











# Zonificación Agroecológica para el sector norte del cantón de Puriscal

# **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 sector norte del cantón de

Puriscal. Memoria técnica. -- San José, C.R.: INTA, 2019.

105 páginas

ISBN 978-9968-586-40-5

1. COSTA RICA. 2. ZONIFICACION. 3. AGROECOLOGIA.

4. PURISCAL. I. 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. Albán Rosales Ibarra

MSc. Eddison Araya

Ing. Víctor G. Corrales González

MSc. Renato Jiménez Zúñiga

MSc. Carlomagno Salazar Calvo

Ing. German Aguilar Vega

#### Componente de Transferencia de Tecnología

MSc. Laura Ramírez Cartín

Ing. Oscar Bonilla Arrazola

#### Revisado por:

MSc. 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



# Contenido

Presen	tación	7
Lista d	e abreviaturas	8
Resum	nen ejecutivo	9
Introdu	ıcción	11
1. Ante	ecedentes	13
1.1.	Cronología del proyecto	15
2. Marc	co Conceptual de la Zonificación Agroecológica	17
2.1.	Tipo de uso de la tierra	19
2.2.	Competitividad	19
2.3.	Enfoque ecosistémico	20
2.4.	Componente	21
2.5.	Criterio	21
2.6.	Variable	22
2.7.	Aptitud de las tierras	23
3. Met	odología	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	33
3.4.	Métodos y técnicas de análisis espacial para la obtención de zonificación agroecológica	47
3.5.	Socialización con diferentes actores del sector	54
4. Resi	ultados	57
4.1.	Zonificación agroecológica para el cultivo de limón persa (Citrus latifolia)	57
4.2.	Zonificación agroecológica para el cultivo de maracuyá (Passiflora edulis)	66
4.3	Zonificación agroecológica para el cultivo de pasto Cuba OM22 (Pennisetum sp.)	74

5. Con	clusiones y Recomendaciones	. 83
5.1.	Conclusiones respecto al proceso metodológico	. 83
5.2.	Conclusiones respecto a los resultados de la zonificación	. 84
5.3.	Recomendaciones	. 85
Bibliog	rafía	. 87
Anexos	S	. 91

## 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 y área ZAE	. 28
Figura 5.	Criterios y variables generales utilizadas en la metodología ZAE	. 46
Figura 6.	Diagrama de análisis espacial generalizado.	. 48
Figura 7.	Ejemplo de resultado de matriz de orden jerárquico.	. 50
Figura 8.	Ejemplo de resultado de ponderación de criterios mediante método Saaty - AHP	. 51
Figura 9.	Diagrama de proceso para la elaboración de mapa de zonificación agroecológica	. 52
Figura 10.	Ejemplo del proceso de desarrollo de mapas de aptitud por criterio	. 52
Figura 11.	Áreas de restricción y exclusión para el sector norte del cantón de Puriscal, San José.	. 53
Figura 12.	Frutos del limón persa (Citrus latifolia).	. 58
Figura 13.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal	
Figura 14.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de siembra para limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal	
Figura 15.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal.	
Figura 16.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	. 61
Figura 17.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	. 62
Figura 18.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	. 62
Figura 19.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a degradación de suelos para limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal	

Figura 20.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de oxígeno para limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal	63
Figura 21.	Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal	64
Figura 22.	Cultivo de maracuyá (Passiflora edulis).	66
Figura 23.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	68
Figura 24.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de siembra para maracuyá (Passiflora edulis) en el sector norte del cantón de Puriscal	68
Figura 25.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para maracuyá (Passiflora edulis) en el sector norte del cantón de Puriscal	69
Figura 26.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para maracuyá (Passiflora edulis) en el sector norte del cantón de Puriscal	69
Figura 27.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	70
Figura 28.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	70
Figura 29.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a degradación de suelos para maracuyá (Passiflora edulis) en el sector norte del cantón de Puriscal	71
Figura 30.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de oxígeno para maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	71
Figura 31.	Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de maracuyá (Passiflora edulis) en el sector norte del cantón de Puriscal, San José	72
Figura 32.	Pasto Cuba OM22 (Pennisetum sp.).	74
Figura 33.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para pasto Cuba OM22 ( <i>Pennisetum sp.</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	76
Figura 34.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de siembra para pasto Cuba OM22 ( <i>Pennisetum sp.</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	76
Figura 35.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para pasto Cuba OM22 ( <i>Pennisetum sp.</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	77
Figura 36.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para pasto Cuba OM22 ( <i>Pennisetum sp.</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	77
Figura 37.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para pasto Cuba OM22 ( <i>Pennisetum sp.</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	78
Figura 38.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio pasto Cuba OM22 ( <i>Pennisetum sp.</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	78
Figura 39.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a degradación de suelos para pasto Cuba OM22 ( <i>Pennisetum sp.</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	79
Figura 40.	Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de oxígeno para pasto Cuba OM22 ( <i>Pennisetum sp.</i> ) en el sector norte del cantón de Puriscal	79
Figura 41.	Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de pasto Cuba OM22 (Pennisetum sp.) en el sector norte del cantón de Puriscal	80

## Lista de cuadros

Cuadro 1.	Definición de clases de aptitud de tierras	. 23
Cuadro 2.	Tipos y fuentes de información utilizados	. 33
Cuadro 3.	Matriz de requerimientos técnicos para limón persa (Citrus latifolia).	. 58
Cuadro 4.	Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal, San José	. 65
Cuadro 5.	Matriz de requerimientos técnicos para el cultivo de maracuyá (Passiflora edulis)	67
Cuadro 6.	Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de maracuyá (Passiflora edulis) en el sector norte del cantón de Puriscal, San José	. 73
Cuadro 7.	Matriz de requerimientos técnicos para pasto Cuba OM22 (Pennisetum sp.)	. 75
Cuadro 8.	Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de pasto Cuba OM22 (Pennisetum sp.) en el sector norte del cantón de Puriscal. San José	. 81

## 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 Puriscal de los mapas digitales de suelos y capacidad de uso de las tierras a escala 1:50 000, sobre los cuales se basó el trabajo de Zonificación Agroecológica de los cultivos de limón persa, maracuyá y pasto Cuba OM22, cuyos resultados se detallan en la Memoria que aquí se presenta.

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

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

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

## Lista de abreviaturas

AHP: Proceso de Análisis Jerárquico (The Analytic Hierarchy Process),

desarrollado por Thomas L. Saaty.

EIN: Ente de Implementación Nacional.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura.

FITTACORI: Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y

Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica.

IFAM: Instituto de Fomento y Asesoría Municipal.

IMN: Instituto Meteorológico Nacional.

INDER: Instituto de Desarrollo Rural.

INTA: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología

Agropecuaria.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía.

PIMA: Programa Integral de Mercadeo Agropecuario.

PRIICA: Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de

Valor Agrícola (UE/IICA).

SEPSA: Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, MAG.

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

UPRA: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria de Colombia.

ZAE: Zonificación agroecológica.

## Resumen ejecutivo

Como parte del Proyecto Piloto denominado "Desarrollo de capacidades en técnicos y productores de la Región Central de Costa Rica en la implementación de una herramienta práctica para la zonificación agroecológica (ZAE) y escenarios para la adaptación al cambio climático" (Proyecto ZAE), se presenta la memoria técnica de la Zonificación Agroecológica para frutales y pastos del sector norte del cantón de Puriscal, provincia de San José; escala 1:50 000, la cual permite identificar y delimitar las áreas con aptitud para la producción de Limón persa (*Citrus latifolia*), Maracuyá (*Passiflora edulis*) y Pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp*), 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 multi-criterio, se obtuvieron los mapas de zonificación, los cuales identificaron las áreas de aptitud media, baja y de exclusión para cada uno de los rubros analizados. No se identificó ninguna superficie del cantón de Puriscal con condiciones de aptitud alta para ninguno de los rubros analizados.

Superficie (ha) del sector norte del cantón de Puriscal por cultivo y tipo de aptitud.

O. Hira	Tipo de aptitud					Total	%	Exclusión	0/	
Cultivo	Alta	%	Media	%	Baja	%	apto	%	Exclusion	%
Limón persa	ND	ND	6 038	40 %	2 371	16 %	8 409	56 %	6 760	44 %
Maracuyá	ND	ND	3 267	22 %	5 142	34 %	8 409	56 %	6 760	44 %
Pasto Cuba OM22	ND	ND	212	1 %	8 197	55 %	8 409	56 %	6 760	44 %
Área total zonificada 15 169 ha										



## 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, en beneficio de la sociedad costarricense.

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

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

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

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

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

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 los cultivos de limón persa, maracuyá y pasto Cuba OM22 en la parte norte del cantón de Puriscal.
- 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 del pasto Cuba OM22 y los cultivos maracuyá y limón persa en el sector norte del cantón de Puriscal. Se encuentra dividida en cinco capítulos. El primero desarrolla el contexto general del proyecto, que incluye el marco político y legal relacionado con la zonificación en Costa Rica. El segundo capítulo describe los fundamentos conceptuales y metodológicos sobre los cuales se basa la zonificación. El tercer capítulo describe la metodología utilizada que es una adaptación de la metodología de zonificación desarrollada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria de Colombia (UPRA-Colombia). En este sentido, el INTA agradece la cooperación institucional facilitada por los funcionarios Ricardo Siachoque Bernal y Luz Marina Arévalo Sánchez; y el apoyo virtual brindado por Edward Moreno Bojacá todos de la UPRA. El cuarto capítulo describe los resultados o mapas de zonificación y los mapas de variables y criterios de cada uno de los cultivos estudiados. El quinto capítulo describe las conclusiones y recomendaciones generales, recogidas como producto de la experiencia del desarrollo y aplicación de la metodología de zonificación aquí empleada. Además, se adjunta en los anexos los mapas de aptitud por criterio para cada cultivo en estudio.

Como resultado de este 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 subuso y sobreuso 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 FUNDECOOPERACIÓN, 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 multi-disciplinario 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 desarro-llados incluyen solamente aspectos edafoclimáticos.

#### 2.2. COMPETITIVIDAD

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

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

## 2.3. ENFOQUE ECOSISTÉMICO

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

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

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

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

#### 2.4. COMPONENTE

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

Los componentes para la zonificación agroecológica son: de tipo físico, socioecosistémico y socioeconómico. Para los efectos de la metodología desarrollada en este proyecto piloto, solamente se ha tomado en cuenta 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.

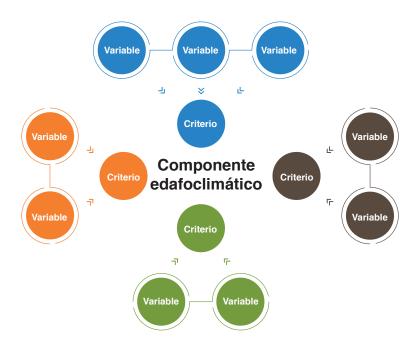


Figura 3. Esquema jerárquico del componente edafoclimático.

#### 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 cuatro 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			
	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.			
Apto	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 medias 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 con 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 creo un proceso metodológico robusto y confiable para realizar Zonificación Agroecológica aplicada a varios cultivos desde un enfoque multicriterio.

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

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

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

## 3.2. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Este proyecto de zonificación agroecológica, se desarrolla en la región sur del Valle Central específicamente en la parte norte del cantón de Puriscal, provincia de San José.

Puriscal es el 4to cantón de la provincia de San José. Su capital es la ciudad de Santiago de Puriscal. Las coordenadas geográficas medias del cantón de Puriscal están dadas por 09°44'04" latitud norte y 84°22'27" longitud oeste.

La anchura máxima es de cuarenta kilómetros, en dirección norte a sur, desde la confluencia del río Chucás con la quebrada La Pita hasta el río Chires, cerca del poblado del mismo nombre (IFAM 2002).

La extensión territorial del área de estudio comprende el distrito de Barbacoas, las partes norte de los distritos de San Antonio, Santiago, Candelarita y Mercedes Sur, el este y sur de Grifo Alto y la gran mayoría del distrito de Desamparaditos. En total 151,69 km² que representan el 27,4 % de los 553,7 km² que mide el cantón.



Escudo del cantón de Puriscal

#### 3.2.1. Reseña histórica.

En la época precolombina, el territorio que actualmente corresponde al cantón de Puriscal, fue parte de los dominios del cacique Pacacua; el cual estuvo habitado por indígenas del llamado Reino Huetar de Occidente. A inicios de la conquista, el cacique principal era Coquiva, súbdito de Garavito. Testimonio de ese hecho son los múltiples hallazgos arqueológicos, principalmente en las localidades actuales de ciudad de Santiago y villa Barbacoas, las cuales fueron grandes cementerios nativos (IFAM 2002).

Puriscal desde antes de la llegada de los españoles, ha sido una encrucijada importante, prueba de ello, es que fue lugar de paso de los indígenas que venían del noroeste e iban al suroeste del presente territorio nacional. Posteriormente, el conquistador don Juan de Cavallón, antes de internarse en el Valle Central y fundar en 1561 la Ciudad de Garcimuñoz, que se supone en Santa Ana, pasó por Puriscal. Durante la Colonia, el camino de mulas, que a partir de 1601, se utilizó para comerciar con Panamá, también pasó por la zona de Puriscal (Municipalidad de Puriscal 2019).

Se estima que la región comenzó a colonizarse a partir de 1815, con familias provenientes en su mayoría de los cantones actuales de Desamparados, Alajuelita y Tibás. En el gobierno de don Alfredo González Flores, se promulgó la ley N. 20 del 18 de octubre de 1915 sobre división territorial para efectos administrativos, que le otorgó el título de Villa. Posteriormente el 20 de julio de 1926, en la segunda administración de don Ricardo Jiménez Oreamuno, se decretó la ley No. 40, que le confirió a la villa, la categoría de Ciudad (IFAM 2002).

En Ley N. 20 del 7 de agosto de 1868, Puriscal se erigió en cantón de la provincia de San José. En esa oportunidad no se fijaron los distritos de este nuevo cantón. Puriscal procede del cantón de Escazú, establecido este último, en Ley N. 36 del 7 de diciembre de 1848 (Municipalidad de Puriscal 2019).

Limita al este con Acosta, al oeste con Turrubares, al sur con Parrita y al norte con Mora. El cantón de Puriscal tiene un área de 553,7 km² (Programa estado de la Nación / INEC 2013).

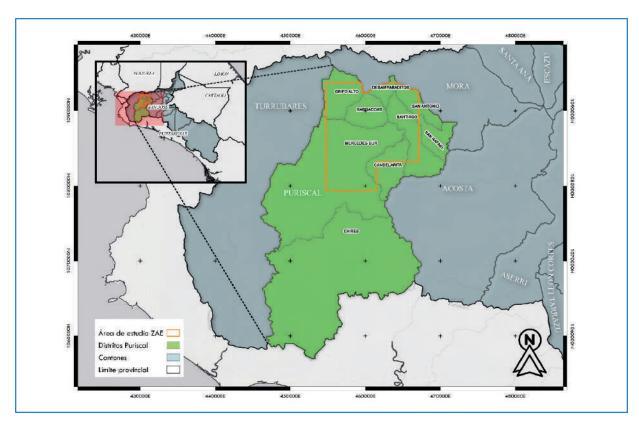


Figura 4. Ubicación cartográfica del cantón y área ZAE.

#### 3.2.2. Contexto socioeconómico

A principios del siglo XIX, Puriscal se constituyó en el granero de Costa Rica, ya que en la zona se producía la mayor parte de los productos que se consumían en el Valle Central, predominando en sus cultivos la producción de frijol y maíz, fue conocido también como tierra de agricultores y hombres valientes, que luego se fueron dispersando por diferentes partes del país y el mundo. Puriscal tiempo después fue uno de los lugares más importantes a nivel nacional en la siembra del tabaco (Asamblea Legislativa 2014).

Al respecto de este cultivo, su implementación productiva en el país inicia desde la época colonial a raíz de un estímulo externo, que provino básicamente de las preocupaciones fiscales y reglamentarias del estado español y condiciones internas ya que el cacao no había sido capaz de romper el círculo vicioso del estancamiento padecido por la provincia de Costa Rica (Ortega 1978).

La industria del tabaco en el siglo XVIII se caracterizaba por ser un mercado limitado a pocas exportaciones a Panamá y a la factoría en Granada de Nicaragua, sin lograr sacar a Costa Rica de la paralización productiva y tampoco introduciendo cambios en su estructura económica y social, porque por sus mismas condiciones técnicas de producción, no favoreció procesos de concentración de la propiedad territorial, ni la formación de grandes unidades productivas; de igual manera, el monopolio estatal impidió la constitución de una fuerte clase dominante, como la logró el café años después (Ortega 1978).

Sobre estas técnicas productivas, según el historiador español Jesús Rico Aldave autor del libro "La renta del tabaco en Costa Rica" (UMBRALES UNED 2016), pueden inferirse como muy intensivas, ya que no existía una especialización por parte de los agricultores en este cultivo, éstos eran principalmente humildes campesinos nuevos migrantes en las zonas cercanas a San José, que en sus pequeñas parcelas buscaban obtener las mayores rentas, utilizando casi generalizadamente métodos que no tenían en cuenta la conservación del recurso suelo o agua, significando a futuro consecuencias en la misma producción que se buscaba maximizar.

En parte como herencia de lo anterior, entre los años de 1940 a 1960, diferentes factores y malas prácticas agrícolas generaron una disminución en la productividad de los terrenos, lo cual propició un decrecimiento de la economía del área, afectando las condiciones de vida de sus habitantes.

Con el fin de contrarrestar este estancamiento y así intentar reactivar la economía local en los años sesenta se impulsan actividades productivas estimuladas por políticas de desarrollo que al final no lograron alejar del estancamiento del cantón.

A partir de los años ochenta, se da inicio a un proceso de impulso a la conservación de los recursos naturales, se incrementa la educación académica y técnica en los jóvenes de esa época, situación que genera una trasformación del cantón (Asamblea Legislativa 2014).

Los pobladores de Puriscal se caracterizan por su alto sentido de hospitalidad y honestidad, así como por ser sumamente trabajadores, sin embargo en este cantón en las últimas décadas se han dado situaciones especiales con su población, como por ejemplo encontramos en todas partes del país a puriscaleños que se han ido estableciendo poco a poco en actividades agrícolas y de comercio, y muchos pobladores de edad intermedia que poco a poco se han ido preparando en diferentes ramas profesionales, ocupando puestos importantes en la vida del país, quedando en el cantón de Puriscal, una cantidad importante de pobladores que han visto como la actividad económica y social se ha ido rezagando paulatinamente, a tal punto de que el cantón se constituye en este momento en un refugio dormitorio para sus habitantes (Asamblea Legislativa 2014).

#### 3.2.3. Hidrografía

El sistema fluvial del cantón de Puriscal, corresponde a la vertiente del Pacífico, el cual pertenece a las cuencas de los ríos Tusubres, Pirrís y Grande de Tárcoles. Los ríos Tulín, Galán Chires y Negro son límites cantonales; los dos primeros con Turrubares y los otros con Parrita de la provincia de Puntarenas (IFAM 2002).

La cuenca del río Pirrís es irrigada por el río Grande de Candelaria al que se le unen el río Quivel y su afluente río Cajón, lo mismo que el río Jorco con sus tributarios los ríos Tabarcia y San Francisco, así como el río Rey. Estos cursos de agua excepto los ríos Grande de Candelaria, Jorco y Tabarcia, nacen en Puriscal; los cuales presentan un rumbo de noreste a suroeste y de noroeste a sureste. Los ríos Grande de Candelaria, Jorco y Tabarcia son límites cantonales, los dos primeros con Acosta y el último con Mora.

La cuenca del río Grande de Tárcoles es drenada por el río Picagres y sus afluentes las dos quebradas con el nombre Grande; lo mismo que el río Chucás y su tributario la quebrada La Pita, así como por el río Turrubares, que recibe al río San José y a la quebrada Azul. Estos cursos de agua nacen en la región, los cuales presentan un rumbo de sureste a noroeste y de noreste a suroeste. Los ríos San José, Chucás y las quebradas Grande, La Pita y Azul son límites cantonales; el primero y la quebrada La Pita con Turrubares; y los otros con Mora (IFAM 2002).

#### 3.2.4. Clima

El clima en el área de la sección norte del cantón de Puriscal se caracteriza por ser cálido durante todo el año. La temperatura promedio es de 22 °C a 28 °C; el promedio anual de precipitación es de 2000 a 4000 mm, los meses secos son en promedio 4 al año (ITCR 2014).

#### 3.2.5. Geología

El cantón de Puriscal está constituido geológicamente por materiales de los períodos Cretácico, Terciario y Cuaternario; son las rocas sedimentarias del Terciario las que predominan en la región.

Del período Cretácico, se encuentran rocas de origen volcánico y sedimentario. Entre los materiales del período Terciario, se hallan rocas de origen sedimentario, volcánico e intrusivo. De los materiales del período Cuaternario, se localizan rocas de origen volcánico y sedimentario (IFAM 2002).

### 3.2.6. Geomorfología

El cantón de Puriscal presenta cuatro unidades geomórficas, denominadas a) forma de origen volcánico, b) origen tectónico y erosivo, c) originada por remoción en masa y d) de sedimentación aluvial. De estas se profundiza la descripción a continuación de la a) y c) ya que son las que se pueden ubicar dentro del área de estudio para el plan piloto de Zonificación Agroecológica.

La unidad de **origen volcánico** se divide en dos subunidades, llamadas serranía de laderas de fuerte pendiente y cerro de Turrubares. La primera subunidad se localiza en la zona comprendida por las villas de Desamparadito y San Antonio, los poblados Cacao, Piedades, Mercedes Norte, Floralia, Bocana y Llano Hermoso; está caracterizada por la facilidad de sus terrenos a originar deslizamientos; está compuesta principalmente por rocas volcánicas, aunque también hay sedimentarias, las primeras en su gran mayoría están profundamente meteorizadas, lo cual favorece los deslizamientos; su origen se debe a la erosión de las anteriores rocas. La subunidad cerros Turrubares se ubica en el sector comprendido por el poblado Alto Concepción, que es el área que drena la quebrada Azul y la confluencia de los ríos Tulín y Galán; donde los principales ríos y quebradas originan una topografía de fuertes pendientes, con interfluvios no muy anchos, menos de 100 metros, las pendientes más frecuentes son de 20 °; está compuesta por rocas del tipo ígneo encontrándose lavas y otras rocas volcánicas; así como rocas intrusivas; su forma actual se debe a la erosión fluviodenudativa (IFAM 2002).

La unidad de **origen tectónico y erosivo** se divide en dos subunidades, como son superficie de erosión alta y fila costeña. La primera subunidad se encuentra al sur del cantón. La subunidad fila Brunqueña, situada en la zona entre la confluencia de los ríos Tulín y Agua Caliente y el sector al sur del poblado Zapatón; la cual se orienta de acuerdo con la dirección estratigráfica de las rocas sedimentarias que la forman, la pendiente es fuerte con un pequeño escalón entre los 400 y 500 metros de elevación; su sistema de drenaje se aproxima al dendrítico, muy poco desarrollado, las diferencias de relieve son grandes y, entre fondo, valle y cima frecuentemente hay de 100 a 200 metros.

La unidad **originada por remoción en masa**, manifestada por el Deslizamiento de Santiago, ubicado entre la ciudad del mismo nombre y el poblado de Salitral. Este deslizamiento se mueve lentamente desde donde se localizaba el antiguo Hospital, hacia el noroeste, siguiendo la quebrada Cirrí y luego al noreste hasta llegar al río Picagres. Su longitud aproximada es de 2800 metros, con un ancho promedio de 300 metros y una pendiente de 15°. En el área urbana, se observa que su pendiente obedece a una serie de escalonamientos del terreno, los cuales son viejos saltos de grietas provocadas por el movimiento. Esta unidad se compone de rocas de origen volcánico excepto por pequeñas paleoterrazas. La meteorización ha alcanzado un alto grado y profundidad.

El área donde está ubicada ciudad de Santiago, constituye una vieja cabecera de deslizamiento, las cuales fueron reactivadas por la deforestación y el desequilibrio hídrico causado en el terreno.

La unidad de sedimentación aluvial está representada por el abanico del río Pirrís, el cual se localiza en el curso inferior del río Rey (IFAM 2002).

#### 3.2.7. Suelos

Según el mapa nacional de taxonomía de suelos escala 1:200 000, en el área de estudio predominan suelos de los órdenes ultisol e inceptisol y los subórdenes Ustuls, Humults y Ustepts (INTA - UCR 2013). En general estos suelos son de fertilidad media a muy baja, los niveles de fertilidad van a depender del uso histórico a que han sido sometidos y al nivel de degradación, principalmente porque están ubicados en una zona de fuertes pendientes que junto con el factor precipitación han favorecido los procesos erosivos.

# 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 la sección norte del cantón de Puriscal.

### 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			
Precipitación	Climática	IMN	2017
Brillo solar			
Régimen de humedad			
Profundidad efectiva			
Pedregosidad			
Textura	Suelos		
Pendiente	Sueios		
Susceptibilidad a la erosión	-	Reconocimiento de los suelos de Puriscal - Salitrales y Tabarcia - San Ignacio de Acosta Costa Rica. Alfredo Alvarado et al. CATIE 1982	
Susceptibilidad a inundaciones			2019
Drenaje natural			2019
Acidez (pH)			
Porcentaje de saturación de acidez			
Suma de bases del suelo	Fertilidad		
Carbono orgánico	i ertilidad		
Salinidad y sodicidad			
Acidez intercambiable			
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Procedimental	Klaus D. Goepel. AHP On Line Software. 2012	2015
Zonas silvestres protegidas		SINAC 2014	2017
Zonas urbanizadas	Referencia	INTA. Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra, 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 por 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 m3 de agua/ha) (UPRA 2016).

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

#### 3.3.2.3. Brillo solar

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

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

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

#### 3.3.2.4. Humedad relativa

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

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

#### 3.3.2.5. Régimen de humedad

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

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

#### 3.3.2.6. Profundidad efectiva de los suelos

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

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

#### 3.3.2.7. Pedregosidad

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

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

#### 3.3.2.8. Textura de los suelos

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

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

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

#### 3.3.2.9. 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.

#### 3.3.2.10. Susceptibilidad a la erosión

De acuerdo con Metodología para la Determinación de las Tierras Degradadas de Costa Rica (MEDET-CR) que se encuentra en fase de publicación, esta variable se obtiene como resultado de asignar un grado de susceptibilidad a la erosión de cada suborden de suelo ubicado en el área de estudio, tomando en cuenta las características físicas asociadas tales como: desarrollo de estructura, consistencia, conductividad hidráulica, humedad del suelo, drenaje interno, textura, contenido de M.O. y profundidad efectiva (CADETI s/f).

#### 3.3.2.11. 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).

### 3.3.2.12. Drenaje natural

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

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

#### 3.3.2.13. 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 forman 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).

#### 3.3.2.14. 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).

#### 3.3.2.15. Capacidad de intercambio catiónico

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, NH4 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 Cmol de carga por kg de suelo Cmol/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.

#### 3.3.2.16. Saturación de bases

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

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

#### 3.3.2.17. Porcentaje de materia orgánica en el suelo (Carbono Orgánico)

La vegetación fija el carbono de la atmósfera por fotosíntesis transportándolo a materia viva y muerta de las plantas. Los organismos del suelo descomponen esta materia transformándola a Materia Orgánica del Suelo (MOS). El carbono se libera de la biomasa para la MOS, en organismos vivos por un cierto tiempo o se vuelve a emitir para la atmósfera por respiración de los organismos (organismos del suelo y raíces) en forma de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, o metano CH<sub>4</sub>, 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 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).

#### 3.3.2.18. 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 evapore 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 se frecuentan 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).

#### 3.3.2.19. 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).

#### Componente socioecosistémico

El componente socioecosistémico aporta a la zonificación una mirada desde la estructura, función y dinámica 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 periféricos; parqueos y áreas cubiertas por asfalto o cemento; casas individuales y condominios; infraestructura hotelera; red de carreteras; áreas verdes (parques y prados) cuando representan menos de 20% del área de la unidad; edificaciones de servicios públicos (escuelas, hospitales), mercados o industrias, con sus infraestructuras asociadas (parqueos, infraestructuras de comunicación, áreas asfaltadas y verdes); cementerios con vegetación o sin ella.

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

#### **Bosques**

Ecosistema nativo o autóctono, intervenido o no, regenerado por sucesión natural u otras técnicas forestales, que ocupa una superficie de dos o más hectáreas, caracterizada por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado, con uno o más doseles que cubran más del setenta por ciento (70 %) de esa superficie y donde existan más de sesenta árboles por hectárea de 15 o más centímetros de diámetro medido a la altura del pecho (DAP)1.

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 continuo, 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 continuo, 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 de 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 permite el establecimiento o desarrollo del cultivo, por ejemplo, temperatura elevada o muy baja, muy poca profundidad efectiva, alta pendiente.

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

#### 3.3.4. Criterios contemplados para la metodología ZAE

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

La formulación de estos criterios surge en primer lugar de una propuesta general del equipo técnico quienes, 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 atmosfera en este espacio. Se compone de las variables Temperatura, Precipitación 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 de 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 de Profundidad efectiva, Textura y Pedregosidad.

#### 3.3.4.4. Criterio: Disponibilidad de humedad

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

#### 3.3.4.5. Criterio: Disponibilidad de oxígeno

Cualidad del suelo que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo está libre de saturación de agua, los poros del suelo permiten la libre circulación del CO<sup>2</sup> 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 una base de datos georreferenciada, proveniente de los cateos simples realizados durante la fase inicial del estudio semidetallado de suelos a escala 1:50000 del cantón de Alvarado, realizado como una contrapartida de INTA al Proyecto ZAE. Estos mapas se modelaron con la utilización de software R, aplicando dos métodos complementarios.

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

Se conforma por las variables de Acidez (pH), Suma de bases con Olsen modificado, Acidez intercambiable (Al+3 /kg de suelo), Porcentaje de Saturación de Acidez y Porcentaje de Carbono Orgánico.

#### 3.3.4.7. Criterio: Toxicidad por sales, sodio y aluminio

La concentración excesiva de minerales y nutrientes necesarios para las plantas puede llegar a ser tóxicos, 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 la degradación de suelos

Es el grado o nivel de vulnerabilidad de las tierras a ser afectadas por los agentes erosivos; integra las variables susceptibilidad a la erosión de suelos y la variable pendiente del terreno según la metodología para la Determinación de la Degradación de las Tierras de Costa Rica (CADETI s/f).

#### 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 presentas 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) generar la calificación del grado de incidencia que un factor tiene sobre los otros, comparándolos por pares; así mismo, mediante la generación de los vectores propios de estas relaciones (acción implícita en el proceso analítico jerárquico), se estima el grado de consistencia de las calificaciones como un valor de significancia estadística de las calificaciones, y a su vez, genera el valor de la ponderación para así poder realizar la suma lineal ponderada.

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

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

Un ejemplo de la aplicación de esta matriz de proceso se muestra en la siguiente imagen, corresponde al caso del cultivo de pasto Cuba OM22 para el sector norte del cantón de Puriscal.

MATRIZ MULTICRITERIO CUBA - OM 22									
	X	CONDICIONES CLIMATICAS			DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD	DISPONIBILIDAD DE OXIGENO	DISPONIBILIDA D DE NUTRIENTES	POR SALES	SUSCEPTIBILIDA D A PERDIDA DE SUELOS
	CONDICIONES CLIMATICAS	1	9	5	1	1	1	1	3
SC	CAPACIDAD DE SIEMBRA	9	1	5	1/5	1/5	1/2	1	1
MÁTICO	CONDICIONES DE ENRAIZAMIENTO	5	5	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3
FOCLIN	DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD	1	1/5	1/3	1	3	1/1	1	5
OS EDA	DISPONIBILIDAD DE OXIGENO	1	1/5	1/5	3	1	1	1	1
CRITERIOS EDAFOCLIMÁTICOS	DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES	1	1/2	1/5	1/1	1	1	2	1
S	TOXICIDAD POR SALES Y ALUMINIO	1	1	1/5	1	1	2	1	1
	SUSCEPTIBILIDAD A PERDIDA DE SUELOS	3	1	1/3	5	1	1	1	1
	RIESGO FITOSANITARIO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

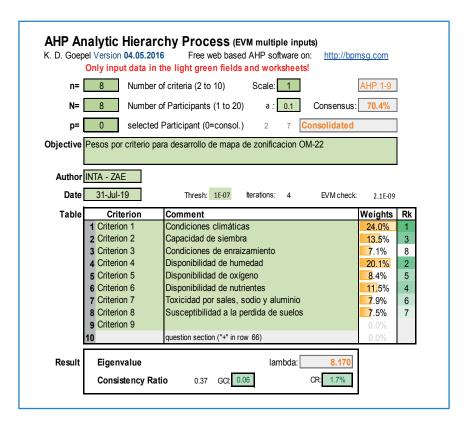
Tabla intensidad de la importancia entre elementos						
Intensidad de la importancia	Definición	Explicación				
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen igualmente al objetivo				
3	Importancia moderada	Experiencia y juicio favorecen levemente un elemento sobre otro				
5	Importancia fuerte	Experiencia 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 caunto 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 pasto Cuba OM22 para el sector norte del cantón de Puriscal con 8 participantes.

En este ejemplo el criterio "Condiciones Climáticas" tiene el peso más alto con 24,0 %, mientras que el criterio "Condiciones de enraizamiento" tiene el peso más bajo con un 7,1 %.



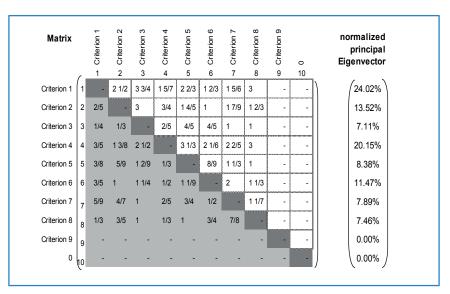


Figura 8. Ejemplo de resultado de ponderación de criterios mediante método Saaty - AHP.

No queda de más recalcar que los mapas elaborados se basan en el apoyo de los técnicos y personas conocedoras de los cultivos analizados, que fueron las que orientaron al equipo ZAE en la asignación de los porcentajes de peso para cada criterio según su grado de afectación a nivel productivo.

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

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

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



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

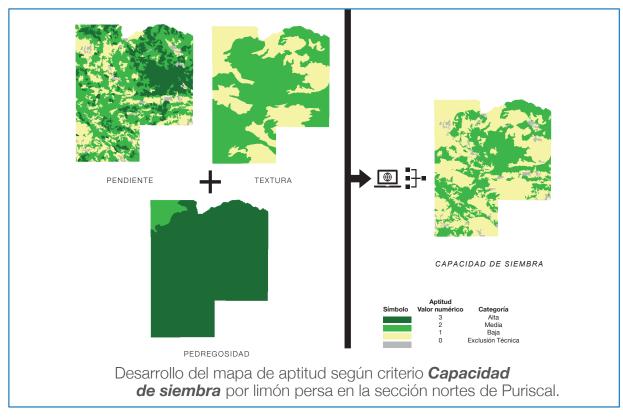


Figura 10. Ejemplo del proceso de desarrollo de mapas de aptitud por criterio.

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

Las exclusiones legales son aquellas áreas donde no se pueden realizar actividades productivas con fines comerciales, en tanto existe un marco normativo que impide dicho uso del suelo, mientras que las condicionantes normativas son áreas que tienen un marco legal que reconoce aspectos diferenciales de los pobladores y la forma en que toman decisiones sobre el uso que dan a su territorio.

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 sobreponen a los datos hasta el momento obtenidos de tal manera que cubran los resultados de la combinación de criterios.

Para la sección norte del cantón de Puriscal se identificaron las áreas que se muestran en la siguiente figura como las que deben ser excluidas en la zonificación.

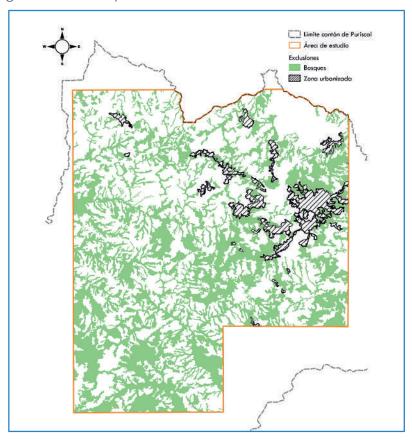


Figura 11. Áreas de restricción y exclusión para el sector norte del cantón de Puriscal, San José.

#### 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, en el caso del Proyecto ZAE, se decidió contrastar en caso de obtenerlos, datos de producción del cultivo de interés en contraposición de las áreas zonificadas de acuerdo con las categorías de aptitud y verificar si las tendencias corresponden adecuadamente.

Por otro lado, al analizar los mapas de zonificación, existe evidencia de que algunos agricultores (sin importar el rubro) logran muy buenas producciones, a pesar de que sus fincas están ubicadas en áreas de baja aptitud. Lo anterior se da como el resultado del empleo de buenas prácticas agrícolas que se convierten en medidas de adaptación a las limitantes edafoclimáticas. Esas fincas se convierten en vitrinas donde los técnicos pueden desarrollar diferentes actividades de extensión para la difusión de esas medidas entre los agricultores que comparten las mismas limitantes de suelo y clima.

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 sección norte del cantón de Puriscal 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 de la zonificación. Posteriormente se realizó un taller para los técnicos de la región con el fin de capacitarlos en el uso de la herramienta ZAE, es decir, el uso de las capas temáticas de zonificación para determinar las limitantes edafoclimáticas de una a varias fincas y poder recomendar las mejores medidas de adaptación.

Finalmente, se realizó una rendición de cuentas donde se presentaron los resultados finales del proyecto a todos los 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 en la parte norte del cantón de Puriscal para los 3 cultivos analizados.

# 4.1. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE LIMÓN PERSA (CITRUS LATIFOLIA)

El limón persa (*Citrus latifolia*) cómo se le conoce en algunos países latinoamericanos, o limón Tahití como se le llama en Estados Unidos y el norte, tiene como origen la isla de Tahití en Asia. Se dice que la mayoría de los cítricos que se conocen en el mundo actual cómo lo son: mandarina, naranja y limón, son todos originarios de Asia. Muchos de estos han sido introducidos satisfactoriamente a lugares en donde el clima, suelo y manejo funciona de una manera similar y óptima para el cultivo (Sierra 2015).

El árbol del limón persa es moderadamente vigoroso, de mediano a grande donde puede alcanzar alturas de 4,5 a 6 metros, de ramas con pocas espinas cortas y puntiagudas. Las hojas son anchas-lanceoladas y con pecíolos alados; los brotes jóvenes son de color púrpura que después cambian a verde. Posee flores blancas y pequeñas. El fruto es ovalado y generalmente redondeado en la base. La cáscara del limón Tahití es de color verde intenso hasta que madura y se torna a amarillo pálido, mientras que la pulpa tiene un color amarillo verdoso cuando madura. El fruto usualmente no tiene semilla (INTAGRI 2018).

El cultivo de limón fue introducido en américa por los españoles en la época de la colonia. Esta especie fue importante debido a la adaptabilidad que tuvo en Centroamérica y el sur de los Estados Unidos. En los años 1940 esta especie fue cultivada con el fin de producción a mayor escala y con fines de comercialización dentro de los países latinoamericanos gracias a su particular sabor cómo acompañante en las comidas y bebidas (Sierra 2015).

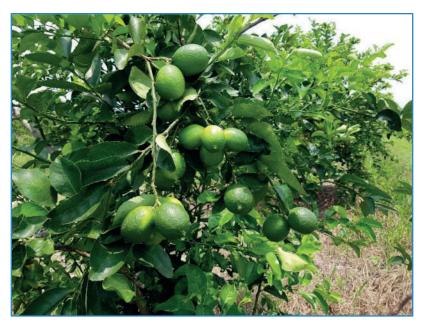


Figura 12. Frutos del limón persa (*Citrus latifolia*). Fuente: Intagri.com 2019

# 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 limón persa. 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 limón persa (Citrus latifolia).

Criterios	Variables	Unidades	Alto	Medio	Bajo	Exclusión
	Altitud	Msnm	>400 - ≤800	≥0 - ≤400 y >800 - <1200	≥1200 - ≤1400	>1400
	Temp. Prom/anual		>18 - <28	≥15 - ≤18 y ≥28 - <30	≥30 - ≤32	>32
	Temperatura máx.	20/222	<28	≥28 - <30	≥30 - ≤32	>32
Ocadiaisas	Temperatura min	°C/año	>18	≥15 - ≤18	Nd	<15
Condiciones climáticas	Precipitación	mm/año	≥2500 - <3000	≥2000 - <2500	≥1500 - <2000 y ≥3000 - ≤3500	<1500 y >3500
	Época seca	Dsc/ciclo	≥30 - <45	≥45 y <60	≥60 - <120	<30 y ≥120
	Humedad relativa	%	≥70 - <75	≥75 - <80	≥60 - <70 y ≥80 - <85	<60 y ≥85
	Brillo solar	Horas luz/día	>7	≥5 - ≤ 7	≥4 - <5	<4
	Vientos	Km/h	≥5 - <15	≥15 - ≤25	>25 - ≤30	>30

Criterios	Variables	Unidades	Alto	Medio	Bajo	Exclusión
	Pendiente	%	≥0 - <30	≥30 - <50	≥ 50 - ≤75	≥75
Capacidad de siembra	Textura	Clase textural	Mediana	Mod. Finas	Mod. Gr-finas	Gruesas y muy finas
	Pedregosidad	Categoría	SP-LP	Mod. P-P	Muy P.	FP y EP
	Profundidad efectiva	Cm	≥120	≥60 - <120	≥30 - <60	<30
Condiciones de enraizamiento	Pedregosidad	Categoría	SP-LP	Mod P-P	Muy P	FP y EP
	Textura	Clase textural	Mediana	Mod. Finas	Mod. Gr-finas	Gruesas y muy finas
Disponibilidad	Textura	Clase textural	Mediana-mod. Finas	Finas	Mod. Gr	Gruesas y muy finas
de humedad	Régimen de humedad	Adimensional	Nd	Údico	Ústico	Ácuico
5	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nulo	Leve	Moderado	Severo y muy severo
Disponibilidad de oxígeno	Drenaje natural	Adimensional	Bueno	Mod. Excesivo	ND	Nulo-excesivo- lento-mod. Lento-muy lento
	Aluminio	Cmol/I	≤ 0,5	>0,5 a <1	≥1 a ≤1,5	>1,5
	Suma de bases	Cmol/I	≥15	>7 a <15	≥4 a ≤7	< 4,0
Disponibilidad	Acidez	рН	≥5,5 a <7,5	≥5,0 a <5,5	≥4,5 a <5,0	<4,5
de nutrientes	Saturación de aluminio	%	≤ 10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	Carbono orgánico	%	>5	>2 a ≤5	≥0,5 a ≤2	<0,5
Toxicidad por	Salinidad y/o sodicidad	Dsc/cm 2	ND	ND	ND	ND
sales, sodio y aluminio	Saturación de aluminio	%	≤10	> 10 a ≤ 30	>30 a ≤50	<50
	Pendiente	%	≥0 - <30	≥30 - <50	≥ 50 - ≤75	≥75
Susceptibilidad a degradación de suelos	Erosión actual	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Muy baja	Leve	Moderada	Alta

#### Observaciones:

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

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

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

# 4.1.2. Conformación de los criterios según aptitud y variable

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

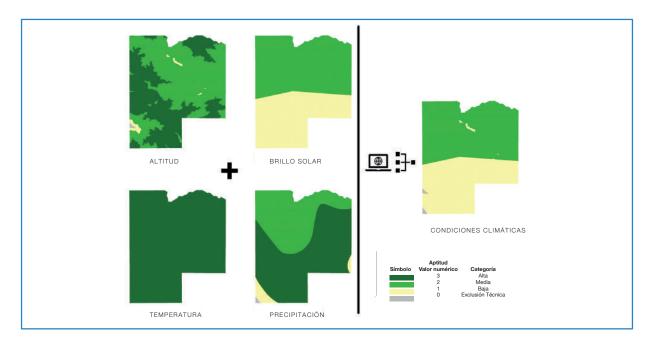


Figura 13. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal.

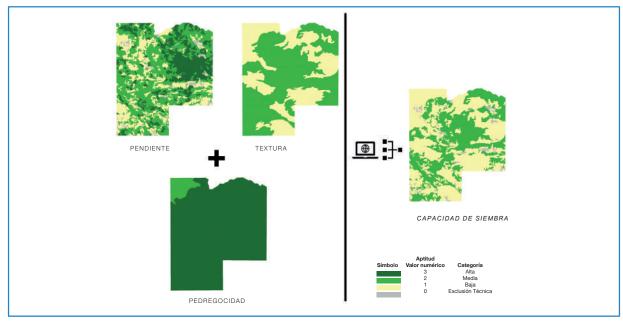


Figura 14. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de siembra para limón persa (*Citrus latifolia*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

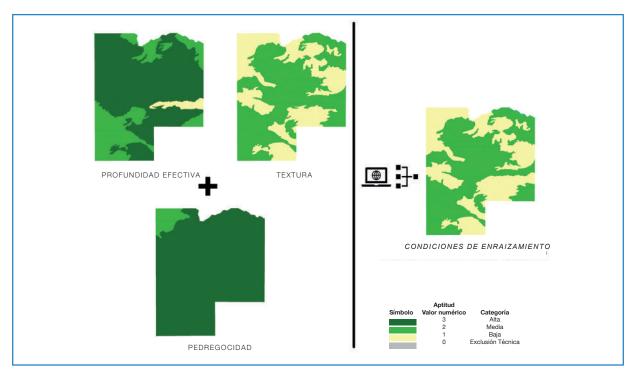


Figura 15. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para limón persa (*Citrus latifolia*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

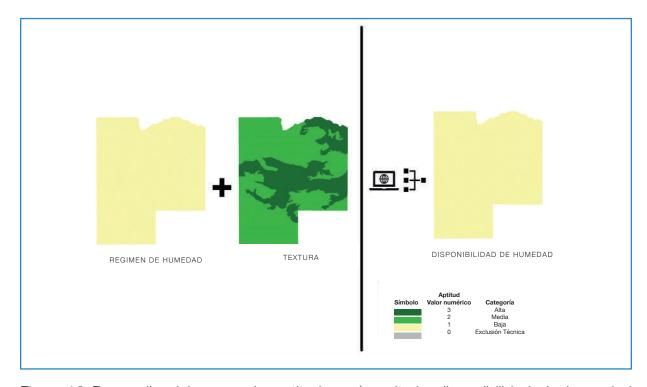


Figura 16. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal.

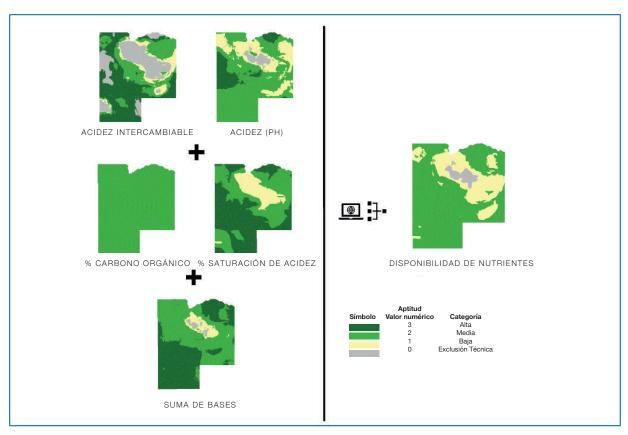


Figura 17. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para limón persa (*Citrus latifolia*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

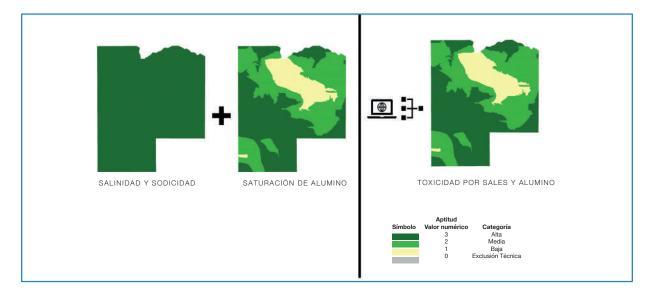


Figura 18. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para limón persa (*Citrus latifolia*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

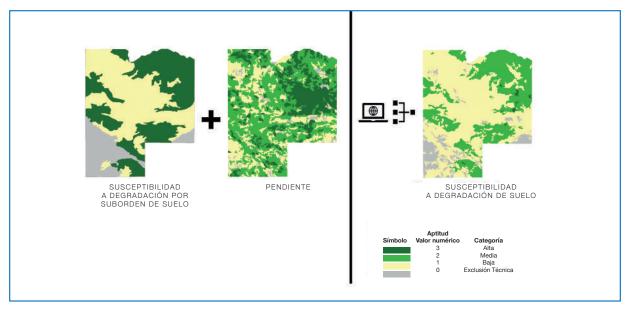


Figura 19. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a degradación de suelos para limón persa (*Citrus latifolia*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

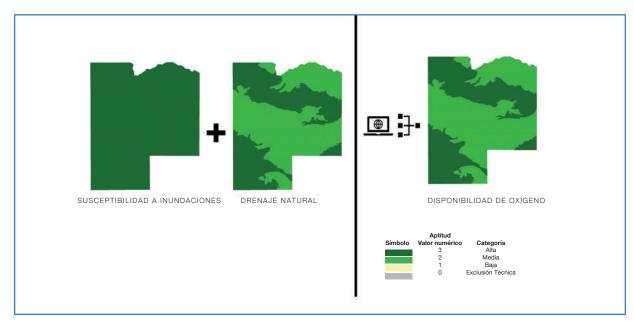


Figura 20. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de oxígeno para limón persa (Citrus latifolia) en el sector norte del cantón de Puriscal.

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

A partir de la combinación de criterios con base en los pesos asignados por los especialistas se aplicó el modelo para generar el mapa de zonificación para el cultivo de limón persa el cual se presenta a continuación.

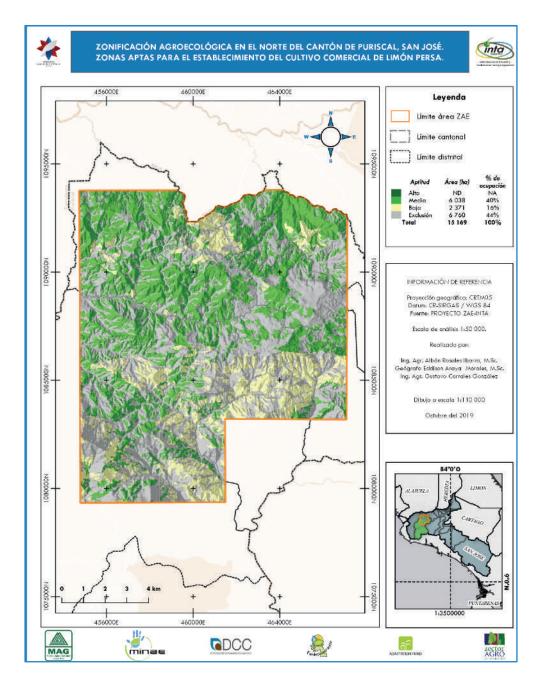


Figura 21. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de limón persa (*Citrus latifolia*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

Cuadro 4. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de limón persa (*Citrus latifolia*) en el sector norte del cantón de Puriscal, San José

Símbolo	ı	Aptitud	Ávec (ha)	% de ocupación	
	Valor numérico	Categoría	Área (ha)		
	3	Alta	0	0 %	
	2	Media	6 038	40 %	
	1	Baja	2 371	16 %	
	0	Exclusión técnica	6 770	44 %	
Total			15 169	100 %	

Fuente: Elaboración propia resultados de análisis.

El sector norte del cantón de Puriscal reúne 8 409 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo de limón persa, lo que representa el 56 % del área total evaluada. Esta aptitud se clasifica entre los niveles media y baja y se distribuye en 6038 ha (40 %) y 2371 ha (16 %) respectivamente. En este sitio no se encontraron áreas de aptitud alta para este rubro, mientras que el 44 % del área de estudio presenta algún tipo de exclusión legal o técnica para su desarrollo.

Al analizar las variables y criterios involucrados, se nota que el criterio de condiciones climáticas es el factor que más condiciona los resultados de la zonificación, dentro de este criterio la variable de brillo solar es la que representan la mayor condicionantes de la aptitud de estas tierras para este cultivo. En cuanto al criterio capacidad de siembra, son las variables de pendiente del terreno y texturas las que principalmente condicionan la aptitud de tierras. Por otro lado, la variable textura es la principal condicionante del criterio condiciones de enraizamiento. Por su parte, la disponibilidad de humedad está condicionada por el régimen de humedad del suelo que es ústico, lo cual indica la existencia de un período seco bien definido de 4 meses, donde las necesidades de riego son evidentes.

El criterio disponibilidad de nutrientes indica que los suelos del área de estudio tienen una fertilidad media, baja y muy baja. La acidez intercambiable (AI) y la correspondiente saturación de acidez son factores a tomar en cuenta junto con la suma de bases que condicionan la aptitud de estas tierras para el desarrollo de casi cualquier cultivo. Lo anterior también se evidencia en el mapa de aptitud del criterio de toxicidad por sales y aluminio. El mapa de criterio de susceptibilidad a degradación de suelos muestra una zona amplia de aptitud baja, condicionado principalmente por las fuertes pendientes y la alta susceptibilidad a la erosión mostrada por los suelos de la zona. Contrario a lo anterior, un drenaje bueno facilita la presencia de una buena disponibilidad de oxígeno en el suelo.

# 4.2. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE MARACUYÁ (PASSIFLORA EDULIS)

El cultivo de maracuyá es originario de la región amazónica del Brasil, de donde fue difundida a Australia, pasando luego a Hawái en 1923. En la actualidad se cultiva en Australia, Nueva Guinea, Sri Lanka, Sud-África, India, Taiwán, Hawái, Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela y en Colombia principalmente.

El maracuyá es una planta trepadora, vigorosa, leñosa, perenne, con ramas hasta de 20 metros de largo, tallos verdes, acanalados en la parte superior y glabros, zarcillos axilares más largos que las hojas enrolladas en forma espiral. Las hojas son de color verde lustroso con pecíolos glabros acanalados en la parte superior; posee dos nectarios redondos en la base del folíolo, la lámina foliar es palmeada y generalmente con tres lóbulos (EnColombia.com 2014).

Las principales zonas de producción en Costa Rica son: Región Norte, Pacífico Central y si se cuenta con riego, el Pacífico Seco. En regiones donde la precipitación está bien distribuida, la siembra puede realizarse en cualquier mes del año. Donde existe época seca, se recomienda hacer la siembra en los meses de mayo a julio; si hay riego, el trasplante puede hacerse un cualquier momento.

La planta inicia la producción entre el sexto y séptimo mes después del trasplante. Las épocas de mayor cosecha varían según la zona, el régimen de riego y la época de trasplante. La recolección es manual, ya que la fruta madura cae naturalmente en el suelo, y con una frecuencia de dos veces por semana cuando la cosecha es baja. En los picos de cosecha debe recolectarse hasta cuatro veces por semana para evitar la pudrición del fruto (Montero 1991).



Figura 22. Cultivo de maracuyá (Passiflora edulis). Fuente: agroingeniacanarias.com 2019

# 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 maracuyá. 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 el cultivo de maracuyá (Passiflora edulis)

Criterios	Variables	Unidades	Alto	Medio	Bajo	Exclusión
	Altitud	Msnm	>500 - ≤1000	>300 - ≤500 y >1000 - ≤1200	≥0 - ≤300	>1200
	Temperatura	°C/año	>24 - ≤28	≥20 - ≤24	>28 - ≤30	<20 y >30
	Precipitación	mm/año	>2000 - ≤2500	>1000 - ≤2000	≥900 - ≤1000	<900 y >2500
Condiciones climáticas	Época seca	Dsc/ciclo	<30	≥30 - ≤45	>45 - ≤60	>60
Cirriatioas	Humedad relativa	%	>65 - ≤75	>75 - ≤80	≥60 - ≤65	<60 y >80
	Brillo solar	Horas luz/día	>7	≥6 - ≤7	≥5 -≤6	<5
	Vientos	Km/h	<15	≥15 - ≤25	>25 - ≤30	>30
	Textura	Clase textural	Mod. Finas	Mediana	Fina - mod.gr	Gr muy finas
Capacidad de	Pendiente	%	≥0 - ≤15	>15 - ≤30	>30 - ≤50	>50
siembra	Pedregosidad	Categoría	SP - LP - Mod. P- P	Muy P.	FP	EP
	Profundidad efectiva	Cm	>90 - ≥120	≥60 - ≤90	≥30 - < 60	<30
Condiciones de enraizamiento	Pedregosidad	Categoría	SP - LP - Mod. P- P	Muy P.	FP	EP
	Textura	Clase textural	Mod. Finas	Mediana	Fina - mod.gr	Gr muy finas
Disponibilidad	Textura	Clase textural	Mod. Finas, finas	Mediana	Mod. Gr.	Gr. Muy finas
de humedad	Régimen de humedad	Adimensional	ND	Údico	Ústico	Acuico
Disponibilidad	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nula	Leve	Moderado	Alta
de oxígeno	Drenaje natural	Adimensional	Bueno	Mod. Excesivo	Mod. Lento	Lento, muy lento, nulo, excesivo
	Aluminio	Cmol/I	≤ 0,5	>0,5 a <1	≥1 a ≤1,5	>1,5
	Suma de bases	Cmol/I	≥15	>7 a <15	≥4 a ≤7	< 4,0
Disponibilidad	Acidez	рН	≥5,5 a <7,5	≥5,0 a <5,5	≥4,5 a < 0	<4,5
de nutrientes	Saturación de acidez (al)	%	≤10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	C.O.	%	>5	>2 a ≤5	≥0,5 a ≤2	<0,5
Toxicidad por	Salinidad	Ds/m	≥1,6 - ≤2,6	≥1 - <1,6	>2,6 - ≤3	>3
sales y aluminio	Saturación de acidez (al)	%	≤ 10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	Pendiente	%	≥0 - ≤30	>30 - ≤40	>40 - ≤50	>50
Susceptibilidad	Erosión actual	Adimensional	Nula-leve	Moderada	Severa	Muy severa
a degradación de suelos	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Alta

Observaciones:

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

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

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

# 4.2.2. Conformación de los criterios según aptitud y variable

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

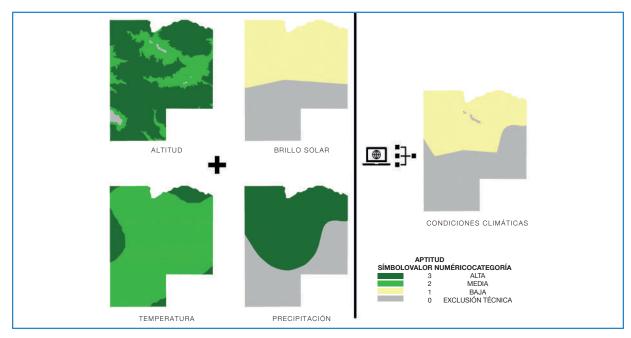


Figura 23. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para maracuyá (Passiflora edulis) en el sector norte del cantón de Puriscal.

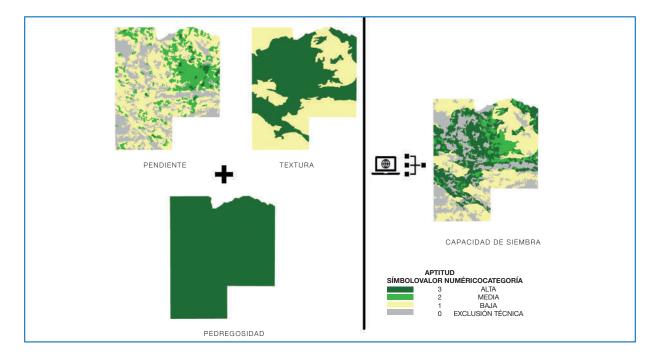


Figura 24. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de siembra para maracuyá (*Passiflora edulis*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

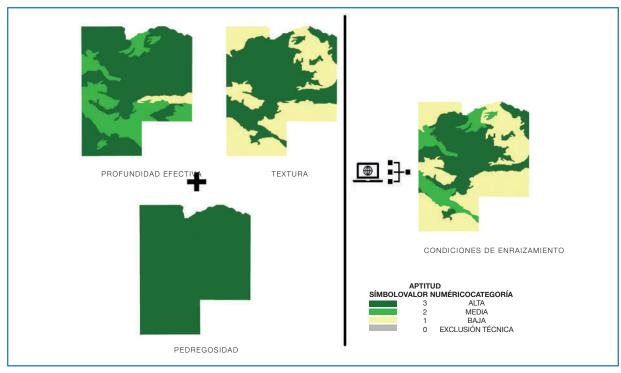


Figura 25. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para maracuyá (*Passiflora edulis*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

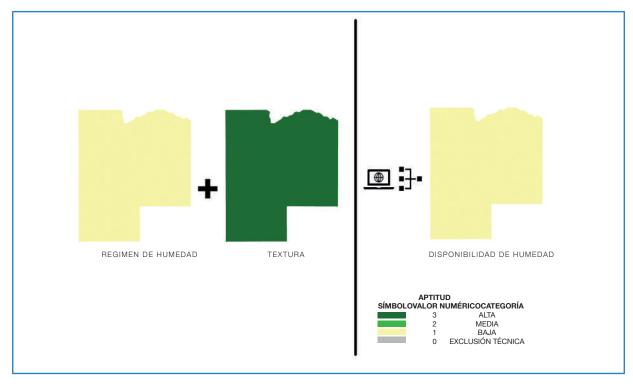


Figura 26. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para maracuyá (*Passiflora edulis*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

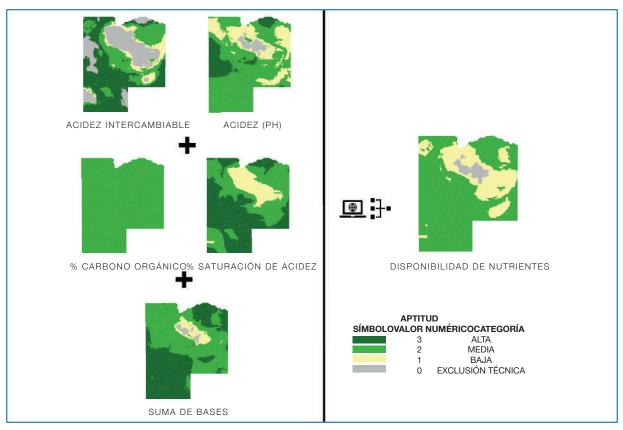


Figura 27. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para maracuyá (*Passiflora edulis*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

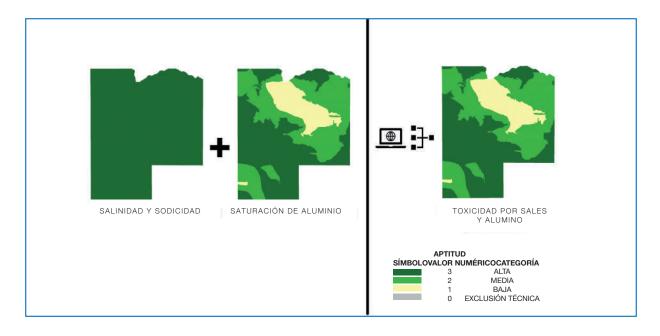


Figura 28. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio para maracuyá (*Passiflora edulis*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

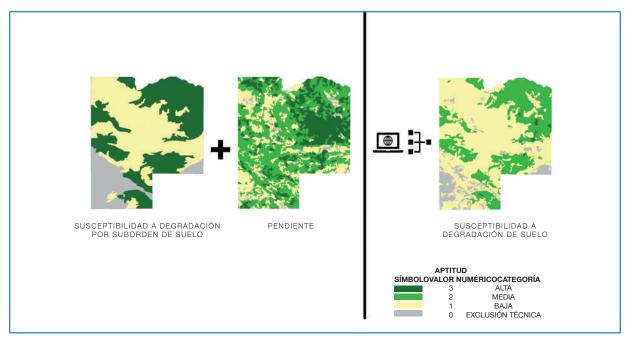


Figura 29. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a degradación de suelos para maracuyá (*Passiflora edulis*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

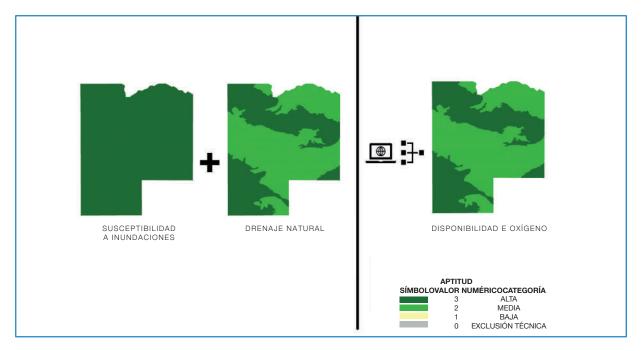


Figura 30. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de oxígeno para maracuyá (*Passiflora edulis*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

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

Utilizando las técnicas de combinación de criterios y aplicando los modelos metodológicos presentados se elaboró la siguiente zonificación agroecológica por aptitud para el cultivo de maracuyá en el sector norte del cantón de Puriscal.

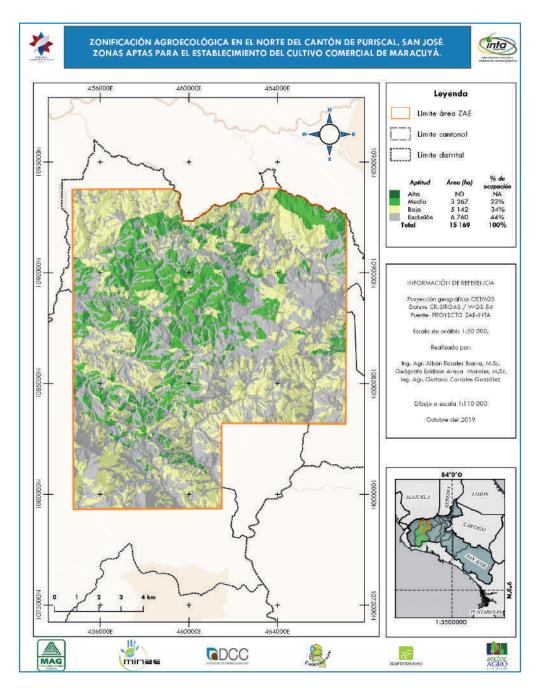


Figura 31. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de maracuyá (Passiflora edulis) en el sector norte del cantón de Puriscal, San José

Cuadro 6. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de maracuyá (*Passiflora edulis*) en el sector norte del cantón de Puriscal, San José

Símbolo	Aptitud		Kara (III)	0/ 1/2 22 22 24 24
	Valor numérico	Categoría	Área (ha)	% de ocupación
	3	Alta	0	0 %
	2	Media	3 267	22 %
	1	Baja	5 142	34 %
	0	Exclusión técnica	6 760	44 %
Total			15 169	100 %

Fuente: Elaboración propia resultados de análisis.

El sector norte de Puriscal reúne 8 409 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo de maracuyá, lo que representa el 56 % del área total del área evaluada. Esta aptitud se clasifica entre los niveles media y baja, con un total de 3267 ha y 5142 ha, que representan un 22 % y un 34 % del área total de estudio respectivamente. En este sitio no se encontraron áreas de aptitud alta para este rubro, mientras que el 44 % 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 observa que el criterio de condiciones climáticas es el factor que más condiciona los resultados de la zonificación y dentro de este criterio las variables de brillo solar y precipitación son las que representan las mayores condicionantes de la aptitud de estas tierras para este cultivo.

Las variables pendiente y textura del suelo presentan las principales limitantes para el criterio de capacidad de siembra, cuyos niveles de aptitud se encuentran bastante entremezclados en toda el área de estudio.

Por otro lado, el criterio condición de enraizamiento se encuentra muy afectado por la variable textura del suelo, indicando que gran parte de la zona de estudio presenta una baja aptitud para el desarrollo de las raíces de este cultivo, debido principalmente, a la presencia de texturas finas o suelos arcillosos.

El régimen de humedad del suelo es ústico, esto determina el criterio de disponibilidad de humedad, dando como resultado una aptitud baja, lo cual indica la presencia de un período seco bien definido (alrededor de 4 meses al año) donde la necesidad de riego es evidente.

El criterio de disponibilidad de nutrientes también puede estar condicionando fuertemente la aptitud de estas tierras, debido a que, una gran parte del sector norte de cantón de Puriscal presenta bajos niveles de fertilidad del suelo. El criterio toxicidad por sales y aluminio podría estar condicionando el desarrollo de este cultivo en la parte noreste de la zona de estudio.

### 4.3. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE PASTO CUBA OM22 (PENNISETUM SP.)

El clon Cuba OM22 se produjo en Cuba gracias al Dr. Omar Martínez y se introdujo a Costa Rica en la comunidad de Río Naranjo de Bagaces. Para el 2018 estaba siendo sembrado por más de 5 000 productores con rendimientos de 25 kg de biomasa por metro lineal, para una producción por corte cada 50 días de 250 toneladas por hectárea; si tiene riego y fertilización se pueden obtener más de 1 250 000 kg por hectárea/año (MAG 2018).

Es un híbrido entre dos especies de Pennisetum purpureum (P. purpureum Cuba CT-169 y. P. glaucum Tiffton). Su color predominante es el verde sólido, pero debido a que en su genética tiene el gen recesivo de color púrpura, no se descarta que pueda presentar vetas moradas o coloración púrpura (Clavijo 2016).

El pasto Cuba OM22 es una planta de exuberante crecimiento, tallos y hojas completamente lisos, no contiene espinas ni vellosidades. Su crecimiento es erecto y formado macollas, pero su follaje se dobla desde edades muy tempranas debido a su abundante biomasa y alcanza de 1,5 a 1,8 metros de altura.

Una de las características más importantes que posee es que soporta períodos de seguía prolongados por la profundidad de sus raíces. Soporta asociaciones con leguminosas y forrajeras arbóreas (Clavijo 2016).

Entre los beneficios de este pasto se cuenta el hecho de que lo pueden ingerir reses de lechería especializada y de doble propósito, porque puede crecer en condiciones ambientales variadas. Sin embargo, requiere de un manejo adecuado para aprovechar al máximo su potencial. Buen manejo pluvial y fertilización permitirían que el pasto Cuba OM22 sea un recurso importante para los ganaderos en pro de tener picos altos en producción de leche (CONtexto Ganadero 2016).



Figura 32. Pasto Cuba OM22 (Pennisetum sp.). Fuente: Facebook Pasto Cuba OM22 Costa Rica 2019

#### 4.3.1. 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 pasto Cuba OM22. Tal como se explicó previamente los valores de cada variable fuera de estos rangos se consideran áreas de exclusión técnica.

Cuadro 7. Matriz de requerimientos técnicos para pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*)

Criterios	Variables	Unidades	Alto	Medio	Bajo	Exclusión
Condiciones climáticas	Altitud	msnm	≥0 - ≤800	>800 - ≤1200	>1200 - ≤1500	>1500
	Temperatura	°C/año	>25 - ≤30	≥20 - ≤25	≥18 - <20	<18 y >30
	Precipitación	Mm/año	≥2500 - ≤3000	>3000 - ≤3500	>3500 - ≤4500	<2500 y >4500
	Época seca	Dsc/ciclo	<30	≥30 - <45	≥45 - ≤60	>60
	Humedad relativa	%	>60 - ≤70	>50 - ≤60	>70 - ≤80	<50 y >80
	Brillo solar	Horas luz/día	>7	>6 - ≤7	≥5 - ≤6	<5
	Vientos	Km/h	>5- ≤15	>15 - <25	≥25 - ≤35	>35
Capacidad de siembra	Pendiente	%	≥0 - ≤15	>15 - ≤30	>30 - ≤50	>50
	Textura	Clase textural	Mediana	Mod. Finas y Mod. Gr	Finas	Gr y Muy finas
	Pedregosidad	Categoría	SP-LP	Mod. P. y P.	Muy P.	FP-EP
	Profundidad efectiva	Cm	>60	>40 - ≤60	≥30 - ≤40	<30
Condiciones de enraizamiento	Pedregosidad	Categoría	SP-LP	Mod. P. y P.	Muy P.	FP-EP
	Textura	Clase textural	Mediana	Mod. Finas y Mod. Gr	Finas	Gr. y Muy finas
Disponibilidad de humedad	Textura	Clase textural	Mod. Finas y medianas	Finas	Mod. Gr. y Muy finas	Gr.
	Régimen de humedad	Adimensional	ND	Údico	Ústico	Ácuico
Disponibilidad de oxígeno	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	Nulo	Leve	Mod	Severa y muy severa
	Drenaje natural	Adimensional	Bueno	Mod. Excesivo	Mod. Lento	Excesivo, lento, muy lento, nulo
Disponibilidad de nutrientes	Aluminio	Cmol/I	≤ 0,5	>0,5 a <1	≥1 a ≤1,5	>1,5
	Suma de bases	Cmol/I	≥15	>7 a <15	≥4 a ≤7	< 4,0
	Acidez	рН	≥5,5 a <7,5	≥5,0 a <5,5	≥4,5 a <5,0	<4,5
	Saturación de acidez	%	≤ 10	> 10 a ≤30	>30 a ≤70	>70
	C.O.	%	>5	>2 a ≤5	≥0,5 a ≤2	<0,5
Susceptibilidad a degradación de suelos	Pendiente	%	≥0 - ≤15	>15 - ≤30	>30 - ≤50	>50
	Erosión actual	Adimensional	Nula-leve	Moderada	Severa	Muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Nula	Leve	Moderada	Alta

Observaciones:

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

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

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

#### 4.3.2. 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 pasto Cuba OM22 en el sector norte del cantón de Puriscal se muestran a continuación.



Figura 33. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones climáticas para pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

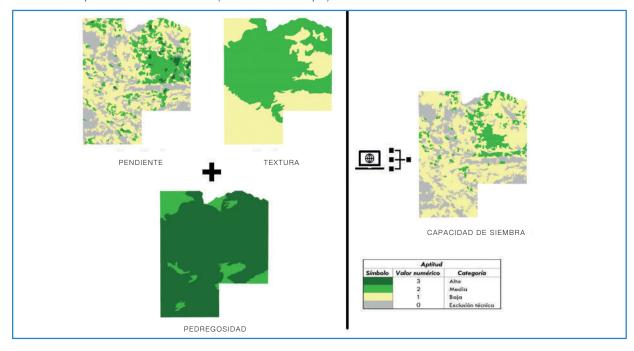


Figura 34. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio capacidad de siembra para pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

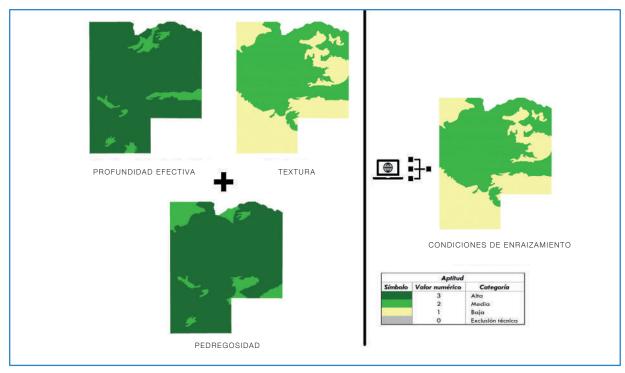


Figura 35. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio condiciones de enraizamiento para pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

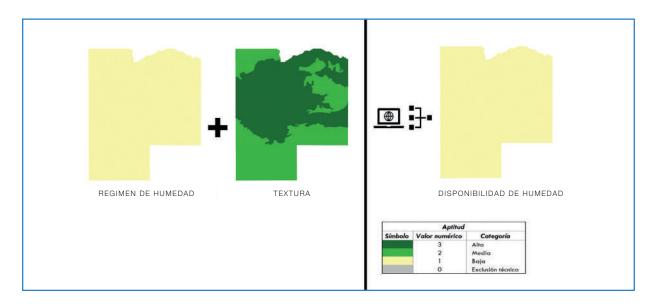


Figura 36. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de humedad para pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

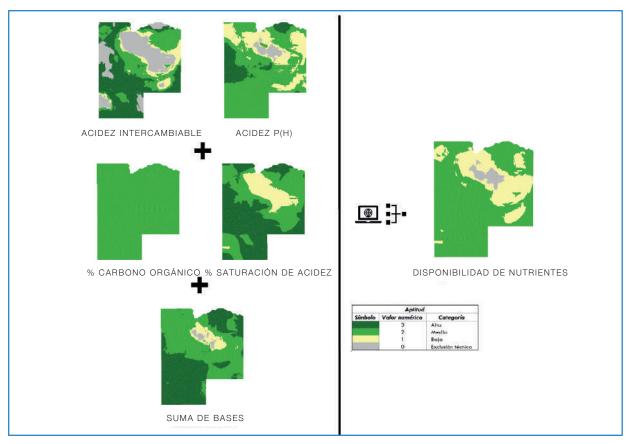


Figura 37. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de nutrientes para pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

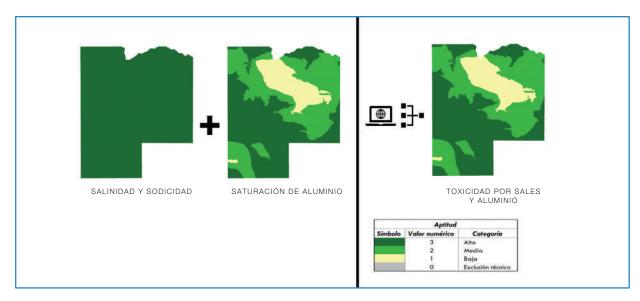


Figura 38. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio toxicidad por sales y aluminio pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

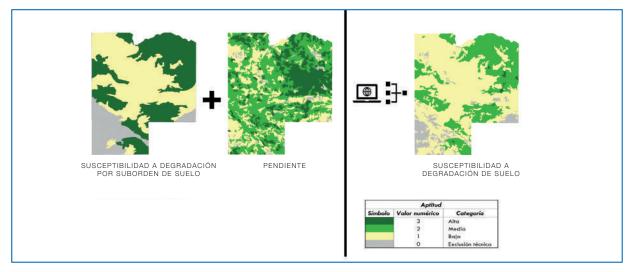


Figura 39. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio susceptibilidad a degradación de suelos para pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

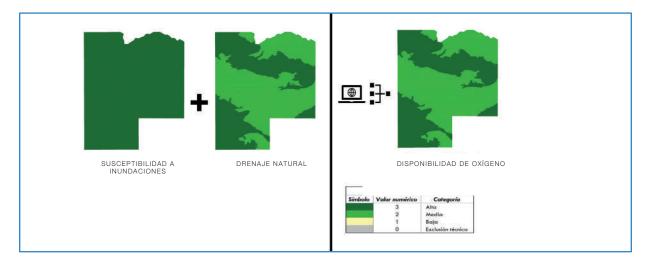


Figura 40. Desarrollo del mapa de aptitud según criterio disponibilidad de oxígeno para pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

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

Tras realizar la combinación de los distrintos criterios establecidos siguiendo los parámetros metodológicos se obtiene el siguiente mapa de zonificación agroecológica por aptitud para pasto Cuba OM22 en el sector norte del cantón de Puriscal.

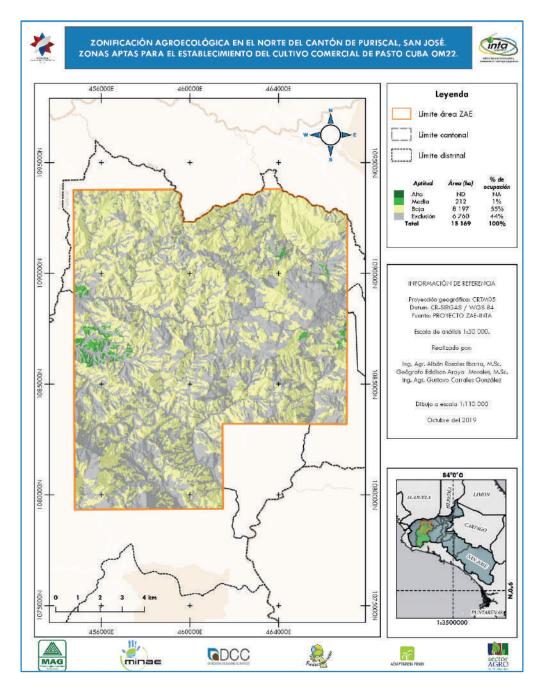


Figura 41. Zonas aptas para el establecimiento de cultivo comercial de pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal.

Cuadro 8. Resultados de áreas de zonificación para el cultivo comercial de pasto Cuba OM22 (*Pennisetum sp.*) en el sector norte del cantón de Puriscal, San José

Símbolo	Aptitud		have the	o
	Valor numérico	Categoría	Área (ha)	% de ocupación
	3	Alta	0	0 %
	2	Media	212	1 %
	1	Baja	8 187	55 %
	0	Exclusión técnica	6 760	44 %
Total			15 169	100 %

Fuente: Elaboración propia resultados de análisis.

El sector norte del cantón de Puriscal reúne 8 409 ha de tierras con aptitud para el desarrollo del cultivo de pasto Cuba OM22, lo que representa el 56 % del área total del cantón. Donde predominan las tierras con aptitud baja (8187 ha) que representan el 55% del total del área de estudio. Por otro lado, no hay tierras de aptitud alta para este rubro, mientras que el 44 % del área de estudio presenta algún tipo de exclusión legal o técnica para el desarrollo del mismo.

Al analizar las variables y criterios involucrados, se nota que las condiciones climáticas es el criterio que más condiciona los resultados de la zonificación del pasto Cuba OM22 y dentro de este criterio las variables de brillo solar y precipitación son las que representan las mayores condicionantes de la aptitud de estas tierras para este pasto. Lo anterior sumado a la baja aptitud del criterio disponibilidad de humedad, indica sin lugar a dudas que el riego durante el período seco es un factor necesario para el buen mantenimiento de las plantas. El criterio de disponibilidad de nutrientes también podría estar condicionando fuertemente la aptitud de estas tierras, sobre todo en la parte noreste del área de estudio que presenta niveles más bajos de fertilidad del suelo. Otros criterios como la toxicidad por sales y aluminio y la susceptibilidad a la pérdida de suelos, también pudieron influir en la clasificación de la aptitud de tierras para el cultivo de pasto Cuba OM22.



# 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. CONCLUSIONES RESPECTO AL PROCESO METODOLÓGICO

- El país dispone ahora de una metodología de zonificación agropecuaria actualizada y más robusta, debido a que considera una gran gama de variables y criterios técnicos, que combinados con un sistema de análisis jerárquico permite obtener resultados más sólidos y mapas de zonificación más confiables.
- Variables y criterios técnicos más confiables, permiten focalizar mejores medidas de adaptación al cambio climático en los sistemas agroproductivos.
- A pesar de sus bondades, esta metodología sigue dependiendo del mapeo de suelos y estos son muy costosos. Dichosamente, el INTA está desarrollando el Proyecto PCS, que contempla el mapeo semidetallado de suelos a escala 1:50 000 de todos los cantones costeros de Costa Rica, esto representa casi la mitad del territorio nacional.
- La zonificación es específica, esto se debe a que diferentes variedades de un mismo rubro pueden llegar a tener un comportamiento diferente de cara a las condiciones de clima y suelo en un mismo sitio de producción.

#### **5.2. CONCLUSIONES RESPECTO A LOS** RESULTADOS DE LA ZONIFICACIÓN

- De acuerdo con los resultados obtenidos se podría decir, que el sector norte del cantón de Puriscal tiene un 55% de tierras con aptitud para el desarrollo de los cultivos de limón persa, maracuyá y pasto Cuba OM22. Pero esa aptitud se encuentra entre los niveles de media a baja, lo que significa que esas tierras presentan limitantes moderadas a severas para el desarrollo pleno de estos rubros. En otras palabras, para la obtención de buenas cosechas se hace estrictamente necesarias el uso de medidas de adaptación con las cuales los productores puedan sobreponerse a dichas limitaciones físicas o edafoclimáticas y conseguir mejores cosechas. Medidas de adaptación a la baja fertilidad del suelo y a un período seco bien marcado deben ser analizadas para mantener el buen desarrollo de las plantas, por ejemplo, con la implementación de sistemas de riego. Por otro lado, un 44 % 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) y áreas con cobertura de tejido urbano continuo o discontinuo.
- Este proceso de zonificación, ha producido información muy valiosa para los productores agrícolas y ganaderos del sector norte del cantón de Puriscal, revelando la mayoría de las limitaciones físicas o sea de clima y suelo. Pero lo más importante es que esa información se encuentra recolectada en forma de capas geoespaciales, las cuales serán administradas y distribuidas por la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG de Puriscal. Esta información es como una radiografía del área evaluada que va a permitir mejorar la toma de decisión sobre las medidas de adaptación al cambio climático que se pueden 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.
- 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.
- 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 en las zonas costeras del país 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.
- Se recomienda el desarrollo del criterio Riesgo Fitosanitario, así como el componente Socioeconómico a fin de robustecer aún más la metodología de zonificación y de esta manera contribuir no solo en aspectos edafoclimáticos.



## Bibliografía

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

Asamblea Legislativa. 2014. Ley de insumos especiales para el desarrollo integral del cantón de Puriscal. Diario oficial La Gaceta N° 175. San José, Costa Rica, s.e.; 11 sep.:6–7.

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.

CADETI. s/f. Manual técnico para la aplicación de la Metodología para la Determinación de las Tierras Degradadas de Costa Rica (MEDET-CR). San José, Costa Rica, Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras (CADETI) - Sin publicar.

Clavijo Cabrera, O. 2016. Manual de Forraje PENNISETUM SP. CUBA OM-22. Editora Surcolombiana (ed.). Huila, Colombia, s.e. 36 p.

CONtexto Ganadero. 2016. Cuba, el pasto ideal para ganado de leche y doble propósito. (en línea, sitio web). Consultado 22 oct. 2019. Disponible en https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/cuba-el-pasto-ideal-para-ganado-de-leche-y-doble-proposito.

EnColombia.com. 2014. Cultivo de maracuyá (en línea, sitio web). Consultado 23 oct. 2019. Disponible en https://encolombia.com/economia/agroindustria/cultivo/cultivodemaracuya/.

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/.

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

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

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.

INTA - UCR. 2013. Mapa Nacional de Taxonomía de Suelos. San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).

INTAGRI. 2018. Clima y suelo para el cultivo de limón persa. (en línea). Serie Frutales N° 40 (Artículos técnicos INTAGRI Mexico):3. Disponible en https://www.intagri.com/ articulos/frutales/clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-limon-persa.

ITCR. 2014. Atlas digital de CR. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

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 Nº 107.

MAG. 2018. El clon om-22 el presente y el futuro de la ganadería (en línea, sitio web). Consultado 22 oct. 2019. Disponible en https://www.sancarlosaldia.com/actualidad/401-el-clon-om-22-el-presente-y-el-futuro-de-la-ganaderia.html.

Montero, A. 1991. Maracuyá (Passiflora edulis). Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. . San José, Costa Rica, MAG / Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. 177-186. p.

Municipalidad de Puriscal. 2019. Reseña histórica. (en línea, sitio web). Disponible en http://www.munipuriscal.go.cr/About/history.

Ortega, VA. 1978. Historia económica del tabaco en Costa Rica: Época colonial (en línea). Anuario de Estudios Centroamericanos 4(1 SE-Artículos). Disponible en https:// revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/3315.

Programa estado de la Nación / INEC. 2013. Indicadores cantonales. San José, Costa Rica, PEN-INEC. p. 196.

Rivera, Y; Moreno, L; Herrera, M; Romero, HM. 2016. La toxicidad por aluminio (Al3+) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. Palmas 37(I):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.

Sierra Gutierrez, J. 2015. Estudio de diagnóstico del sector productor y de mercado para la exportación de limón persa orgánico (Citrus latifolia) de México a la ciudad de San Francisco, Estados Unidos, para la compañía Don Limón. (en línea). s.l., Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 46 p. Disponible en https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4493/1/AGN-2015-033.pdf.

UMBRALES UNED. 2016. Historia y cultura producción del tabaco en Costa Rica (en línea). Costa Rica, UNED. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=8NcB7vJ9AM4.

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

