alajuela.....	66
Cuadro 6. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de aguacate variedad Hass en el cantón de Naranjo, Alajuela.....	75

# 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 Naranjo 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 del cultivo de Café variedad Caturra, 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

<b>AHP:</b>	Proceso de Análisis Jerárquico (The Analytic Hierarchy Process), desarrollado por Thomas L. Saaty.
<b>EIN:</b>	Ente de Implementación Nacional.
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<b>FITTACORI:</b>	Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica.
<b>IFAM:</b>	Instituto de Fomento y Asesoría Municipal.
<b>IMN:</b>	Instituto Meteorológico Nacional.
<b>INDER:</b>	Instituto de Desarrollo Rural .
<b>INTA:</b>	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
<b>MAG:</b>	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
<b>MINAE:</b>	Ministerio de Ambiente y Energía.
<b>PIMA:</b>	Programa Integral de Mercadeo Agropecuario.
<b>PRIICA:</b>	Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola (UE/IICA)
<b>SEPSA:</b>	Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, MAG.
<b>SINAC:</b>	Sistema Nacional de Áreas de Conservación.
<b>UPRA:</b>	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria de Colombia.
<b>ZAE:</b>	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 dos cultivos del cantón de Naranjo, provincia de Alajuela; escala 1:50 000, la cual permite identificar y delimitar las áreas con aptitud para la producción de Café (variedad *Caturra*) y Aguacate (variedad Hass), 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 20 variables y 9 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 media, baja y de exclusión para cada rubro analizado. No se identificó ninguna superficie del cantón de Naranjo con condiciones de aptitud alta para el rubro analizado.

Superficie (ha) del cantón de Naranjo por tipo de aptitud para Café var *Caturra*.

Cultivo	Tipo de aptitud						Exclusión	%
	Alta	%	Media	%	Baja	%		
Café	ND	ND	4541,86	35,90	4956,35	39,10	3161,78	25,00
Aguacate	21,95	0,18	5040,81	39,60	4680,99	36,77	2985,54	23,45



# 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, tiene como objetivo contribuir al mejoramiento y sostenibilidad del Sector Agropecuario, por medio de la generación, innovación, validación, investigación y difusión de tecnología, e 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.

Las actividades desarrolladas en el componente agropecuario son:

- 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 el cultivo de café variedad Caturra en la región de Naranjo.

- 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 del proceso para obtener la zonificación agroecológica a escala 1:50 000 con fines comerciales de café para la zona piloto de Naranjo. 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 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 ejercicio 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), cítricos (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 concentran un 63 % de la población.

Se presenta un intensivo uso de la tierra en estas 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.

El V Informe de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Degradación de las Tierras, la desertificación y la sequía del 2001, resalta la creciente degradación de las tierras en la Vertiente Pacífica de Costa Rica y Centroamérica en general.

La Región 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, así como las condiciones de irregularidad en las lluvias durante los últimos 5 años. Todo lo anterior ha facilitado la aparición de enfermedades y plagas de los principales cultivos, que ha resultado en el incremento de los costos de producción y ha disminuido la competitividad de los sistemas de producción agrícola.

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 las 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 la 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 la 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 Occidental del Valle Central específicamente en el cantón de Naranjo de Alajuela.

En el decreto ejecutivo N. 2 del 9 de marzo de 1886, Naranjo se convirtió en el cantón seis de la provincia de Alajuela, con cinco distritos. Naranjo procede del cantón de Grecia, establecido este último en las ordenanzas municipales, promulgadas en la Ley N. 20 del 24 de julio de 1867.

Las coordenadas geográficas medias del cantón de Naranjo están dadas por 10°06'23" latitud norte y 84°23'23" longitud oeste.

La anchura máxima es de diecinueve kilómetros, en dirección noreste a suroeste, desde la fila La Picada, próxima a la naciente del río Barranca hasta la confluencia de los ríos Grande y Colorado (Municipalidad de Naranjo 2019).



Escudo del cantón de Naranjo

### 3.2.1. Reseña histórica

En la época Precolombina el territorio que actualmente corresponde al cantón de Naranjo, estuvo habitado por indígenas del llamado Reino Huetar de Occidente, que en los inicios de la conquista fue dominio del cacique Garavito.

El primer colonizador que llegó a la región en 1833, fue don Judas Tadeo Sáenz; quien dos años después obtuvo título de propiedad de los terrenos que había presentado formal denuncia, en el sitio que él denominó Los Naranjos, en Poás, jurisdicción de Alajuela. En ese mismo año don Judas se radicó junto con su primera esposa doña Candelaria Barrantes, en lo que hay es el barrio Bajo Corrales, en la ciudad de Naranjo.

Posteriormente, se construyó una ermita. En 1869 don Manuel Mora y Fernández donó dos manzanas de terreno, una para la construcción de la iglesia y la otra para una plaza pública. En la administración de don Próspero Fernández Oreamuno, el 29 de julio de 1882, en decreto ejecutivo N. 55, se le otorgó el título de villa a la aldea del Naranjo de Grecia. En el siglo pasado, el 24 de julio de 1918, en el gobierno de don Federico Tinoco Granados, se promulgó la Ley N. 28 que le confirió a la villa, la categoría de Ciudad (Municipalidad de Naranjo 2019).

Limita al este con Valverde Vega (Sarchí) y Grecia, al oeste con San Ramón y Palmares, al norte con Zarceró (Alfaro Ruiz) y al sur con Atenas, su altitud promedio es de 1 043 msnm (Municipalidad de Naranjo 2019).

La extensión territorial total del cantón es de 126,6 km<sup>2</sup> según los datos del último censo del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) del 2011.

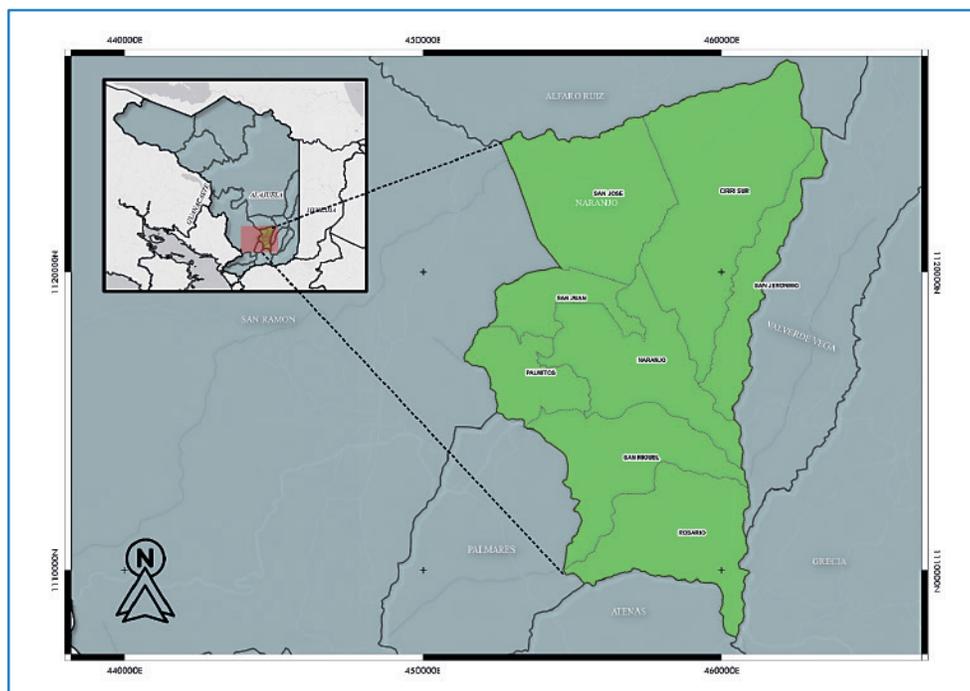


Figura 4. Ubicación cartográfica del cantón.

### 3.2.2. Contexto socioeconómico

El espacio físico que ocupa el territorio de Naranjo ha sido objeto de una ocupación histórica, cuanto sus primeros pobladores decidieron trasladarse luego de algunos años a un sitio que culminó con la consolidación de un núcleo central, la cabecera del cantón, lo que se conoce como la ciudad de Naranjo. Una detallada descripción histórica de este proceso se encuentra en el capítulo 2 del Plan Regulador del cantón (EcoPlan Ltda. 2011).

Esta zona fue el punto de referencia para su propio proceso de colonización y la conquista de la zona norte. Muy temprano en la historia de cantón, ya disponía de vías que lo comunicaban con el centro del país y con el puerto del Pacífico. De forma acelerada, Naranjo ya había organizado su centro principal en forma de cuadrícula en el que se emplazaron obras que lo afianzaron como polo de desarrollo, como su iglesia y principales edificios públicos.

Como parte del proceso estructural de conformación urbana, las vías intercantonales entre Grecia, Valverde Vega (Sarchí) y Palmares primero y la ruta hacia la zona norte vía Zarcero y la carretera Bernardo Soto posteriormente, marcaron los ejes del desarrollo de Naranjo (EcoPlan Ltda. 2011).

Según los datos del INEC del censo del 2011 la densidad poblacional del cantón era de 337 personas por km<sup>2</sup> de las cuales el 54 % viven en los centros urbanos.

El entorno de la ciudad de Naranjo se fue consolidando a partir de pequeños polos de desarrollo, normalmente vinculados con el trazado de los caminos de acceso. En el casco de la ciudad, donde se encuentran las principales edificaciones, se desarrollan las actividades comerciales diversas, de servicio de varias clases y en donde más se mueven y reúnen las personas que recurren, utilizan e intercambian bienes.

Según se cita en el plan regulador del cantón de Naranjo (EcoPlan Ltda. 2011), los datos del MAG especifican que para el 2010 del total de las actividades agro productivas más importantes el 72 % corresponde al cultivo del café y los mismos pobladores resaltan la significancia de este cultivo para la realidad socioeconómica de la comunidad.

En el área que comprende la Región Occidental del Valle Central (San Ramón, Palmares, Naranjo, Atenas y Zarcero (Alfaro Ruiz)) se cuenta con todos los servicios básicos de calidad y el recurso humano capacitado para el proceso de desarrollo integral e inclusión social, contemplando desde la niñez, adolescencia, juventud, población adulta y adultos mayores, con buenas condiciones en salud, educación en todos los niveles, vivienda y estabilidad económica, no obstante, existen zonas de alta pobreza (Inder 2016).

### 3.2.3. Hidrografía

El cantón de Naranjo posee una red fluvial bien definida, la misma cuenta con un grupo de ríos y quebradas, dicha red de drenaje está compuesta principalmente por:

- Río Colorado
- Río Matina
- Río Pilas
- Quebrada San Lucas
- Río Grande
- Río Espino
- Río Barranca
- Río Cocora
- Quebrada Candelaria (Municipalidad de Naranjo 2019)

El cantón de Naranjo está inmerso principalmente en tres cuencas de los ríos San Carlos, Barranca y Grande. Siendo la principal esta última, que inicia en los montes de Pata de Gallo pertenecientes a los Montes del Aguacate. La cuenca del río Barranca discurre hacia el oeste mientras que la del río San Carlos sirve de límite entre Naranjo y Zarcero.

El diseño de la red fluvial es marcadamente dendrítico y subdendrítico, lo cual refleja una tendencia a tener pisos arcillosos, ya que este tipo de material favorece más el escurrimiento superficial que el subterráneo, o sea hay una tendencia generalizada en todo el cantón a la erosión superficial y laminar, así como a los procesos de soliflucción y remoción en masa que se relacionan con la presencia de arcillas, ligadas a suelos alfisoles, inceptisoles y andisoles (EcoPlan Ltda. 2011).

### 3.2.4. Clima

La temperatura promedio anual para el cantón de Naranjo oscila entre los 20°C y los 14°C (esto en las zonas más altas del cantón), mientras que hacia el centro y sur, los valores varían entre los 28°C y 20°C.

Los vientos predominantes alcanzan velocidades de 13 km/h hacia el norte del cantón, 17 km/h hacia el centro y sur, así como de 16 km/h hacia la parte más sur de Naranjo.

El territorio del cantón de Naranjo posee tres niveles de condición de precipitación promedio anual con valores de 2000 mm en el oeste, 2500 a 3000 mm al centro y este del cantón y 3500 mm al noreste (EcoPlan Ltda. 2011).

### 3.2.5. Geología

Formado por la unidad geomórfica de origen volcánico, la cual se divide en dos subunidades, denominadas volcán Poás, se localiza hacia el norte de villa Rosario y cerros y valles del Aguacate.

En esta subunidad se encuentran todo tipo de rocas volcánicas, principalmente de composición andesítica. Su forma se debe a la actividad volcánica que ha sostenido por varias centurias; donde la erosión lo afecta en determinados lugares, pero su forma actual es exclusivamente el resultado del cúmulo de diferentes coladas lávicas y de piroclastos (EcuRed 2019).

Del período Terciario se encuentran rocas de origen volcánico y sedimentario. Las volcánicas de la época Mioceno, están agrupadas bajo el nombre de grupo Aguacate, el cual está compuesto principalmente por coladas de andesita y basalto, aglomerados, brechas y tobas, las que se localizan desde villa Rosario hasta el poblado San Antonio de Barranca; así como en el cerro Crisanto. Las rocas sedimentarias de la época Plioceno Pleistoceno, corresponden a material Lacustre ubicados en la margen este del río Grande.

Entre los materiales del período Cuaternario, se hallan rocas de origen volcánico de la época Holoceno; tales como edificios volcánicos recientes y actuales, y Piroclásticos asociados, los cuales se sitúan al noreste del cantón, así como materiales volcánicos, tales como lavas, tobas y piroclastos, localizados en una franja al sureste del mismo, próximo al límite con los cantones de Grecia y Valverde Vega, al igual que en pequeños sectores al suroeste de la región (Municipalidad de Naranjo 2019).

### 3.2.6. Geomorfología

En el caso de Naranjo y regiones vecinas, el grado de complejidad de los procesos geomorfológicos que han resultado en la situación actual de territorio es bastante alto, siendo algunas de sus características las siguientes:

- En dirección sur-norte del cantón muestra en términos generales un modelado de disección sobre materiales volcánicos que se intercalan desde el mioceno hasta el cuaternario, siendo los más recientes todos aquellos relacionados con la cordillera volcánica central y los más antiguos los que se localizan al sur del cantón.
- Los relieves volcánicos originales prácticamente carecen de formas actuales y su mejor herencia son los ricos y productivos suelos andisoles, derivados de las cenizas volcánicas que se acumularon a sotavento de los focos de emisión de piroclastos.

- En algunos tramos del recorrido fluvial, los cauces muestran una tendencia al control estructural que revelan la presencia del dominio tectónico en el trazo de los cauces, esto se refleja en la rectificación de los cauces de los ríos Colorado y Pilas y en la cuenca alta del río Barranca.
- El resultado del modelado subsecuente ocasionado por el clima a través de la erosión fluvial son fuertes desniveles laterales entre las cimas amesetadas cuspidales y los flancos de fuerte pendiente y los fondos cauces de los ríos donde se establece el café.

En un estudio realizado a partir de las curvas de nivel 1:25 mil se determinó que cerca del 45 % del área del cantón presenta pendientes en el rango de 30 al 60 %, mientras que aproximadamente el 32 % está en el ámbito de 15 al 30 %, 18 % de 0 a 15 % y el 5 % restante supera el 60 % (EcoPlan Ltda. 2011). Existe en el Plan Regulador del cantón un estudio mucho más detallado sobre estos elementos que en caso de requerirlo se puede consultar.

### **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 Naranjo.

#### **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						
Altitud						
Brillo solar						
Pendiente	Suelos	INTA. Estudio Semidetallado de Suelos. Escala 1:50 000 del cantón de Naranjo, En elaboración sin publicar.	2018			
Textura						
Pedregosidad						
Profundidad efectiva						
Régimen de humedad						
Drenaje natural						
Erosión actual						
Susceptibilidad a deslizamientos						
Susceptibilidad a inundaciones						
Suma de bases				Fertilidad		
Acidez intercambiable (saturación de aluminio).						
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<sup>3</sup> 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. Altitud

Se denomina como altitud a la distancia vertical que existe entre cualquier punto de la Tierra en relación al nivel del mar. Para calcular la altitud, se toma como referencia el nivel del mar, y es por ello que la altitud se expresa en metros seguido del símbolo “msnm” que significa “metros sobre el nivel del mar”.

La altitud es relacionada con los pisos térmicos, esto es, la correlación que existe entre la altitud y el factor modificador del clima, sobre todo en la zona intertropical. En virtud, de que a mayor altitud, la temperatura ambiental disminuye, aproximadamente 1 °C por cada 180 m de altura (Significados.com 2015).

En términos de esta metodología se considera relevante por incidir directamente en los factores de precipitación y temperatura.

#### 3.3.2.4. 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).

#### 3.3.2.5. 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).

#### 3.3.2.6. 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).

### 3.3.2.7. 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).

### 3.3.2.8. 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).

### 3.3.2.9. 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.

### 3.3.2.10. 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.

#### 3.3.2.11. 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.

#### 3.3.2.12. 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.

#### 3.3.2.13. 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).

#### 3.3.2.14. Drenaje natural

Agrupación de 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 escorrentía 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).

### 3.3.2.15. 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).

### 3.3.2.16. 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 1995).

### 3.3.2.17. 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.

### 3.3.2.18. 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 se 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).

### 3.3.2.19. Porcentaje de 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 de carbono,  $\text{CO}_2$ , o metano  $\text{CH}_4$ , 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).

### 3.3.2.20. 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).

### 3.3.2.21. 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. Componentes 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 cubierta 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)<sup>1</sup>.

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 continuos, 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 cm.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Tomado de: Artículo 3 inciso (d) Ley Forestal 7575

<sup>2</sup> 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 permiten 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 Naranjo.

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, Altitud y Brillo Solar.

#### 3.3.4.2. Criterio: Capacidad de siembra

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: Pendiente, Textura y Pedregosidad.

#### 3.3.4.3. Criterio: Condiciones de enraizamiento

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: 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 CO<sub>2</sub> 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: 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.

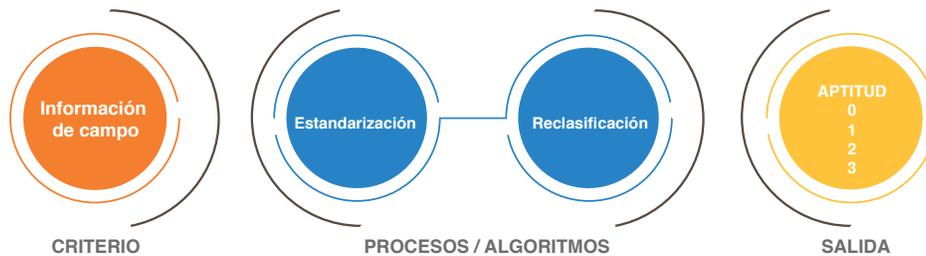


Figura 6. Diagrama de análisis espacial generalizado.

### 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.

	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	4,263	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 café en el cantón de Naranjo con 6 participantes.

En este ejemplo el criterio “Condiciones Climáticas” tiene el peso más alto con 32,8 %, mientras que el criterio “Susceptibilidad a la pérdida de suelos” tiene el peso más bajo con un 4,0 %.

**AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)**

K. D. Goepel Version **04.05.2016** Free web based AHP software on: <http://bpmsoft.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: 75,4%

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

Objective

Author

Date  Thresh:  Iterations: 5 EVM check: 5,6E-09

Table	Criterion	Comment	Weights	Rk
1	Criterion 1	Condiciones climáticas	32,8%	1
2	Criterion 2	Capacidad de siembra	18,5%	3
3	Criterion 3	Condiciones de enraizamiento	18,7%	2
4	Criterion 4	Disponibilidad de humedad	8,6%	4
5	Criterion 5	Disponibilidad de oxígeno	6,5%	5
6	Criterion 6	Disponibilidad de nutrientes	5,9%	6
7	Criterion 7	Toxicidad	4,9%	7
8	Criterion 8	Susceptibilidad perdida de suelos	4,0%	8
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the	0,0%	
10		question section ("+" in row 66)	0,0%	

Result **Eigenvalue** lambda: 8,418

**Consistency Ratio** 0,37 GCI:  CR:

Matrix	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Criterion 4	Criterion 5	Criterion 6	Criterion 7	Criterion 8	0	0	normalized principal Eigenvector
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Criterion 1	1	- #####	#####	#####	#####	#####	#####	#	-	-	32,84%
Criterion 2	2	3/7	- #####	#####	#####	#####	#####	#####	-	-	18,49%
Criterion 3	3	3/8	4/5	- #####	#####	#####	#####	#####	-	-	18,74%
Criterion 4	4	1/4	1/4	1/3	- #####	#####	#	#####	-	-	8,60%
Criterion 5	5	1/6	2/9	2/9	5/9	- #	#####	#####	-	-	6,54%
Criterion 6	6	2/9	3/7	1/4	4/9	1/2	- #####	#	-	-	5,91%
Criterion 7	7	1/6	1/2	1/3	1/2	1/2	5/9	-	#####	-	4,87%
Criterion 8	8	1/6	1/3	1/3	2/5	3/7	1/2	4/5	-	-	4,02%
0	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00%
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.

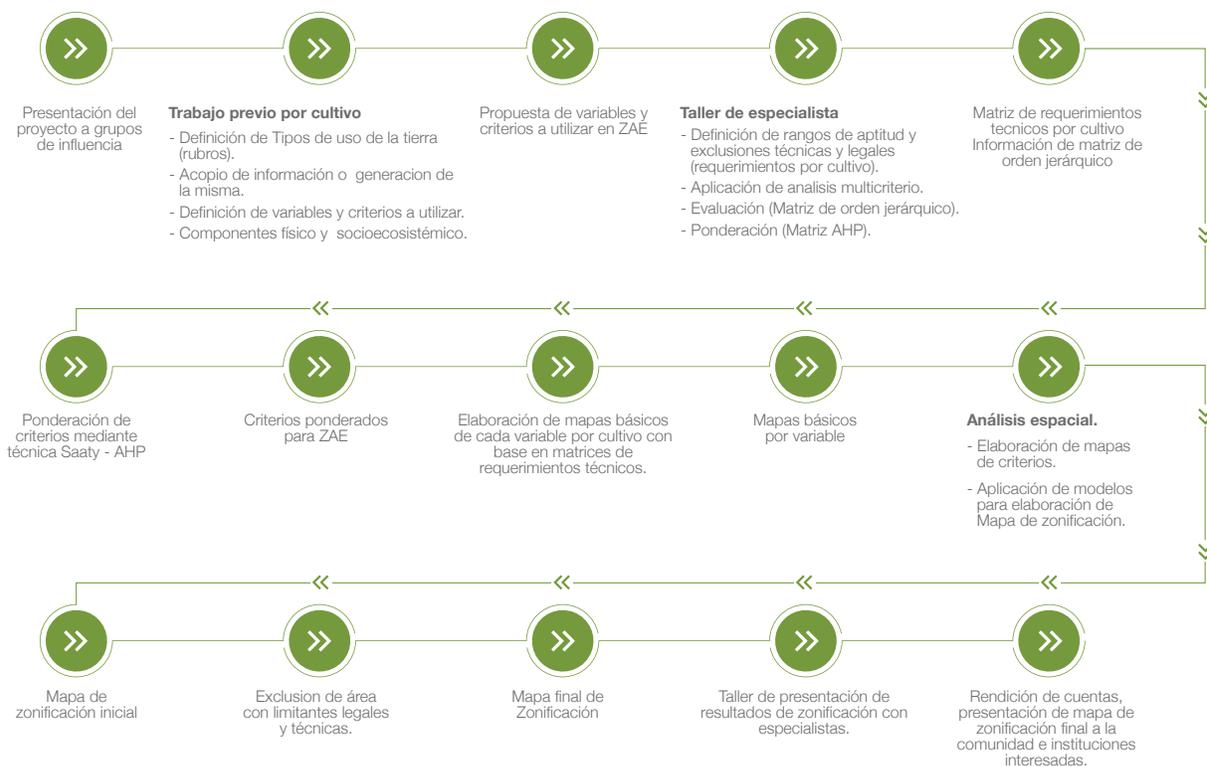


Figura 9. Diagrama de proceso para la elaboración de mapa de zonificación agroecológica.

Desarrollo del mapa de aptitud según criterio Condiciones de enraizamiento para café en cantón de Naranjo.

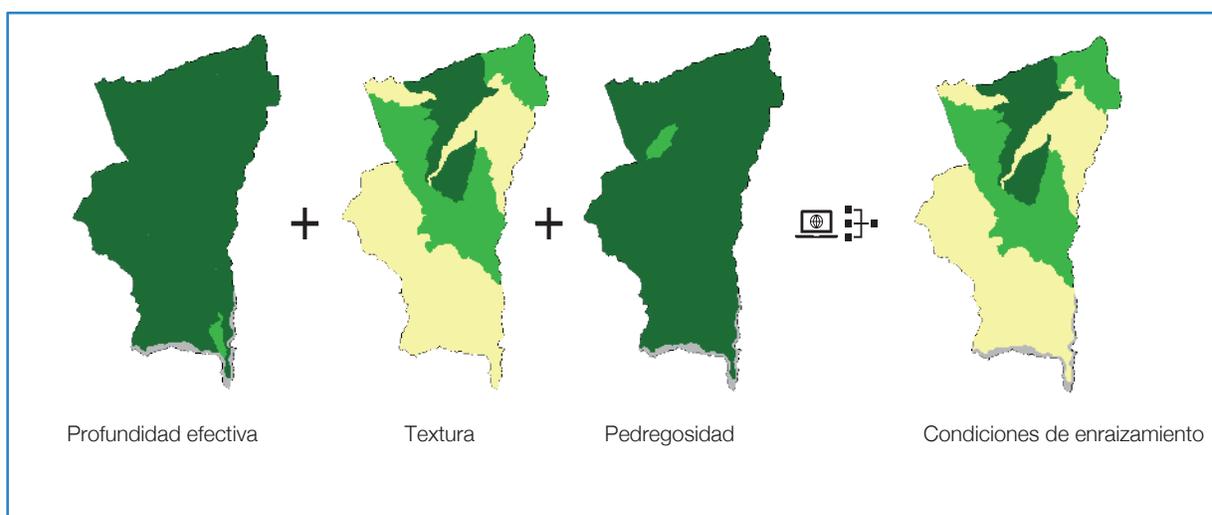


Figura 10. Ejemplo del proceso de desarrollo de mapas de aptitud por criterio.

### 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 Naranjo se identificaron las áreas que se muestran en la siguiente figura como las que deben ser excluidas en la zonificación.

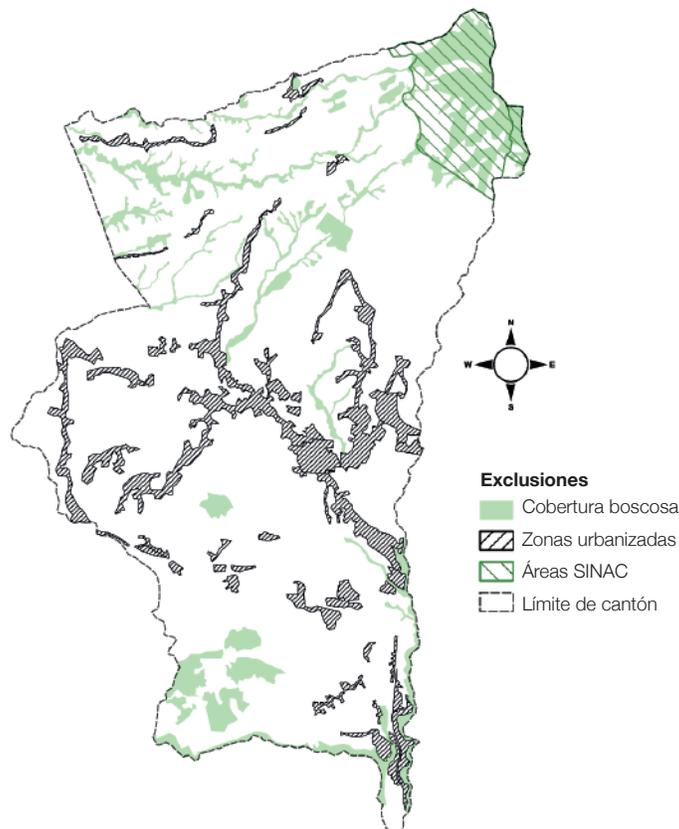


Figura 11. Áreas de restricción y exclusión para el cantón de Naranjo, Alajuela.

### 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 utilizar parcelas de verificación de las variables y criterios limitantes en campo, donde los datos obtenidos son corroborados mediante una selección aleatoria de los sitios.

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 Agroecológica, se realizaron varios eventos para informar, sensibilizar e involucrar a los beneficiarios y usuarios potenciales de esta herramienta. En la zona piloto de Naranjo 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 Naranjo para el cultivo analizado.

### 4.1. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* var *Caturra*)

El cafeto es una planta provista de un eje central, que presenta en su extremo una parte meristemática en crecimiento activo permanente que da lugar a la formación de nudos y entrenudos. Las ramas laterales o plagiotrópicas se alargan en forma permanente, lo que sumado al crecimiento vertical le da una forma piramidal a la planta.

Las ramas primarias son aquellas que condicionan el crecimiento lateral de los cafetos, conociéndose también con el nombre de “bandolas”. En cambio, las ramas ortotrópicas permiten el crecimiento vertical de las plantas y sólo producen yemas vegetativas y nunca flores. Las ramas primarias dan origen a las secundarias de las que a su vez se forman las terciarias. A este conjunto de ramas secundarias y terciarias se lo conoce con el nombre de “palmilla”(INIAP 1993).

1720 es la fecha probable de la introducción del café a América, cuando las primeras semillas de la especie *Coffea arabica*, variedad *typica* llegaron a la isla Martinica, Antillas, que luego fueron sembradas en la Provincia Costa Rica a finales del siglo XVIII.

Costa Rica fue el primer país centroamericano que estableció esta floreciente industria. Destacadas personalidades contribuyeron con el desarrollo del cultivo y se ha asignado al Padre Félix Velarde como el primer sembrador, quien en 1816 hace referencia a que posee un solar con plantas de café. El primer cafetal estuvo 100 metros al norte de la Catedral Metropolitana, en el cruce de la Avenida Central y calle Cero.

Desde mediados del siglo XX la caficultura costarricense experimentó una nueva modificación productiva derivada de la difusión de técnicas agrícolas de alto rendimiento en el

marco de la “Revolución Verde”. Entre sus resultados sobresale el cambio en la variedad de café cultivado; se adoptó por híbridos de porte bajo, variedades *Caturra* y *Catuái* (ICAPE 2019).

La variedad *Caturra* fue encontrada en Minas Gerais, Brasil, posiblemente originada como una mutación de un gen dominante del café Bourbon. El *Caturra* se caracteriza por ser de porte bajo, tiene entrenudos cortos, tronco grueso y poco ramificado, y ramas laterales abundantes, cortas, con ramificación secundaria, lo que da a la planta un aspecto vigoroso y compacto.

Con respecto al Bourbon, en la variedad *Caturra* las hojas son más grandes, anchas y oscuras, los frutos son también de mayor tamaño, el sistema radical está muy bien desarrollado y es de mayor extensión y densidad.

La adaptabilidad de esta variedad es muy amplia, particularmente en cuanto a altitud y el potencial productivo es muy sobresaliente, ya que a pesar de su tamaño pequeño, la cualidad de presentar entrenudos muy cortos y ramificación secundaria abundante, posibilita su alta productividad. Se puede sembrar a una densidad de 5000 plantas por hectárea, aunque en condiciones muy favorables para el cultivo, la densidad puede ser un poco mayor (ICAPE 2011).

#### 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 café. 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 café variedad *Caturra* en el cantón de Naranjo, Alajuela

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Condiciones climáticas	Altitud	msnm	$\geq 1200$ y $\leq 1800$	$\geq 1000$ y $< 1200$	$\geq 900$ y $< 1000$	$< 900$ y $> 1800$
	Temperatura	°C/año	$\geq 18$ a $\leq 23$	$\geq 17$ a $< 18$ y $> 23$ a $\leq 25$	$\geq 16$ a $< 17$ a $> 25$ a $\leq 27$	$< 16$ y $> 27$
	Precipitación	mm/año	$\geq 2000$ a $\leq 3000$	$\geq 1500$ a $< 2000$ y $> 3000$ a $\leq 3500$	$\geq 1100$ a $< 1500$ y $> 3500$ a $\leq 4000$	$< 1100$ y $> 4000$
	Brillo solar	diario x ciclo	$\geq 6$ a $\leq 8$	$\geq 5,5$ a $< 6$	$\geq 4$ a $< 5,5$ y $> 8$ a $\leq 10$	$< 4$ y $> 10$

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Capacidad de siembra	Pendiente	%	≥0 a ≤30 (clase I, II, III, IV)	>30 a ≤50 (clase VI)	>50 y <75 (clase VII)	≥75 (Clase VIII)
	Textura	Clase textural	Medianas	Moderadamente fina, moderadamente gruesas, gruesas	Finas	Muy finas
	Pedregosidad	%	SP, LP	Mod P, P	Muy P	EP, FP
Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva	cm	≥90	≥60 a <90	≥30 a <60	<30
	Textura	Clase textural	Medianas	Moderadamente fina, moderadamente gruesas, gruesas	Finas	Muy finas
	Pedregosidad	Categoría	SP, LP	Mod P, P	Muy P	EP, FP
Disponibilidad de humedad	Régimen de humedad (suelo)	Adimensional	Ustico	Udico	nd	Acuico
	Textura	Clase textural	Medianas	Moderadamente fina, moderadamente gruesas, gruesas	Finas	Muy finas
Disponibilidad de oxígeno	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severo y muy severo
	Drenaje natural	Adimensional	Bueno	Moderadamente lento, Moderadamente excesivo	Lento	Nulo, Muy lento, excesivo
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
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
Susceptibilidad a pérdida de suelos	Erosión actual	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Muy baja	Leve	Moderada	Alta
	Pendiente	%	≥0 a ≤30 (clase I, II, III, IV)	>30 a ≤50 (clase VI)	>50 y <75 (clase VII)	≥75 (Clase VIII)

**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, nd: No determinado.

#### 4.1.2. Desarrollo de proceso de conformación 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 café en el cantón de Naranjo se muestran a continuación.

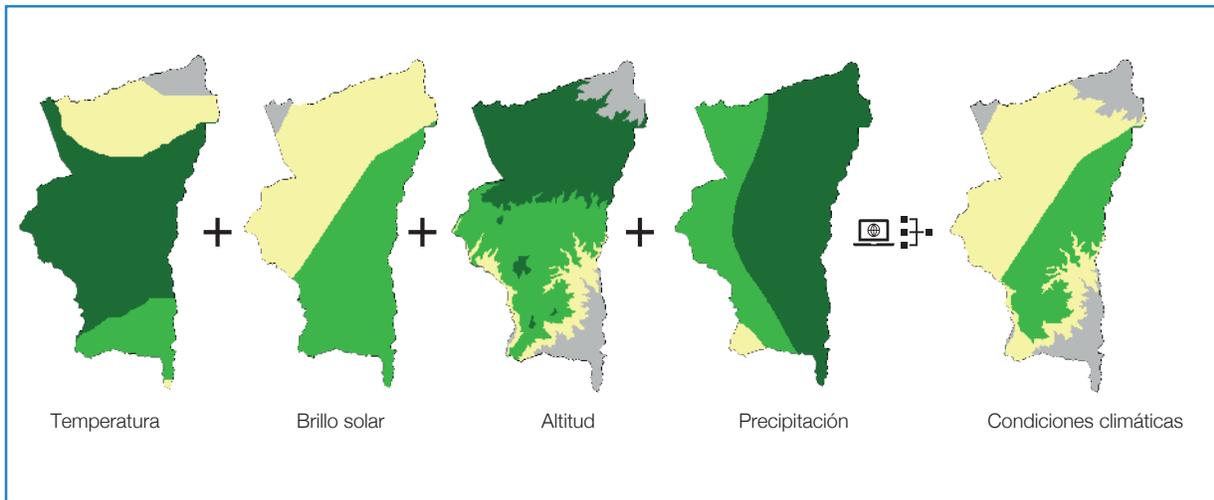


Figura 12. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones climáticas** para café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

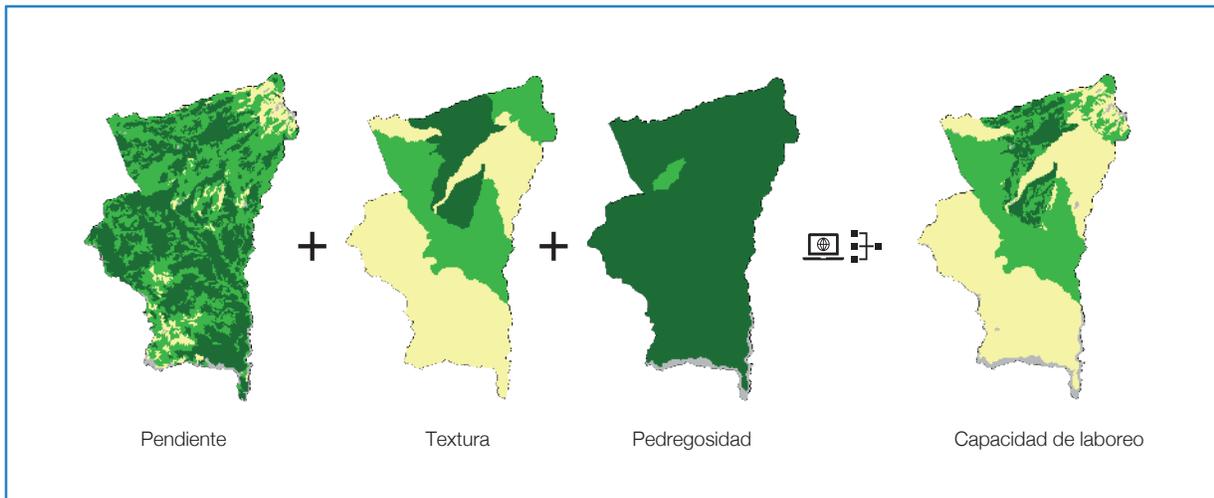


Figura 13. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio capacidad de siembra** para café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

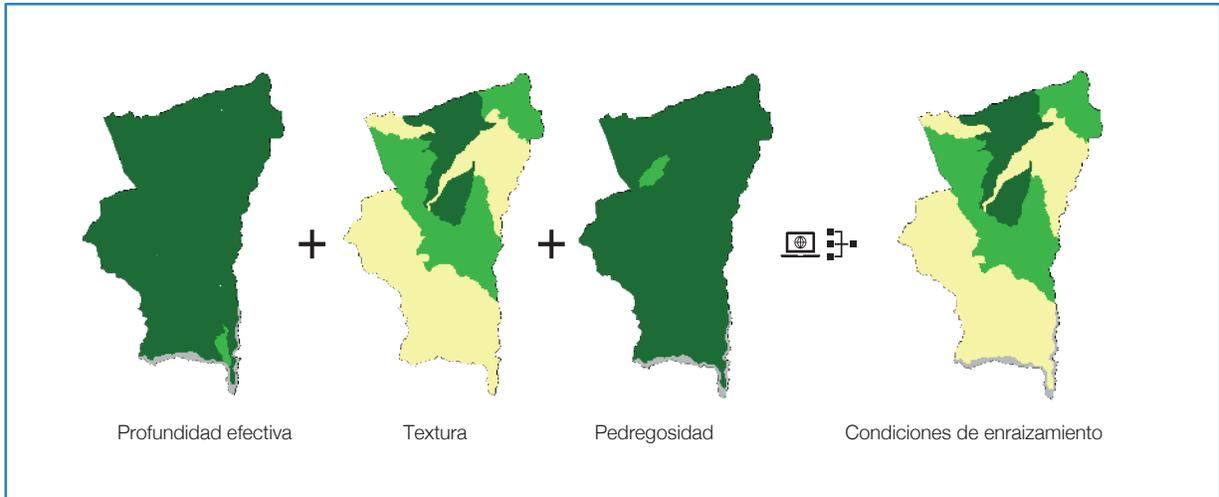


Figura 14. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio condiciones de enraizamiento** para café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

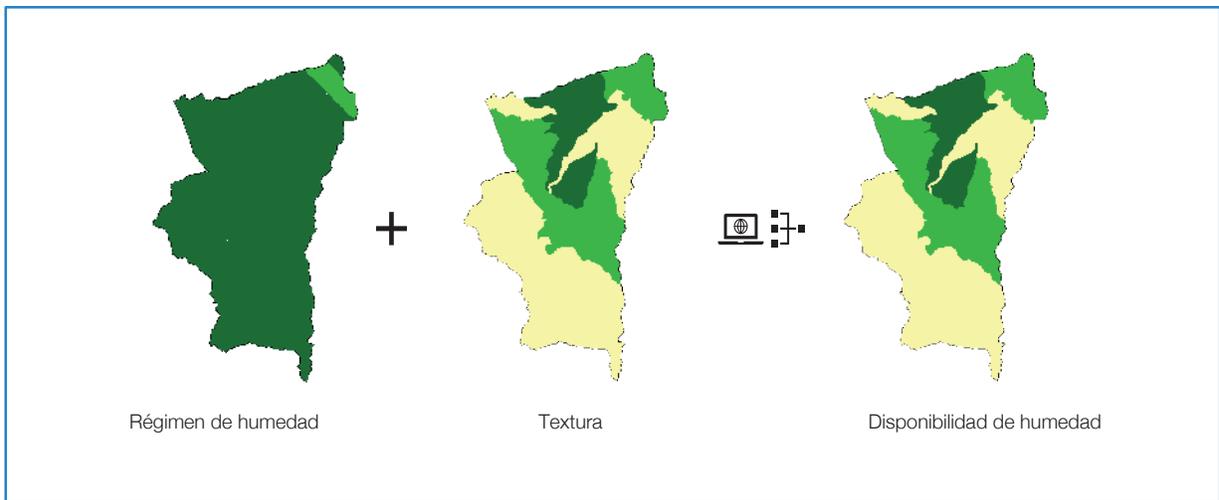


Figura 15. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de humedad** para café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

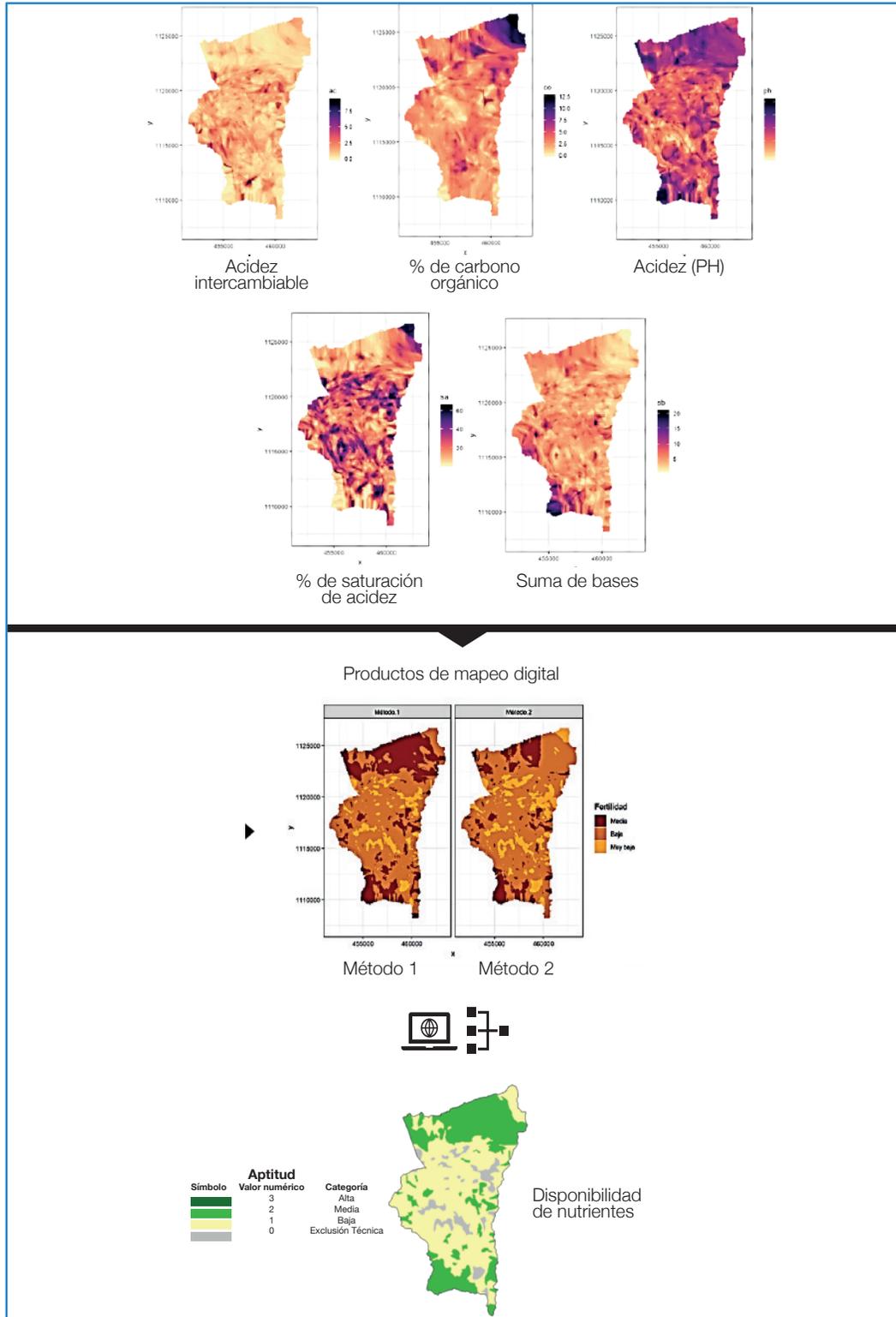


Figura 16. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de nutrientes** para café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

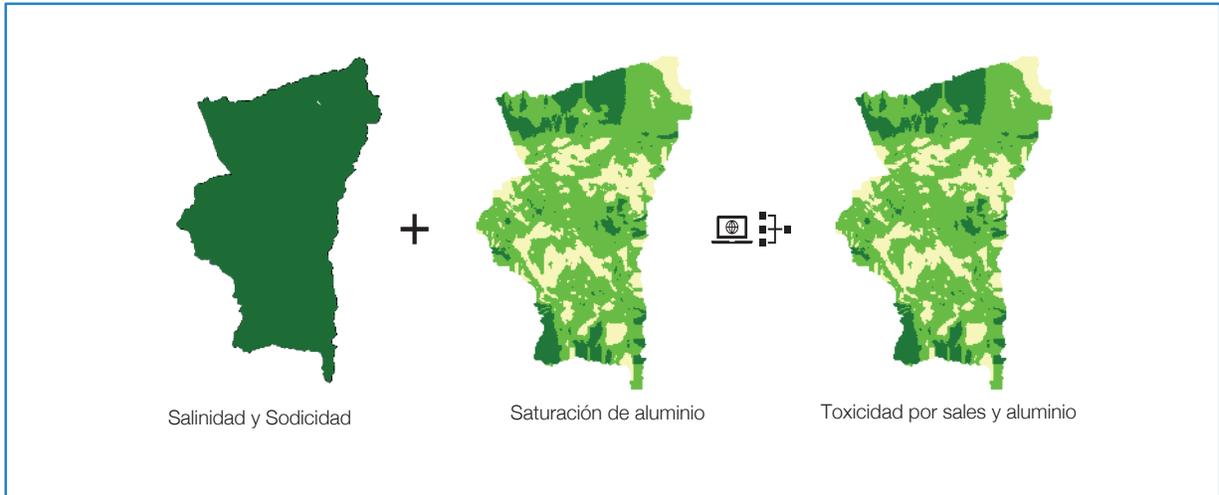


Figura 17. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio toxicidad por sales y aluminio** para café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

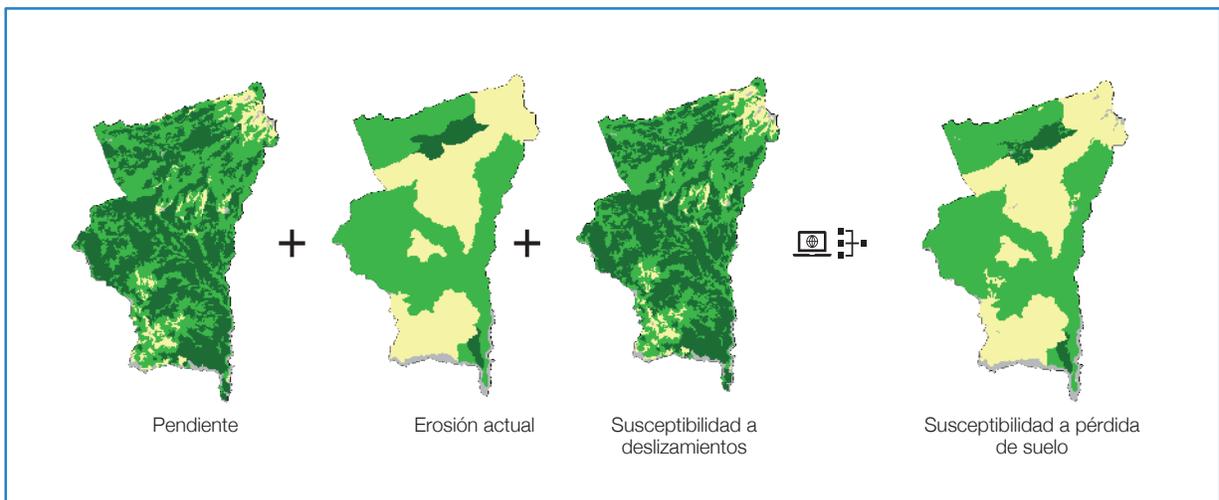


Figura 18. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio susceptibilidad a pérdida de suelos** para café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

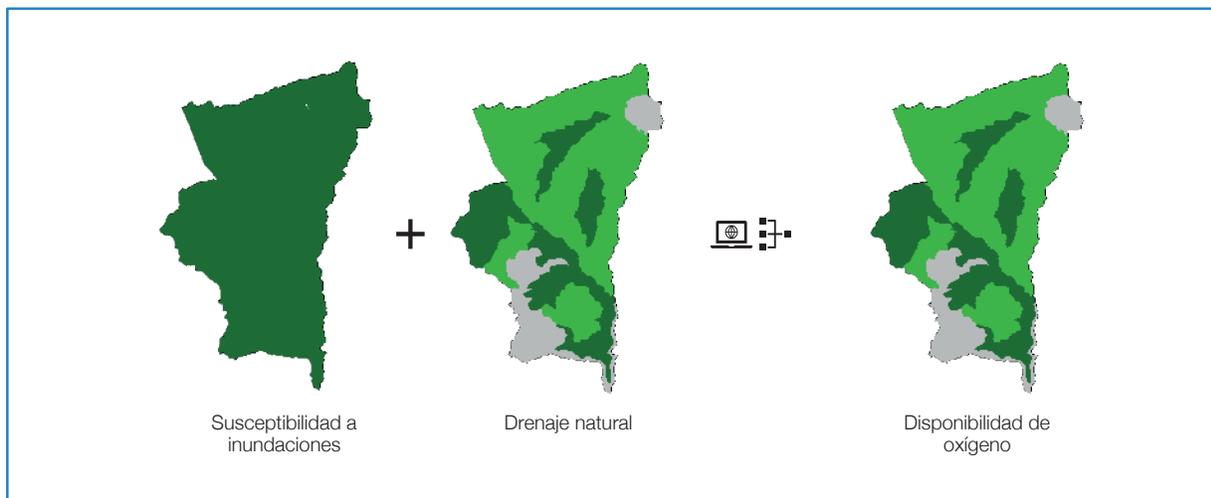


Figura 19. Desarrollo del mapa de aptitud según **criterio disponibilidad de oxígeno** para café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

### 4.1.3. Mapa de zonas aptas según aplicación de metodología ZAE

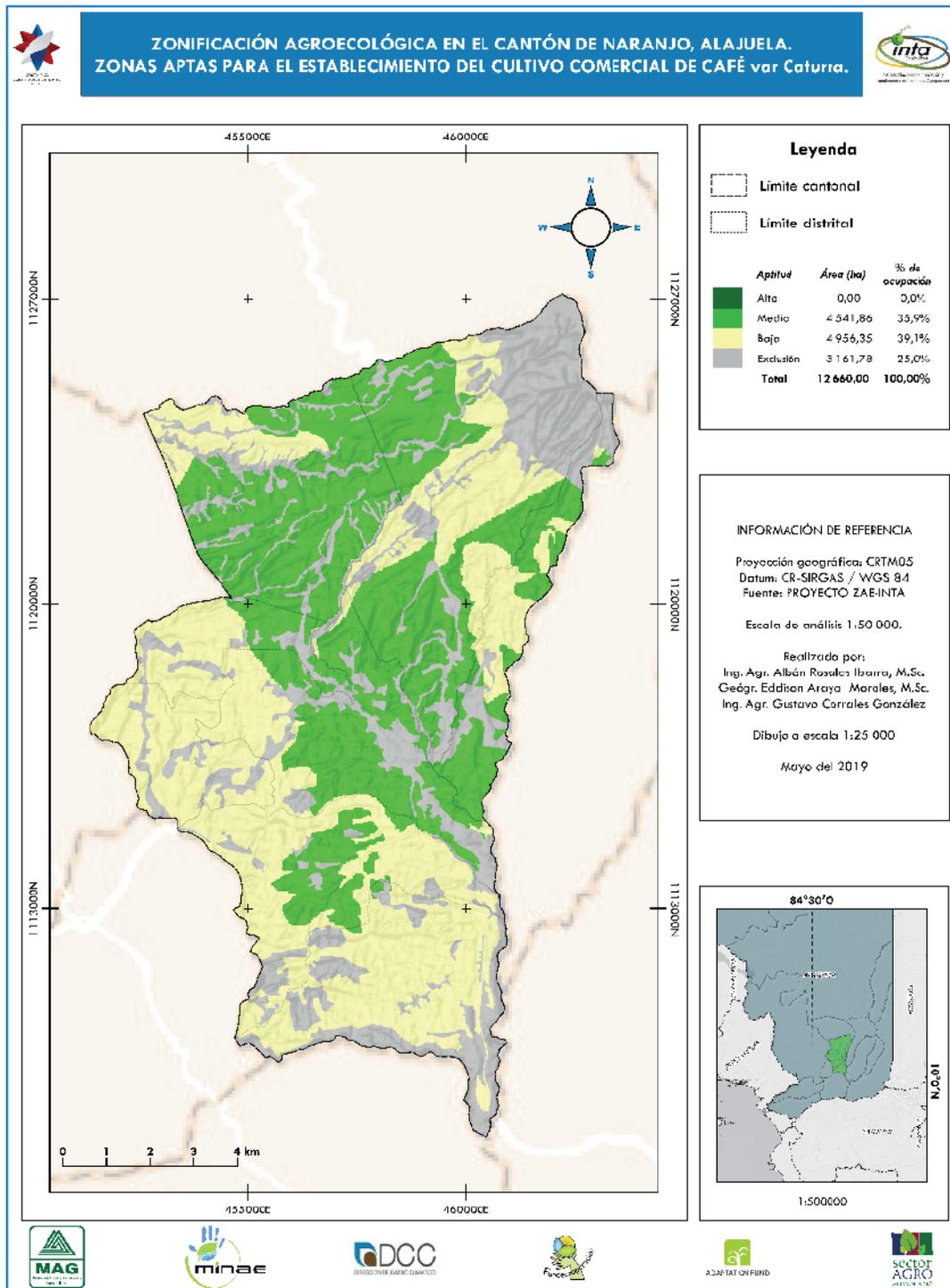


Figura 20. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en cantón de Naranjo.

Cuadro 4. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de café variedad Caturra en el cantón de Naranjo, Alajuela.

Símbolo	Aptitud		Área (ha)	% de ocupación
	Valor numérico	Categoría		
	3	Alta	0,00	0,0 %
	2	Media	4 541,86	35,9 %
	1	Baja	4 956,35	39,1 %
	0	Exclusión técnica	3 161,78	25,0 %
Total			12 660,00	100,0 %

Fuente: Resultados de análisis

La zona de estudio reúne 9 498,21 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo de café, lo que representa el 75 % 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 25 % 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 uno de los factores que más condiciona los resultados de la zonificación y dentro de este criterio las variables de altitud y brillo solar 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 área de estudio presenta bajos niveles de fertilidad del suelo. Otros criterios que influyeron en la aptitud final del cultivo están el criterio toxicidad por sales y aluminio donde saturación de aluminio es la variable más limitante, el criterio susceptibilidad a la pérdida de suelos presenta como limitante la variable erosión y el criterio disponibilidad de oxígeno se limita por el drenaje natural.

## 4.2. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE AGUACATE (*Persea americana* var Hass)

El aguacate es originario de las regiones tropicales y subtropicales de Centroamérica y México. Desde los tiempos precolombinos esta fruta era consumida por las poblaciones indígenas, siendo de gran importancia tanto para la civilización Maya como Azteca. Fue introducido por los españoles a las Antillas, luego se extendió a Florida, California y a varios países sudamericanos, donde se generaron mejoras genéticas tanto en factores agronómicos como de calidad, luego se dispersó en varias regiones del mundo en donde existían condiciones ecológicas para su desarrollo (Garbanzo 2010).

El árbol de aguacate es conocido como aguacatero y es una especie perenne, muy vigorosa, de crecimiento erecto (generalmente). Tiene una vida útil como cultivo comercial de hasta 50 años y puede crecer hasta 30 metros de altura, aunque estas características pueden variar de acuerdo con la variedad (Agropedia 2018).

El aguacate es considerado por muchos un super alimento. El aceite del aguacate tiene propiedades muy similares al aceite de oliva, con la diferencia de que el aguacate se procesa sin la piel; por lo que posee pocas cantidades de sodio y es rico en potasio. Relación que favorece el descenso de la presión arterial, con la consecuente disminución del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. En la industria de cosméticos, el aceite de aguacate se usa en la elaboración de jabones y cremas para el cuidado de la piel y en la industria farmacéutica en la elaboración de bálsamos y pomadas medicinales. EL aguacate es rico en vitaminas A, B6, E y C, su contenido de grasa es alto; cada 30 gr de aguacate contienen 5 gr de grasa poliinsaturada (Agropedia 2018).

La variedad Hass por su producción y calidad tiene gran importancia en Costa Rica en el mundo. De piel rugosa y verde oscura que se va tornando violácea casi negra según va alcanzando el estado de maduración (entre primavera y verano). Es de la raza guatemalteca del tipo de floración grupo A. Su pulpa es de muy buena calidad y poco fibrosa, con ligeros toques de nuez en el sabor. Al ser de la raza guatemalteca su tolerancia al frío no es muy fuerte. La razón por la que esta variedad se ha convertido en la más consumida y cultivada es su amplio periodo de recolección, su calidad y sabor, el aprovechamiento de pulpa y un gran aguante en árbol y postrecolección (Agromática.es 2014).

Puede producir abundantes cosechas sin necesidad de variedades polinizadoras. La altura de su copa es mediana (5 a 8 m) y semiabierta, el periodo de flor a fruto ronda entre los 8 a 10 meses y comienza a producir aproximadamente a los 3 años. Tiene dos picos de cosecha al año; el primero va de mayo a julio y el otro, de octubre a diciembre, en algunas zonas puede prolongarse hasta febrero (Garbanzo 2010).

#### 4.2.1. 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 aguacate. Tal como se explicó previamente los valores de cada variable fuera de estos rangos se consideran áreas de exclusión técnica.

Cuadro 5. Matriz de requerimientos técnicos para aguacate variedad Hass en cantón de Naranjo, Alajuela

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
<b>Condiciones climáticas</b>	Altitud (msnm)	msnm	≥1500 a ≤2500	≥1250 a <1500	≥1000 a <1250	<1000 y >2500
	Temperatura promedio anual (oC)	oC	≥18 a ≤20	≥16 a <18 y de >20 a ≤24	≥12 a ≤14 y >24 a ≤26	<12 y >26
	Precipitación promedio anual (mm)	mm/año	≥1800 a ≤2500	≥1200 a <1800 y de >2500 a ≤3000	≥800 a <1200 y >3000 a ≤3500	<800 y >3500
	Época seca: (quincenas secas consecutivas al año)	(días secos consecutivos x ciclo)	≥3 a ≤4	>4 a ≤8	>8 a ≤10	>10
	Humedad relativa (%)	%	≥60 a ≤65	>65 a ≤80	≥40 a <60 y de >80 a ≤90	<40 y >90
	Brillo solar (horas luz/año)	Horas luz/año	≥800 a ≤1500	nd	<800 y >1500	nd
	Vientos (km/h)	km/h	Ausente	Moderado	Fuerte	ND
<b>Capacidad de siembra</b>	Pendiente (%)	%	≤10	>10 a ≤50	>50 a ≤75	>75
	Textura	Clase textural	Medianas, Moderadamente Finas y Moderadamente gruesas	nd	Finas, Gruesas	Muy Finas
	Pedregosidad (adimensional)	%	SP	LP	Mod P	P, Muy P, EP, FP
<b>Condiciones de enraizamiento</b>	Textura	Clase textural	Medianas, Moderadamente Finas, Moderadamente gruesas	nd	Finas, Gruesas	Muy Finas,
	Profundidad efectiva (centímetros)	cm	>150	≥70 a ≤150	≥25 a <70	<25
	Pedregosidad (adimensional)	%	SP, LP, Mod P, P	Muy P	FP	EP
<b>Disponibilidad de humedad</b>	Régimen de humedad (suelo)	Adimensional	Údico	nd	Ustico	Acuico
	Textura	Clase textural	Medianas, Moderadamente Finas, Moderadamente gruesas	nd	Finas, Gruesas	Muy Finas,

CRITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	ALTO	MEDIO	BAJO	EXCLUSIÓN TÉCNICA
Disponibilidad de oxígeno	Susceptibilidad a inundaciones (adimensional)	Adimensional	Nula	Leve	Mod	Severo y muy severo
	Drenaje	Adimensional	Moderadamente excesivo	Bueno	Moderadamente lento, excesivo	Nulo, Lento, Muy 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	Saturación de acidez	%	≤10	>10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	CE del extracto de saturación dS/m	dS/m PSI	≥0,3 y ≤1,0	>1,0 a ≤1,6	>1,6 y ≤1,9	>1,9
Susceptibilidad a pérdida de suelos	Erosión actual (Adimensional)	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos (Adimensional)	Adimensional	Muy baja	Leve	Moderada	Alta
	Pendiente %	%	≤10	>10 a ≤50	>50 a ≤75	>75

**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.

#### 4.2.2. Desarrollo de proceso de conformación 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 aguacate en el cantón de Naranjo se muestran a continuación.

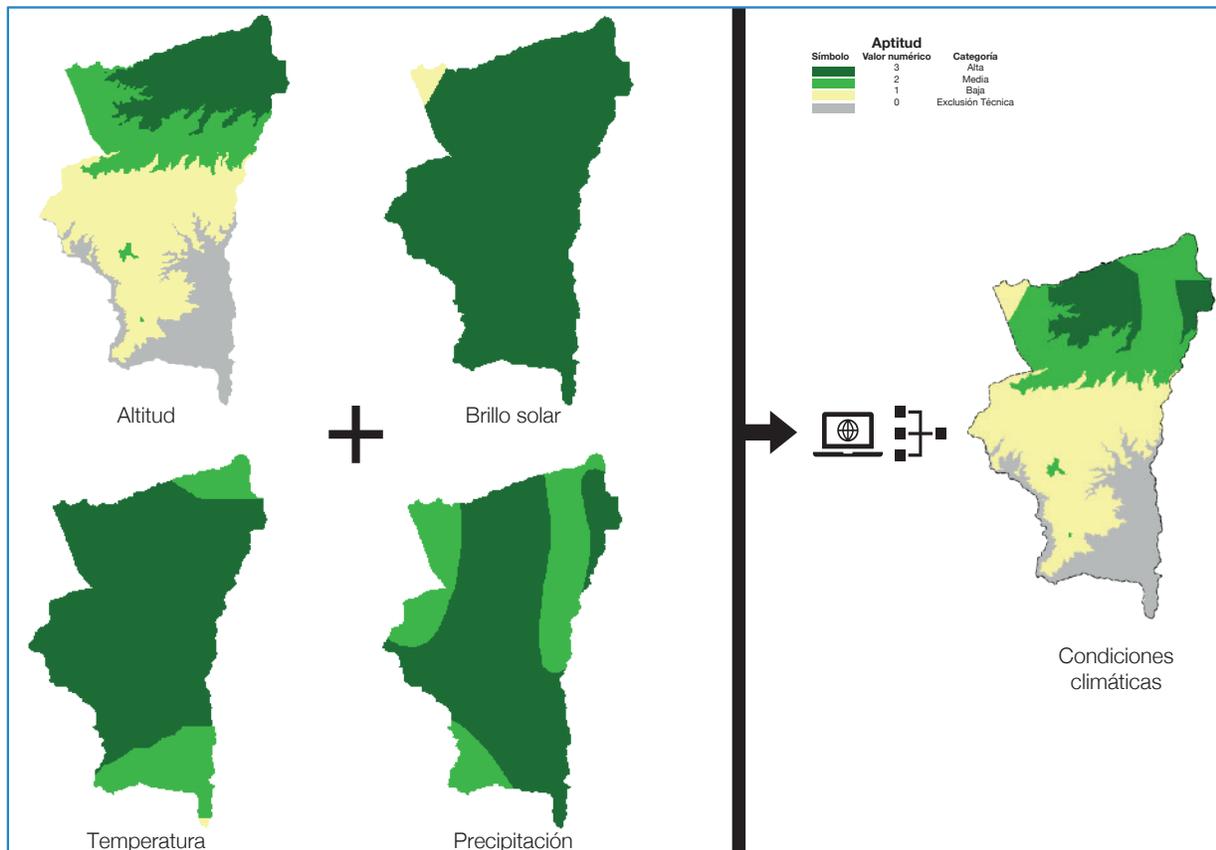


Figura 21. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

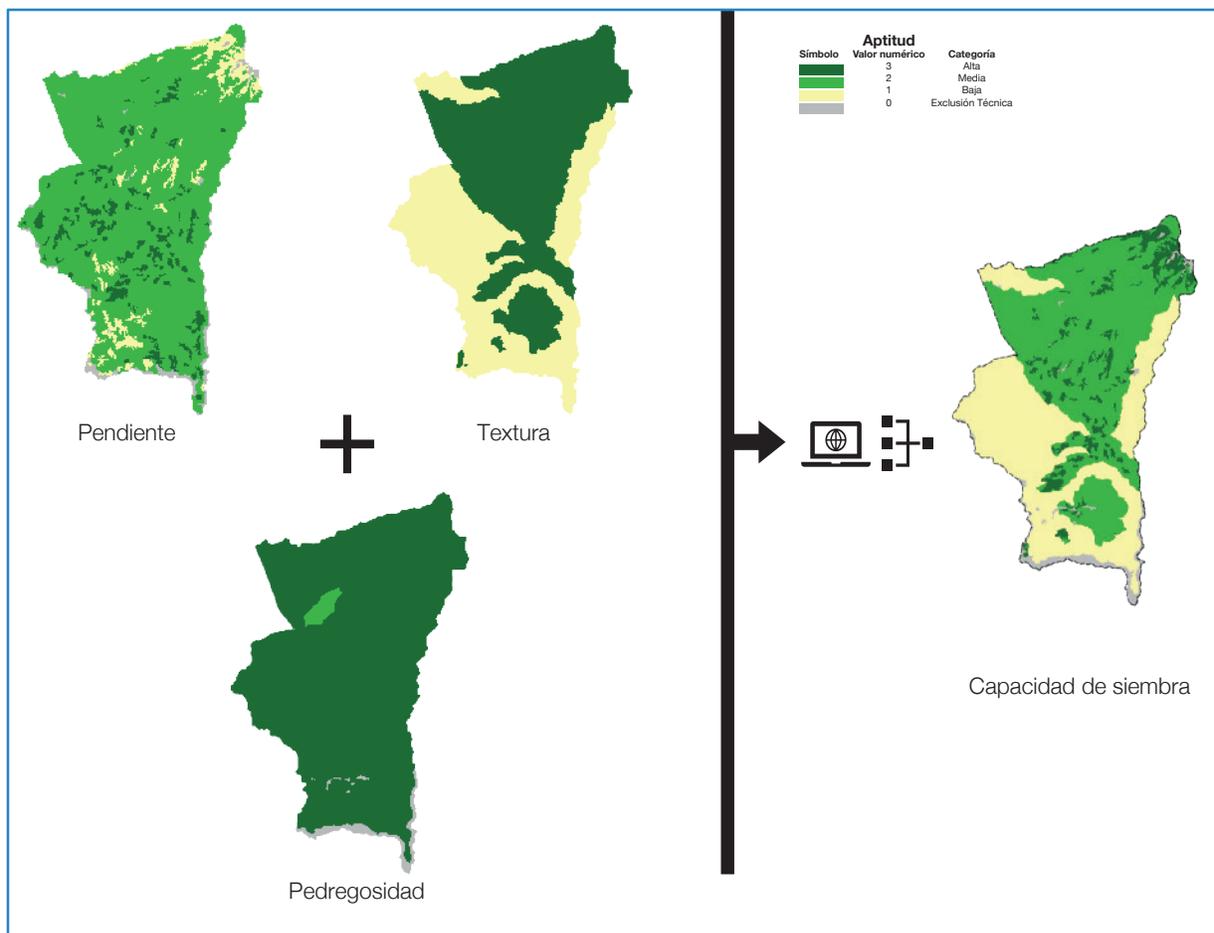


Figura 22. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de siembra para aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

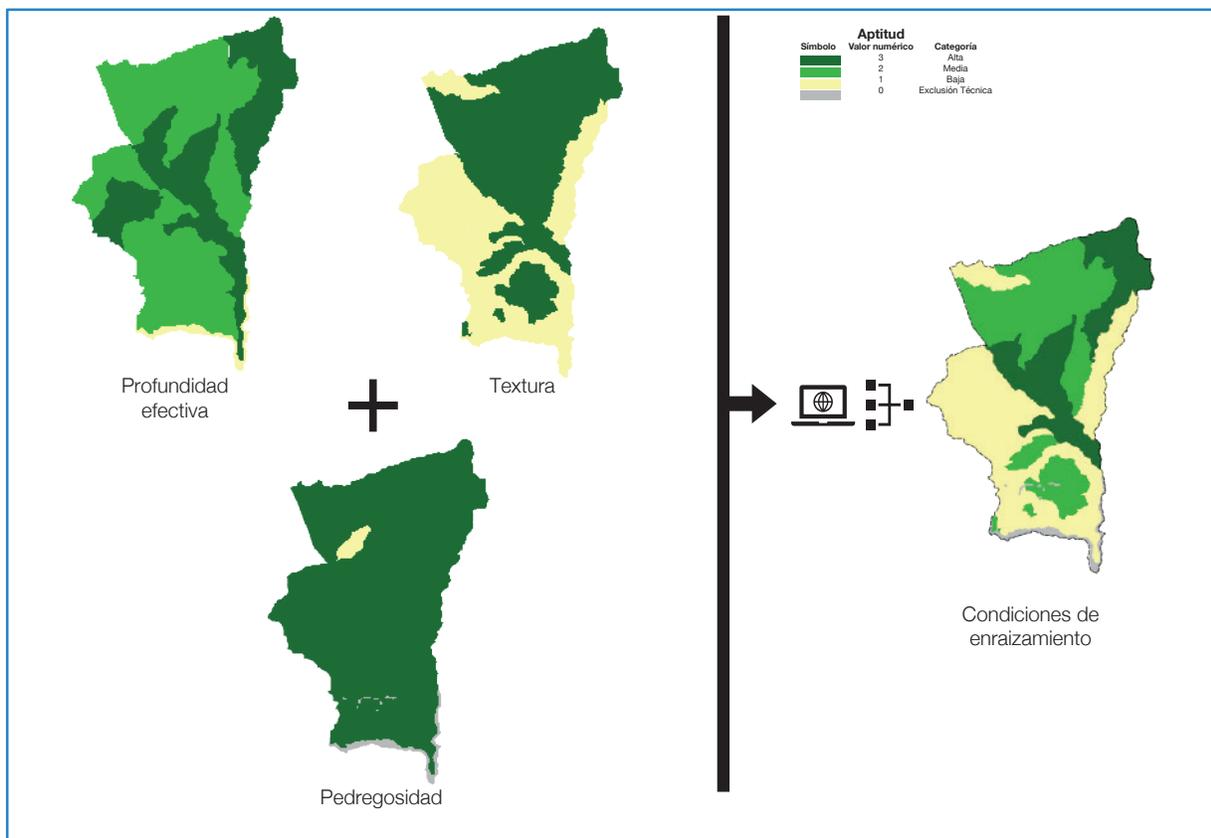


Figura 23. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

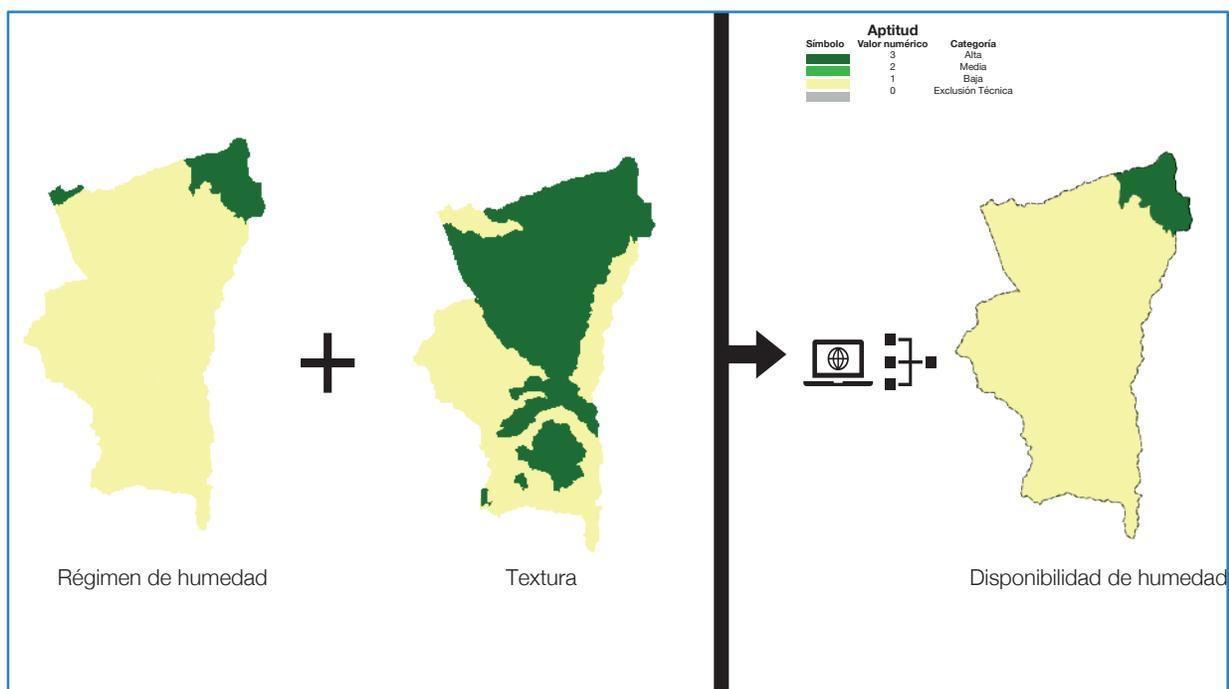


Figura 24. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

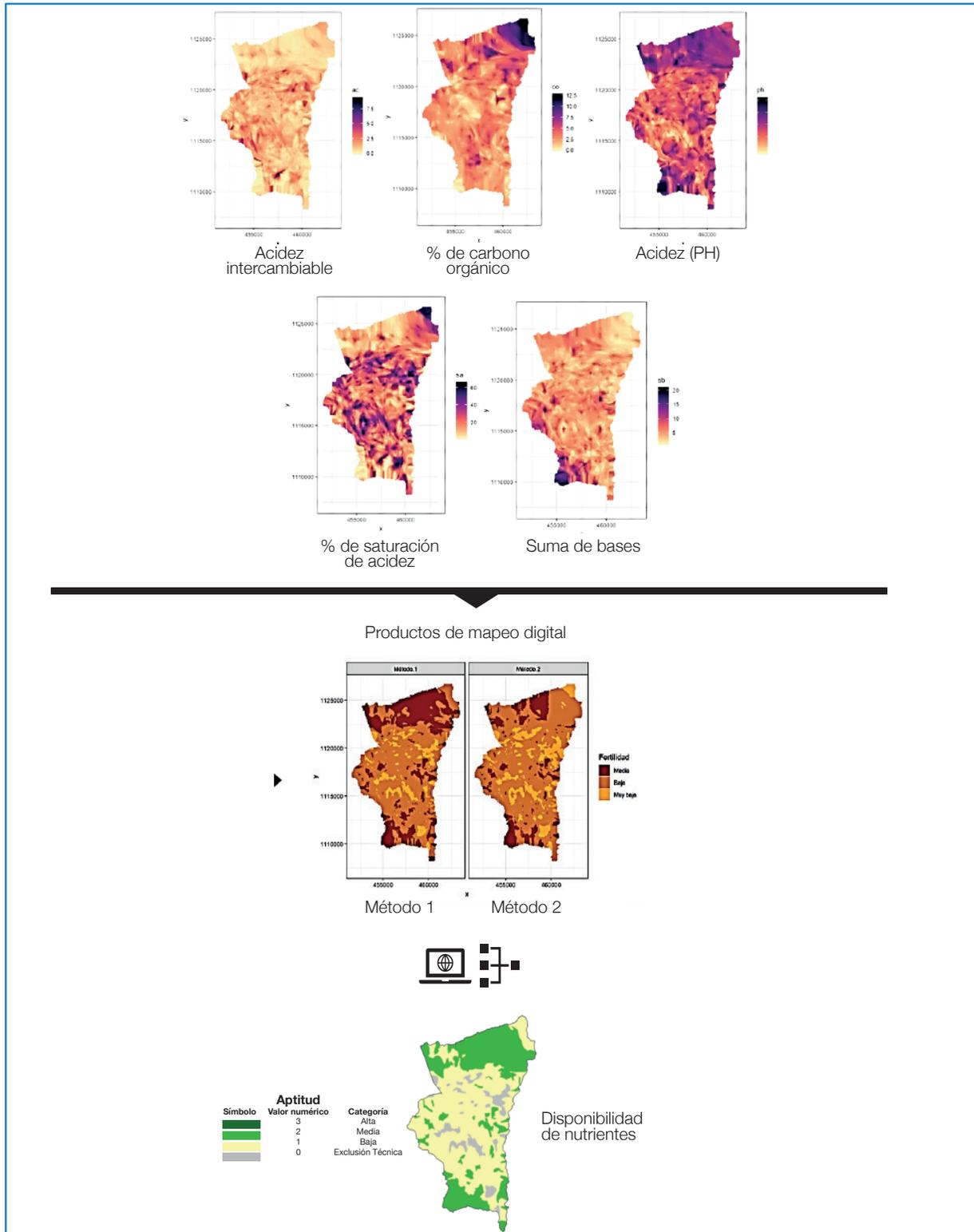


Figura 25. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

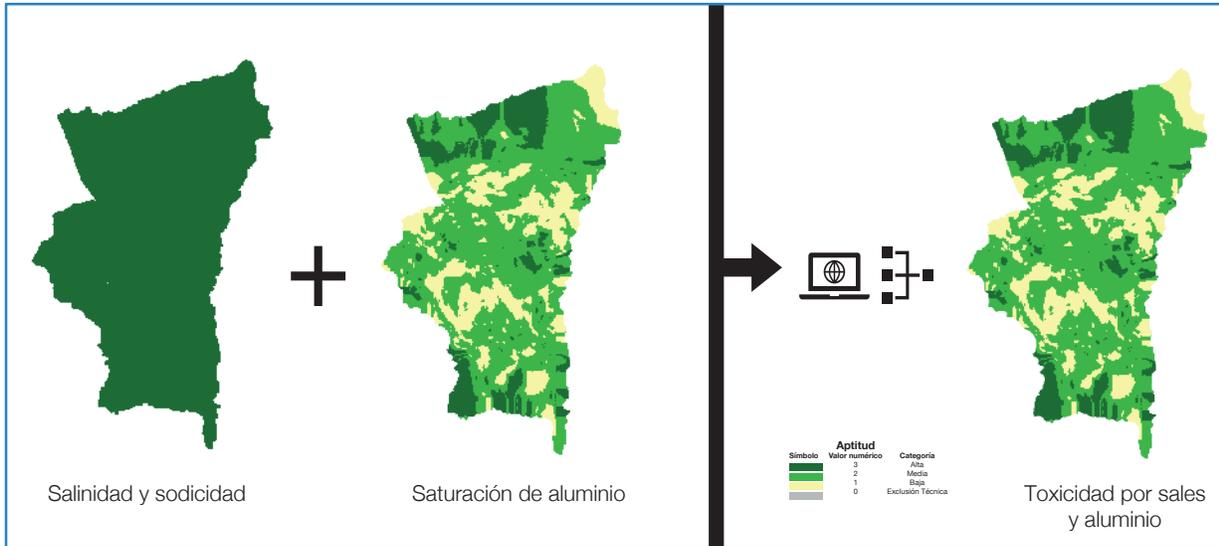


Figura 26. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

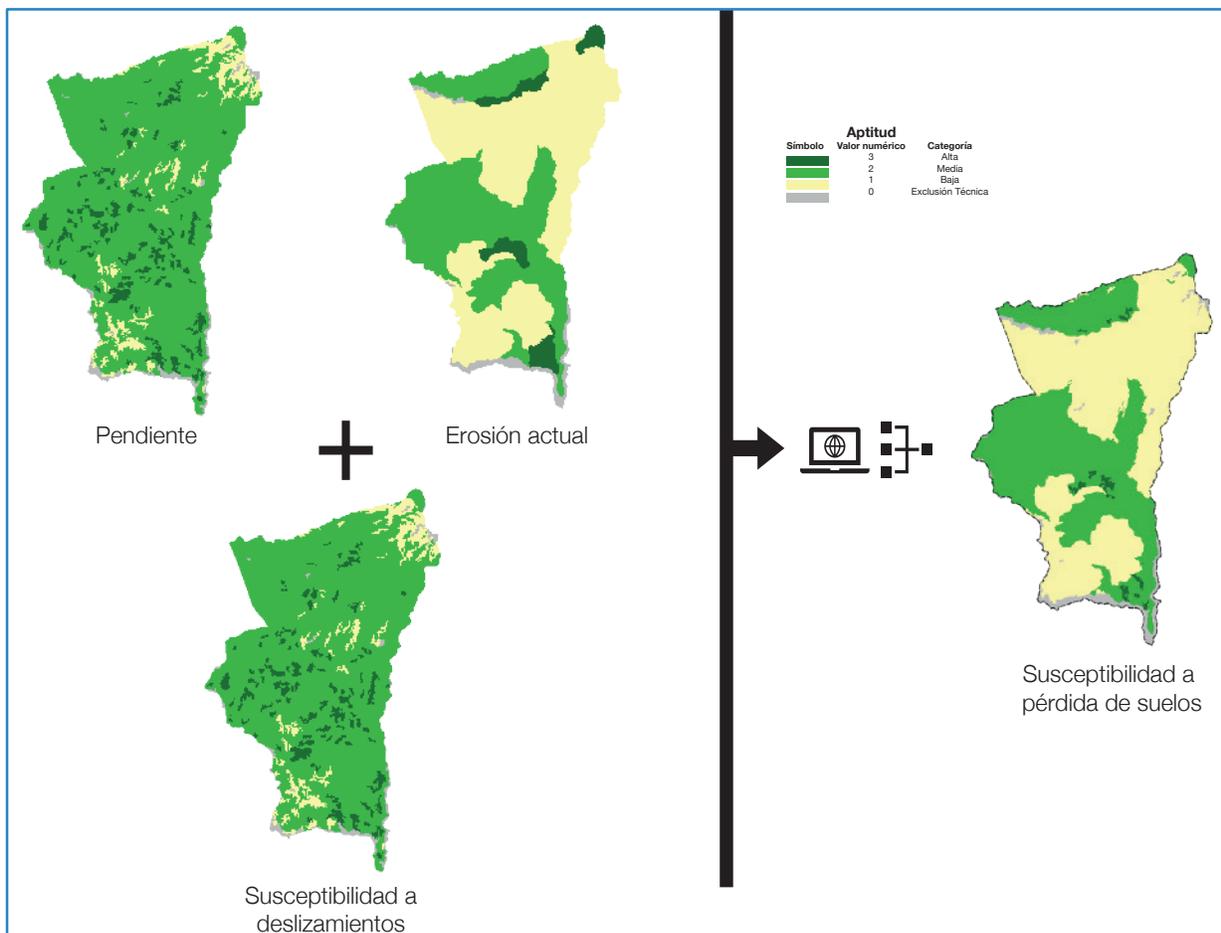


Figura 27. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a pérdida de suelos para aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

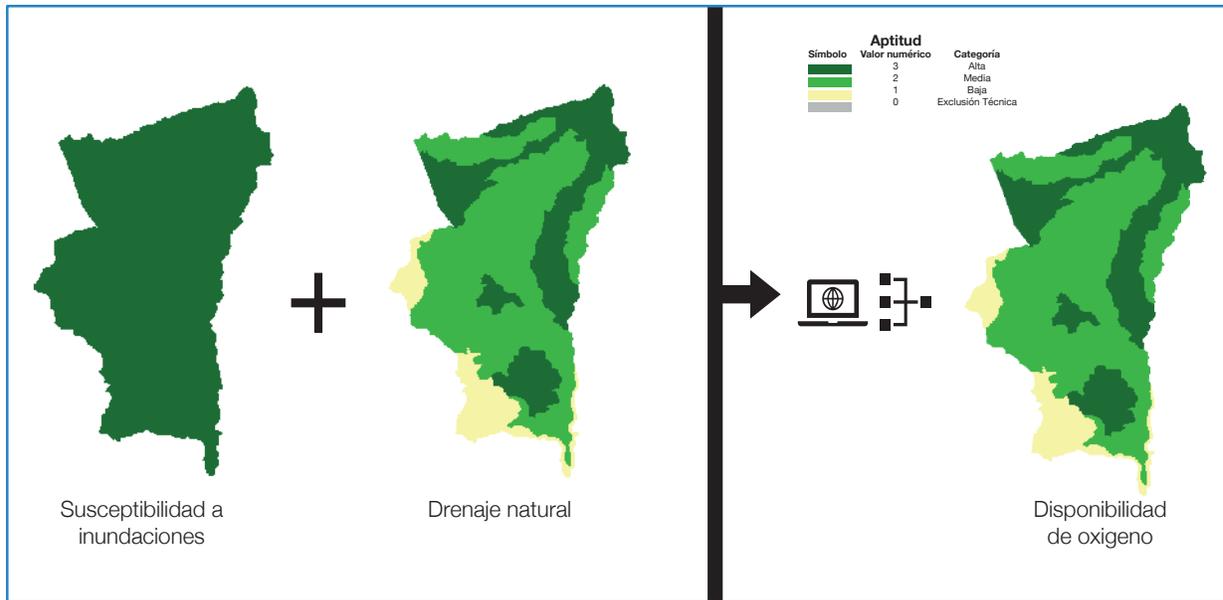


Figura 28. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de oxígeno para aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

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

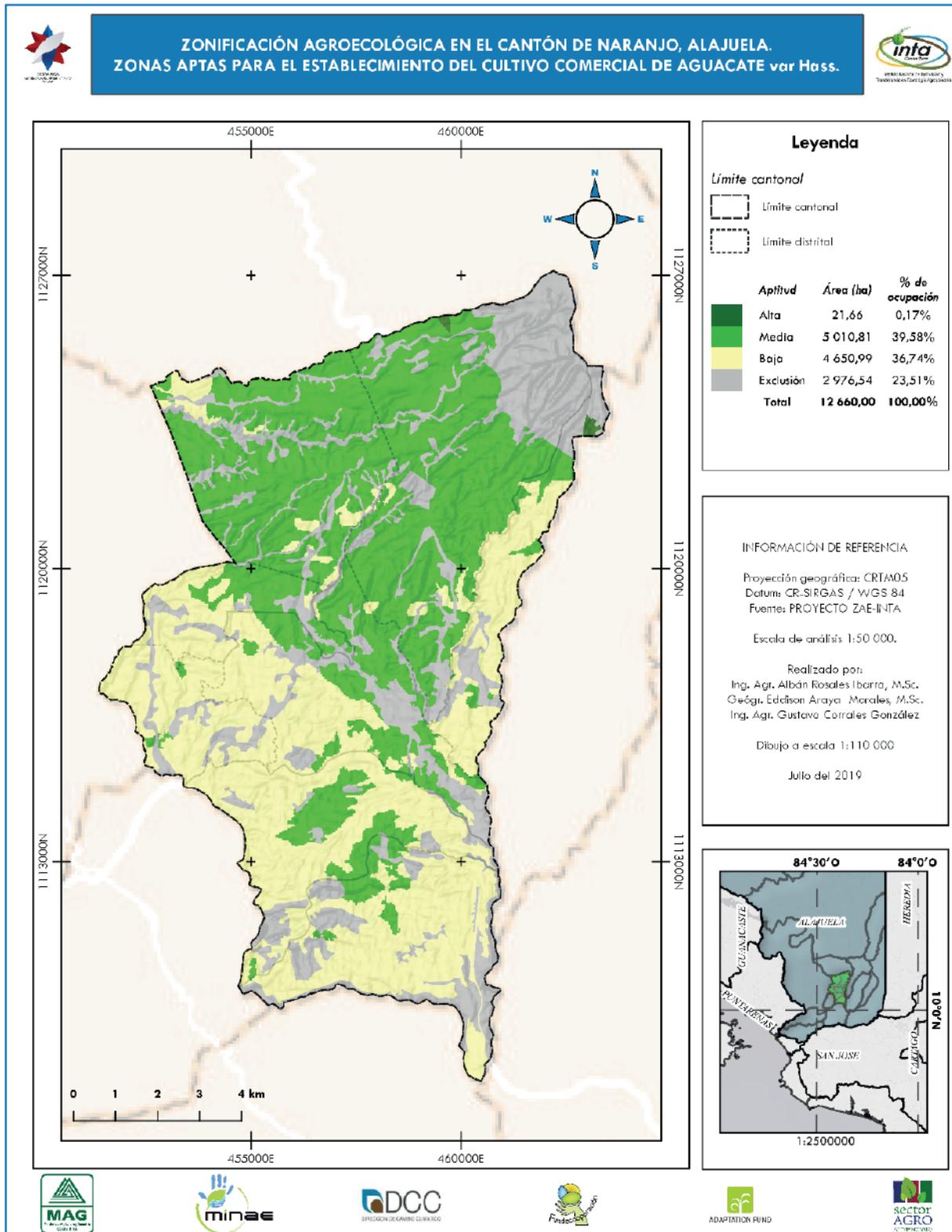


Figura 29. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en cantón de Naranjo.

Cuadro 6. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de aguacate variedad Hass en el cantón de Naranjo, Alajuela

Símbolo	Aptitud	Categoría	Área (ha)	% de ocupación
	Valor numérico			
	3	Alta	21,95	0,18
	2	Media	5 040,81	39,60
	1	Baja	4 680,99	36,77
	0	Exclusión técnica	2 985,54	23,45
Total			12 729,29	100,00

Fuente: Resultados de análisis.

La zona de estudio reúne 9 743,75 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo de aguacate, lo que representa el 76,55 % del área total del cantón. Esta aptitud se clasifica entre los niveles alta, media y baja. El 23,45 % 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 uno de los factores que más condiciona los resultados de la zonificación y dentro de este criterio la variable de altitud es la que representan la mayor condicionante 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 área de estudio presenta bajos niveles de fertilidad del suelo. Otros criterios que influyeron en la aptitud final del cultivo están el criterio susceptibilidad a la pérdida de suelos presenta como limitante la variable erosión y el criterio disponibilidad de humedad se limita por el régimen de humedad.



# 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.
- Se generaron matrices de requerimientos por cultivo y variedad que permiten identificar las variables clasificadas de acuerdo a su aptitud edafoclimática con ayuda de especialistas según el rubro.
- 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 a un costo elevado. El INTA está desarrollando el Proyecto de Cartografía de Suelos (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 RESPECTOS A LOS RESULTADOS DE LA ZONIFICACIÓN POR CULTIVOS

- De acuerdo con los resultados obtenidos se podría decir, que el área de estudio tiene en promedio un 75 % de tierras con aptitud para el desarrollo de los cultivos de café var. Caturra y aguacate var Hass. Pero esa aptitud se encuentra entre los niveles de media a baja para café y alta, media y baja para aguacate, lo que significa que esas tierras presentan limitantes moderadas a severas para el desarrollo pleno de estos rubros ya que la aptitud alta en aguacate solo representa el 0,18 %. En otras palabras, para la obtención de buenos rendimientos se hace estrictamente 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, aproximadamente el 25 % 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 de café de la zona de estudio revelando la mayoría de las limitaciones físicas o sea de clima y suelo. Pero lo más importante es que la información se encuentra recolectada en forma de capas geoespaciales, las cuales serán administradas y distribuidas por la Agencia de Extensión del MAG ubicada en el cantón de Naranjo. Esta información da una percepción del área en estudio que va a permitir 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, se hace necesario que los productores deban realizar 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 tiene 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.
- La aplicación del criterio fitosanitario permitiría contemplar la influencia de enfermedades en los cultivos y establecer de una mejor manera la relación para con los criterios edafoclimáticos y el componente socioeconómico para futuras zonificaciones.
- 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.



# Bibliografía

Agromática.es. 2014. Variedades de aguacate (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.agromatica.es/variedades-de-aguacate/>.

Agropedia. 2018. El Cultivo de Palta o Aguacate (en línea, sitio web). Disponible en <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-del-aguacate-o-palta/>.

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](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/conceptos-generales-en-meteorologia.asp).

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.

EcoPlan Ltda. 2011. Capítulo 2 - Diagnóstico / Plan Regulador del cantón de Naranjo. Naranjo, Alajuela, Municipalidad de Naranjo. p. 398.

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/>.

Garbanzo Solis, M. 2010. Manual de aguacate: buenas practicas de cultivo variedad Hass. 2 ed. San José, Costa Rica, MAG. 96 p.

ICAFFE. 2011. Guía técnica para el cultivo del café. 1 ed. ICAFFE-CICAFFE (ed.). Heredia, Costa Rica, Instituto del Café de Costa Rica. 72 p.

\_\_\_\_\_. 2019. Historia del Café de Costa Rica (en línea, sitio web). Disponible en <http://www.icafe.cr/nuestro-cafe/historia/>.

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 (PDRT) Atenas-Palmares-Naranjo-San Ramón-Zarcelero. 2016-2021. San José, Costa Rica, Instituto de Desarrollo Rural. 83 p.

INIAP. 1993. Manual del cultivo del café. Sotomayor Herrera, I (ed.). Quevedo, Ecuador., Estación Experimental Tropical Pichilingue / Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 256 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.

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, Periodico oficial La Gaceta N° 107.

Municipalidad de Naranjo. 2019. Historia y datos generales del cantón (en línea, sitio web). Disponible en <http://www.naranjo.go.cr/>.

Rivera, Y; Moreno, L; Herrera, M; Romero, HM. 2016. La toxicidad por aluminio (Al<sup>3+</sup>) 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.

Significados.com. 2015. Altitud (en línea, sitio web). Consultado 7 jun. 2019. Disponible en <https://www.significados.com/altitud/>.

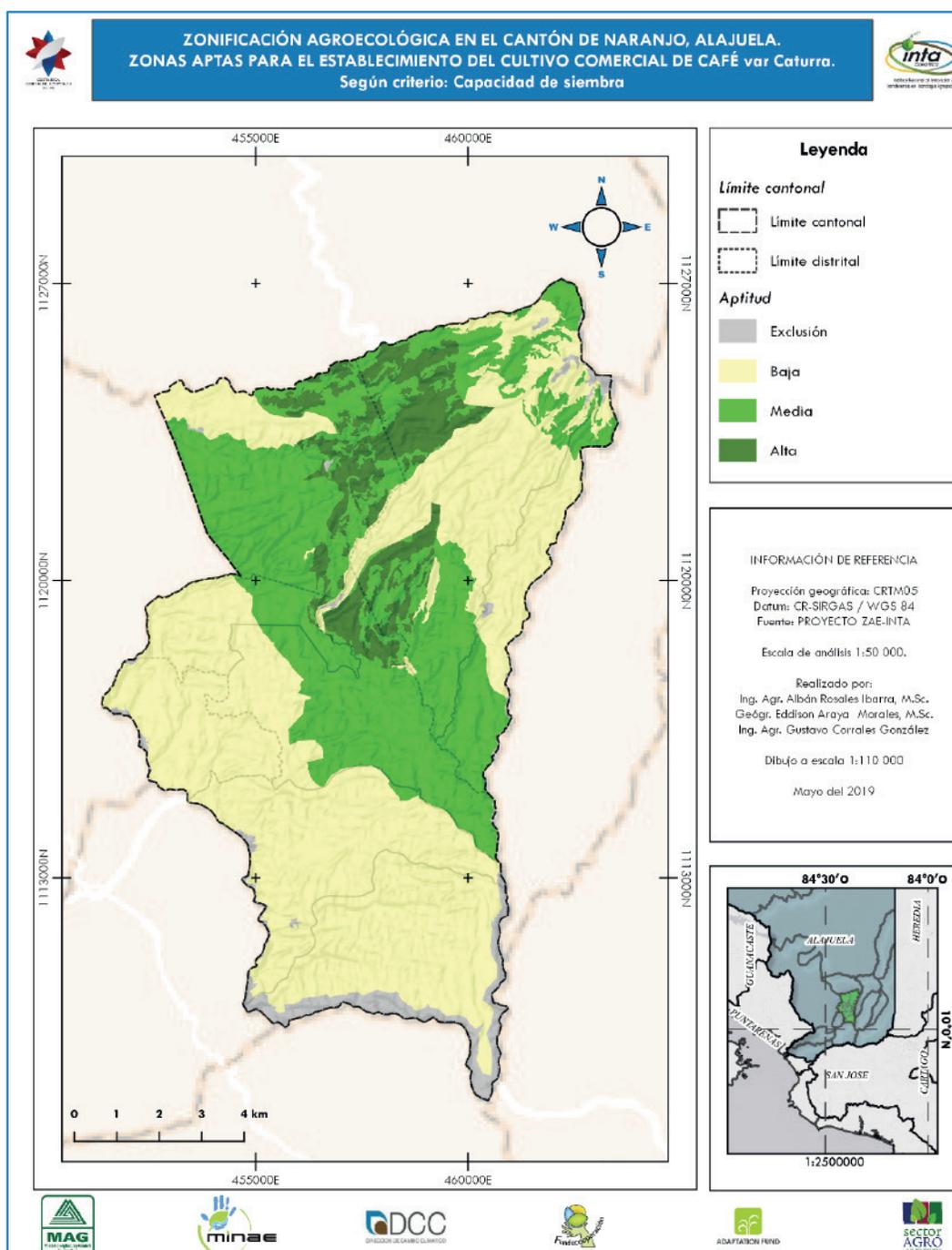
Universidad de Chile. 2019. Modulo Determinación de la humedad del suelo. Modernización e Integración transversal de la enseñanza de pregrado en ciencia de la tierra. (en línea, sitio web). Consultado 5 jun. 2019. Disponible en <http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio.html>.

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.

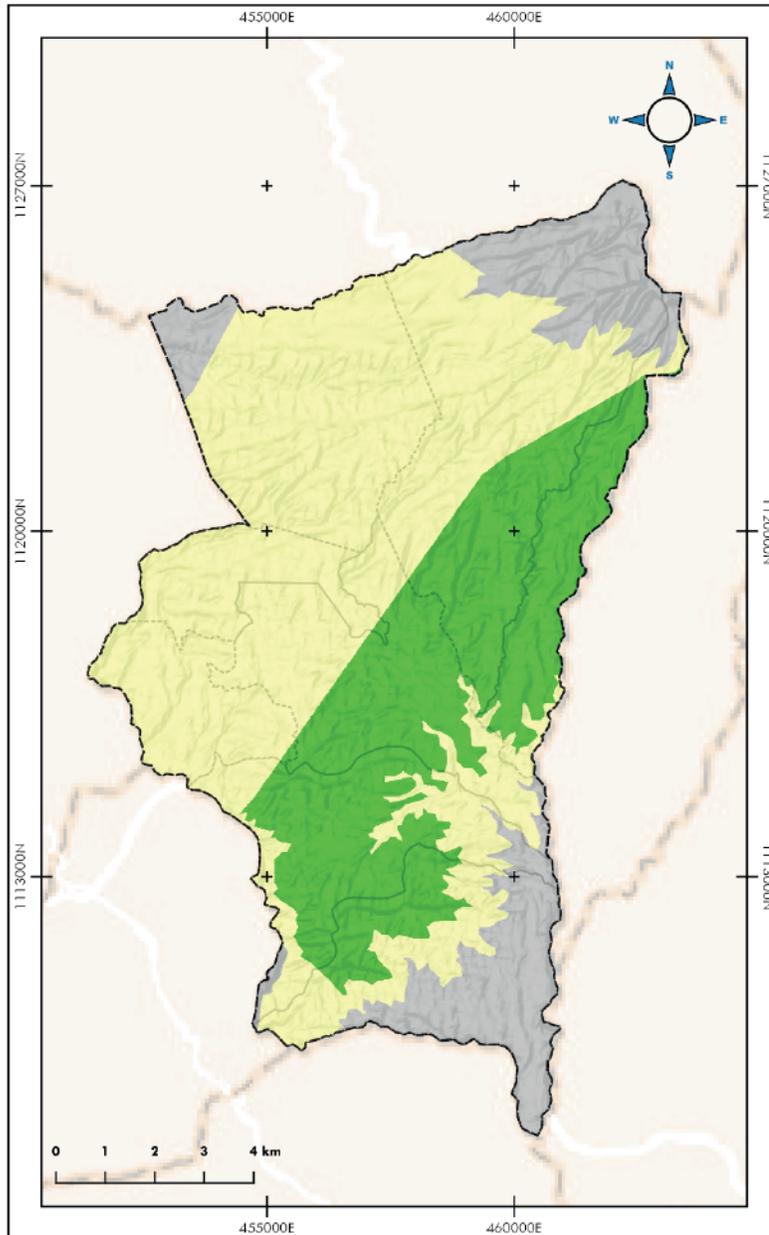
# Anexos

## MAPAS DE APTITUD POR CRITERIOS PARA CADA CULTIVO





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CAFÉ var Caturra.**  
Según criterio: Condiciones climáticas



**Legenda**

**Límite cantonal**

- Límite cantonal
- Límite distrital

**Aptitud**

- Exclusión
- Baja
- Media

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

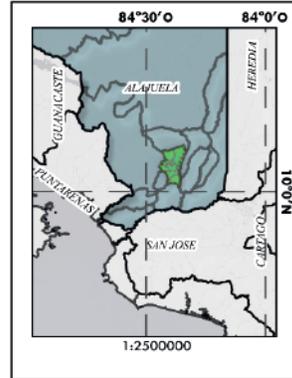
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

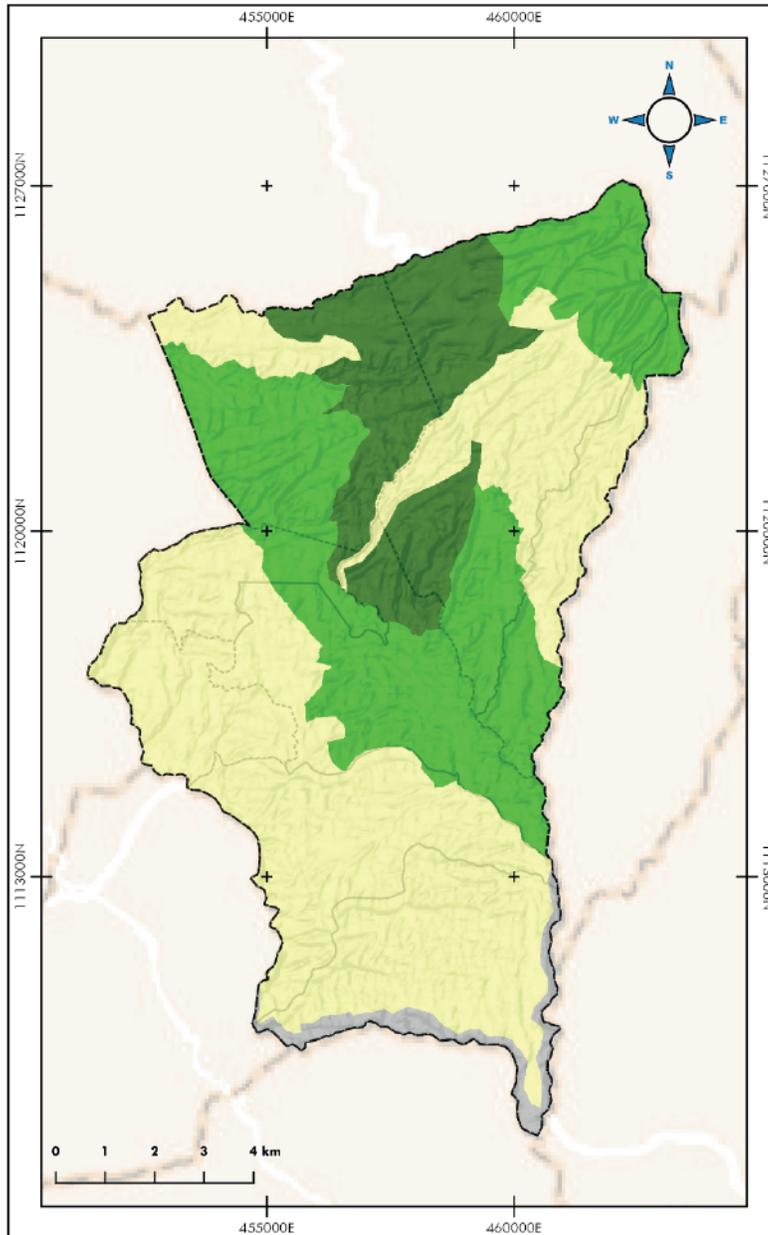
Dibujo a escala 1:110 000

Mayo del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CAFÉ var Caturra.**  
Según criterio: Condiciones de enraizamiento.



**Leyenda**

**Límite cantonal**

- Límite cantonal
- Límite distrital

**Aptitud**

- Exclusión
- Baja
- Media
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

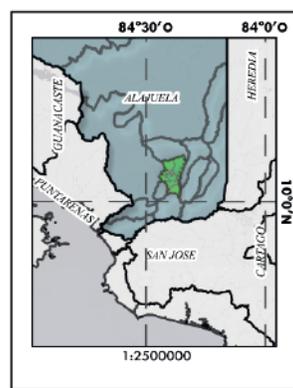
Proyección geográfica: CRTA05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

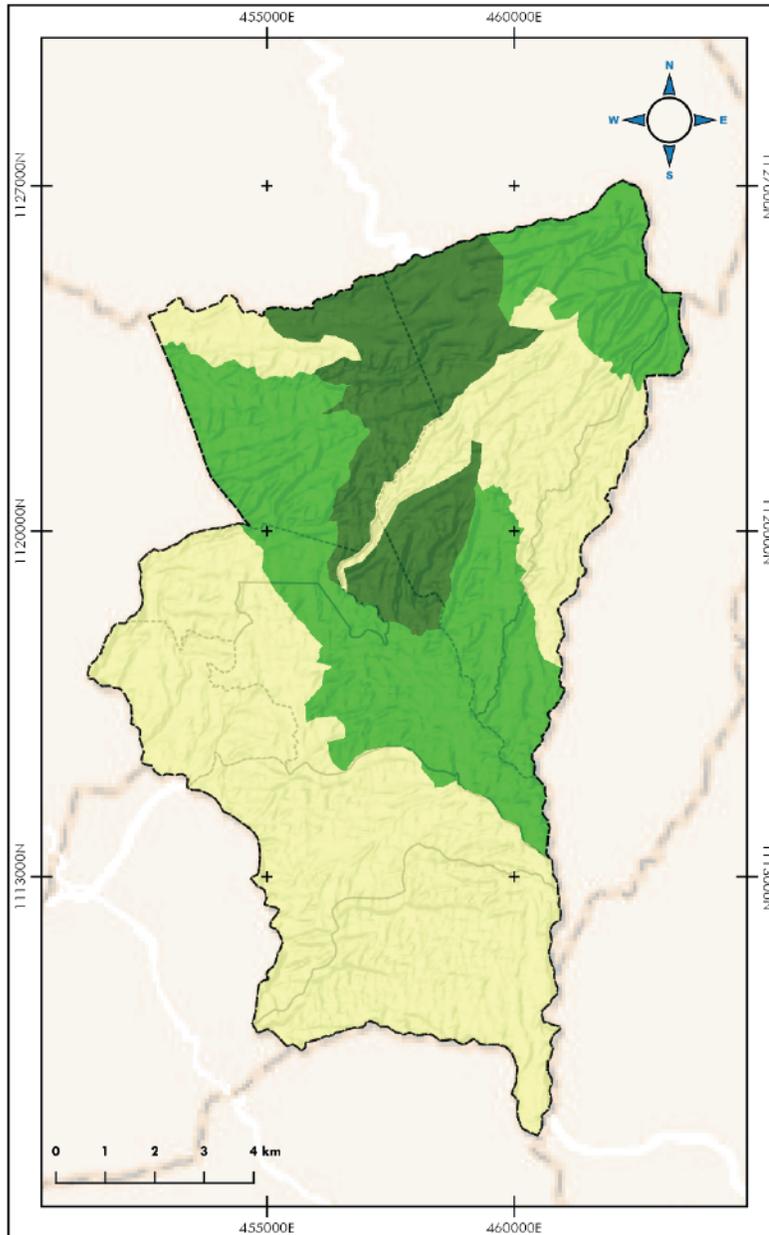
Dibujo a escala 1:110 000

Mayo del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CAFÉ var Caturra.**  
Según criterio: Disponibilidad de humedad.



**Legenda**

**Límite cantonal**

- Límite cantonal
- Límite distrital

**Aptitud**

- Baja
- Media
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

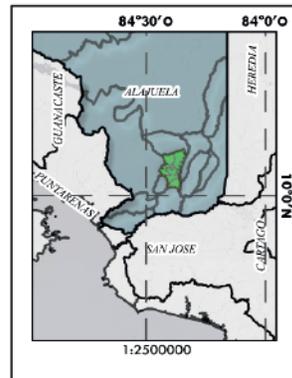
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

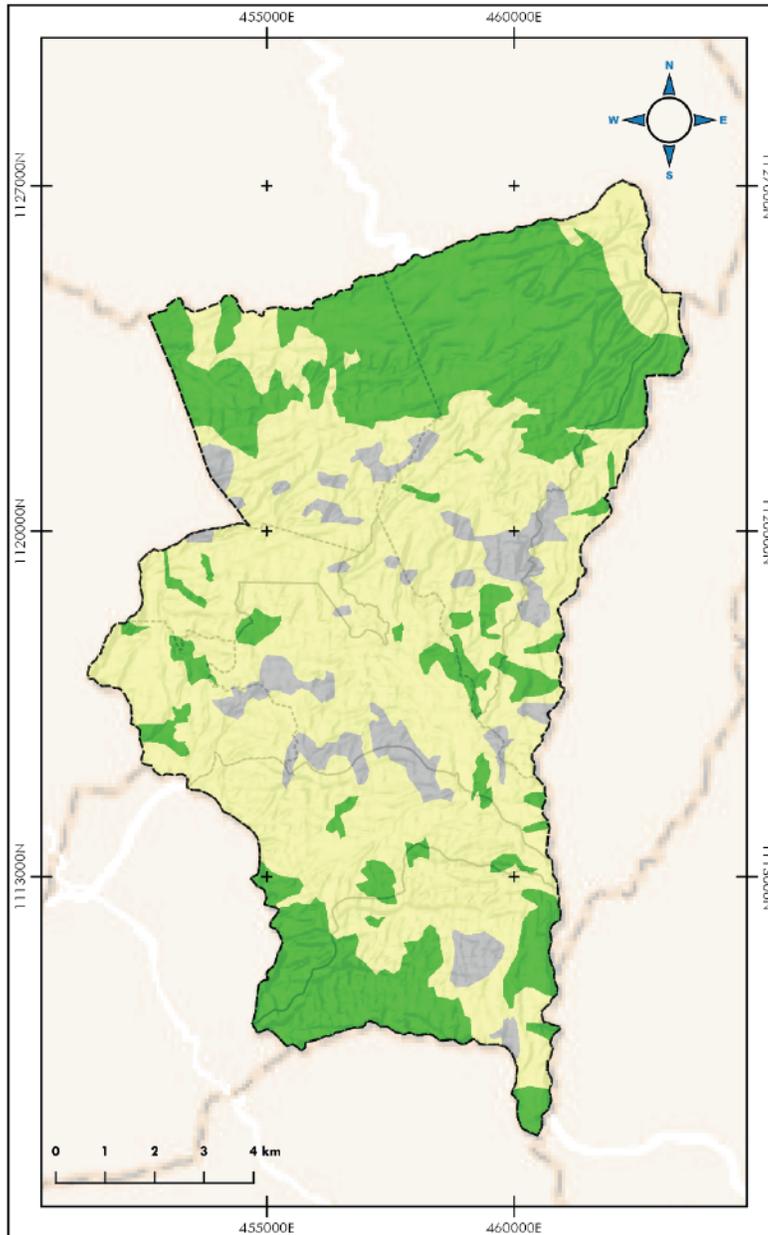
Dibujo a escala 1:1 10 000

Mayo del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CAFÉ var Caturra.**  
Según criterio: Disponibilidad de nutrientes.



**Leyenda**

**Límite cantonal**  
[Dashed line symbol] Límite cantonal  
[Dotted line symbol] Límite distrital

**Aptitud**  
[Grey box] Exclusión  
[Yellow box] Baja  
[Green box] Media

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

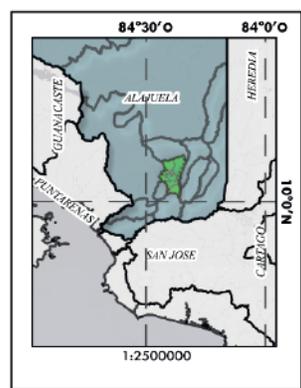
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

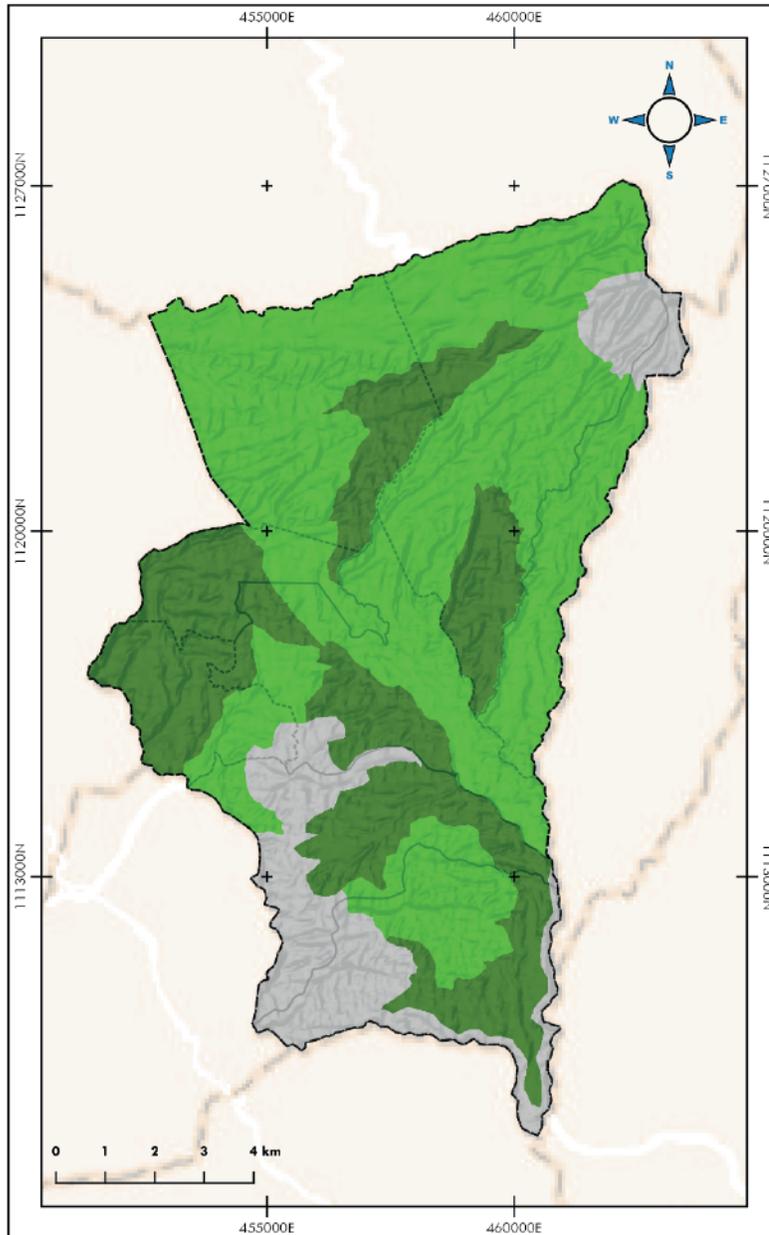
Dibujo a escala 1:110 000

Mayo del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CAFÉ var Caturra.**  
Según criterio: Disponibilidad de oxígeno.



**Legenda**

*Límite cantonal*

— Límite cantonal

- - - Límite distrital

*Aptitud*

■ Exclusión

■ Media

■ Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

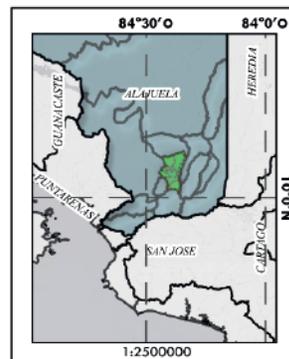
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

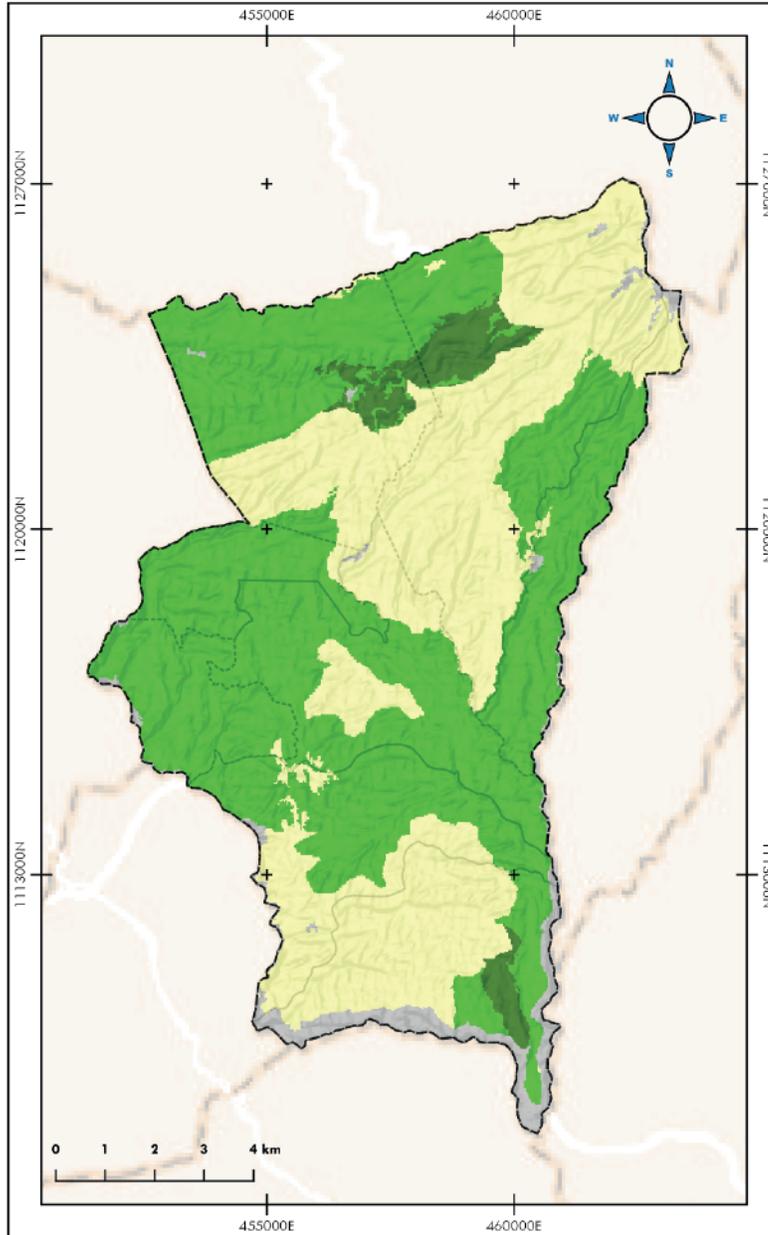
Dibujo a escala 1:1 10 000

Mayo del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CAFÉ var Caturra.**  
 Según criterio: Susceptibilidad a pérdida de suelo.



**Leyenda**

*Límite cantonal*

- Límite cantonal
- Límite distrital

*Aptitud*

- Exclusión
- Baja
- Media
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

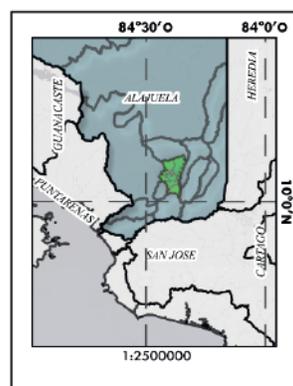
Proyección geográfica: CRTA05  
 Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
 Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

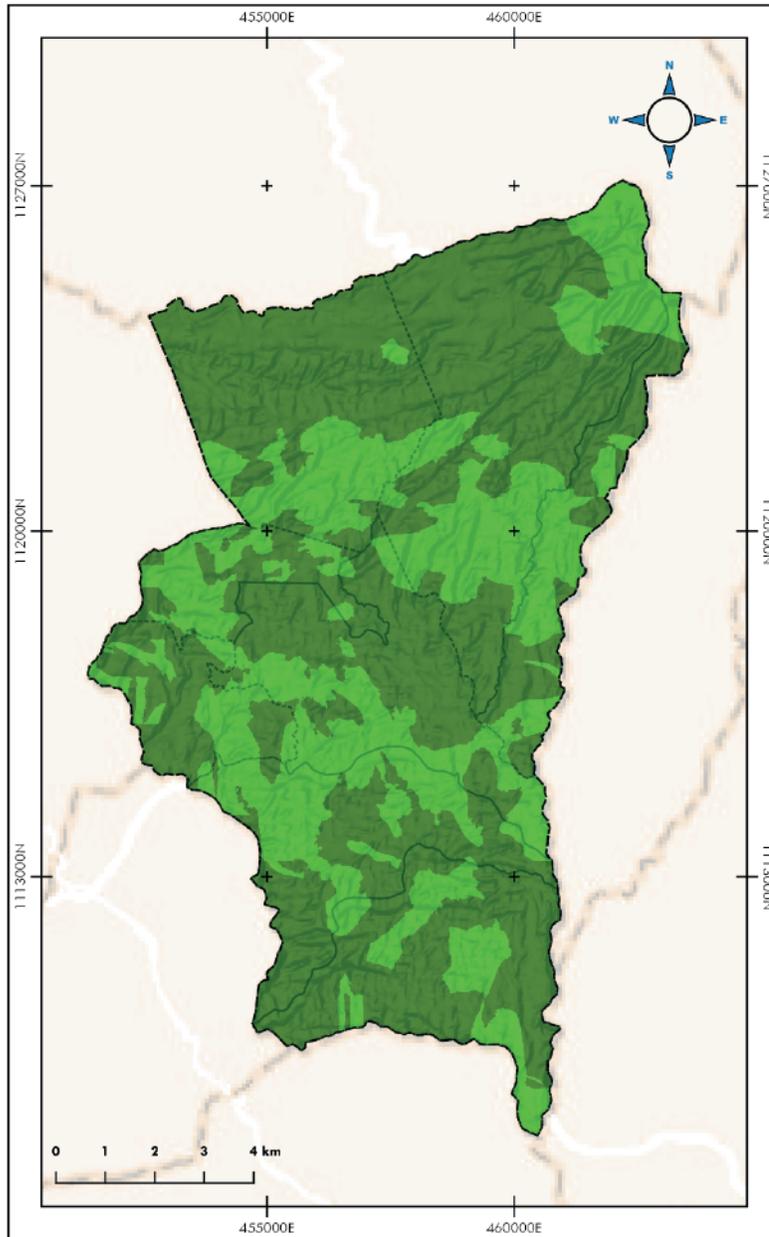
Dibujo a escala 1:110 000

Mayo del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE CAFÉ var Caturra.**  
Según criterio: Toxicidad por sales, sodio y aluminio.



**Legenda**

**Límite cantonal**

- Límite cantonal
- Límite distrital

**Aptitud**

- Media
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

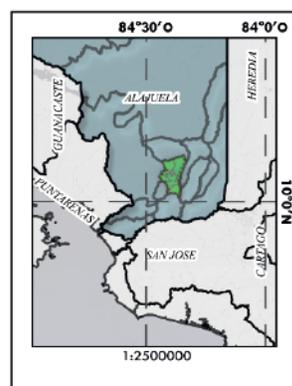
Proyección geográfica: CRTA05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

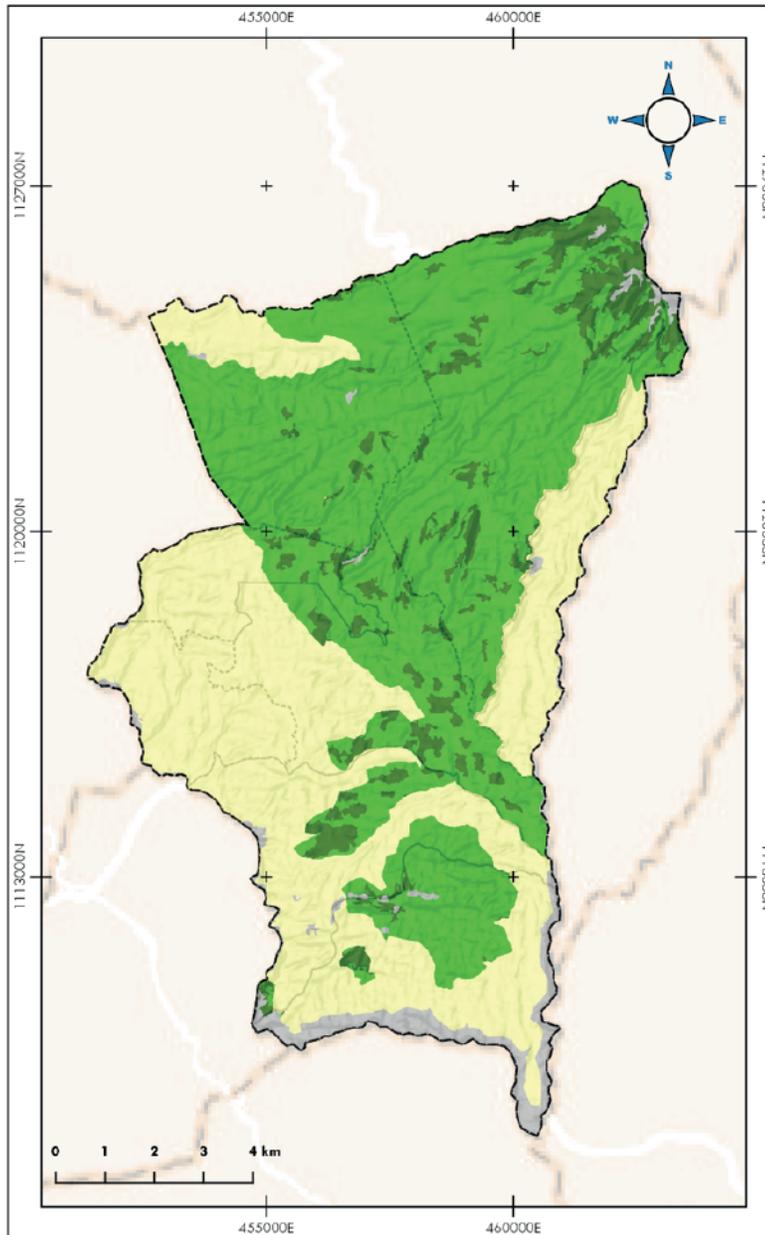
Dibujo a escala 1:110 000

Mayo del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE AGUACATE var Hass.**  
 Según criterio: Capacidad de siembra



**Legenda**

*Límite cantonal*

- Límite cantonal
- - - Límite distrital

*Aptitud*

- Exclusión
- Baja
- Media
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

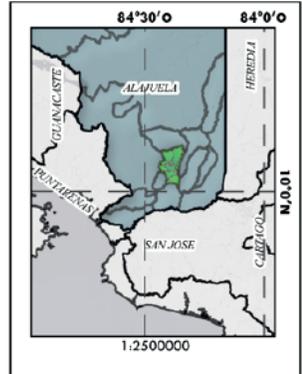
Proyección geográfica: CRTM05  
 Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
 Fuente: PROYECTO ZAE-JINTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

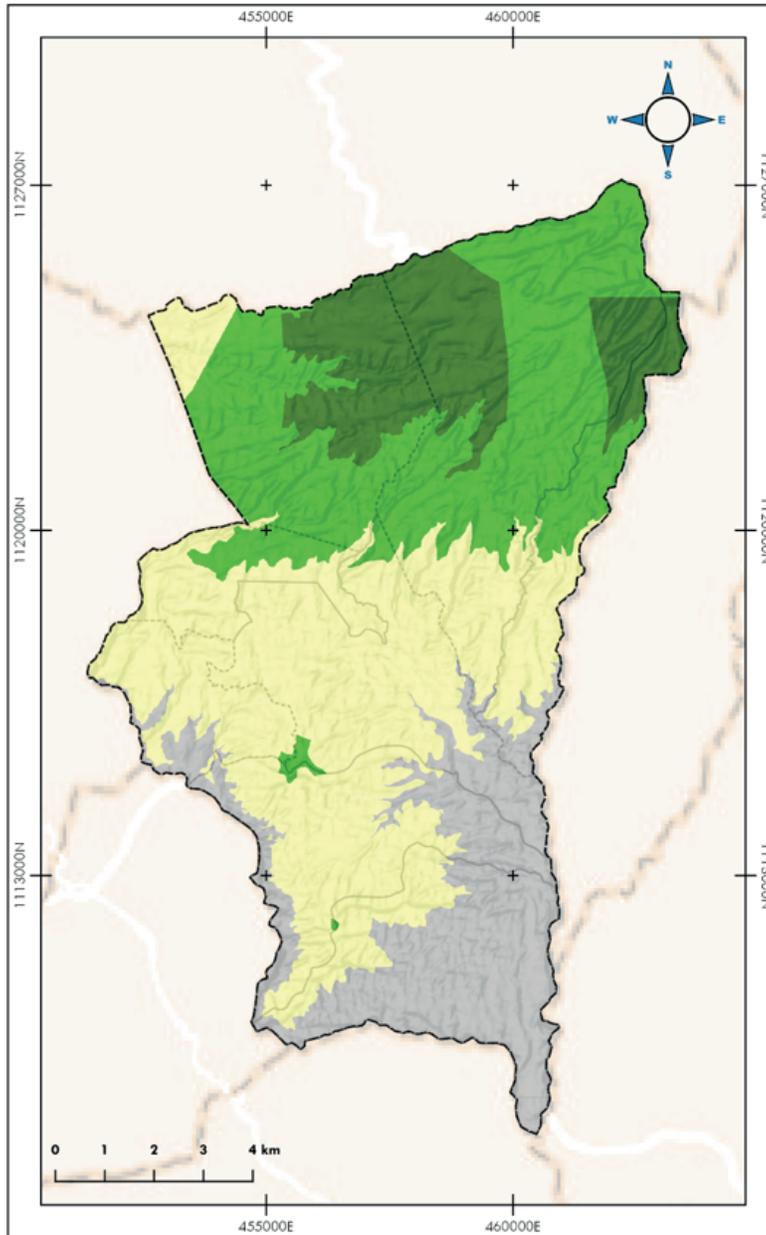
Dibujo a escala 1:110 000

Octubre del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE AGUACATE var Hass.**  
Según criterio: Condiciones climáticas



**Legenda**

**Límite cantonal**

- Límite cantonal
- Límite distrital

**Aptitud**

- Exclusión
- Baja
- Media
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

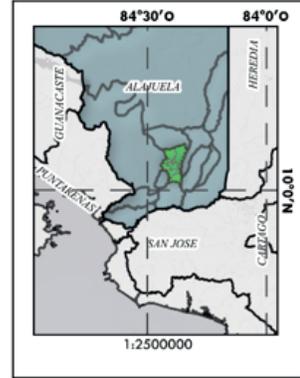
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

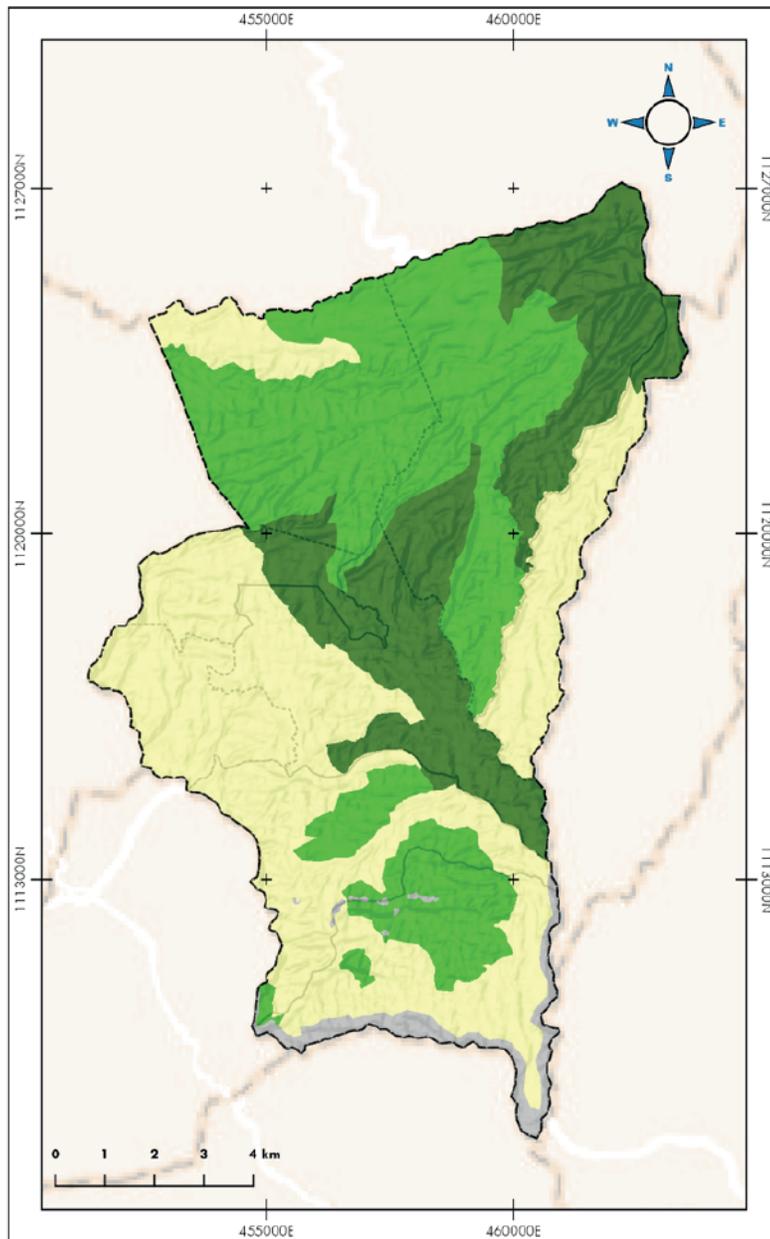
Dibujo a escala 1:110 000

Octubre del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE AGUACATE var Hass.**  
 Según criterio: Condiciones de enraizamiento



**Leyenda**

**Limite cantonal**

- Límite cantonal
- - - Límite distrital

**Aptitud**

- Exclusión
- Baja
- Media
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

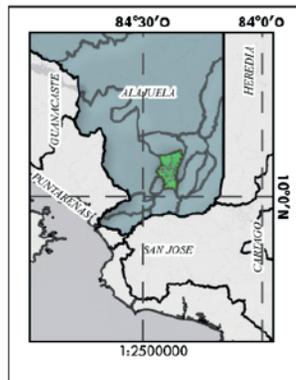
Proyección geográfica: CRTM05  
 Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
 Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

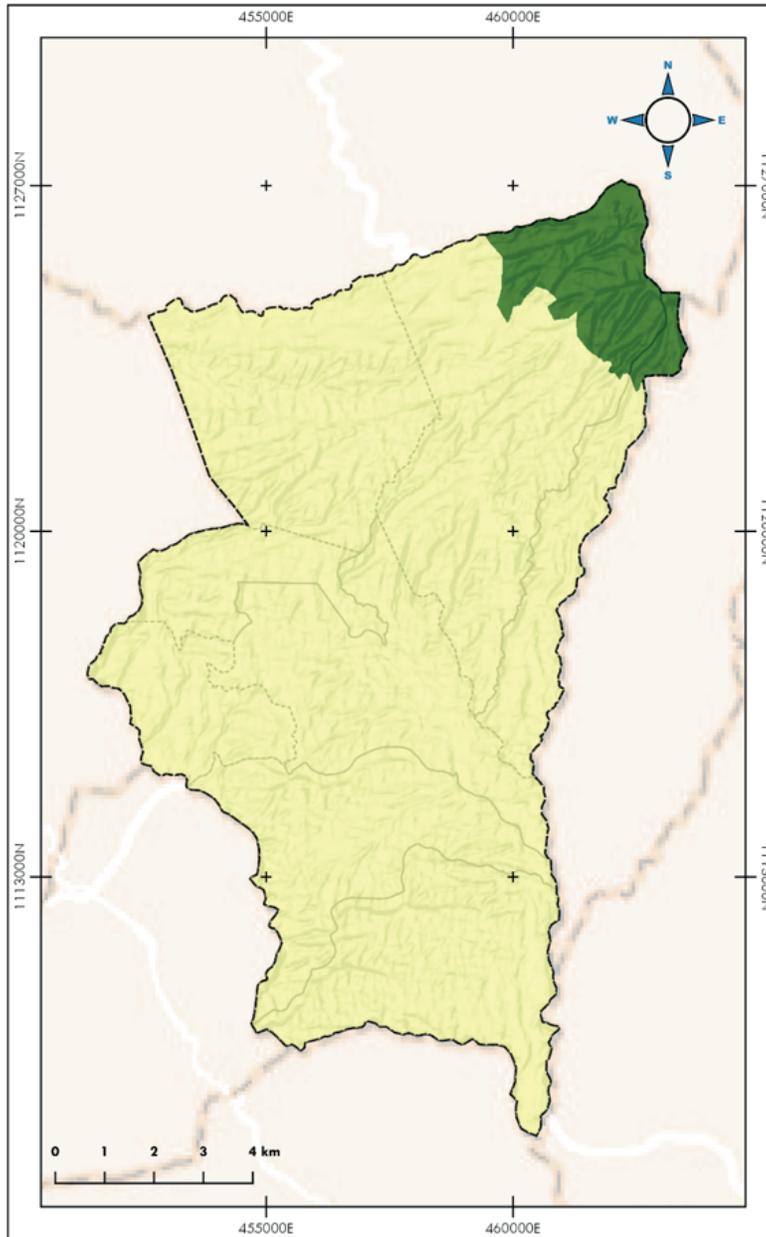
Dibujo a escala 1:10 000

Octubre del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE AGUACATE var Hass.**  
Según criterio: Disponibilidad de humedad



**Leyenda**

**Límite cantonal**

- Límite cantonal
- Límite distrital

**Aptitud**

- Baja
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

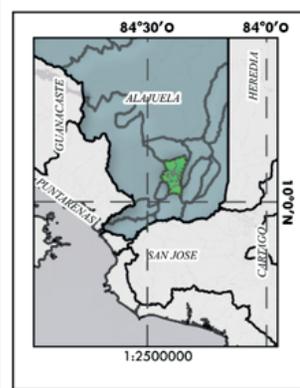
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

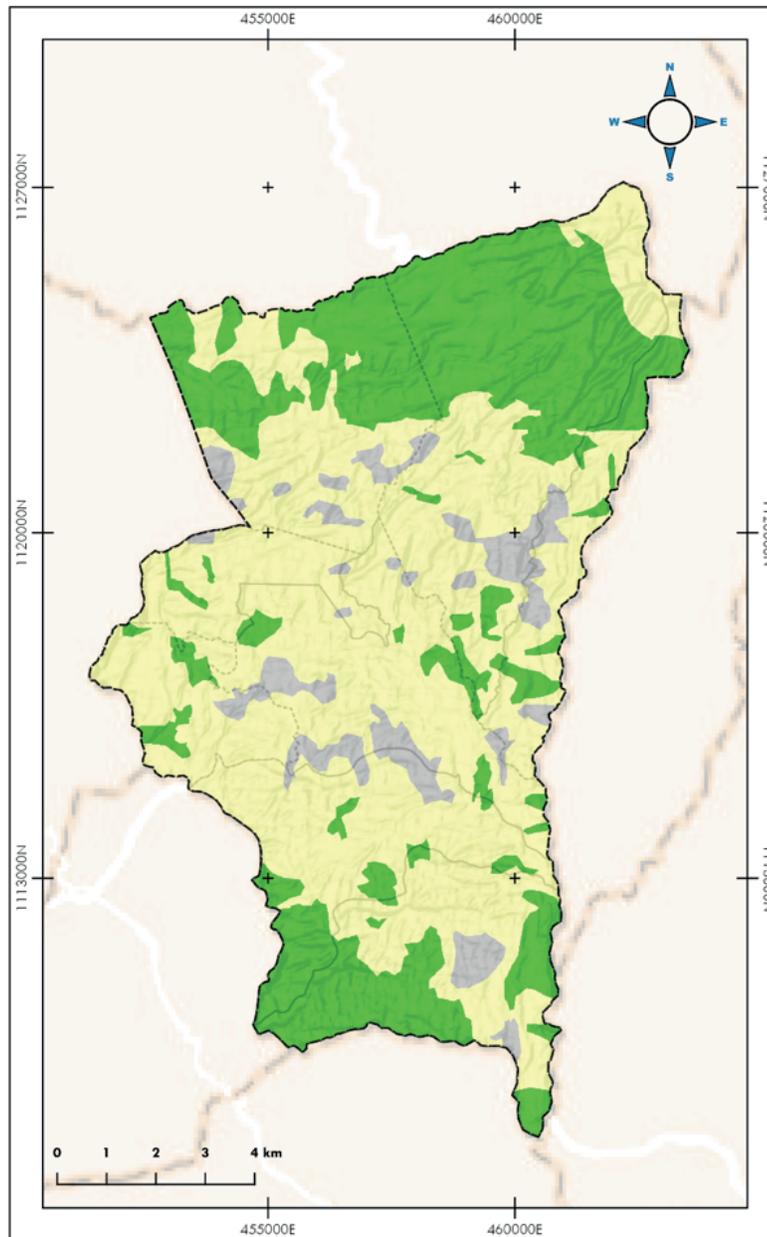
Dibujo a escala 1:110 000

Octubre del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE AGUACATE var Hass.**  
Según criterio: Disponibilidad de nutrientes



**Legenda**

**Límite cantonal**

- Límite cantonal
- - - Límite distrital

**Aptitud**

- Exclusión
- Baja
- Media

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

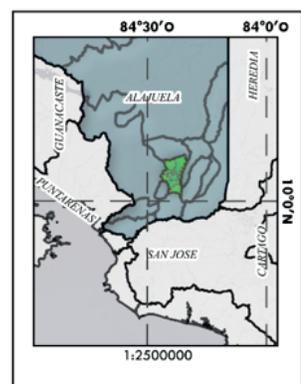
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

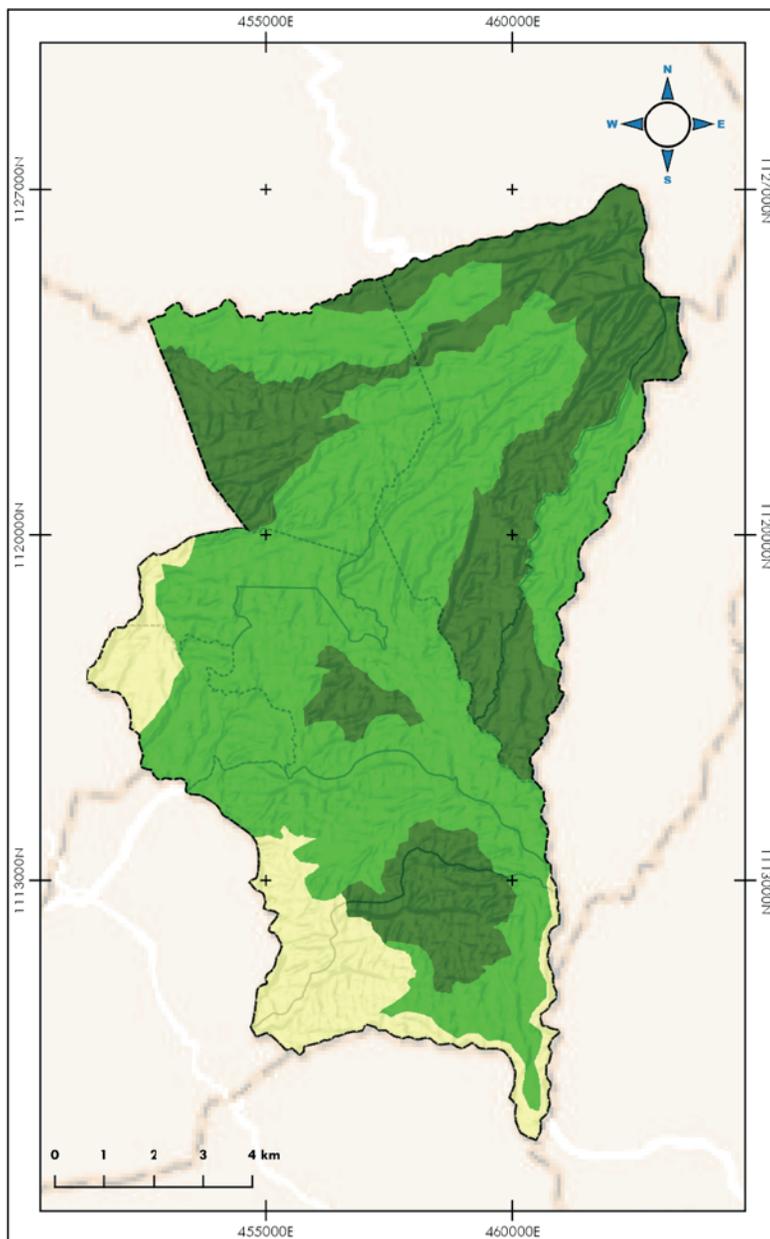
Dibujo a escala 1:110 000

Octubre del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE AGUACATE var Hass.**  
Según criterio: Disponibilidad de oxígeno



**Leyenda**

**Límite cantonal**

- Limite cantonal
- Limite distrital

**Aptitud**

- Baja
- Media
- Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

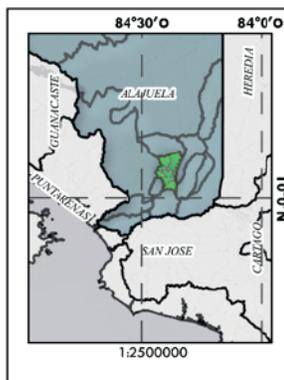
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

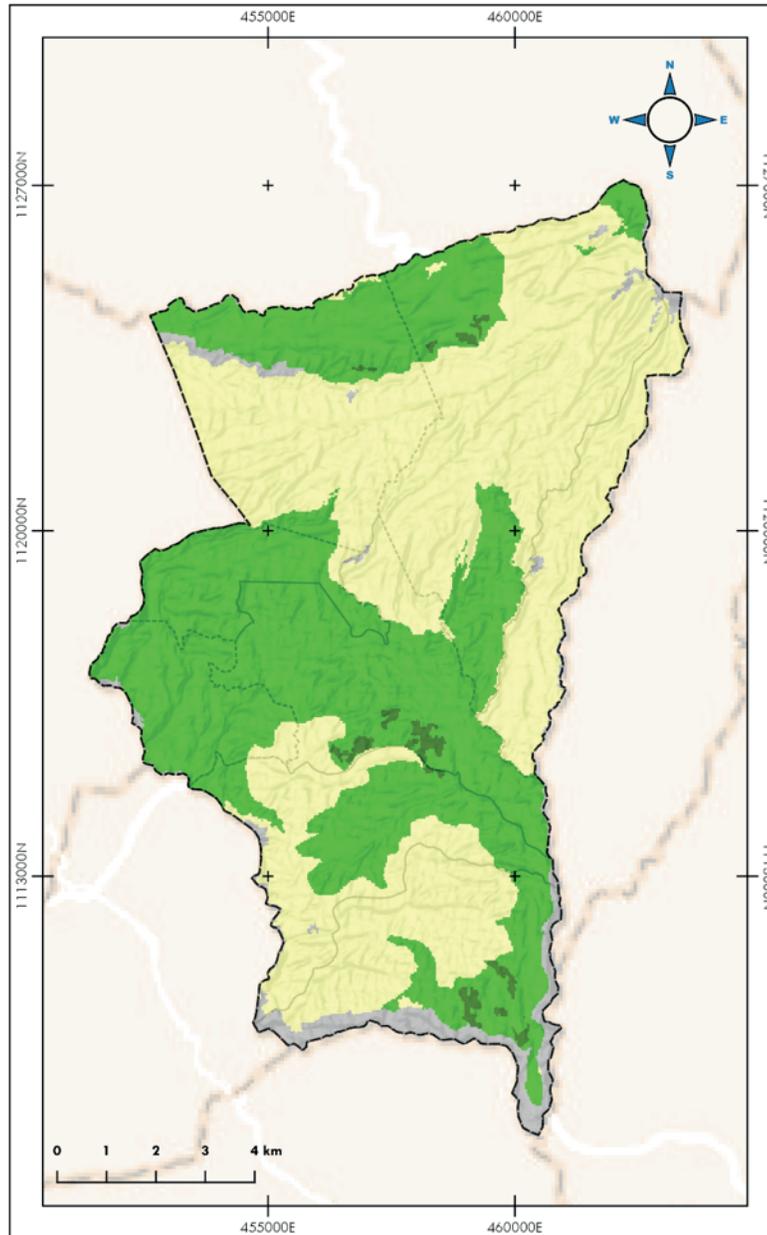
Dibujo a escala 1:110 000

Octubre del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE AGUACATE var Hass.**  
Según criterio: Susceptibilidad a pérdida de suelo



**Legenda**

**Límite cantonal**

Límite cantonal

Límite distrital

**Aptitud**

Exclusión

Baja

Media

Alta

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

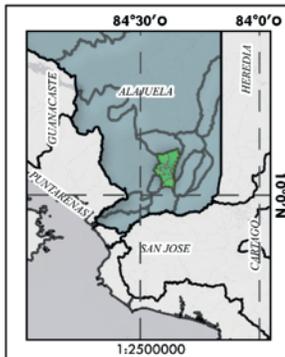
Proyección geográfica: CRTM05  
Datum: CR-SIRGAS / WGS 84  
Fuente: PROYECTO ZAE-INTA

Escala de análisis 1:50 000.

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

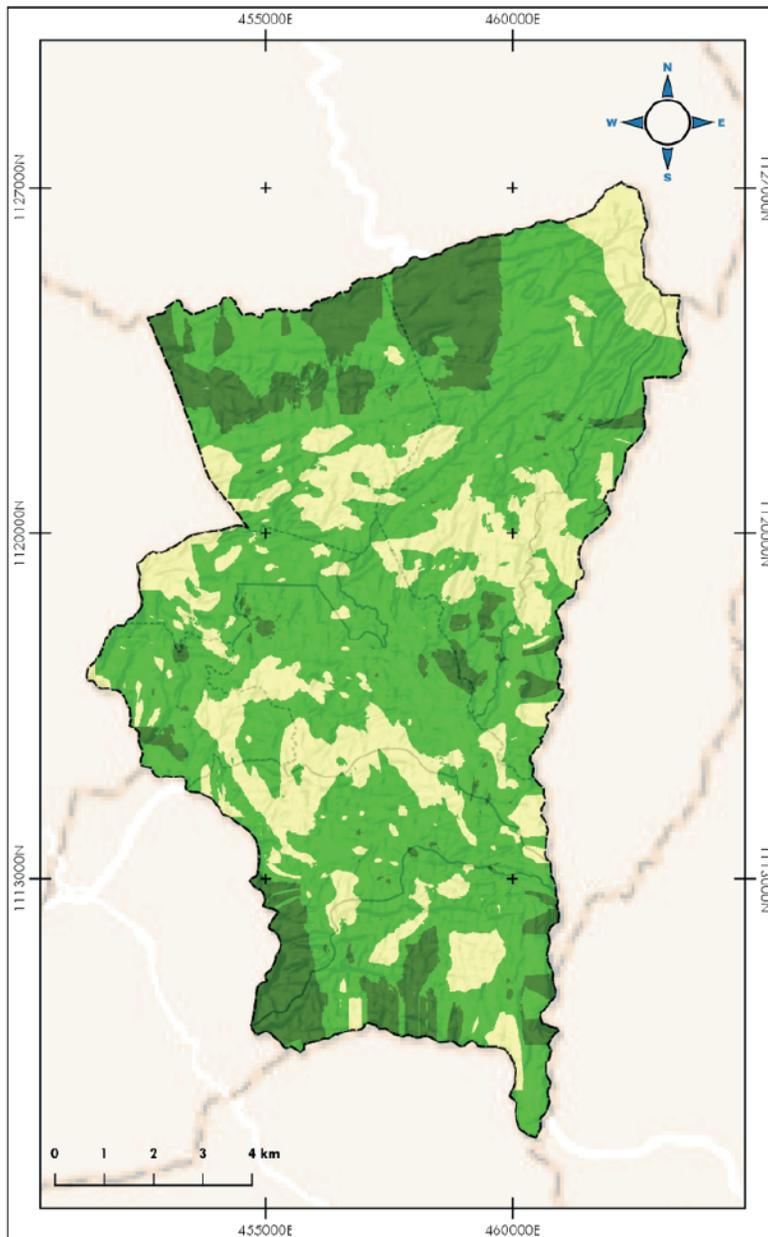
Dibujo a escala 1:110 000

Octubre del 2019





**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN DE NARANJO, ALAJUELA.**  
**ZONAS APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO COMERCIAL DE AGUACATE var Hass.**  
Según criterio: Toxicidad por sales y aluminio.



**Leyenda**

**Límite cantonal**

- Límite cantonal
- - - Límite distrital

**Aptitud**

- Exclusión
- Baja
- Media
- 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.  
Geógr. Eddison Araya Morales, M.Sc.  
Ing. Agr. Gustavo Corrales González

Dibujo a escala 1:110 000

Octubre del 2019

