

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS TÉCNICAS DE RIEGO PARA EL MANEJO DE
ÁREAS CON VETAS DE ARENA EN EL ESTRATO LITORAL DE LA ZONA CAÑERA DEL
SUR DE GUATEMALA Y SERVICIOS AGRONÓMICOS EN EL CENTRO
GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR
(CENGICAÑA)

JOSÉ MIGUEL DEL CID CARDONA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS TÉCNICAS DE RIEGO PARA EL MANEJO DE
ÁREAS CON VETAS DE ARENA EN EL ESTRATO LITORAL DE LA ZONA CAÑERA DEL
SUR DE GUATEMALA Y SERVICIOS AGRONÓMICOS EN EL CENTRO
GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR
(CENGICAÑA)

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JOSÉ MIGUEL DEL CID CARDONA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO INGENIERO AGRÓNOMO
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	MSc. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL CUARTO	P. Forestal Axel Esaú Cuma
VOCAL QUINTO	P. Contador Carlo Alberto Monterroso González
SECRETARIO	MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, noviembre de 2009

Guatemala, noviembre de 2009

Honorable Junta Directiva

Honorable Tribunal Examinador

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación: Planteamiento de estrategias técnicas de riego para el manejo de áreas con vetas de arena en el estrato litoral de la zona cañera del sur de Guatemala y servicios agronómicos en el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

José Miguel del Cid Cardona

ACTO QUE DEDICO

A Dios:

Fuente de vida, sabiduría y amor, sin Él nada de esto fuera posible.

A mis padres:

José Salvador del Cid Maldonado
Consuelo Alicia Cardona García

Gracias por su amor, y apoyo incondicional, por enseñarme a ser una persona de bien, gracias por ser ejemplo de superación para mí, los amo.

A mi esposa:

Marylynn Alicia Pierri Alvarado de del Cid

Gracias por estar en las buenas y en las malas, por alentarme a siempre seguir adelante, especialmente por apoyarme y darme tu amor, te amo.

A mi hijo:

José Daniel del Cid Pierri

Que mi trabajo sirva de ejemplo para que en tu vida seas un hombre de bien, que Dios me dé sabiduría para criarte, te amo.

A mis hermanos:

Karla María, Brenda Patricia y Luis Pedro

Por su apoyo y consejos, muchas gracias, los amo.

A mis abuelos:

Ricardo del Cid Ortiz
Aída Maldonado Anleu
Félix Cardona Olivares (QEPD)
Marcos García Ruano (QEPD)

Gracias por permitirme compartir con ustedes y brindarme su apoyo y consejos.

A mis tíos:

Mardoqueo Monterroso (QEPD) y Dolores de Monterroso
Randolfo del Cid y Yadira Alfaro
Alfredo del Cid e Irma Cardona

Eddie Monterroso (QEPD) y Lorena del Cid
Abel Caal y Blanca Cardona
Marta, Israel, Antonio (QEPD) y Estela Cardona

Gracias por sus consejos y apoyo.

A mis primos:

William, Bárbara, Erick, Gustavo, Karen, Luis Diego, Juan Pablo, Ana Lucia, Ricardo, Mardoqueo, Christopher, María Alejandra, Karoll, Chaty, Emilsa, Jorge Luis, Alberto, Nancy, Karen Vanessa, Katherine, Jonathan.

Gracias por su apoyo.

A mis amigos:

Antonio Castellanos, Gustavo Díaz, Mauricio Franco, Sergio Grajeda, Luis Hernández, Oscar Hernández, Ingrid López, Christian Luna, William Morales, Irene Muñoz, Fernando Palomo, Juan Carlos Pérez, Vinicio Quevedo, Rodolfo Rivera, Jonathan Reynoso, Juan Carlos Roque.

Gracias por su amistad y apoyo.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A Guatemala:

País de la eterna primavera.

A Colegio Liceo Guatemala:

Por formarme bajo los principios del catolicismo marista “buenos cristianos y virtuosos ciudadanos”

A Universidad San Carlos de Guatemala:

Álma máter, fuente de conocimiento y sabiduría.

A Facultad de Agronomía:

Por formarme como profesional y por educarme en el campo de la Agronomía.

A CENGICAÑA:

Por ser parte del final de una etapa importante en mi vida y por formarme como profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Ing. Agr Ezequiel López:

Por el apoyo y asesoría en la ejecución mi EPS.

A Ing. Agr. Guillermo Santos:

Por su asesoría en el desarrollo de mi investigación y por compartir sus conocimientos sobre Sistemas de Información Geográfica.

A Dr. Mario Melgar:

Por brindarme la oportunidad de desarrollar mi EPS en tan prestigiosa institución.

A Ing. Agr. Ovidio Pérez:

Por el apoyo y asesoría en la ejecución de mi EPS.

A Ing. Agr. Otto Castro:

Por el apoyo, asesoría y amistad brindada en la ejecución de mi EPS.

A Ing. Agr. Oscar Anleu

Por brindarme la oportunidad de conocer la agroindustria azucarera guatemalteca.

A Ing. Agr. Miguel Morales:

Por la evaluación y asesoría de mi investigación.

A Ing. Agr. Braulio Villatoro:

Por su amistad y asesoría en la ejecución de mi EPS.

A Ing. Agr. Alfredo Suárez:

Por el apoyo y asesoría en la ejecución de mi EPS.

A Ing. Agr. Francisco Barneond e Ingenio Magdalena, S.A.

Por el apoyo brindado en el desarrollo de la presente investigación en la finca Nueva Esperanza.

A Ing. Agr. Fernando López e Ingenio Santa Ana, S.A.

Por el apoyo brindado en el desarrollo de la presente investigación en las fincas Irlanda y El Apipal.

A Carlos Rosales, José López y Elizandro Ramírez:

Por el apoyo en la fase de campo de la presente investigación.

A personal del Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA:

Licda. Wendy de Cano, Hugo Paz, Ottoniel Saravia, Damaris Marroquín, Gerson García y Lorenzo Hernández por el apoyo en el análisis de suelos en laboratorio.

A personal profesional, técnico y administrativo de CENGICAÑA:

Por su amistad, apoyo y consejos en la ejecución de mi EPS.

A la agroindustria azucarera guatemalteca:

Por brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesional.

i. ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
Índice de Figuras	vii
Índice de Cuadros	ix
1. Resumen	xi
 CAPÍTULO I DIAGNÓSTICO	
SITUACIÓN ACTUAL DEL COMPONENTE FORESTAL DEL LOTE 5 (ARBORETUM Y PLANTACIÓN FORESTAL) DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL CAMANTULUL DEL CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR CENGICAÑA, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA	
1.1. PRESENTACIÓN -----	2
1.2. OBJETIVOS -----	4
1.2.1 Objetivo General-----	4
1.2.2 Objetivos Específicos -----	4
1.3. METODOLOGÍA -----	5
1.3.1 Planificación -----	5
1.3.2 Inventario forestal -----	5
1.3.2.1 Identificación de las especies forestales -----	5
1.3.2.2 Medición de DAP -----	5
1.3.2.3 Medición de la altura-----	6
1.3.2.4 Estimación del volumen y área basal -----	6
1.3.2.5 Determinación del Estado Sanitario y Agente Causal -----	7
1.3.2.6 Determinación de la forma y calidad del fuste -----	7
1.3.2.7 Determinación de la cobertura de copa-----	7
1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	8
1.4.1 Ubicación y descripción del área de estudio-----	8
1.4.2 Estrato alto -----	8
1.4.3 Clima-----	9
1.4.4 Fisiografía -----	9

1.4.5	Hidrografía	9
1.4.6	Geología	9
1.4.7	Suelos	10
1.4.8	Zonas de vida	10
1.4.9	Antecedentes	10
1.4.10	Superficie del componente forestal	11
1.4.11	Especies de árboles inventariados	12
1.4.12	Existencias de los recursos forestales	13
1.4.12.1	Existencias en volumen en el Arboretum	13
1.4.12.2	Existencias en volumen en plantaciones	14
1.4.12.3	Existencias de biomasa y reservas de carbono	15
1.4.13	Atributos de los recursos forestales	17
1.4.13.1	Cobertura de dosel	17
1.4.13.2	Estado fitosanitario de las especies forestales	19
1.4.13.3	Agente causal de estado fitosanitario deficiente	21
1.4.13.4	Calidad y forma de fustes	23
1.5.	CONCLUSIONES	27
1.6.	RECOMENDACIONES	28
1.7.	BIBLIOGRAFÍA	29

CAPÍTULO II INVESTIGACIÓN

PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS TÉCNICAS DE RIEGO PARA EL MANEJO DE ÁREAS CON VETAS DE ARENA EN EL ESTRATO LITORAL DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR DE GUATEMALA

2.1.	PRESENTACIÓN	32
2.2.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	34
2.3.	MARCO REFERENCIAL	35
2.3.1	Zona cañera de Guatemala	35
2.3.1.1	Estrato litoral	35
2.3.2	Ubicación y descripción de las áreas de estudio	35
2.3.3	Fisiografía	36
2.3.4	Hidrografía	36

2.3.4.1	Vertiente del pacífico sur de Guatemala-----	36
2.3.4.2	Cuencas hidrográficas de la zona cañera guatemalteca-----	38
2.3.5	Hidrogeología -----	39
2.3.6	Geología -----	39
2.3.7	Suelos -----	39
2.3.8	Zonas de vida -----	43
2.3.9	Área irrigada en la zona cañera del sur de Guatemala -----	44
2.3.10	Coeficiente único del cultivo (Kc) para caña de azúcar en Guatemala -----	47
2.3.11	Conceptualización de las vetas de arena -----	48
2.3.12	Descripción de los sistemas de riego -----	48
2.3.12.1	Sistema de riego de desplazamiento frontal de un ala de finca Irlanda --	48
2.3.12.2	Sistema de riego de pivote central fijo de finca Nueva Esperanza -----	49
2.3.12.3	Sistema de riego superficial de finca El Apipal-----	50
2.3.13	Análisis comparativo de eficiencia de aplicación de los sistemas de riego -	50
2.4.	OBJETIVOS -----	53
2.4.1	Objetivo General-----	53
2.4.2	Objetivos Específicos -----	53
2.5.	METODOLOGÍA -----	54
2.5.1	Proceso Cartográfico-----	54
2.5.1.1	Cartografía de vetas de arena-----	54
2.5.1.2	Validación en campo-----	54
2.5.2	Edición de capa de superficie de riego -----	54
2.5.2.1	Conversión DWG – SHP-----	54
2.5.2.2	Sobreimposición cartográfica-----	55
2.5.3	Determinación de la capacidad de retención de humedad en el suelo -----	55
2.5.3.1	Muestreo de suelos -----	55
2.5.4	Estimación de la lámina de agua aprovechable -----	55
2.5.5	Determinación de las necesidades de agua del cultivo de caña de azúcar ---	56
2.5.5.1	Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)-----	56
2.5.5.2	Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar (ETc)----	57
2.5.6	Definición de criterios técnicos para el manejo del riego -----	59

2.5.6.1	Seccionamiento de las superficies de riego	59
2.5.6.2	Cuantificación del área de vetas de arena	59
2.5.7	Definición de los criterios de manejo	59
2.5.8	Programación del riego	60
2.5.8.1	Determinación de la lámina de aplicación de riego	60
1.1.1	Determinación de la frecuencia de riego	61
2.5.9	Integración de parámetros	61
2.6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
2.6.1	Cartografía de vetas de arena	63
2.6.2	Cobertura de riego	67
2.6.3	Capacidad de retención de humedad del suelo en las fincas de estudio	72
2.6.4	Requerimientos de agua del cultivo de caña de azúcar	79
2.6.5	Estrategias de irrigación espacialmente variable	81
2.6.5.1	Seccionamiento del área de riego	81
2.6.5.2	Magnitud de vetas de arena en las secciones de riego	82
2.6.6	Programación de la operación del riego	87
2.6.7	Integración de parámetros	90
2.7.	CONCLUSIONES	91
2.8.	RECOMENDACIONES	93
2.9.	BIBLIOGRAFÍA	94

CAPÍTULO III SERVICIOS

INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS EN EL CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR (CENGICAÑA)

3.1.	PRESENTACIÓN	98
3.2.	ÁREA DE INFLUENCIA	99
3.3.	OBJETIVOS	100
3.4.	Segunda aproximación de los mapas de fertilidad y texturas	101
3.4.1	Definición del problema	102
3.4.2	Objetivos	103
3.4.3	Metodología	104
3.4.3.1	Recopilación de la base de datos	104

3.4.3.2	Georeferenciación de las muestras-----	104
3.4.3.3	Análisis de la información -----	105
3.4.3.4	Análisis espacial -----	105
3.4.3.5	Revisión de metodología de interpolación -----	106
3.4.3.6	Edición de mapas-----	106
3.4.3.7	Identificación de la distribución de los parámetros de fertilidad -----	107
3.4.4	Evaluación-----	109
3.4.4.1	Recopilación y depuración de la base de datos -----	109
3.4.4.2	Análisis espacial -----	109
3.4.4.3	Edición de mapas-----	109
3.4.4.4	Identificación de la distribución de los parámetros de fertilidad -----	110
3.4.4.5	Distribución de las clases texturales en la zona cañera-----	116
3.4.5	Constancias-----	120
3.5.	Representatividad de la red de estaciones meteorológicas automatizadas de CENGICAÑA, para la estimación de la precipitación pluvial en la zona cañera del sur de Guatemala -----	126
3.5.1	Definición del problema-----	127
3.5.2	Objetivos-----	128
3.5.3	Metodología-----	129
3.5.3.1	Determinación de los datos de lluvia -----	129
3.5.3.2	Peso de estaciones meteorológicas dentro de la zona cañera-----	129
3.5.3.3	Determinación de la precipitación pluvial promedio utilizando isoyetas	131
3.5.3.4	Procedimiento de cálculo -----	132
3.5.4	Evaluación-----	133
3.5.4.1	Representatividad de estaciones meteorológicas automatizadas -----	133
3.5.4.2	Estrato alto -----	133
3.5.4.3	Estrato medio -----	134
3.5.4.4	Estrato bajo-----	135
3.5.4.5	Estrato litoral -----	136
3.5.5	Constancias-----	138
3.6.	Mapas históricos de temperatura de la zona cañera Guatemala -----	141

3.6.1	Definición del problema-----	142
3.6.2	Objetivos-----	143
3.6.3	Metodología-----	144
3.6.3.1	Recopilación y análisis de bases de datos climáticos -----	144
3.6.3.2	Modelación temperatura – altitud-----	144
3.6.4	Integración del modelo de temperatura al SIG-----	145
3.6.4.1	Edición de Mapas-----	145
3.6.5	Evaluación-----	146
3.6.5.1	Modelos de regresión temperatura – altitud -----	146
3.6.6	Constancias-----	148
3.7.	BIBLIOGRAFÍA-----	154
4.	ANEXOS -----	156
4.1.	GLOSARIO-----	156

ii. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de la Estación Experimental Camantulul. -----	8
Figura 2 Mapa de rodalización del lote 5. -----	11
Figura 3 Número de fustes por especie en plantaciones puras del lote 5. -----	13
Figura 4 Porcentaje de individuos según estado fitosanitario en el Arboretum. -----	19
Figura 5 Porcentaje de individuos según estado fitosanitario por especie en plantación --	20
Figura 6 Porcentaje de individuos según agente causal en el Arboretum. -----	21
Figura 7 Porcentaje de individuos según agente causal en plantaciones puras. -----	22
Figura 8 Porcentaje de individuos según su calidad de fuste en el Arboretum.-----	23
Figura 9 Porcentaje de individuos según su calidad de fuste en plantaciones puras.-----	24
Figura 10 Porcentaje de individuos según la forma de fuste en el Arboretum.-----	25
Figura 11 Porcentaje de individuos según la forma de fuste en plantaciones puras.-----	26
Figura 12 Ubicación geográfica de las fincas de estudio.-----	37
Figura 13 Efecto del riego en las fases de macollamiento y elongación -----	46
Figura 14 Tasa de crecimiento en Finca el Mirador, Ingenio La Unión. -----	46
Figura 15 Altura de la caña de azúcar, en respuesta a diferentes tratamientos de riego ---	47
Figura 16 Eficiencia de aplicación en sistemas de riego superficial y riego por aspersion --	52
Figura 17 Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de ETo-----	58
Figura 18 Distribución geoespacial de vetas de arena en finca Irlanda. -----	64
Figura 19 Distribución geoespacial de vetas de arena en finca Nueva Esperanza. -----	65
Figura 20 Distribución geoespacial de vetas de arena en finca El Apipal. -----	66
Figura 21 Superficie irrigada por el sistema de riego en finca Irlanda. -----	69
Figura 22 Superficie irrigada por el sistema de riego en finca Nueva Esperanza. -----	70
Figura 23 Superficie irrigada por el sistema de riego en finca El Apipal. -----	71
Figura 24 Comportamiento de la LAA en el perfil de suelo en Finca Irlanda. -----	74
Figura 25 Comportamiento de la LAA en el perfil de suelo en Finca Nueva Esperanza.---	76
Figura 26 Comportamiento de la LAA en el perfil de suelo Finca El Apipal. -----	78
Figura 27 Comportamiento de la ETo en estaciones cercanas a las fincas de estudio. ----	80
Figura 28 Seccionamiento de las superficies de riego en Finca Irlanda -----	84
Figura 29 Seccionamiento de las superficies de riego en Finca Nueva Esperanza.-----	85
Figura 30 Seccionamiento de las superficies de riego en Finca El Apipal.-----	86
Figura 31 Mapa de texturas (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala. -----	119
Figura 32 Mapa de pH (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala. -----	120
Figura 33 Mapa de materia orgánica de la zona cañera de Guatemala.-----	121
Figura 34 Mapa de fósforo (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala.-----	122
Figura 35 Mapa de potasio (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala. -----	123
Figura 36 Mapa de calcio (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala. -----	124
Figura 37 Mapa de magnesio (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala. ----	125
Figura 38 Ejemplo hipotético para la obtención del MAPi-----	131
Figura 39 Polígonos de Thiessen de la red de estaciones meteorológicas -----	138

Figura 40 Mapa de Isoyetas (2000 - 2007) de la zona cañera.-----	139
Figura 41 Representatividad de estaciones meteorológicas en la zona cañera. -----	140
Figura 42 Mapa anual de temperatura en la zona cañera. -----	148
Figura 43 Mapa de temperatura para el periodo de zafra en la zona cañera.-----	149
Figura 44 Mapa de temperatura para el periodo de no zafra en la zona cañera.-----	150
Figura 45 Mapas de temperatura, meses Enero - Abril en la zona cañera.-----	151
Figura 46 Mapas de temperatura, meses Mayo - Agosto en la zona cañera. -----	152
Figura 47 Mapas de temperatura, meses Septiembre - Diciembre en la zona cañera.---	153
Figura 48A Operatividad del riego en Finca Irlanda. -----	168
Figura 49A Operatividad del riego en Finca Nueva Esperanza. -----	169
Figura 50A Operatividad del riego en Finca El Apipal.-----	170

iii. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Parámetros climáticos de la estación meteorológica CENGICAÑA.	9
Cuadro 2	Superficie del componente forestal del lote 5.	11
Cuadro 3	Frecuencia de los árboles inventariados en el Arboretum.	12
Cuadro 4	Volumen (m ³) por especie en Arboretum.	14
Cuadro 5	Área basal (m ²) y volumen (m ³) por especie en plantaciones puras.	14
Cuadro 6	Existencias en biomasa de las especies presentes en el Arboretum.	16
Cuadro 7	Existencias en biomasa en plantaciones puras.	17
Cuadro 8	Cobertura de dosel de las especies presentes en el Arboretum.	18
Cuadro 9	Cobertura de dosel por especie en plantaciones puras.	18
Cuadro 10	Cuencas utilizadas para riego, por los ingenios azucareros.	38
Cuadro 11	Resultados del análisis físico químico, finca Monte Alegre.	41
Cuadro 12	Resultados del análisis físico químico, finca El Mirador	43
Cuadro 13	Especies vegetales indicadoras en las zonas de vida en el estrato litoral.	44
Cuadro 14	Coeficiente único del cultivo para caña de azúcar	48
Cuadro 15	Lámina de aplicación del sistema de riego pivote central fijo por revolución.	49
Cuadro 16	Eficiencias de aplicación evaluadas en diferentes sistemas de irrigación.	51
Cuadro 17	Estaciones meteorológicas cercanas a las fincas de estudio.	56
Cuadro 18	Criterios técnicos definidos para la operación del riego	60
Cuadro 19	Esquema de la geodatabase de las estrategias de riego.	62
Cuadro 20	Magnitud de vetas de arena en las fincas de estudio.	63
Cuadro 21	Superficie de vetas de arena en áreas irrigadas de finca Irlanda.	67
Cuadro 22	Superficie de vetas de arena en áreas irrigadas de finca Nueva Esperanza.	67
Cuadro 23	Superficie de vetas de arena en áreas irrigadas de finca El Apipal.	68
Cuadro 24	CRH estimada a través de LAA en los suelos de finca Irlanda.	72
Cuadro 25	LAA en suelos con vetas y sin vetas de arena en finca Nueva Esperanza.	73
Cuadro 26	LAA en suelos con vetas y sin vetas de arena en finca El Apipal.	73
Cuadro 27	ET diaria del cultivo de caña de azúcar en las etapas de macollamiento y elongación, en suelos con vetas y sin vetas de arena	81
Cuadro 28	% de secciones de riego en las categorías de manejo finca Irlanda.	82
Cuadro 29	% de secciones de riego en las categorías de manejo finca Nva. Esperanza	82
Cuadro 30	% de secciones de riego en las categorías de manejo finca El Apipal.	83
Cuadro 31	Operación del riego en finca Irlanda.	87
Cuadro 32	Operación del riego en finca Nueva Esperanza.	88
Cuadro 33	Operación de riego en finca El Apipal.	89
Cuadro 34	Criterios de Agrupación de Parámetros de Fertilidad	106
Cuadro 35	Códigos correspondientes a las clases texturales.	107
Cuadro 36	Área de distribución de los valores de pH según los estratos altitudinales	110
Cuadro 37	Área de distribución de los valores de MO según los estratos altitudinales	111
Cuadro 38	Área distribución de los valores de P según los estratos altitudinales	111

Cuadro 39	Área de distribución de los valores de K según los estratos altitudinales ----	112
Cuadro 40	Área de distribución de los valores de Ca según los estratos altitudinales ---	112
Cuadro 41	Área de distribución de los valores de Mg según los estratos altitudinales ---	113
Cuadro 42	Valor medio de pH en los 20 estratos de la zona cañera -----	113
Cuadro 43	Valor medio de MO (%) en los 20 estratos de la zona cañera. -----	114
Cuadro 44	Valor medio de P disponible (ppm) en los 20 estratos de la zona cañera. ----	114
Cuadro 45	Valor medio de K intercambiable (ppm) en los 20 estratos de zona cañera -	114
Cuadro 46	Valor medio de Ca (meq/100g) en los 20 estratos de la zona cañera. -----	115
Cuadro 47	Valor medio de Mg (meq/100g) en los 20 estratos de la zona cañera. -----	115
Cuadro 48	Distribución de las clases texturales según los estratos altitudinales-----	117
Cuadro 49	Resultados de la estimación de lluvia para el estrato alto -----	133
Cuadro 50	Resultados de la estimación de lluvia para el estrato medio -----	134
Cuadro 51	Resultados de la estimación de lluvia para el estrato bajo -----	135
Cuadro 52	Resultados de la estimación de lluvia para el estrato litoral-----	137
Cuadro 53	Resultados del análisis de regresión para la modelación de la temperatura -	146
Cuadro 54	Estadísticas descriptivas, de la temperatura del aire en la zona cañera. -----	147
Cuadro 55A	Formulario de inventario forestal. -----	159
Cuadro 56A	Codificación para asignar valor en campo de calidad de fuste. -----	160
Cuadro 57A	Codificación para asignar valor en campo de forma de fuste. -----	160
Cuadro 58A	Codificación para asignar valor en campo de estado sanitario. -----	161
Cuadro 59A	Codificación para asignar valor en campo de Agente Causal. -----	162
Cuadro 60A	Resultados del análisis de laboratorio de suelo de finca Irlanda. -----	163
Cuadro 61A	Resultados del análisis de laboratorio de suelo de finca Nva. Esperanza.--	165
Cuadro 62A	Resultados del análisis de laboratorio de suelo de finca El Apipal. -----	166

Planteamiento de estrategias técnicas de riego para el manejo de áreas con vetas de arena en el estrato litoral de la zona cañera del sur de Guatemala y servicios agronómicos prestados en el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA)

Resumen

El Ejercicio Profesional Supervisado fue realizado en el Programa de Agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) durante el período febrero – noviembre del 2008.

A través de un diagnóstico se determinó la situación actual del componente forestal del lote 5 de la Estación Experimental Camantulul. El lote 5 de la Estación Experimental Camantulul posee una superficie de 2.05 hectáreas, aproximadamente el 50 % está siendo utilizado para el desarrollo de un arboretum, el cual es una colección de 352 pies o fustes de 41 especies forestales latifoliadas; el volumen total de madera dentro del arboretum es de 62.04 m³. Existen además 5 rodales de plantaciones puras de las especies forestales *T. grandis*, *C. donnell-smithii*, *T. rosea* y tres especies de Eucaliptos (*E. camaldulensis*, *E. torrelliana*, y *E. deglupta*). En plantaciones puras existe un total de 678 fustes, el volumen total en plantaciones puras es de 186.66 m³.

En conjunto las especies forestales en el lote 5 han fijado un estimado de 70,249.3 Kg de Carbono, aproximadamente 34,267.9 Kg/ha. En términos generales el estado fitosanitario del componente forestal del lote 5 es adecuado, en todos los rodales más del 40 % de los individuos presentan un estado sano, sin embargo en aquellos que presentan algún daño, su principal agente causal son insectos y/o enfermedades y hongos.

Respecto a la investigación, se elaboró un protocolo, y posteriormente se ejecutó la investigación titulada “Planteamiento de estrategias técnicas de riego para el manejo de áreas con vetas de arena en el estrato litoral de la zona cañera del sur de Guatemala” en la cual se desarrollaron tecnologías de irrigación espacialmente variable para el manejo de áreas que presentan variabilidad en las condiciones de retención de humedad debido a la presencia de vetas de arena.

Las vetas de arena son áreas físicas que se diferencian en el perfil de suelo por uno o más horizontes de textura gruesa. Las áreas con vetas de arena presentan un rompimiento de

la capilaridad natural, de tal manera que existe baja capacidad de retención de humedad (CRH) de estos suelos. La baja CRH de estos suelos y la falta de humedad en época seca, condicionan el crecimiento normal del cultivo de caña de azúcar, resultando en un alto potencial de pérdida de producción.

El riego con frecuencias cortas es una estrategia viable para solventar la baja CRH de las vetas de arena, sin embargo el desconocimiento de la ubicación espacial y magnitud de vetas de arena puede provocar algunos inconvenientes, siendo el principal la aplicación desbalanceada del riego, creando zonas de déficit o exceso de humedad en una misma área, provocando además estrés hídrico para la planta, o propiciar el desarrollo de fitopatógenos por la acumulación de humedad.

Como primera fase, se fotointerpretaron ortofotografías aéreas digitales en un sistema de información geográfico, pudiéndose determinar la ubicación geoespacial y magnitud de áreas con vetas de arena de tres fincas productoras de caña. Posteriormente se determinó la CRH de los suelos con vetas de arena y sin vetas de arena, a través de un muestreo de suelos, y la determinación de parámetros físicos de éstos en laboratorio. A través de un análisis que integra el clima, la fenología del cultivo y las condiciones del suelo, se estimaron las necesidades de agua del cultivo de caña de azúcar. Por último se establecieron estrategias técnicas de riego para el manejo de áreas con secciones de vetas de arena, los criterios definidos responden a diferentes láminas y frecuencias de riego en función de la magnitud de vetas de arena, determinando la operación del riego en función de requerimientos localizados del cultivo.

Además del diagnóstico y la investigación, se realizaron servicios para el área de Sistemas de Información Geográfica y Agrometeorología del programa de Agronomía de CENGICAÑA, entre estos están:

- 1) Segunda aproximación de los mapas de fertilidad y texturas de la zona cañera, 2) Representatividad de estaciones meteorológicas automatizadas para la determinación de la precipitación pluvial en la zona cañera del sur de Guatemala, 3) Elaboración de mapas históricos de temperatura del aire. 4) Recuperación de la base de datos climatológica de CENGICAÑA, y 5) Administración del Sistema de Información Meteorológico.

CAPÍTULO I

**Diagnóstico de la situación actual del componente forestal del lote 5 (Arboretum y
plantación forestal) de la Estación Experimental Camantulul del Centro
Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA)
Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla**

1.1. PRESENTACIÓN

El Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, CENGICAÑA, fue creado por la Asociación de Azucareros de Guatemala, (ASAZGUA) en el año 1992. La finalidad del centro es apoyar el avance de la tecnología agroindustrial azucarera, mejorando la productividad del cultivo de caña de azúcar y sus derivados, a través de la generación, adaptación y transferencia de tecnologías desarrolladas de manera rentable y sostenible. (CENGICAÑA 2009)

CENGICAÑA, con la finalidad de tener la infraestructura necesaria para el desarrollo de sus objetivos, adquirió del Ingenio Madre Tierra el área para la construcción de la Estación Experimental Camantulul en 1994. Esta estación se encuentra en jurisdicción del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, en el kilómetro 92.5 de la carretera CA-1, localizada en las coordenadas geográficas: latitud 14°19'30" norte y longitud 91°03'03" oeste. (González 1998).

El área total de la Estación Experimental Camantulul es de 61.42 hectáreas, la administración de la estación se divide en 32 lotes de dimensiones variables; la mitad de éstos son utilizados con fines de investigación del cultivo de caña de azúcar, el resto se utiliza para la producción comercial del cultivo, investigación forestal y administración. Los lotes de producción e investigación son identificados según una numeración correlativa que va de 1 a 29. (González 1998).

El lote 5 (2.05 ha) está siendo utilizado para el cultivo de especies forestales con el objeto de conservar especies amenazadas y evaluar aquellas con potencial productivo energético, ésta área ha sido dividida en 8 rodales (un arboretum y 7 plantaciones puras), el arboretum cuenta con una colección de 41 especies de árboles nativos e introducidos, las parcelas son plantaciones puras de *Tectona grandis*, *Eucaliptus torreliana*, *Eucaliptus deglupta*, *Eucaliptus camaldulensis*, *Tabebuia rosea* y *Cybistax donnell-smithii*.

El registro continuo de parámetros dasométricos de cada una de las especies permite analizar cuáles son las especies con mejores aptitudes productivas para una región en particular. (Saavedra et al 1994)

De esa manera, en el presente documento se presenta el diagnóstico del estado actual del componente forestal en el lote 5 de la Estación Experimental Camantulul, el cual fue realizado a través de un inventario forestal al 100% (censo). Se determinó la cantidad y estado de los recursos forestales presentes en el área, y además servirá como precedente para el registro continuo del crecimiento de la masa boscosa del lote No. 5, que permitirá determinar aquellas especies con potencial productivo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

- Determinar el estado actual del componente forestal del Lote 5 de la Estación Experimental Camantulul, del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA)

1.2.2 Objetivos Específicos

- Generar información relacionada con el estado y manejo de los recursos forestales del Lote 5, mediante la realización de un inventario forestal.
- Determinar las existencias en volumen y biomasa de las especies forestales presentes en el Lote 5.
- Establecer atributos cualitativos de las especies forestales.

1.3. METODOLOGÍA

1.3.1 Planificación

Utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) se delimitó el área de estudio. Se elaboró un mapa base preliminar, que incluye la Estación Experimental y un mapa de rodalización del Lote 5, donde se define la distribución espacial de las especies forestales en el área de estudio. Ambos mapas, fueron utilizados para ubicar y reconocer el área. Los mapas generados fueron corroborados en campo.

1.3.2 Inventario forestal

Se empleó la metodología propuesta en el Manual de Campo Modelo para Inventarios Forestales de la FAO, desarrollado en Guatemala. (FRA 2004). Y debido a la extensión del área (2.05 hectáreas), se determinó hacer un inventario forestal al 100% (censo), enfocado para planes de manejo de plantaciones, en donde se tomaron las variables: nombre común o especie, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, forma y calidad del fuste, estado sanitario y agente causal, y cobertura de copa. Éstas variables fueron anotadas en un formulario previamente elaborado. (Cuadro 55A)

1.3.2.1 Identificación de las especies forestales

Para determinar el nombre común o especie, se revisaron trabajos previos, principalmente aquellos que registran el establecimiento del área de estudio.

1.3.2.2 Medición de DAP

Se realizó a todos los árboles presentes en el área, siguiendo la metodología establecida que se detalla en el Manual Modelo de Campo para Inventarios Forestales de la FAO (FRA 2004). Se utilizó una cinta métrica para medir la circunferencia de cada fuste, luego se calculó el diámetro mediante la fórmula:

$$DAP = Circunferencia/\pi$$

Donde:

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

Circunferencia = circunferencia (cm)

La medición de la circunferencia de cada individuo se hizo a 1.3 metros de altura, desde la base del fuste,

1.3.2.3 Medición de la altura

Se realizó con un Clinómetro Suunto, el cual fue operado a una distancia de 15 metros de la base de cada individuo, tomando los ángulos superior e inferior, los cuales a través del análisis trigonométrico permitieron estimar la altura total de cada árbol (de la base del fuste hasta el ápice de cada individuo)

1.3.2.4 Estimación del volumen y área basal

Los parámetros DAP y altura sirven para el cálculo de área basal por individuo, por especie y por unidad de área, así como también el volumen total. Ambos área basal y volumen, se calcularon con las siguientes fórmulas utilizándose hojas electrónicas:

$$AB = \frac{DAP^2}{4} * \pi$$

Donde:

AB = área basal (m²)

DAP = diámetro a la altura del pecho (m²)

$$V = 0.108337266 + (0.000046499 * DAP^2 * h)$$

Donde:

V = volumen (m³)

DAP = diámetro a la altura del pecho (m²)

h = altura total (m)

La formula de área basal corresponde a la fórmula para el cálculo de área de un círculo, la formula de volumen es la definida por FAO para la estimación de volumen en especies latifoliadas. Además el valor de DAP de cada individuo permitió estimar la biomasa acumulada, esto con el uso de un modelo generado para especies latifoliadas aplicado en Guatemala. (FRA, 2004) La fórmula para la estimación del volumen acumulado para latifoliadas es:

$$Biomasa = (42.69) - (12.8 * DAP) + (1.242 * DAP^2)$$

Donde:

Biomasa = biomasa (Kg)

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

1.3.2.5 Determinación del Estado Sanitario y Agente Causal

Se hizo en base a la observación directa del follaje y fuste de los individuos evaluados, en base a las categorías establecidas por FAO. (Cuadro 58A y Cuadro 59A)

1.3.2.6 Determinación de la forma y calidad del fuste

Se hizo en base a la observación del fuste basándonos en criterios preestablecidos por FAO. (Cuadro 56A y Cuadro 57A)

1.3.2.7 Determinación de la cobertura de copa

Se hizo en base a la estimación del área de cobertura, estimando un promedio de diámetro de copa.

1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.4.1 Ubicación y descripción del área de estudio

El diagnóstico se efectuó en el estrato alto de la zona cañera del sur de Guatemala, correspondiente a la zona alta, en el lote 5 de la Estación Experimental Camantulul del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) ubicada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, del departamento de Escuintla. Localizada sobre la carretera CA – 1 en el kilómetro 92.5, las coordenadas geográficas son: latitud 14°19'30" norte y longitud 91°03'03" oeste.



Figura 1 Mapa de ubicación de la Estación Experimental Camantulul.

1.4.2 Estrato alto

El estrato alto de la zona cañera de Guatemala se encuentra comprendido entre los 300 y los 800 metros sobre el nivel del mar (msnm), en esta región predominan los suelos Andisoles, la precipitación pluvial es mayor a los 3,000 milímetros (mm) anuales, y la

temperatura promedio anual es de 25 centígrados. En esta zona se concentra la menor superficie cultivada con caña de azúcar. (Orozco et al 1995)

1.4.3 Clima

Las condiciones climáticas durante el año 2008 según reportó la estación más cercana al área de estudio son las siguientes:

Cuadro 1 Parámetros climáticos de la estación meteorológica CENGICAÑA.

Temperatura mínima (°C) [†]	Temperatura media (°C) [†]	Temperatura máxima (°C) [†]	Radiación diaria acumulada (W m ⁻²) [†]	Humedad relativa mínima (%) [†]
19.3	25.5	31.6	19,014.8	50.9
Humedad relativa media (%) [†]	Humedad relativa máxima (%) [†]	Precipitación pluvial (mm) [*]	Velocidad del viento promedio (Km h ⁻¹) [†]	Velocidad promedio máxima (Km h ⁻¹) [†]
72.7	94.0	4,089.2	5.3	23.1

1.4.4 Fisiografía

La Estación Experimental Camantulul se encuentra en la región fisiográfica Llanura Costera del Pacífico, sobre el abanico aluvial de los ríos Coyolate-Acomé-Achíguate (parte del vértice). (MAGA 2004)

1.4.5 Hidrografía

El área de estudio se encuentra sobre la subcuenca del río Cristóbal, en la parte media de la cuenca del río Coyolate, ésta pertenece a la Vertiente del Pacífico. Acá los ríos son de longitudes cortas, en la parte media y baja de la cuenca, las pendientes son mínimas, por lo que existen grandes zonas susceptibles a inundación. (PLAMAR 1990)

1.4.6 Geología

Las rocas sedimentarias predominan en ésta zona, este tipo de roca ha sido formada por aluviones del cuaternario. Los materiales originales de esta región son sedimentos y materiales volcánicos, cenizas principalmente. (MAGA 2004)

1.4.7 Suelos

Según el Estudio Semidetallado de Suelos realizado en la zona cañera del pacífico, los suelos del lote 5 son clasificados como Andisoles. La descripción del perfil del suelo denota que son suelos con textura arcillosa/media, el relieve es ligeramente inclinado, con pendiente promedio del 5 %, son suelos profundos, con buen drenaje, sin problemas de salinidad, con erosión moderada, altos contenidos de materia orgánica, y algunas deficiencias de fósforo. (ICL 1996)

1.4.8 Zonas de vida

La región sobre la cual se encuentra la Estación Experimental Camantulul se identifica la zona de vida bosque muy húmedo Subtropical (Cálido), en donde predominan las especies forestales: *Scheelea preussii*, *Terminalia oblonga*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sickingia salvadorensis*, *Triplaris melaenodendrum*, *Cybistax donnell-smithii*, *Andira inermis*. (Melgar 2003)

1.4.9 Antecedentes

El enfoque de CENGICAÑA hacia la actividad forestal, se ha dado como respuesta a la alta potencialidad de desarrollo de especies forestales latifoliadas existente en el área, debido a los privilegios del ecosistema (suelos y clima) de la región cañera del país. Además en la actualidad, las plantaciones existentes en algunas fincas de ingenios están siendo utilizadas y manejadas principalmente hacia la producción de energéticos. (Monterroso 2001).

Las plantaciones forestales y el arboretum de la Estación Experimental Camantulul fueron establecidos en 1998 y 2002, respectivamente, con el objeto de conservar especies forestales amenazadas, así como para evaluar el potencial productivo (principalmente energético) de especies forestales de origen diverso, nativas e introducidas. (González 2005).

1.4.10 Superficie del componente forestal

En el cuadro 2 se presenta la superficie de las plantaciones puras y la superficie del arboretum dentro del lote 5 (2.05 ha). Se observa que más del 40 % de la superficie del área está siendo utilizado para el desarrollo del Arboretum, respecto a las plantaciones puras, *E. camaldulensis* (11.05%), *C. donnell-smithii* (8.97%) y *T. grandis* (8.50%) son las que ocupan mayor superficie dentro del lote 5.

Cuadro 2 Superficie del componente forestal del lote 5.

Tipo de uso de la tierra	Superficie (ha)	% de superficie Lote 5
Arboretum	0.9759	47.60
<i>T. grandis</i>	0.1746	8.50
<i>C. donnell-smithii</i>	0.1840	8.97
<i>E. torrelliana</i>	0.1563	7.62
<i>E. camaldulensis</i>	0.2267	11.05
<i>E. deglupta</i>	0.0887	4.32
<i>T. rosea</i>	0.0456	2.22

En la figura 2 se presenta la distribución de los rodales que componen el lote 5.



Figura 2 Mapa de rodalización del lote 5.

1.4.11 Especies de árboles inventariados

El Arboretum cuenta con un total de 41 diferentes especies forestales, está compuesto por 352 pies o fustes; en el cuadro 3 se presentan las especies y % de frecuencia de árboles inventariados dentro del Arboretum; se observa que, las especies más abundantes son *P. dimorphandrum* (9.47% frecuencia), *T. rosea* (8.88% frecuencia), *T. oblonga* (6.80% frecuencia) y *S. humilis* (6.21% frecuencia).

Cuadro 3 Frecuencia de los árboles inventariados en el Arboretum.

Especie forestal	% frecuencia	Especie forestal	% frecuencia
<i>A. fraxinifolium</i>	2.07	<i>E. cyclocarpum</i>	1.78
<i>A. glabra</i>	1.48	<i>G. sepium</i>	5.62
<i>A. megalocarpon</i>	2.96	<i>H. courbaril</i>	1.18
<i>A. occidentale L.</i>	0.89	<i>J. curcas</i>	0.89
<i>B. allicastrum</i>	1.48	<i>M. indica</i>	0.89
<i>B. burceras</i>	1.18	<i>M. zapota</i>	0.30
<i>B. crassifolia</i>	3.55	<i>P. dimorphandrum</i>	9.47
<i>C. aesculifolia</i>	1.48	<i>P. dioica</i>	0.59
<i>C. alliodora</i>	2.07	<i>P. pinnatum</i>	0.30
<i>C. brasilense</i>	1.48	<i>P. saman</i>	1.18
<i>C. dodecandra</i>	2.96	<i>S. apetala</i>	1.48
<i>C. donnell-smithii</i>	5.03	<i>S. humilis</i>	6.21
<i>C. emarginata</i>	0.30	<i>S. salvadorensis</i>	2.66
<i>C. ferruginosa</i>	2.66	<i>T. crysantha</i>	0.89
<i>C. fistula</i>	3.55	<i>T. melaenodendron</i>	1.78
<i>C. odorata</i>	4.44	<i>T. oblonga</i>	6.80
<i>C. zeylanicum</i>	2.07	<i>T. olivaeformes</i>	2.96
<i>D. nigra</i>	1.48	<i>T. rosea</i>	8.88
<i>D. retusa</i>	1.48	<i>V. hondurensis</i>	0.59
<i>D. robinoides</i>	1.48	<i>Z. parahybum</i>	1.18
<i>D. tocurensis</i>	0.30		

En la figura 3 se presenta la cantidad de individuos presentes en las plantaciones puras, en total existen 678 pies o fustes en plantación, *T. grandis* (175 fustes), *E. torreliana* (142 fustes), y *C. donnell-smithii* (137 fustes), son las más abundantes, y corresponden además a las especies que mayor superficie ocupan.

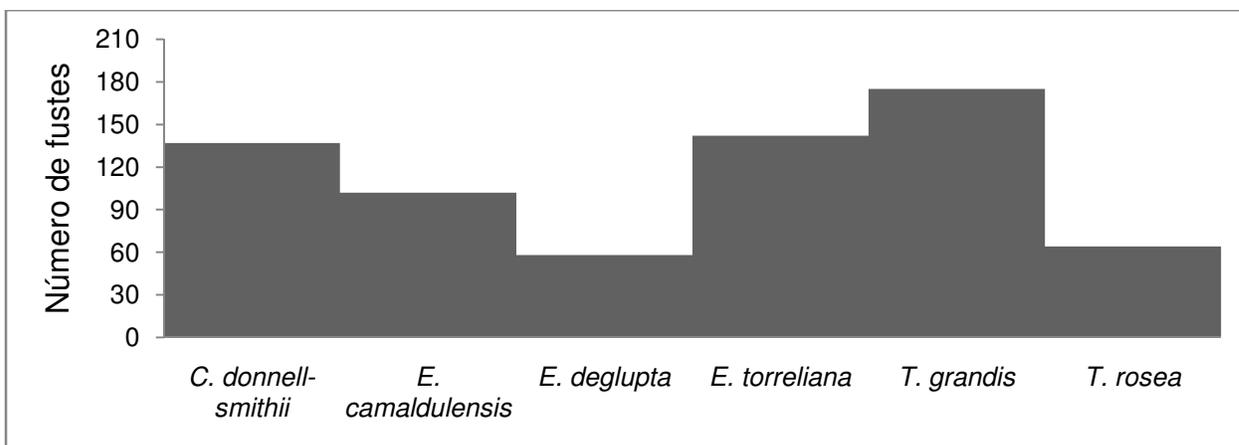


Figura 3 Número de fustes por especie en plantaciones puras del lote 5.

1.4.12 Existencias de los recursos forestales

1.4.12.1 Existencias en volumen en el Arboretum

La sumatoria del área basal de todas las especies que componen el Arboretum es de 4.66 m², las existencias totales en formación (diámetros mayores a 10 cm) asciende a un total de 204 fustes, dentro de éstas, las existencias en formación comercial (diámetros > 20 cm) es de 25 fustes.

El volumen total de madera en el Arboretum es de 62.04 m³. En el cuadro 4 se presentan las existencias en volumen por especie, las de mayor volumen son *P. dimorphandrum* (6.13 m³), *T. rosea* (5.29 m³), *T. oblonga* (4.87 m³), y *S. humilis* (3.50 m³) éstas corresponden a las especies más abundantes dentro del Arboretum.

Cuadro 4 Volumen (m³) por especie en Arboretum.

Especie	Volumen m ³	Especie	Volumen m ³
<i>A. fraxinifolium</i>	1.02	<i>E. cyclocarpum</i>	0.84
<i>A. glabra</i>	1.14	<i>G. sepium</i>	3.33
<i>A. megalocarpon</i>	2.46	<i>H. courbaril</i>	0.74
<i>A. occidentale</i> L.	0.47	<i>J. curcas</i>	0.39
<i>B. allicastrum</i>	0.67	<i>M. indica</i>	0.52
<i>B. burceras</i>	0.73	<i>M. zapota</i>	0.74
<i>B. crassifolia</i>	2.29	<i>P. dimorphandrum</i>	6.13
<i>C. aesculifolia</i>	0.90	<i>P. dioica</i>	0.61
<i>C. alliodora</i>	1.64	<i>P. pinnatum</i>	0.21
<i>C. brasilense</i>	0.67	<i>P. saman</i>	0.88
<i>C. dodecandra</i>	1.48	<i>S. apetala</i>	1.13
<i>C. donnell-smithii</i>	2.38	<i>S. humilis</i>	3.50
<i>C. emarginata</i>	0.39	<i>S. salvadorensis</i>	1.08
<i>C. ferruginosa</i>	1.85	<i>T. crysantha</i>	0.49
<i>C. fistula</i>	2.14	<i>T. melaenodendron</i>	1.03
<i>C. odorata</i>	3.11	<i>T. oblonga</i>	4.87
<i>C. zeylanicum</i>	0.89	<i>T. olivaeformes</i>	2.07
<i>D. nigra</i>	0.77	<i>T. rosea</i>	5.29
<i>D. retusa</i>	0.75	<i>V. hondurensis</i>	0.32
<i>D. robinoides</i>	0.84	<i>Z. parahybum</i>	1.09
<i>D. tocurensis</i>	0.21		

1.4.12.2 Existencias en volumen en plantaciones

El área basal y volumen de las plantaciones puras es presentado en el cuadro 5.

Cuadro 5 Área basal (m²) y volumen (m³) por especie en plantaciones puras.

Especie	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)
<i>T. grandis</i>	3.04	42.17
<i>C. donnell-smithii</i>	0.50	16.77
<i>E. torreliana</i>	3.09	40.73
<i>T. rosea</i>	0.23	7.54
<i>E. deglupta</i>	1.40	16.59
<i>E. camaldulensis</i>	3.93	62.86

Las plantaciones más desarrolladas y que ya muestran aptitud para ser aprovechadas comercialmente son *T. grandis* (42.17 m³), *E. torreliana* (40.73 m³), *E. camaldulensis* (62.86 m³), y *E. deglupta* (16.59 m³) mientras que *C. donnell-smithii* y *T. rosea* muestran un estado de desarrollo menor.

Las existencias en formación total de *T. grandis* ascienden a 144 fustes (82.28% del total de fustes), siendo existencias en formación comercial únicamente 12 fustes.

Un total de 139 fustes (97.88%) de *E. torreliana* son existencias en formación total, 19 de estos (13.38%) son existencias en formación comercial.

Respecto a *E. camaldulensis*, 92 (90.19%) de los fustes presentan diámetros mayores a 10 cm (existencias en formación total), y de éstos 49 fustes encajan como existencias en formación comercial.

El rodal de *E. deglupta* presenta 52 (87.93%) de sus pies o fustes en formación total, y 13 de éstos son existencias en formación comercial.

1.4.12.3 Existencias de biomasa y reservas de carbono

En el cuadro 6 se muestran los resultados de biomasa arbórea y carbono fijado por cada uno de los árboles inventariados dentro del arboretum, en total se estima que existen 36,052.8 kilogramos de biomasa arbórea, de esto, aproximadamente el 50% (18,026.4 kilogramos) corresponde a carbono fijado.

Cuadro 6 Existencias en biomasa de las especies presentes en el Arboretum.

Especie	Biomasa (Kg)	Carbono fijado (Kg)	Especie	Biomasa (Kg)	Carbono fijado (Kg)
<i>A. fraxinifolium</i>	278.29	139.14	<i>E. cyclocarpum</i>	225.80	112.90
<i>A. glabra</i>	892.49	446.24	<i>G. sepium</i>	1750.46	875.23
<i>A. megalocarpon</i>	2499.66	1249.83	<i>H. courbaril</i>	370.07	185.04
<i>A. occidentale L.</i>	127.99	63.99	<i>J. curcas</i>	85.59	42.80
<i>B. allicastrum</i>	223.88	111.94	<i>M. indica</i>	239.02	119.51
<i>B. burceras</i>	329.98	164.99	<i>M. zapota</i>	604.72	302.36
<i>B. crassifolia</i>	1514.34	757.17	<i>P. dimorphandrum</i>	4064.57	2032.28
<i>C. aesculifolia</i>	603.31	301.66	<i>P. dioica</i>	494.43	247.22
<i>C. alliodora</i>	1163.44	581.72	<i>P. pinnatum</i>	102.87	51.43
<i>C. brasilense</i>	149.31	74.66	<i>P. saman</i>	682.98	341.49
<i>C. dodecandra</i>	595.93	297.97	<i>S. apetala</i>	1047.83	523.92
<i>C. donnell-smithii</i>	740.93	370.46	<i>S. humilis</i>	1572.69	786.35
<i>C. emarginata</i>	318.76	159.38	<i>S. salvadorensis</i>	172.68	86.34
<i>C. ferruginosa</i>	1309.38	654.69	<i>T. crysantha</i>	160.50	80.25
<i>C. fistula</i>	1037.89	518.94	<i>T. melaenodendron</i>	407.96	203.98
<i>C. odorata</i>	2336.50	1168.25	<i>T. oblonga</i>	3132.75	1566.38
<i>C. zeylanicum</i>	195.94	97.97	<i>T. olivaeformes</i>	1612.97	806.49
<i>D. nigra</i>	214.20	107.10	<i>T. rosea</i>	3337.79	1668.90
<i>D. retusa</i>	216.04	108.02	<i>V. hondurensis</i>	80.40	40.20
<i>D. robinoides</i>	374.15	187.07	<i>Z. parahybum</i>	701.37	350.69
<i>D. tocurensis</i>	82.92	41.46			

En el cuadro 7 se presenta la estimación de biomasa acumulada por cada una de las especies forestales en plantación; en ésta zona se estima que se han acumulado 104,445.8 kilogramos de biomasa arbórea, lo cual representa una fijación de 52,222.9 kilogramos de Carbono.

Cuadro 7 Existencias en biomasa en plantaciones puras.

Especie	Biomasa (Ton)	Carbono fijado (Ton)
<i>T. grandis</i>	23230.93	11615.46
<i>C. donnell-smithii</i>	3036.90	1518.45
<i>E. torreliana</i>	25188.24	12594.12
<i>T. rosea</i>	1120.74	560.37
<i>E. deglupta</i>	12283.95	6141.97
<i>E. camaldulensis</i>	39585.04	19792.52

1.4.13 Atributos de los recursos forestales

1.4.13.1 Cobertura de dosel

La cobertura del dosel en el arboretum es de 4,136.89 m², esto corresponde a un 42% del área total del rodal (arboretum), en el cuadro 8 se presenta la cobertura del dosel por especie. Se observa que *T. rosea* (518.43m²), *P. dimorphandrum* (378.43 m²), *T. oblonga* (355.31m²), y *B. crassifolia* (340.93 m²) son las especies que brindan mayor cobertura de dosel.

Cuadro 8 Cobertura de dosel de las especies presentes en el Arboretum.

Especies	Cobertura dosel (m ²)	Especies	Cobertura dosel (m ²)
<i>A. fraxinifolium</i>	59.76	<i>E. cyclocarpum</i>	17.25
<i>A. glabra</i>	84.10	<i>G. sepium</i>	181.89
<i>A. megalocarpon</i>	111.40	<i>H. courbaril</i>	74.88
<i>A. occidentale</i> L.	14.60	<i>J. curcas</i>	7.14
<i>B. allicastrum</i>	27.02	<i>M. indica</i>	14.60
<i>B. burceras</i>	36.83	<i>M. zapota</i>	55.04
<i>B. crassifolia</i>	340.93	<i>P. dimorphandrum</i>	378.43
<i>C. aesculifolia</i>	22.25	<i>P. dioica</i>	59.17
<i>C. alliodora</i>	143.79	<i>P. pinnatum</i>	14.40
<i>C. brasilense</i>	14.79	<i>P. saman</i>	119.45
<i>C. dodecandra</i>	64.27	<i>S. apetala</i>	113.36
<i>C. donnell-smithii</i>	95.93	<i>S. humilis</i>	208.05
<i>C. emarginata</i>	28.54	<i>S. salvadorensis</i>	22.94
<i>C. ferruginosa</i>	198.58	<i>T. crysantha</i>	54.06
<i>C. fistula</i>	108.84	<i>T. melaenodendron</i>	90.00
<i>C. odorata</i>	97.11	<i>T. oblonga</i>	355.31
<i>C. zeylanicum</i>	25.59	<i>T. olivaeformes</i>	153.02
<i>D. nigra</i>	31.34	<i>T. rosea</i>	518.43
<i>D. retusa</i>	54.11	<i>V. hondurensis</i>	9.69
<i>D. robinoides</i>	14.20	<i>Z. parahybum</i>	103.94
<i>D. tocurensis</i>	7.07		

En el cuadro 9 se presenta la cobertura del dosel de las especies forestales en plantaciones puras, se observa que *E. torreliana* presenta mayor cobertura que el área utilizada para su plantación (139.44 %), las demás especies presentan cobertura de más del 50 %, exceptuando a *E. camaldulensis* cuya cobertura alcanza el 32.88% del área.

Cuadro 9 Cobertura de dosel por especie en plantaciones puras.

Especie	Cobertura dosel (m ²)	% de área
<i>T. grandis</i>	1278.09	73.20
<i>C. donnell-smithii</i>	458.57	24.92
<i>E. torreliana</i>	2179.48	139.44
<i>T. rosea</i>	233.08	51.11
<i>E. deglupta</i>	510.31	57.53
<i>E. camaldulensis</i>	745.54	32.88

1.4.13.2 Estado fitosanitario de las especies forestales

En la figura 4 se presenta, en porcentaje, el estado fitosanitario de los individuos presentes dentro del Arboretum, se aprecia que la mayoría (52%) de individuos presenta un estado fitosanitario sano, sin embargo un número considerable de individuos (36%) se encontró como ligeramente afectado, en menor escala se encontraron individuos gravemente afectados (12%); además no se encontró algún árbol muerto o caído.

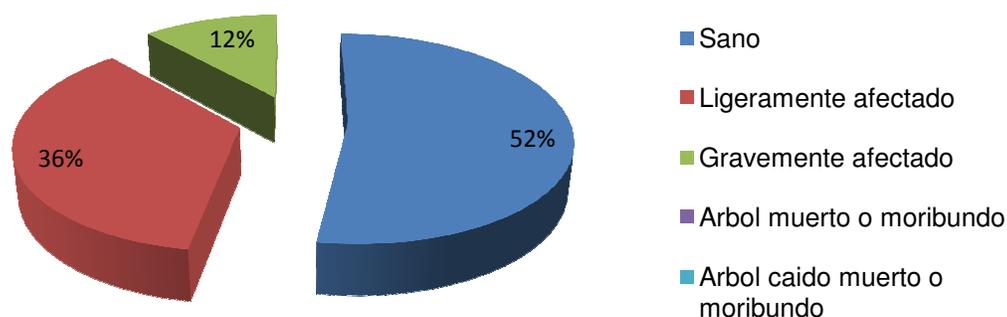


Figura 4 Porcentaje de individuos según estado fitosanitario en el Arboretum.

En la figura 5 se presenta el porcentaje de individuos según su estado fitosanitario en las plantaciones puras, en la mayoría, más del 40% de individuos fueron catalogados como árboles sanos, exceptuando la plantación de *T. rosea*, en donde el 72 % de los individuos presentaron síntomas de enfermedad y/o parásitos que afectan sustancialmente el crecimiento de esta especie. Al igual que en el Arboretum, en ninguna de las plantaciones puras se encontraron árboles muertos y/o caídos.

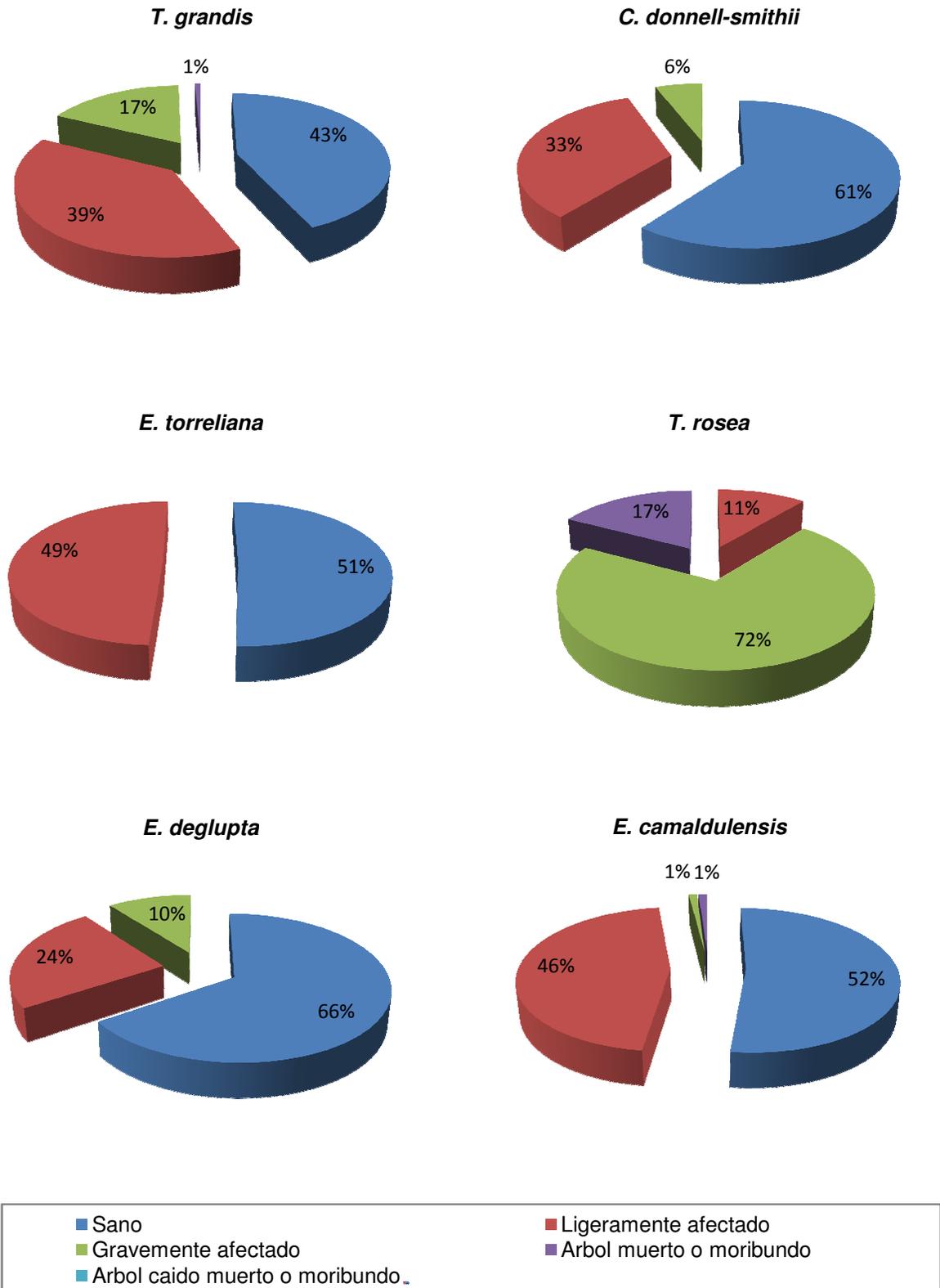


Figura 5 Porcentaje de individuos según estado fitosanitario por especie en plantaciones puras.

1.4.13.3 Agente causal de estado fitosanitario deficiente

En la figura 6 se presenta el porcentaje de individuos afectados según el tipo de agente causal dentro del arboretum, se observa que el agente causal más significativo son insectos (27%) y en menor escala hongos u otras enfermedades (19%), se observa que el daño causado por el ser humano (cortas, extracción de ramas) es bajo (<1%).

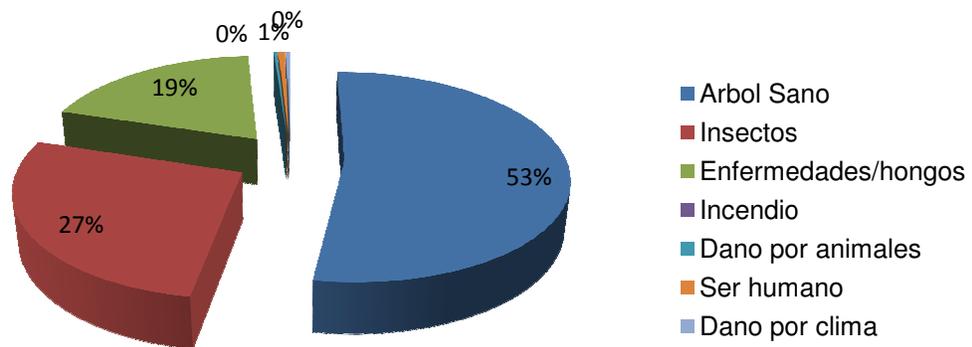


Figura 6 Porcentaje de individuos según agente causal en el Arboretum.

En la figura 7 se presenta el porcentaje de individuos afectados según el tipo de agente causal en cada una de las plantaciones puras, para el caso de *T. grandis* y *E. camaldulensis* el principal agente causal son insectos (49 y 28 %, respectivamente), mientras que para *C. donnell-smithii*, *E. torreliana* y *T. rosea*, el principal agente causal son enfermedades u hongos con un 31, 42 y 95%, respectivamente; *E. deglupta* presenta mayores problemas debido a la acción del ser humano (14%).

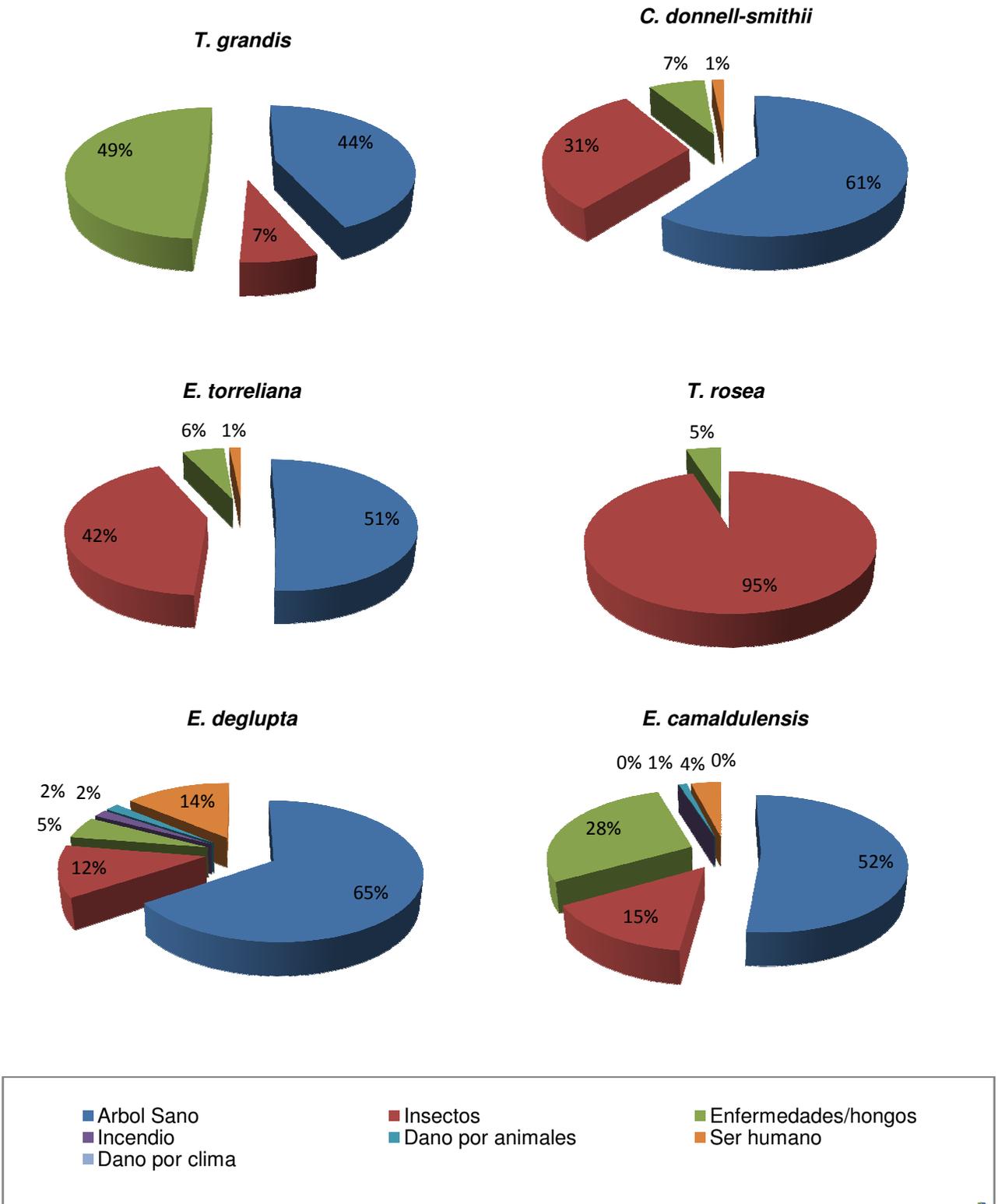


Figura 7 Porcentaje de individuos según agente causal en plantaciones puras.

1.4.13.4 Calidad y forma de fustes

En la figura 8 se presenta el porcentaje de individuos según la apreciación cualitativa del fuste, el 80% de los fustes presentes dentro del Arboretum presenta alta calidad de fuste.

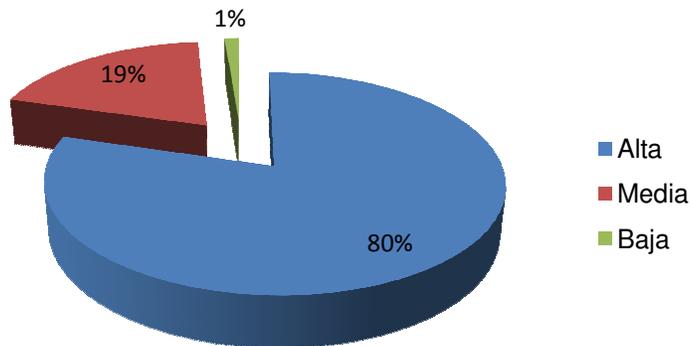


Figura 8 Porcentaje de individuos según su calidad de fuste en el Arboretum.

Dentro de las plantaciones puras, *T. grandis*, *C. donnell-smithii*, y *E. torreliana* presentan alta calidad de fuste en más del 80 % de los individuos, mientras que *T. rosea* y *E. deglupta* presentan baja calidad de fuste en un 3 y 9% de los individuos respectivamente (figura 9)

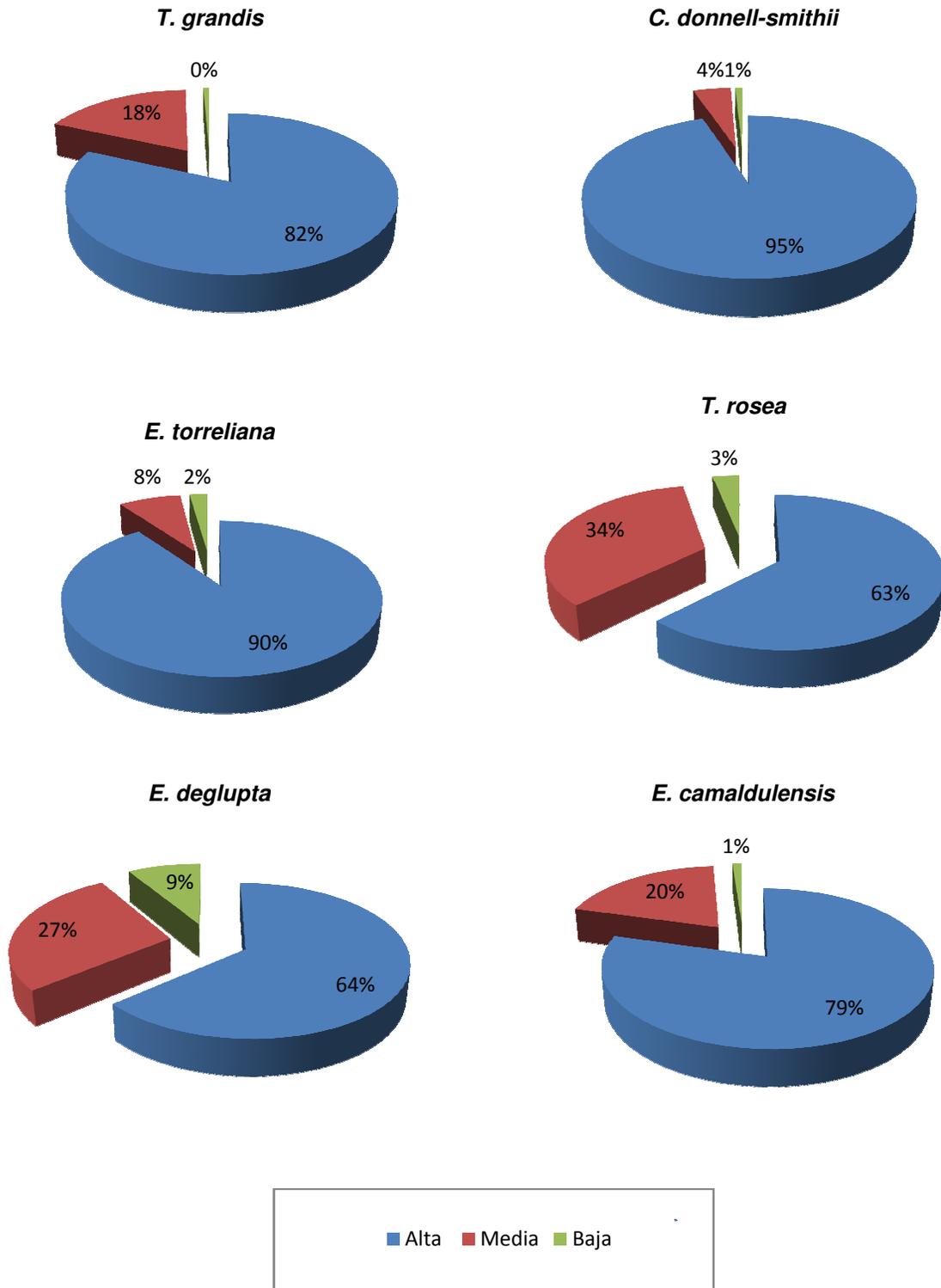


Figura 9 Porcentaje de individuos según su calidad de fuste en plantaciones puras.

Según la clasificación utilizada, únicamente el 17% de los individuos presentes en el Arboretum muestran fustes rectos, el resto presenta algún tipo de defecto. (Figura 10)

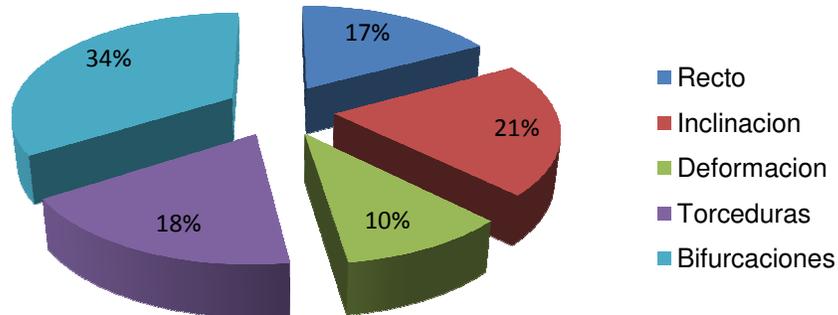


Figura 10 Porcentaje de individuos según la forma de fuste en el Arboretum.

En las plantaciones puras, del 30 al 40% de los individuos de *T. grandis*, *C. donnell-smithii* y *E. camaldulensis* presentan fustes rectos, el 25% de los individuos de las especies *E. torreliana* y *T. rosea* presentan fustes torcidos, mientras que *E. deglupta* muestra 48% de los individuos con fustes inclinados. (Figura 11)

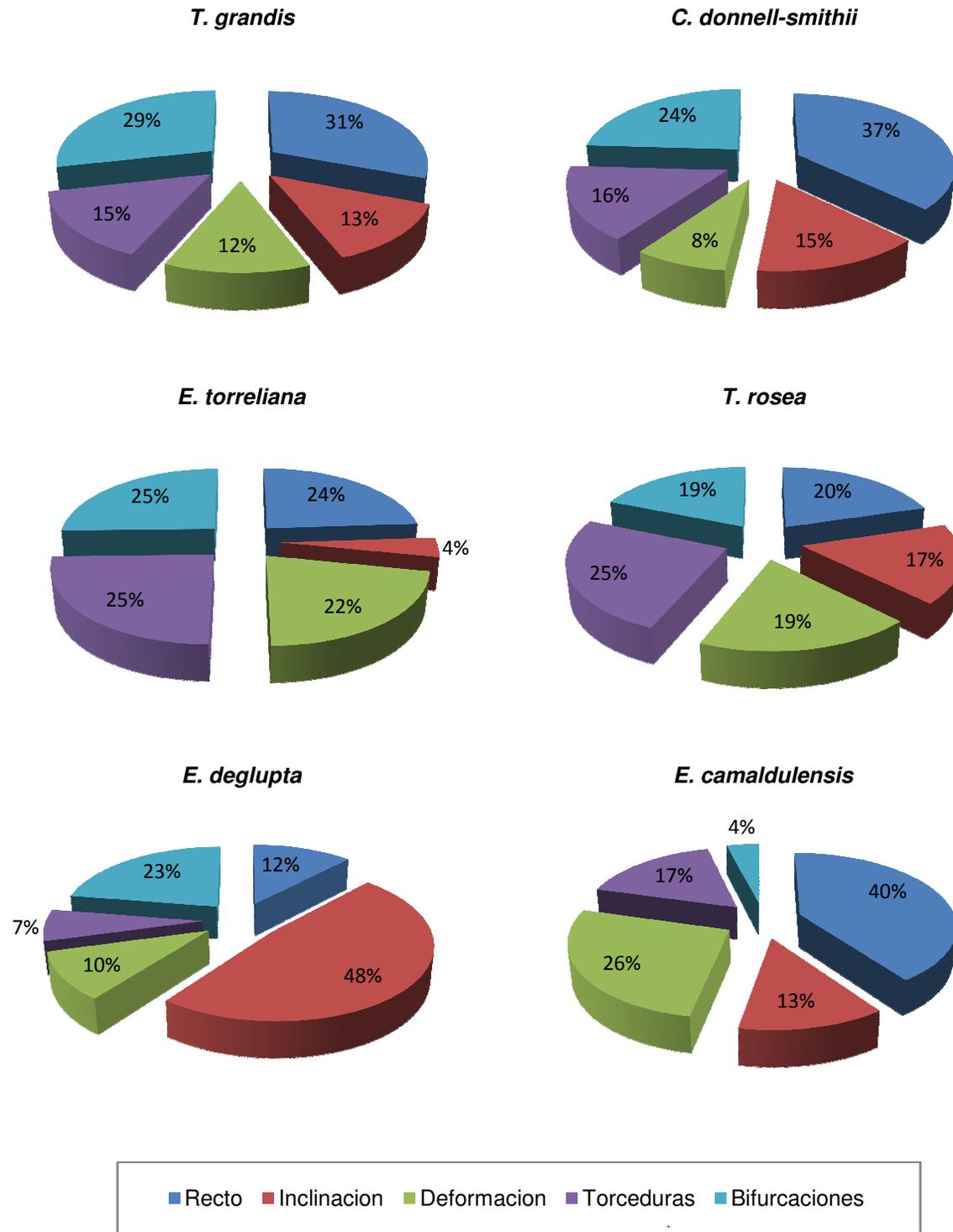


Figura 11 Porcentaje de individuos según la forma de fuste en plantaciones puras.

1.5. CONCLUSIONES

- 1) El lote 5 de la Estación Experimental Camantulul posee una superficie de 2.05 ha, el 47.6% está siendo utilizada para el desarrollo de un arboretum, existen además 5 rodales de plantaciones puras de las especies forestales *T. grandis* (8.5% del área), *C. donnell-smithii*, (8.9%) *T. rosea* (2.2%) y tres diferentes especies de Eucaliptos, *E. torreliana* (7.6%), *E. camaldulensis* (11.0%) y *E. deglupta* (4.3%).
- 2) El arboretum es una colección de 41 diferentes especies forestales latifoliadas, posee 352 pies o fustes. En las plantaciones puras existe un total de 678 individuos, siendo *T. grandis* (175 fustes), *E. torreliana* (142 fustes) y *C. donnell-smithii* (137 fustes) las más abundantes y de mayor superficie.
- 3) El volumen total de madera dentro del arboretum es de 62.04 m³, las especies con mayor volumen dentro de este rodal son: *P. dimorphandrum* (6.13 m³), *T. rosea* (5.29 m³), *T. oblonga* (4.87 m³) y *S. humilis* (3.5 m³). Especies de alto valor económico.
- 4) El volumen total de madera en plantaciones puras asciende a 186.66 m³, especies como *E. camaldulensis* (62.86 m³), *T. grandis* (42.17 m³) y *E. torreliana* (40.73 m³) muestran buena proporción de fustes en formación comercial.
- 5) En conjunto las especies forestales en el Lote 5 han fijado un estimado de 70,249.3 kilogramos de Carbono, esto es aproximadamente 34,267.9 kg/ha
- 6) En términos generales el estado fitosanitario de las especies forestales es adecuado, en todos los casos más del 40 % de los individuos en cada rodal presentan un estado sano. Los principales agentes causales de los individuos que presentan un estado fitosanitario deficiente son insectos y enfermedades y/o hongos.
- 7) En promedio el 79% de los individuos presentan alta calidad de fuste, sin embargo menos del 26% presentan fustes rectos.

1.6. RECOMENDACIONES

Establecer un sistema periódico de medición de la masa forestal en el lote 5 a través de parcelas permanentes de medición, para poder determinar la dinámica de crecimiento e identificar aquellas especies con mejores aptitudes de desarrollo.

Diseñar un plan de manejo forestal que sea económicamente viable, para que permita mantener y coadyuvar el desarrollo de las especies forestales dentro de la Estación Experimental Camantulul.

1.7. BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2007. Estadísticas de zafra. Guatemala, CENGICAÑA, Boletín Estadístico 8(1):1-8.
2. Duchén, R. 1999. Guía de operación del sistema de censos forestales (en línea). Santa Cruz, Bolivia, Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR) / Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Consultado 25 feb 2008. Disponible en: <http://rmpportal.net/library/II/B/3/guia-de-operacion-del-sistema-de-censos-forestales.pdf/view>
3. FRA (Programa de Evaluación de los Recursos Forestales, IT). 2004. Inventario forestal nacional, manual de campo modelo (en línea). Guatemala, FAO, Departamento de Montes. 78 p. (Documento de trabajo 94/S.) Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/ae578s/ae578s00.pdf>
4. González, A. 1998. Documento descriptivo de la estación experimental Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-Escuintla, Guatemala. Guatemala. 27 p.
5. González, W. 2004. Manejo agronómico de la estación experimental Camantulul en la zafra 2003-2004 y distribución de áreas experimentales a la zafra 2009-2010: documento de trabajo, programa de variedades. Escuintla, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 16 p.
6. González, W. 2005a. Manejo agronómico–forestal arboretum CENGICAÑA. Informe Final PPAS. Escuintla, Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 26 p.
7. _____. 2005b. Informe manejo agronómico de la estación experimental Camantulul en la zafra 2004-2005: documento de trabajo, programa de variedades. Escuintla, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 16 p.
8. ICL (Ingeniería del Campo Limitada, GT). 1996. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 2 ed. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 215 p.
9. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2004a. Mapa fisiográfico-geomorfológico del departamento de Escuintla (en línea). Guatemala, UPGGR. Esc. 1:500,000. Color. Consultado 15 feb 2008. Disponible <http://200.12.49.237/imagenes/Mapas/DEPARTAMENTAL/Escuintla/Jpg/fisiografico.jpg>
10. _____. 2004b. Mapa geológico del departamento de Escuintla (en línea). Guatemala, UPGGR. Esc. 1:500,000. Color. Consultado 15 feb 2008. Disponible <http://200.12.49.237/imagenes/Mapas/DEPARTAMENTAL/Escuintla/Jpg/geologico.jpg>

11. Melgar, W. 2003. Estado de la biodiversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala: documento de trabajo sobre recursos genéticos forestales (en línea). Roma, Italia, FAO, Dirección de Recursos Forestales. Consultado 3 oct 2008. Disponible en www.fao.org/docrep/006/j0606s/j0606s03.htm
12. Monterroso, L; Barrios, B; Donado, L. 2001. Diagnóstico de plantaciones forestales en la zona cañera de Guatemala. Escuintla, Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, Programa de Investigación Forestal / Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 49 p.
13. Orozco, H; Soto, G; Pérez, O; Ventura, R; Recinos, M. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp) en Guatemala con fines de investigación en variedades (en línea). Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, CENGICANA. (Documento Técnico no. 6). Consultado 15 abr 2008. Disponible <http://cengicana.org/Portal/Biblioteca/PublicacionesCENGICANA/DocumentosTecnicos/0706/DocumentoTecnico6.pdf>
14. PLAMAR. (Programa de Desarrollo Integral en Áreas con Potencial en Riego y Drenaje, GT). 1990. Caracterización agroclimática de Guatemala con fines de riego. Guatemala. 60 p. (Documento no. 1).
15. Saavedra, E; Melo, O. 1994. Resultados preliminares del arboretum del Centro Forestal Tropical Bajo Calima al décimo año de su establecimiento. Bajo Calima, Colombia, Universidad del Tolima, Departamento de Ciencias Forestales. 12 p. Consultado 15 abr 2008. Disponible en: <http://ut.edu.co/fif/0941/mqf/arboretum.doc>

2. CAPÍTULO II

Planteamiento de estrategias técnicas de riego para el manejo de áreas con vetas de arena en el estrato litoral de la zona cañera del sur de Guatemala

Approach of technical irrigation strategies for the management of areas with sand seams in the lower stratum of the south sugar cane zone in Guatemala

2.1. PRESENTACIÓN

La zona cañera del sur de Guatemala está comprendida desde la línea costera hasta el macizo montañoso, de 0 a 850 metros sobre el nivel del mar (msnm) localizada en la Llanura Costera del Pacífico, su extensión es de aproximadamente 210,000 hectáreas. (CENGICAÑA 2007)

En esta región existe variabilidad de condiciones agroecológicas; de acuerdo a esto, CENGICAÑA ha estratificado el área cultivada con caña de azúcar en zonas homogéneas, agrupadas según condiciones edafológicas y climáticas similares. (Orozco et al. 1995)

De esa manera existen 4 estratos altitudinales (alto, medio, bajo y litoral) El estrato litoral se extiende del límite costero hasta los 40 msnm, puede ser considerado como el más seco, en años normales el déficit hídrico alcanza de 500 a 1300 milímetros anuales.

Los suelos en el estrato litoral se han originado principalmente por la sedimentación intermitente de materiales aluviales. Las vetas de arena son áreas físicas que se diferencian en el perfil del suelo por uno o más horizontes de textura gruesa, éstas han sido formadas por el desborde de afluentes, principalmente.

Las áreas con vetas de arena presentan un rompimiento de la capilaridad natural, de tal manera que el movimiento de agua hacia la superficie se ve interferida debido a la baja capacidad de retención de humedad (CRH) en estos suelos. En el cultivo de caña de azúcar las etapas de macollamiento y elongación ocurren en época seca, siendo éstas las etapas con mayor susceptibilidad al déficit hídrico.

La baja CRH en estos suelos y la falta de humedad en época seca, pueden condicionar el crecimiento normal del cultivo, resultando en un alto potencial de pérdida de producción, situación que aunado a otros factores puede disminuir significativamente la productividad del cultivo, hasta un 20% en toneladas de caña por hectárea (TCH).

El riego con frecuencias cortas es una estrategia viable para solventar el problema de rompimiento de capilaridad en vetas de arena, sin embargo el desconocimiento de la ubicación espacial y magnitud de las áreas con vetas de arena puede provocar algunos inconvenientes, en ese sentido, se ha observado que, cuando se aplica el riego uniformemente, con desconocimiento de la existencia de vetas de arena en el área, se

crea un déficit de humedad, interrumpiéndose así procesos fisiológicos importantes para el cultivo de caña; por otro lado se ha observado que cuando se riega más frecuentemente, tratando de suprimir el déficit hídrico, aumenta la proliferación de plagas y/o enfermedades debido principalmente a la acumulación de humedad en áreas que retienen mayor cantidad de agua.

En algunos estudios exploratorios realizados por el área de riegos de CENGICAÑA, Castro et al. (2007) han observado tendencias de aumento de la productividad del cultivo de caña de azúcar de hasta 30% en TCH, cuando existe algún tipo de manejo de vetas en términos de riego. De esa manera, en esta investigación se presenta el desarrollo de estrategias técnicas de irrigación que se ajustan a los principales sistemas de riego utilizados en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala, las cuales responden a la aplicación de láminas de riego de forma balanceada y eficiente de acuerdo a los requerimientos localizados de agua del cultivo de caña de azúcar, esto coadyuvará al uso eficaz del recurso hídrico, aumentándose el rendimiento y productividad del cultivo de caña de azúcar.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las vetas de arena son áreas físicas que se diferencian en el perfil del suelo por uno o más estratos u horizontes de textura gruesa (capa de suelo con contenido de arena mayor al 70%) estos estratos pueden estar dispuestos de forma superficial o bien a profundidades de hasta un metro. Las vetas de arena han sido formadas por el desborde de afluentes, principalmente, y se encuentran de forma generalizada en los abanicos aluviales de los ríos, entre los 0 y 100 metros sobre el nivel del mar. Para la región cañera del sur de Guatemala se encuentran esencialmente en la parte baja de las cuencas: María Linda, Achíguate, Acomé, Coyolate, Madre Vieja y Nahualate. (Castro et al. 2007)

Las áreas con vetas de arena presentan un rompimiento de la capilaridad natural, de tal manera que el movimiento de agua hacia la superficie se ve interferida debido a la baja capacidad de retención de humedad de los suelos arenosos. El cultivo de la caña de azúcar realiza el proceso fisiológico de elongación (fase con mayor susceptibilidad al déficit hídrico) en la época seca, período en el cual los suelos con vetas arenosas retienen muy poca humedad, causando que el cultivo pueda interrumpir su crecimiento y perder una buena parte de follaje, dando como resultado que el potencial de pérdida de producción sea mayor, situación que aunado a otros factores puede disminuir significativamente la productividad del cultivo (hasta un 20% en toneladas de caña por hectárea (TCH) en el cultivo de caña de azúcar) (Castro et al. 2007)

2.3. MARCO REFERENCIAL

2.3.1 Zona cañera de Guatemala

La zona cañera guatemalteca tiene una extensión aproximada de 210,000 hectáreas, la cual se localiza en la Planicie Costera del Pacífico, ubicada en la Costa Sur del país, específicamente en los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla y Santa Rosa. El relieve general del terreno en la zona cañera es ondulada en las partes altas y ligeramente plana a plana en las partes bajas. (Orozco et al. 1995)

2.3.1.1 Estrato litoral

La zona litoral se encuentra comprendida entre los 0 y 40 metros sobre el nivel del mar, donde predominan los suelos Mollisoles, aunque existen extensiones considerables de Entisoles e Inceptisoles. En esta región la precipitación es menor a los 1,500 milímetros. La temperatura promedio anual en la zona baja es mayor a los 25 Centígrados. (CENGICAÑA 2008)

2.3.2 Ubicación y descripción de las áreas de estudio

El estudio se efectuó en tres fincas productoras de caña ubicadas en el estrato litoral de la zona cañera de la costa sur de Guatemala (0 a 40msnm) La ubicación geográfica se presenta en la figura 12.

- a) Finca Nueva Esperanza Ingenio Magdalena, se encuentra en el municipio de La Gomera, del departamento de Escuintla, a una altitud de 22 msnm, sus coordenadas geográficas son 14°03'10.73" latitud norte y 91°11'24.77" longitud oeste, posee 4 sistemas de riego de pivote central.
- b) Finca Irlanda Ingenio Santa Ana, se encuentra en el municipio de La Gomera, del departamento de Escuintla, a una altitud de 20 msnm, sus coordenadas geográficas son 14°01'22.52" latitud norte y 91°10'44.31" longitud oeste, posee 2 sistemas de riego de desplazamiento frontal.
- c) Finca El Apipal Ingenio Santa Ana, se encuentra en el municipio de Guanagazapa, en el departamento de Escuintla, a una altitud de 28 msnm, sus coordenadas geográficas son 14°02'59.09" latitud norte y 90°40'20.21" longitud oeste, posee el sistema de riego superficial de mangas de polietileno y compuertas.

2.3.3 Fisiografía

Las fincas bajo estudio se encuentran sobre la Región Fisiográfica Llanura Costera del Pacífico. La Finca Nueva Esperanza e Irlanda se encuentran específicamente sobre la parte distal del Abanico Aluvial de los Ríos Coyolate y Acomé; la Finca Apipal se encuentra sobre la Llanura Aluvial del Río María Linda. (MAGA 2004)

2.3.4 Hidrografía

2.3.4.1 Vertiente del pacífico sur de Guatemala

La Vertiente del pacífico esta dividida en 18 cuencas, los ríos que conforman la vertiente del pacífico promedian longitudes de 110 Km (corrientes cortas) estos son originados en altitudes que alcanzan los 3000 msnm, y presentan gran variabilidad de pendientes en toda su longitud. Debido a los altos índices de deforestación en las partes altas, los ríos de la vertiente del pacífico transportan gran cantidad de sedimentos, principalmente materiales de origen volcánico; los ríos de la vertiente del Pacífico se caracterizan por tener cauces inestables, causando problemas de inundación en las partes bajas principalmente. (Castro 2003)

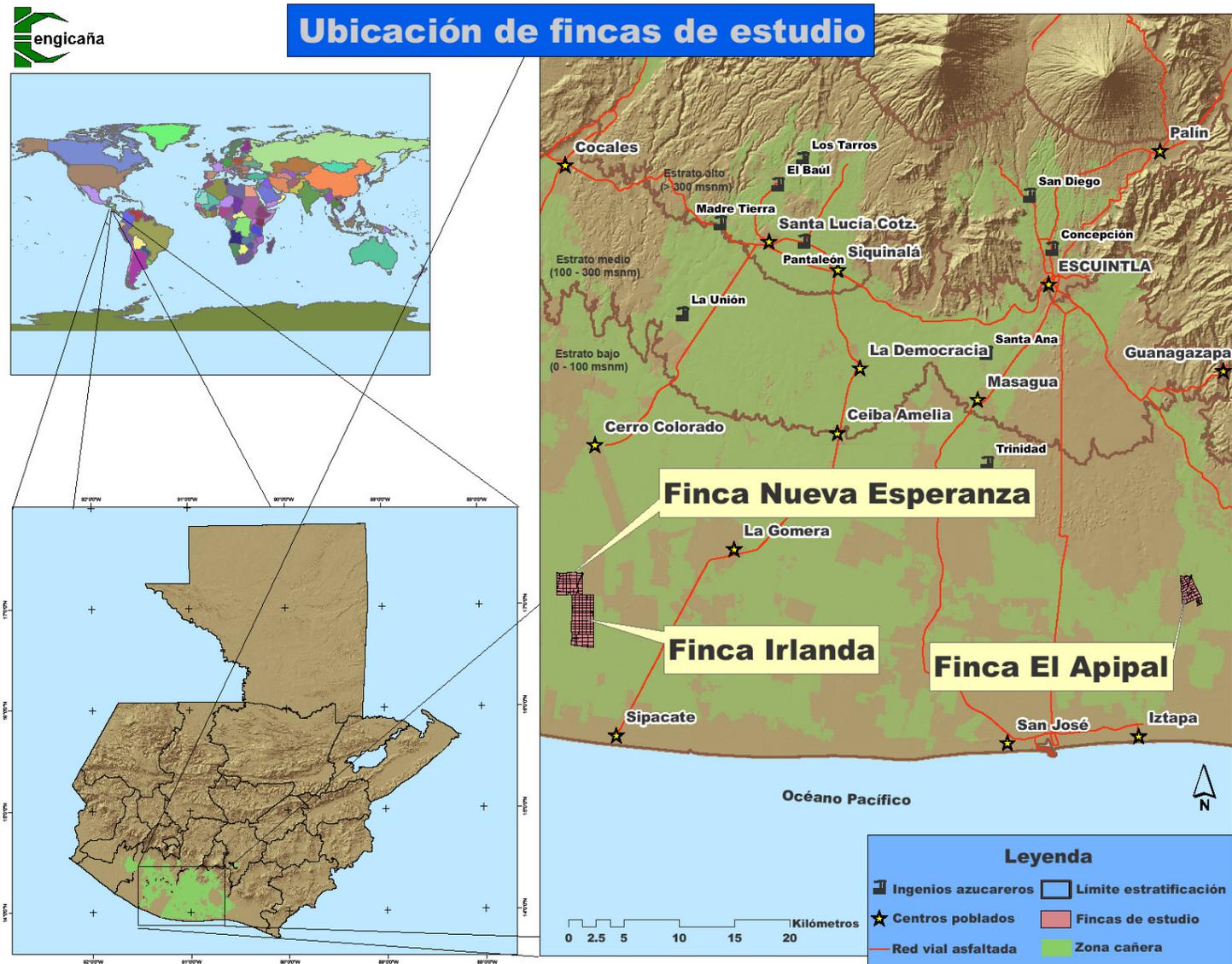


Figura 12 Ubicación geográfica de las fincas de estudio.

2.3.4.2 Cuencas hidrográficas de la zona cañera guatemalteca

La oferta hídrica de la zona cañera es suministrada por 11 cuencas (Ocosito, Samalá, Sis-Icán, Nahualate, Madre Vieja, Coyolate, Acomé, Achíguate, María Linda y Los Esclavos) las cuales se encuentran en la vertiente del pacífico. (Castro 2003)

En el cuadro 10 se detalla las cuencas que suministran agua para la zona cañera guatemalteca, éstas son utilizadas para la aplicación de agua de riego por los ingenios azucareros. (Castro 2003)

Cuadro 10 Cuencas utilizadas para riego, por los ingenios azucareros.

Cuenca	Ingenio azucarero
Ocosito	Tululá
Samalá	Tululá y Madre Tierra
Sis-Icán	Tululá y Palo Gordo
Nahualate	Madre Tierra, Pantaleón - Concepción, Palo Gordo
Madre Vieja	Madre Tierra, Pantaleón - Concepción, Santa Ana, La Unión - Los Tarros, Magdalena
Coyolate	Madre Tierra, Santa Ana, Pantaleón - Concepción y La Unión - Los Tarros
Acomé	Pantaleón - Concepción, La Unión - Los Tarros y Magdalena
Achíguate	Santa Ana, Pantaleón - Concepción, Magdalena, San Diego - Trinidad y Santa Teresa
María Linda	Santa Ana, Pantaleón - Concepción, Magdalena, San Diego - Trinidad y Santa Teresa

Fuente: Castro 2006

La Finca Nueva Esperanza se encuentra entre las cuencas del Río Coyolate y el Río Acomé, la Finca Irlanda se localiza en la cuenca del Río Acomé, y la Finca El Apipal en la cuenca del Río María Linda.

La fuente principal de abastecimiento de agua de los sistemas de irrigación utilizados en la zona cañera son los ríos, el agua utilizada de estos riega aproximadamente 52,000 hectáreas (25% del área regada total) en menor proporción se utilizan como fuentes de

agua: norias, aguas residuales y pozos, con un 22, 17 y 7% respectivamente. (Castro 2006)

2.3.5 Hidrogeología

En la zona de los abanicos aluviales de los Ríos Coyolate, Acomé y Achíguate existe un sistema de aguas subterráneas, el cual está formado por tres acuíferos, los cuales están divididos en función de la profundidad, de esa manera, en la capa superior existe un acuífero libre, debajo subyace un acuífero limitado por arcillas con porosidad primaria, y debajo, un acuífero más profundo, confinado y con porosidad secundaria.

Este sistema de acuíferos tiene alta aptitud de uso con fines agrícolas e industriales, ya que presenta rendimientos de hasta 100 litros por segundo, con transmisividades de 900 a 2,500 m³/día. (Salguero 2004)

Los suelos en ésta región presentan altas tasas de infiltración (3.1 a 7 cm/hora) lo cual incide en un alto potencial de recarga de los acuíferos, aproximadamente un 15% de la precipitación pluvial, además esto es consecuencia de la baja capacidad de retención de humedad en éstos suelos. (Salguero 2004)

2.3.6 Geología

En el estrato litoral predominan rocas sedimentarias. La principal unidad geológica del área, está formada por arenas y gravas de granulometría variada, las cuales han sido depositadas por aluviones durante el período Cuaternario. (Salguero 2004)

2.3.7 Suelos

Según el Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala, elaborado en 1996, las características de los suelos de las fincas de estudio son las siguientes:

Las Fincas Nueva Esperanza e Irlanda poseen Mollisoles, los cuales están compuestos principalmente por el conjunto Pacífico (Fluventic Hapludolls Franca - gruesa), son suelos profundos, el drenaje natural es bueno, la capacidad de retención de humedad es muy baja. Estos suelos se han originado a partir de sedimentos aluviales, predominantemente arenas; la sedimentación ha sido intermitente debido a una dinámica fluvial alta, existen capas enterradas con alto contenido de materia orgánica, evidenciando la presencia de horizontes A enterrados por aluviones. (ICL 1996) La descripción del perfil es la siguiente:

Unidad Cartográfica	Consociación Pacífico
Conjunto	Pacífico
Localización Geográfica	Municipio La Gomera, Finca Monte Alegre
Posición Geomorfológica	Cuerpo de abanico
Uso Actual	Caña
Relieve	Plano
Pendiente	0 – 1 %
Nivel Freático	Muy Profundo
Drenajes	Externo medio, interno rápido, natural bien drenado
Profundidad Efectiva	Profundo
Material Parental	Aluviones arenosos
Régimen de Humedad del Suelo	Udico
Epipedón	Mólico
Endopedón	No tiene
Taxonomía del Perfil, Subgrupo	Fluventic Hapludolls
Familia	Franca – gruesa
Ap (0 – 24 cm)	Color gris muy oscuro (10YR3/1); textura franca; estructura en bloques subángulares, débiles, finos; consistencia friable en húmedo, ligeramente pegajosa y ligeramente plástica en mojado; regular cantidad de poros finos y medios; buena actividad de macroorganismos; regular contenido de raicillas; límite difuso.
A (24 – 43 cm)	Color gris muy oscuro (10YR3/1); textura franca; estructura en bloques subángulares débiles, medios; consistencia friable y ligeramente pegajosa y plástica; regular cantidad de poros finos y medios; regular actividad de macroorganismos; regular cantidad de raicillas; límite claro y plano.
C (43 – 110 cm)	Color pardo (10YR4/3); textura franco arenosa; sin estructura (grano suelto); consistencia muy friable en húmedo, no pegajosa y no plástica en mojado; abundantes poros finos; escasos macroorganismos y raicillas.

Cuadro 11 Resultados del análisis físico químico, finca Monte Alegre.

Prof. cm.	Granulometría			Textura	pH		Mo
	Arena	Limo	Arcilla		2:1	FNa	%
0 – 24	58.85	33.08	8.37	F. Arenoso	6.88	7.59	4.0
24.43	40.1	49.47	10.43	F. Limoso	7.22	7.56	1.6 1.0

Complejo de Cambio (meq/100g de suelo)						ST	P ² O ⁵	Saturaciones (%)			
Na	Mg	Ca	K	BT	CIC	%	ppm	Na	Ca	Mg	K
0.26	3.08	10.46	0.92	14.72	20.44	72.02	5.26	1.27	51.17	15.07	4.5
0.26	4.18	8.95	0.46	13.85	18.44	73.13	12.62	1.37	47.25	22.07	2.43

Fuente: ICL, 1996

Finca El Apipal posee Entisoles principalmente del conjunto Balcanes (Typic Ustipsamments Arenosa) Estos suelos ocurren principalmente cerca de los cauces de ríos, lo cual evidencia gran cantidad de arena depositada debido al desbordamiento de corrientes, los cuales han dejado diferentes capas de arena, demostrando que los eventos de desbordamiento han sido varios y sucesivos. Poseen características de excesivo drenaje, por lo cual la capacidad de retención de humedad es muy baja. (ICL 1996) la descripción del perfil es como sigue:

Unidad Cartográfica	Consociación Balcanes
Conjunto	Balcanes
Localización Geográfica	Finca El Mirador
Posición Geomorfológica	Explayamientos dentro del abanico
Uso Actual	Caña
Relieve	Plano
Pendiente	0 – 1 %
Nivel Freático	No aparece
Drenajes	Externo lento, interno muy rápido, natural excesivo
Profundidad Efectiva	Profundo
Material Parental	Arenas
Régimen de Humedad del Suelo	Ustico
Epipedón	Ocrico
Endopedón	No tiene
Taxonomía del Perfil, Subgrupo	Typic Ustipsamments
Familia	Arenosa
Ap (0 – 23 cm)	Color gris muy oscuro (10YR3/1), con manchas pardo pálido (10YR6/3); textura arenosa-franca; estructura migajosa; consistencia suelta; reacción a fluoruro moderada.
C (23 – 90 cm)	Color gris oscuro (7,5YR4/0); textura arenosa; sin estructura; grano suelto; no reacción al fluoruro. Siguen arenas sueltas de colores oscuros, mezcladas con gravas y fragmentos de rocas volcánicas.

Cuadro 12 Resultados del análisis físico químico, finca El Mirador

Prof. cm	Granulometría (%)			Textura	pH		MO	Elementos menores (ppm)			
	arena	Limo	Arcilla		2:1	FNa	%	Cu	Fe	Mn	Zn
0 – 30	60.16	34.7	5.14	F. arenoso	6.52	8.64	8.07	1.20	39.58	70.96	5.39
30 -80	82.31	16.57	1.12	Arena Franca	6.82	10.40	3.20				

Complejo de cambio (meq/100 g de suelo)						ST	P ² O ⁵	Saturaciones (%)			
Na	Mg	Ca	K	BT	CIC	%	ppm	Na	Ca	Mg	K
0.54	7.6	4.52	1.66	14.32	14.88	96.24		3.63	30.38	51.08	11.16
0.16	0.99	0.41	0.13	1.69	1.02	100	29.04	15.69	40.20	97.06	12.75

Fuente: ICL 1996

2.3.8 Zonas de vida

En el estrato litoral de la región cañera del sur de Guatemala predominan dos zonas de vida: Bosque muy húmedo subtropical cálido en la parte noreste del estrato; en la parte de los abanicos aluviales predomina la zona de vida Bosque húmedo subtropical cálido. En el cuadro 13 se presentan las especies vegetales indicadoras de las zonas de vida en el estrato litoral de la zona cañera del sur de Guatemala. (Melgar 2003)

Cuadro 13 Especies vegetales indicadoras en las zonas de vida en el estrato litoral.

Zona de Vida	Especies vegetales indicadoras
Bosque muy húmedo subtropical cálido	<i>Sterculia apetala, Platymiscium dimorphandrum, Chlorophora tinctoria, Cordia alliodora.</i>
Bosque húmedo subtropical cálido	<i>Scheelea preussii, Terminalia oblonga, Enterolobium cyclocarpum, Sickingia salvadorensis, Triplaris melaenodendrum, Cybistax donnell-smithii, Andira inermis.</i>

Fuente: Melgar 2003

2.3.9 Área irrigada en la zona cañera del sur de Guatemala

Aproximadamente el 56 % de la zona cañera del sur del país está sujeta a riego. El estrato litoral es el sitio que presenta mayor déficit hídrico, alrededor de 500 a 1300 mm anuales, corresponde además al sitio con mayor área de riego (unas 98,000 ha) en el estrato alto se riegan aproximadamente 15,000 ha, en el estrato medio 58,000 ha. Hasta el año 2006, el riego superficial por surcos comprendía aproximadamente el 25 % del área total de riego, siendo el restante 75% regado por sistemas bajo presión. (Castro 2006)

El área regada por sistemas de mangas y compuertas durante la zafra 2005 – 2006 fue de aproximadamente 6,980 ha, correspondiente a un 30% de área regada de manera superficial, el incremento de área regada bajo este método es de aproximadamente 3,082 ha en relación a la zafra 2003 – 2004. (Castro 2006)

El riego por aspersión presurizado de desplazamiento frontal regó durante el periodo de zafra 2005 - 2006 aproximadamente 5,500 ha, mientras que los sistemas móviles con pivotes regaron 3,500 ha durante el mismo periodo, desde la zafra 2003 – 2004 se incrementó en 3,883 ha el área regada bajo estos dos sistemas de riego. (Castro 2006)

Requerimientos de riego del cultivo de caña de Azúcar

Las necesidades de riego del cultivo de caña de azúcar varían según la etapa de crecimiento y la distribución y cantidad de las lluvias.

Debido a la distribución heterogénea de las lluvias en la costa sur guatemalteca, los requerimientos de riego suplementario de caña de azúcar en la zona varían grandemente. La zona baja de la zona cañera del sur de Guatemala, es considerada como el área más crítica en cuanto a requerimientos de riego, debido a una baja precipitación en época seca, periodo que coincide con las etapas de crecimiento del cultivo de caña que presentan alta susceptibilidad al déficit hídrico. (Juárez y Muñoz 1998)

El período vegetativo de caña de azúcar se divide en tres etapas principales: etapa de macollamiento (0 – 4 meses), etapa de elongación (4 – 10 meses), y etapa de maduración (10 – 13 meses); en cultivares de periodo vegetativo largo cada fase puede extenderse 1 o 2 meses más. (CENICAÑA 2004)

En Guatemala, los ciclos de macollamiento y elongación del cultivo coinciden con la época seca. (Castro y Montufar 2005)

En los primeros meses de crecimiento, los requerimientos de agua son bajos, durante la fase de macollamiento, la caña de azúcar es poco susceptible al déficit hídrico, empero se ha determinado un aumento significativo en el rendimiento cuando se ha regado durante este periodo. (Castro y Montufar 2005)

En la Figura 13 se observa que, cuando se aplicó riego en la fase de macollamiento y en la fase de elongación se incrementó el rendimiento hasta 50 toneladas de caña por hectárea (TCH) comparado cuando solo se regó durante la fase de elongación. (Castro y Montufar 2005)

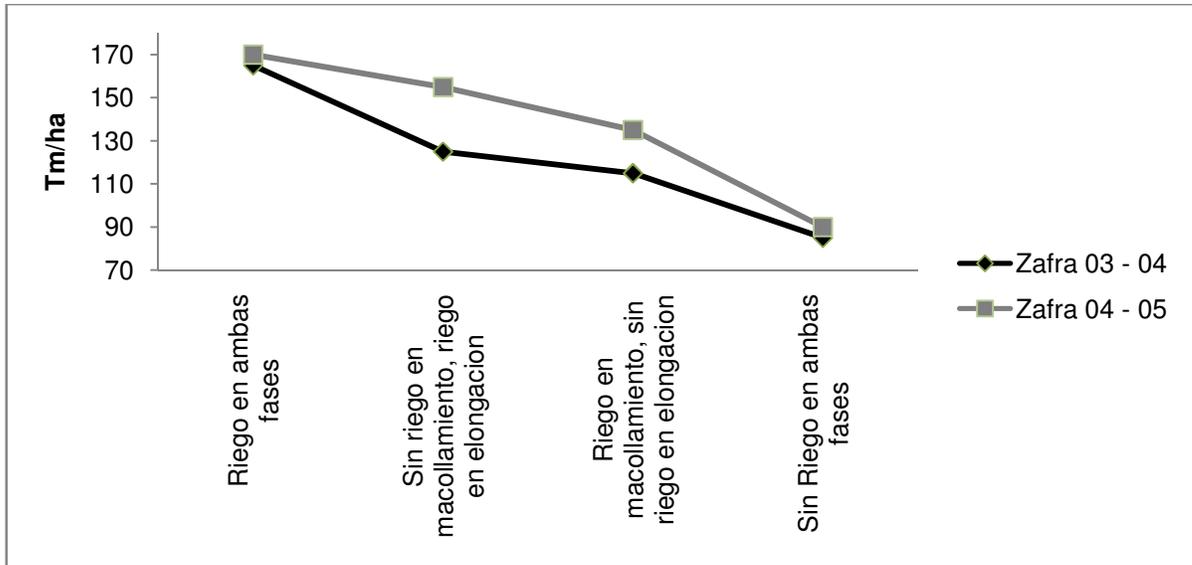


Figura 13 Efecto del riego en las fases de macollamiento y elongación en la Finca Churubusco, Ingenio Santa Ana. Fuente: Castro y Montufar 2005

Durante la fase de elongación, la caña de azúcar presenta mayor susceptibilidad al déficit hídrico, en la Figura 14 se muestran los resultados de investigaciones que identifican respuesta significativa a las aplicaciones de riego en el ciclo de elongación, hasta 2.5 cm diarios a los 3 meses de edad (Juárez y Muñoz 1998)

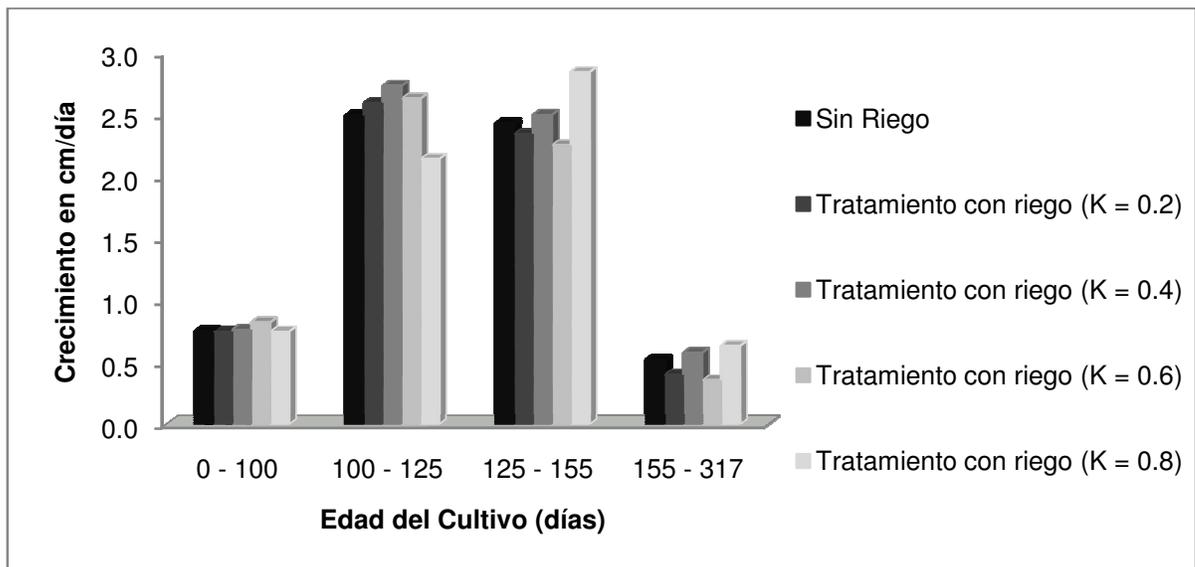


Figura 14 Tasa de crecimiento en Finca el Mirador, Ingenio La Unión. Fuente: Juárez y Muñoz 1998

Otras investigaciones realizadas en la zona cañera del sur de Guatemala, muestran que cuando se aplica riego, el inicio de la fase de elongación inicia a los 117 días después de corte, mientras donde no se ha aplicado, inicia 24 días después (Figura 15).

El atraso en el período de elongación causado por el déficit hídrico, puede disminuir el crecimiento y la producción. (Juárez y Muñoz 1998)

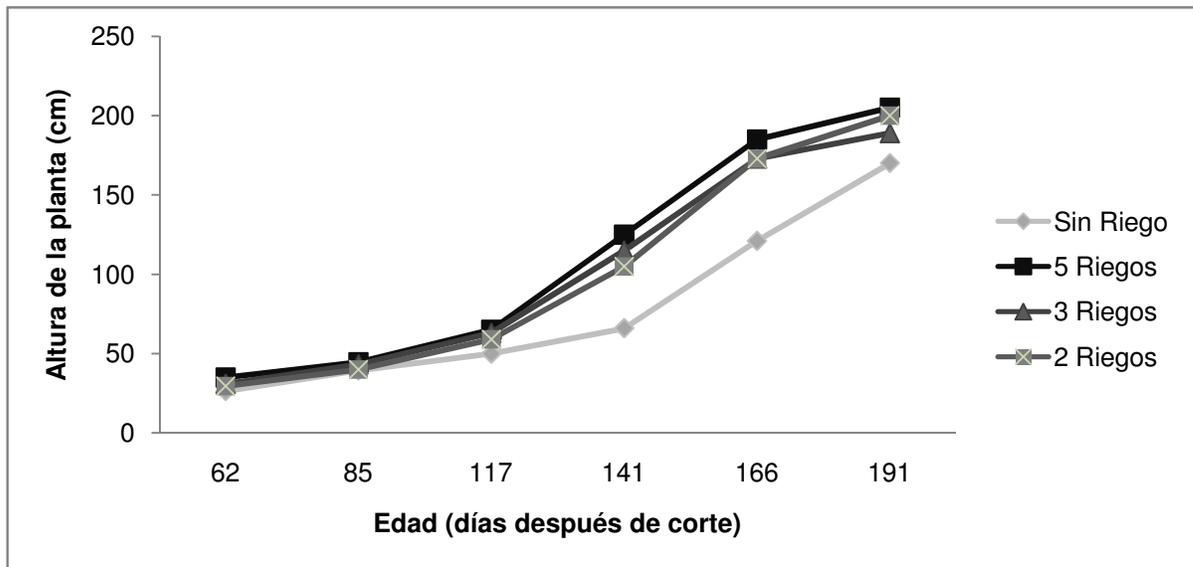


Figura 15 Altura de la caña de azúcar en cm en respuesta a diferentes tratamientos de riego. Finca Playa Grande. Fuente: Juárez y Muñoz, 1998.

2.3.10 Coeficiente único del cultivo (K_c) para caña de azúcar en Guatemala

La variación del coeficiente del cultivo K_c expresa los cambios en la vegetación y cobertura del suelo, en función del período de crecimiento del cultivo. (Allen, et al 2006)

En el cuadro 14 se muestran los valores de K_c ajustado a las condiciones de la zona cañera guatemalteca, los cuales fueron obtenidos experimentalmente. Los valores encontrados fueron seleccionados en función del máximo rendimiento obtenido en varios tipos texturales de suelo. (Castro y Montufar 2005)

Cuadro 14 Coeficiente único del cultivo para caña de azúcar bajo las condiciones de la zona cañera de Guatemala

Tipo textural	Coeficiente del cultivo Kc	
	Macollamiento	Elongación
Arenoso a franco arenoso	0.6	0.9
Franco	0.3	0.6
Franco limoso	0.3	0.3

Fuente: Castro y Montufar, 2005

2.3.11 Conceptualización de las vetas de arena

Castro et al. (2007), definen las vetas de arena como: “áreas físicas definidas y diferenciadas por uno o más estratos de arena en el perfil del suelo” Las vetas de arena, según análisis físicos de laboratorio, poseen alto contenido de la fracción arena. Debido a su condición textural, las vetas de arena retienen poca humedad, y rompen la capilaridad natural de agua, por lo que se puede provocar un estado de estrés hídrico para los cultivos. En áreas con vetas, el cultivo de la caña de azúcar puede disminuir en un 20% o más el rendimiento del cultivo.

Las vetas de arena se distribuyen en todo el perfil de suelo, de esa manera pueden encontrarse en la superficie del suelo y hasta a un metro de profundidad. En la zona cañera del sur de Guatemala, las vetas de arena se encuentran en los abanicos aluviales de las cuencas de la vertiente del pacífico, las vetas fueron formadas por inundaciones de ríos, los cuales a través del tiempo varían la dirección de su cauce, dejando depósitos de arena a su paso. (Castro et al. 2007)

2.3.12 Descripción de los sistemas de riego

2.3.12.1 Sistema de riego de desplazamiento frontal de un ala de finca Irlanda

El sistema de desplazamiento frontal de finca Irlanda es marca Valley® modelo 8120. La envergadura de riego del sistema es de 350 metros (m), la estructura de riego está compuesta por 6 torres, interconectadas por 6 tubos de conducción de 8 5/8 pulgadas de diámetro y de 50 m de longitud cada uno, al final un voladizo de 6 pulgadas de diámetro y 25 m de longitud. En cada tubo de conducción están adheridos 25 aspersores dispuestos

a una distancia de 1.91 m entre ellos, totalizando 152 aspersores en toda la estructura de riego. (López 2008)

El sistema de riego frontal se desplaza en forma linear a diferentes velocidades, las cuales son programables como porcentaje de velocidad, según Castro, 2007 la velocidad del sistema varía entre 46 y 200 metros por hora, aplicando una lámina de riego promedio de 25.02 mm y 13.02 mm a 40 y 70 % de velocidad respectivamente. La longitud de desplazamiento del sistema en finca Irlanda es de aproximadamente 4,680 m en una sola superficie de riego, el sistema cambia de posición 5 veces cubriendo el 95 % del área cultivada con caña de azúcar.

2.3.12.2 Sistema de riego de pivote central fijo de finca Nueva Esperanza

Finca Nueva Esperanza cuenta con 4 sistemas de riego de pivote central fijo marca Lindsay® modelo LB15. Cada sistema de riego tiene una envergadura de riego de 570 m, la estructura de riego está compuesta por 10 torres, interconectadas por 10 tubos de conducción de 6.39 pulgadas de diámetro y 54.55 m de longitud cada uno. En cada tubo de conducción están adheridos 23 aspersores dispuestos a una distancia de 2.13 m entre ellos, totalizando 256 aspersores en toda la estructura de riego. (Barneond 2008)

Cada sistema de riego pivote central fijo se desplaza en forma circular a diferentes velocidades, las cuales pueden programarse como porcentaje de velocidad en un panel de control, en el cuadro 15 se presenta la lámina de aplicación de riego programable a diferentes velocidades de revolución del sistema.

Cuadro 15 Lámina de aplicación del sistema de riego pivote central fijo por revolución.

Tiempo de revolución	12 horas	24 horas	36 horas	48 horas	60 horas	72 horas
Lámina de riego (mm)	2.20	4.30	6.60	8.80	10.90	13.20

Fuente: Barneond, 2008.

2.3.12.3 Sistema de riego superficial de mangas y compuertas de finca El Apipal

El área irrigada por el sistema de riego superficial de mangas y compuertas de finca El Apipal asciende a un total de 350 hectáreas. La presión de agua se obtiene de dos formas, por gravedad y por bomba de agua de 1,200 galones por minuto; la fuente de agua en el área irrigada por gravedad es un embalse que sirve como reservorio, la presión se regula hasta obtener la altura deseada en el quinel de riego donde posteriormente ingresa hacia las mangas de polietileno, los quineles de riego son la fuente de agua para la bomba de riego. El caudal promedio en cada compuerta es de 1.8 a 2 litros por segundo ls^{-1} , el área irrigada por gravedad permite la apertura de 20 compuertas en un solo momento de riego, en donde se riega con bomba de agua pueden abrirse hasta 35 compuertas. (Martínez, 2009)

2.3.13 Análisis comparativo de eficiencia de aplicación de los sistemas de riego

En el cuadro 16 se presentan resultados de evaluaciones de eficiencia de aplicación de los sistemas de riego pivote central fijo, desplazamiento frontal y superficial de mangas y compuertas en áreas irrigadas en la zona cañera del sur de Guatemala. Estas evaluaciones han sido realizadas por el área de riegos de CENGICAÑA, y establecen que los sistemas más eficientes son los sistemas de riego por aspersión mecanizados (pivote central fijo y desplazamiento frontal) alcanzando valores de eficiencia de aplicación que oscilan entre el 72 y 80 % mientras que los sistemas de riego superficial de mangas y compuertas alcanzan valores menores, hasta 60 %, (Castro y Rosales 2007) esto coincide con las eficiencias establecidas por Solomon, 1988, Rogers, et al. 1997 y Neibling, 1997 para estos sistemas de riego.

Cuadro 16 Eficiencias de aplicación evaluadas en diferentes sistemas de irrigación.

Sistema de riego	Eficiencia de aplicación evaluada por CENGICAÑA (%)	Eficiencia de aplicación según autores (%)
Pivote central fijo	80	70 – 90
Frontal	72	70 -90
Mangas y compuertas	60	35 – 90

Fuente: elaboración propia con base en investigaciones realizadas en CENGICAÑA y por otros autores.

La baja eficiencia de aplicación en sistemas de riego superficial puede darse a que existen altas pérdidas (20 a 40 % del agua aplicada) por escorrentía y por percolación profunda. Los sistemas de riego mecanizados como los de pivotes y frontales, presentan mejores eficiencias de aplicación debido a que el agua es suministrada más uniformemente y cercana al suelo, siendo menores las pérdidas por escorrentía y percolación profunda al tener mejor control sobre la aplicación del riego, sin embargo las pérdidas por evaporación y por efecto del viento en estos sistemas son mayores. (Neibling, 1997)

En la figura16 se presentan esquemas que representan la eficiencia de aplicación de agua en el perfil de suelo con sistemas de riego superficial y sistemas de riego por aspersión.

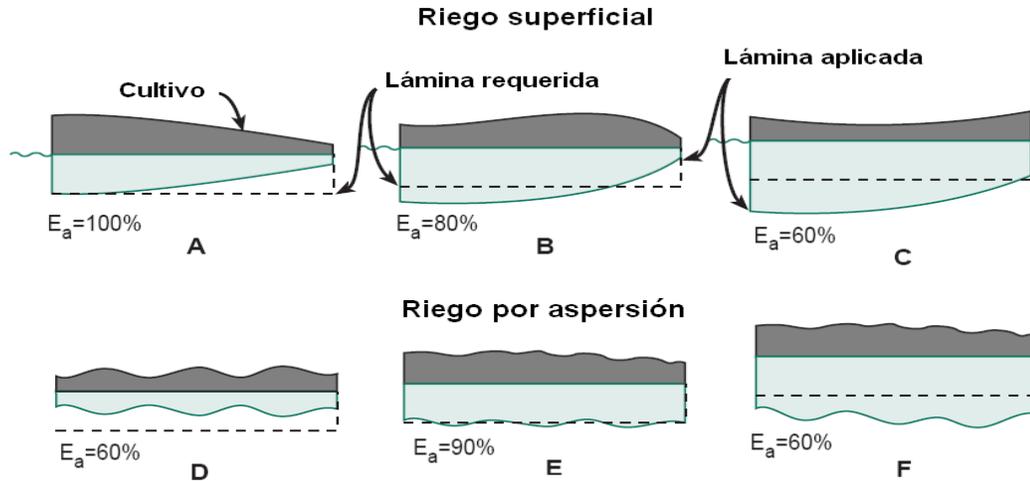


Figura 16 Eficiencia de aplicación en sistemas de riego superficial y riego por aspersión. Fuente: Modificado de Rogers et al. 1997.

En los ejemplos A, B y C correspondientes a esquemas de riego superficial, se observa que la lámina de aplicación en la parte superior del terreno es alta y va disminuyendo a lo largo del área irrigada, esto dado a que en las partes altas se capta mayor cantidad de agua al tener cercana la compuerta de riego. Cuando la lámina aplicada alcanza la lámina de agua requerida, las eficiencias de aplicación son altas (ejemplo A y B), mientras que cuando la lámina aplicada se excede o limita respecto a la lámina requerida, la eficiencia de aplicación disminuye (ejemplo C).

En los sistemas de riego por aspersión como los pivotes y frontales, ejemplos D, E y F sucede lo mismo, si la eficiencia es alta la lámina aplicada se aproxima a la lámina requerida, si se excede o limita la eficiencia disminuye, sin embargo la eficiencia de distribución es mayor, respecto a los sistemas de riego superficial, ya que la lámina requerida se alcanza uniformemente sobre todo el terreno irrigado.

2.4. OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo General

- Optimizar el uso del recurso hídrico en el cultivo de caña de azúcar mediante el desarrollo de tecnologías de riego en áreas con variabilidad en las condiciones de retención de humedad.

2.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la ubicación geoespacial de áreas con secciones de vetas de arena en áreas representativas del estrato litoral de la zona cañera del sur de Guatemala.
- Estimar la capacidad de retención de humedad en suelos con vetas de arena, y en suelos sin vetas de arena en áreas representativas de la zona cañera del sur de Guatemala.
- Establecer los requerimientos de agua del cultivo de caña de azúcar en función de las pérdidas de humedad en el sistema suelo – planta.
- Diseñar estrategias de irrigación espacialmente variable que permitan la aplicación balanceada de agua en áreas que presentan secciones de vetas de arena.

2.5. METODOLOGÍA

2.5.1 Proceso Cartográfico

2.5.1.1 Cartografía de vetas de arena

Con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sus herramientas de dibujo, se fotointerpretaron ortofotografías digitales (MAGA 2006) correspondientes a las fincas Irlanda y El Apipal del Ingenio Santa Ana, y finca Nueva Esperanza del Ingenio Magdalena.

El proceso de fotointerpretación se hizo en base a criterios directos de identificación (variación en cobertura vegetal, diferencia de texturas, tonos y coloración de las imágenes) (USDA 1966) De esa manera, se cartografiaron vetas de arena y predios o lotes de cada una de las fincas, obteniéndose polígonos vectoriales que los representan.

Posteriormente, con el uso de herramientas de análisis del SIG, se unió la capa que representa los lotes de cada finca con la capa que representa las áreas con vetas de arena. Con las capas de polígonos de lotes y vetas de arena generados se elaboró el mapa de vetas de arena de cada una de las fincas.

2.5.1.2 Validación en campo

Con los mapas de vetas de arena de cada finca, se seleccionaron sitios representativos donde existen vetas de arena; en campo fueron ubicados con un Sistema de Geoposicionamiento Global (GPS), luego se hicieron lecturas de posición a través de un “track” o “trayectoria” sobre los límites de las áreas seleccionadas; posteriormente los datos tomados por GPS fueron desplegados en un SIG sobre las capas de lotes y vetas de arena de las fincas correspondientes, ratificando el proceso de fotointerpretación y cartografía previo.

2.5.2 Edición de capa de superficie de riego

2.5.2.1 Conversión DWG – SHP

Se obtuvieron Archivos Electrónicos de Dibujo Computarizado (DWG) generados en software de Diseño Asistido por Computador (CAD) correspondientes a los planos de diseño de los sistemas de riego de cada finca:

- a) Sistema de desplazamiento frontal de la finca Irlanda,
- b) Sistema de pivote central de la finca Nueva Esperanza, y
- c) Sistema de riego superficial de mangas y compuertas de la finca El Apipal.

Estos archivos fueron transformados a formato de datos geospaciales en formato vectorial (SHP) pudiéndose cargar y editar en el SIG.

2.5.2.2 Sobreimposición cartográfica

Los archivos SHP que representan la cobertura de riego de cada una de las fincas fueron superpuestos sobre las capas de lotes y vetas de arena correspondiente, pudiéndose determinar la superficie irrigada en cada una de las fincas de estudio.

2.5.3 Determinación de la capacidad de retención de humedad en el suelo

2.5.3.1 Muestreo de suelos

Para establecer las condiciones de humedad en áreas con vetas de arena y en áreas sin vetas, se extrajeron muestras de suelo en cada una de las superficies donde se aplica el riego. Los sitios de muestreo fueron definidos según el mapa de vetas de arena de cada finca, los campos fueron georreferenciados con GPS, luego se realizaron perforaciones a 1 metro de profundidad, extrayendo 0.5 kilogramos de suelo en diferentes estratos, definidos a intervalos de 20 cm.

En el laboratorio se solicitó el análisis físico de las muestras de suelo, pudiéndose determinar las características de humedad del suelo Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP), densidad aparente, y textura.

2.5.4 Estimación de la lámina de agua aprovechable

Los resultados del análisis físico de las muestras de suelo en laboratorio permitieron determinar la Capacidad de Retención de Humedad del suelo (CRH) en áreas con vetas de arena y en áreas sin ellas; la CRH se estimó a través de la cuantificación de la lámina de agua aprovechable, la cual se determina por medio de la estimación del agua disponible para las plantas (agua aprovechable), la densidad aparente del suelo y la profundidad radicular del cultivo, como se muestra en la Ecuación 1. (CENICAÑA, 2004)

$$LAA = \left\{ \left[\frac{(CC - PMP)}{100} \right] \times Da \times h \times 10 \right\} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

LAA = lámina de agua aprovechable (mm)

CC = capacidad de campo (%)

PMP = punto de marchitez permanente (%)

Da = densidad aparente del suelo (g/cm³)

h = profundidad radicular (cm)

2.5.5 Determinación de las necesidades de agua del cultivo de caña de azúcar

La determinación de la evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar permitió definir los requerimientos de agua en función de la etapa de crecimiento. La evapotranspiración fue estimada a partir de datos meteorológicos, utilizando como base los últimos 4 años de registro de estaciones meteorológicas cercanas a las fincas de estudio (Figura 17), como se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17 Estaciones meteorológicas cercanas a las fincas de estudio.

Estación meteorológica	Finca
Amazonas	El Apipal
Bonanza	Nueva Esperanza
San Antonio el Valle	Irlanda

2.5.5.1 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia se realizó utilizando un software especializado, el cual estima la ET_o por el método de Penman-Monteith modificado por FAO. Utilizando hojas electrónicas y tablas dinámicas se determinó el valor máximo promedio observado de ET_o durante el tiempo de registro de cada estación meteorológica.

2.5.5.2 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar (ET_c) fue estimado a través de la ET_o obtenida anteriormente y el coeficiente único del cultivo K_c , el cual fue determinado experimentalmente por CENGICAÑA, según las condiciones de la zona cañera del sur de Guatemala en las etapa de macollamiento y elongación del cultivo de caña y las condiciones del suelo en áreas con vetas de arena y áreas sin éstas.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

ET_c = evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar (mm)

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm)

K_c = coeficiente único del cultivo (adimensional)

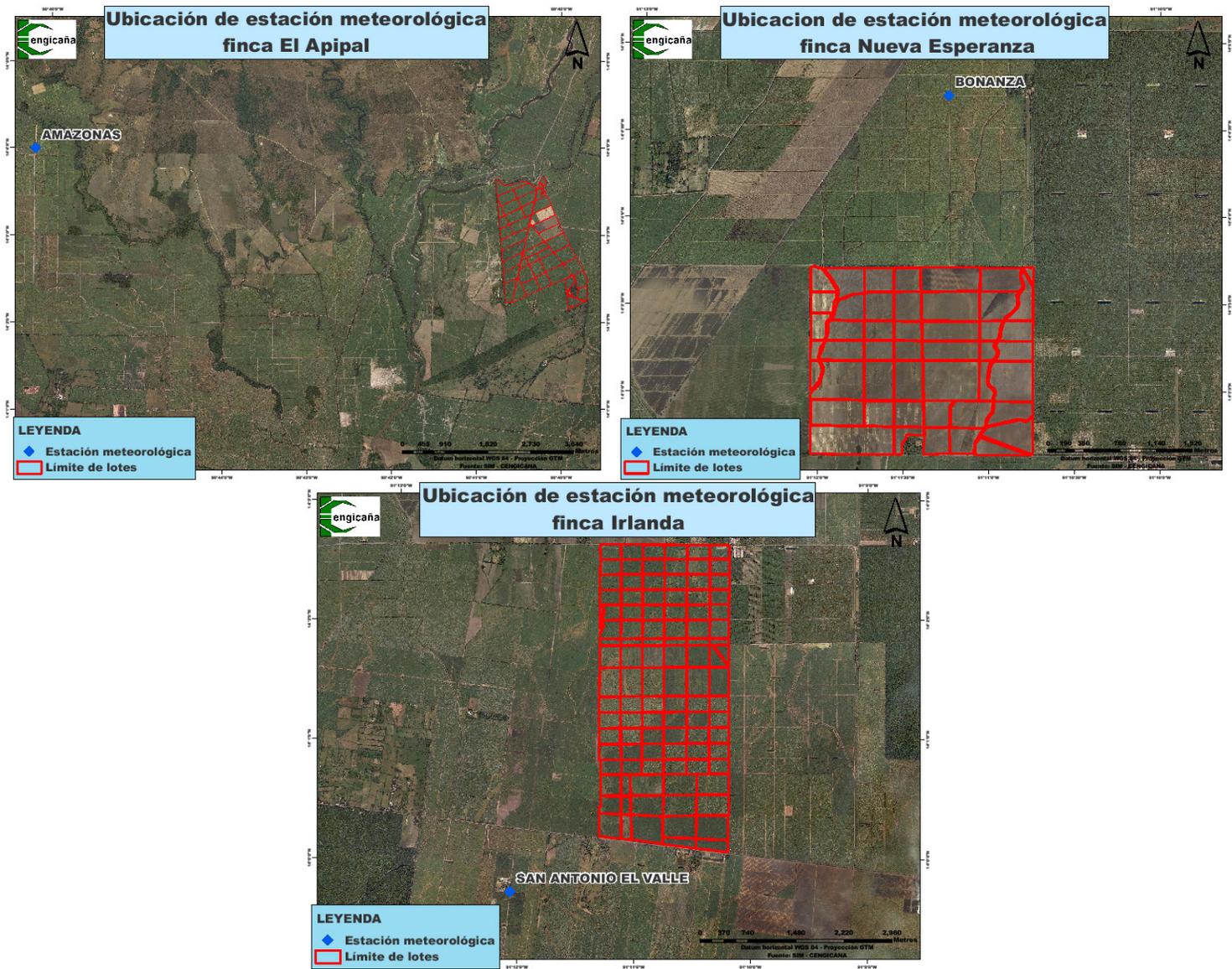


Figura 17 Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de ETo

2.5.6 Definición de criterios técnicos para el manejo del riego

2.5.6.1 Seccionamiento de las superficies de riego

Para hacer eficiente la aplicación volumétrica de agua a través del riego, de acuerdo a los requerimientos localizados del cultivo de caña de azúcar y las condiciones del suelo en el área de aplicación, se dividieron las superficies de riego de cada finca en función del área operativa mínima para cada uno de los sistemas de riego.

Para el caso del sistema de riego pivote central de la finca Nueva Esperanza, utilizando herramientas de edición del SIG, se subdividieron las circunferencias de riego a intervalos de 22.5 grados desde el centroide, tomando como origen el ángulo acimutal. De igual forma, las superficies de riego del sistema de desplazamiento frontal de la finca Irlanda fueron subdivididas perpendicularmente al desplazamiento del sistema, a intervalos de 100 metros.

La división de las superficies de riego del sistema de riego superficial de mangas y compuertas de la finca El Apipal, corresponde al área ocupada por 12 surcos de riego en cada lote cultivado con caña de azúcar.

2.5.6.2 Cuantificación del área de vetas de arena

La capa que representa los polígonos de cobertura de riego seccionados de cada finca fue integrada a la capa de lotes y vetas de arena correspondiente, luego se estimó el área total de cultivo (sin vetas) y el área con incidencia de vetas de arena en cada sección. Con la estimación del área se estableció la superficie y porcentaje de área afectada, determinando la magnitud de vetas de arena en cada sección de riego.

2.5.7 Definición de los criterios de manejo

Se establecieron criterios técnicos de manejo en función de la magnitud de vetas de arena. En el Cuadro 18 se presentan las categorías definidas en base al criterio técnico establecido, el cual se fundamenta en diferentes formas de operación de los sistemas de irrigación (diferentes frecuencias y láminas de riego) que permiten suministrar cantidades diferenciales de agua según las condiciones locales, determinadas básicamente por la magnitud relativa de vetas de arena en cada sección de riego.

Cuadro 18 Criterios técnicos definidos para la operación del riego en áreas con secciones de vetas de arena.

Categoría de Manejo	Magnitud veta de arena (%)	Criterio técnico
I	< 10 %	Lámina alta, frecuencia larga
II	10 – 20%	< lámina y > frecuencia que categoría I
III	20 – 30 %	> lámina y < frecuencia que categoría IV
IV	> 30 %	Lámina baja, frecuencia corta

2.5.8 Programación del riego

2.5.8.1 Determinación de la lámina de aplicación de riego

Para determinar la lámina de aplicación del riego se utilizó la estrategia de riego deficitario, la cual establece que la cantidad de agua a reponer está dada en función del agotamiento de un porcentaje del agua aprovechable, esto se determinó a través de la estimación de la lámina de agua rápidamente aprovechable, la cual se calcula a través de la lámina de agua aprovechable, considerando un nivel crítico de humedad, para caña de azúcar, el nivel crítico de humedad corresponde al agotamiento del 60 % del agua aprovechable en sistemas de riego superficial, y del 70 % en sistemas de riego mecanizados. (GENICAÑA, 2004)

$$LARA = LAA \times (1 - NH) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

LARA = lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

LAA = lámina de agua aprovechable (mm)

NH = nivel crítico de humedad (adimensional)

La lámina de aplicación de riego para el manejo de áreas con secciones de vetas de arena fue estimada según la CRH en suelos con vetas de arena y la CRH en suelos sin vetas de arena, determinando así la lámina de aplicación para las categorías de manejo I y IV respectivamente. La lámina de riego para la categoría I corresponde a la cantidad de agua a aplicar determinada según la LARA en suelos sin vetas de arena, para la categoría IV la lámina se determinó en función de la LARA en suelos con vetas de arena. Para la categoría II, se determinó menor lámina que la establecida en la categoría I y, para la categoría III se estableció menor lámina que la establecida en la categoría IV.

1.1.1 Determinación de la frecuencia de riego

La frecuencia de riego fue determinada con base en el agotamiento de la lámina de riego, en función de la pérdida de humedad en el suelo, establecida según la evapotranspiración diaria de caña de azúcar bajo condiciones estándar (ETc)

$$Frecuencia = \frac{LARA}{ETc} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

Frecuencia = frecuencia de riego (días)

LARA = lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

ETc = evapotranspiración diaria del cultivo de caña de azúcar (mm/día)

De la misma forma en que se estimó la lámina de riego para cada una de las categorías de manejo establecidas, se determinó la frecuencia del riego. La frecuencia de riego para la categoría I corresponde a la frecuencia determinada según la LARA y la ETc en suelos sin vetas de arena, para la categoría IV la frecuencia se determinó en función de la LARA y ETc en suelos con vetas de arena. Para la categoría II, se determinó menor frecuencia que la establecida en la categoría I y, para la categoría III se estableció mayor frecuencia que la establecida en la categoría IV.

2.5.9 Integración de parámetros

Se generó una geodatabase, en donde se integraron los parámetros técnicos que definen las estrategias de irrigación para el manejo de áreas con secciones de vetas de arena para los tres sistemas de irrigación. En el Cuadro 19 se presenta el esquema general de la

geodatabase la cual contiene los siguientes campos: área de aplicación del riego, magnitud de veta de arena, categoría de manejo, lámina de aplicación y frecuencia de riego específica para cada sección de riego.

Cuadro 19 Esquema de la geodatabase de las estrategias de riego.

Área	Código sección	Azimut o distancia inicial	Azimut o distancia final	% veta	Magnitud veta	Categoría de manejo	Lámina de riego	Frecuencia de riego
------	----------------	----------------------------	--------------------------	--------	---------------	---------------------	-----------------	---------------------

Para el caso del sistema de riego pivote central se determinó el azimut inicial y final el cual define la sección de riego, esto permite programar el riego eficazmente con el controlador del sistema de riego.

De igual forma, en el sistema de riego de desplazamiento frontal se determinó la distancia inicial y final de cada sección de riego.

En el sistema de mangas y compuertas se determinó las especificaciones según la chorra de riego, especificándose que sección debe regarse para aplicar la lámina requerida.

2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1 Cartografía de vetas de arena

En las figuras 18, 19 y 20 se presentan los mapas de vetas de arena de las fincas Irlanda, Nueva Esperanza y El Apipal respectivamente.

En finca Irlanda se digitalizaron 274 polígonos que representan lotes o áreas cultivadas con caña de azúcar, de éstos, 100 polígonos representan áreas sin vetas de arena, mientras que 174 polígonos representan áreas con vetas de arena. En finca Nueva Esperanza, se digitalizaron 96 polígonos, 46 representan áreas con vetas de arena, el resto, áreas sin problemas de vetas. En finca El Apipal, se digitalizaron 125 polígonos, 84 de ellos representan áreas con vetas de arena.

Del total de polígonos de vetas de arena mapeados en finca Irlanda, 15 (8%) fueron confirmados en campo. En finca Nueva Esperanza y finca El Apipal se corroboraron en campo 4 (8%) y 6 (7%) polígonos que representan áreas con vetas de arena, respectivamente.

En promedio el 98 % de los polígonos revisados fueron determinados a ser vetas de arena en campo definitivo.

En el cuadro 20, se presenta la magnitud de vetas de arena en cada una de las fincas, se observa que la finca Irlanda contiene la mayor superficie afectada por vetas de arena, aproximadamente el 16.1% del área presenta vetas de arena, en menor escala las fincas Nueva Esperanza y El Apipal en donde el 12.0 y 6.9% del terreno presenta vetas de arena, respectivamente.

Cuadro 20 Magnitud de vetas de arena en las fincas de estudio.

Finca	Área total (ha)	Área con vetas (ha)	Área con vetas (%)
Irlanda	886.25	142.68	16.1
Nueva Esperanza	435.55	52.45	12.0
El Apipal	390.91	27.03	6.9

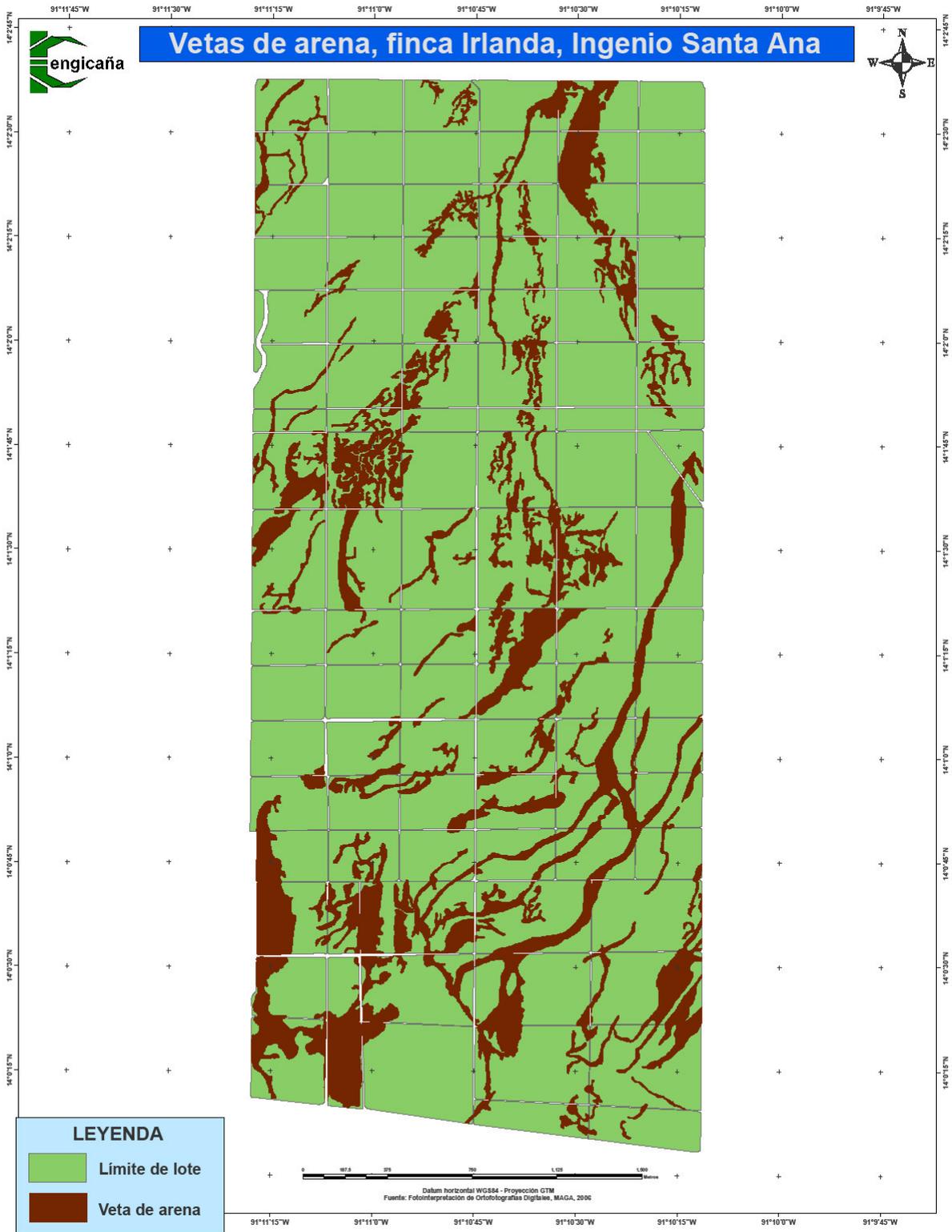


Figura 18 Distribución geoespacial de vetas de arena en finca Irlanda.

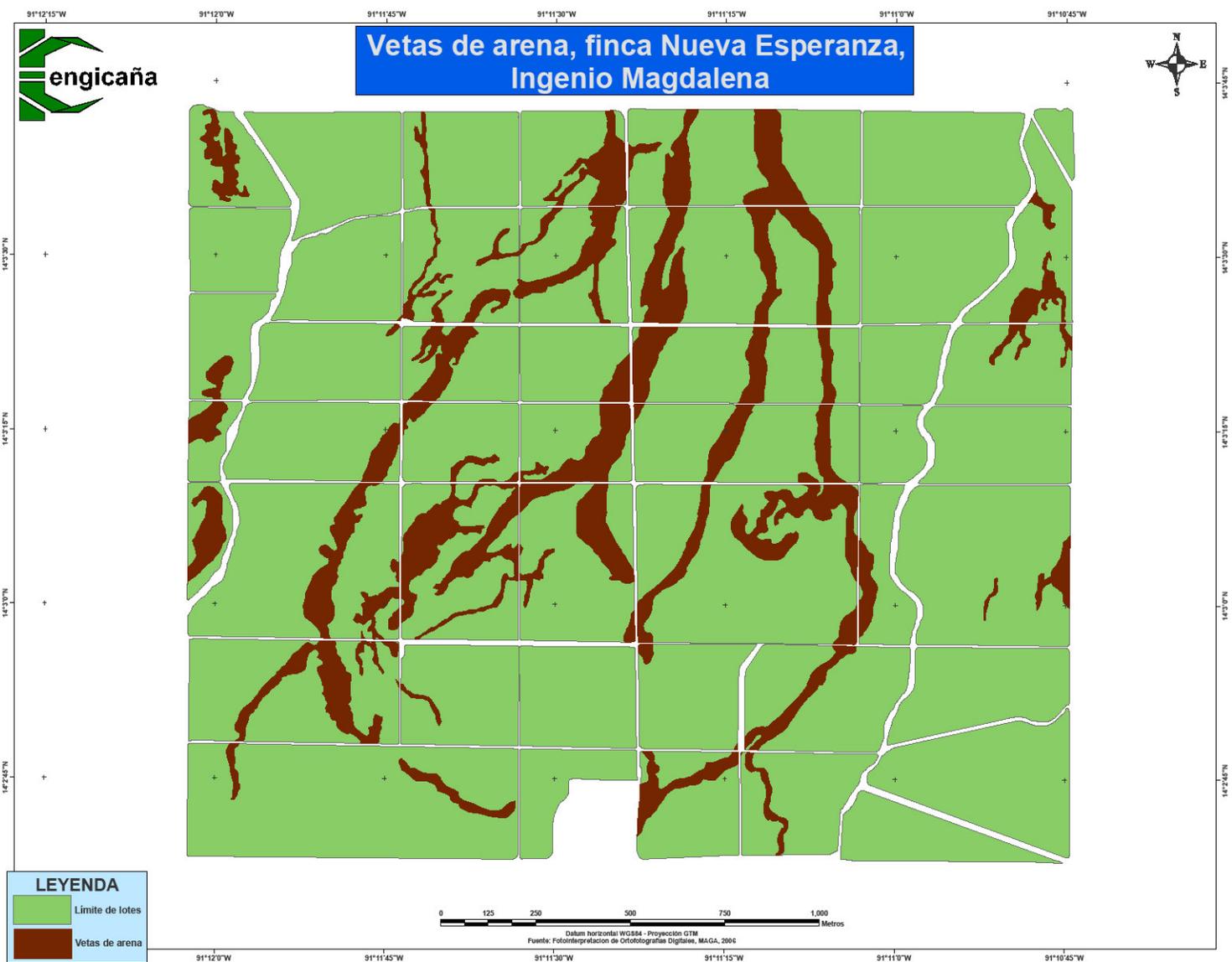


Figura 19 Distribución geoespacial de vetas de arena en finca Nueva Esperanza.

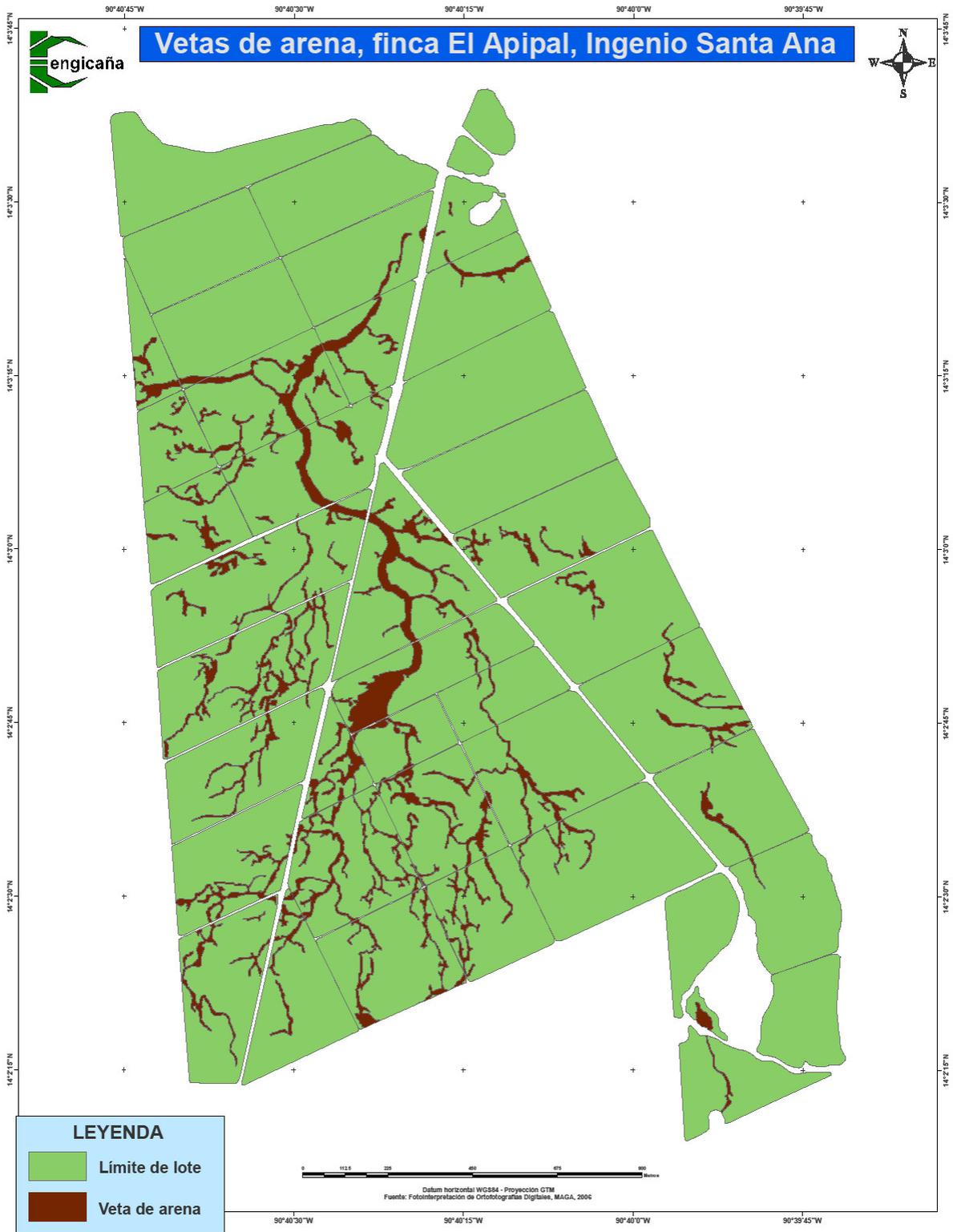


Figura 20 Distribución geoespacial de vetas de arena en finca El Apipal.

2.6.2 Cobertura de riego

En las figuras 21, 22 y 23 se presentan los mapas de cobertura de riego en las fincas Irlanda, Nueva Esperanza y El Apipal, respectivamente.

En finca Irlanda el sistema de riego de desplazamiento frontal, riega el 95.1 % del área cultivada con caña de azúcar (842.82 ha), existen 2 estructuras de riego las cuales irrigan el área en 6 diferentes superficies o bandas de riego. En finca Nueva Esperanza cuatro pivotes de riego aplican agua en el 90.02 % del terreno (302.08 ha). En finca El Apipal el 89.05 % del área cultivada con caña de azúcar (348.10 ha) es irrigada por riego superficial de mangas y compuertas.

En los cuadros 21, 22 y 23 se presenta el porcentaje de área de incidencia de vetas de arena en cada una de las superficies de riego de las fincas de estudio.

Cuadro 21 Superficie de vetas de arena en áreas irrigadas de finca Irlanda.

Superficie de riego	Área vetas de arena (ha)	Área vetas de arena (%)	Superficie de riego	Área vetas de arena (ha)	Área vetas de arena (%)
A	25.53	16.82	D	32.13	19.68
B	29.48	19.40	E	28.10	17.97
C	15.50	10.78	F	19.33	11.85

Cuadro 22 Superficie de vetas de arena en áreas irrigadas de finca Nueva Esperanza.

Superficie de riego	Área vetas de arena (ha)	Área vetas de arena (%)	Superficie de riego	Área vetas de arena (ha)	Área vetas de arena (%)
Norte-Este	13.68	13.65	Sur-Este	8.42	8.41
Norte-Oeste	9.48	9.44	Sur-Oeste	13.52	13.45

Cuadro 23 Superficie de vetas de arena en áreas irrigadas de finca El Apipal.

Superficie de riego	Área vetas de arena (ha)	Área vetas de arena (%)
Área norte	5.39	5.36
Área centro	9.13	9.73
Área sur	8.68	7.19

En el cuadro 21 se aprecia que la mayor superficie de vetas de arena es irrigada en el área de riego A, en promedio cada superficie de riego en finca Irlanda irrigan el 16 % del área afectada (25.01 ha cada superficie de riego). En finca Nueva Esperanza (cuadro 22) el área de riego de los sistemas de pivote central cubren en promedio el 11.23 % del área con vetas de arena (11.25 ha cada área de riego), siendo el área con mayor incidencia la superficie cubierta por el pivote Norte-Este. En finca El Apipal el sistema superficial de mangas y compuertas riega en promedio el 8.15 % del área afectada por vetas de arena (9.82 ha), siendo el área Centro la que presenta mayor incidencia de vetas de arena como se observa en el cuadro 23.

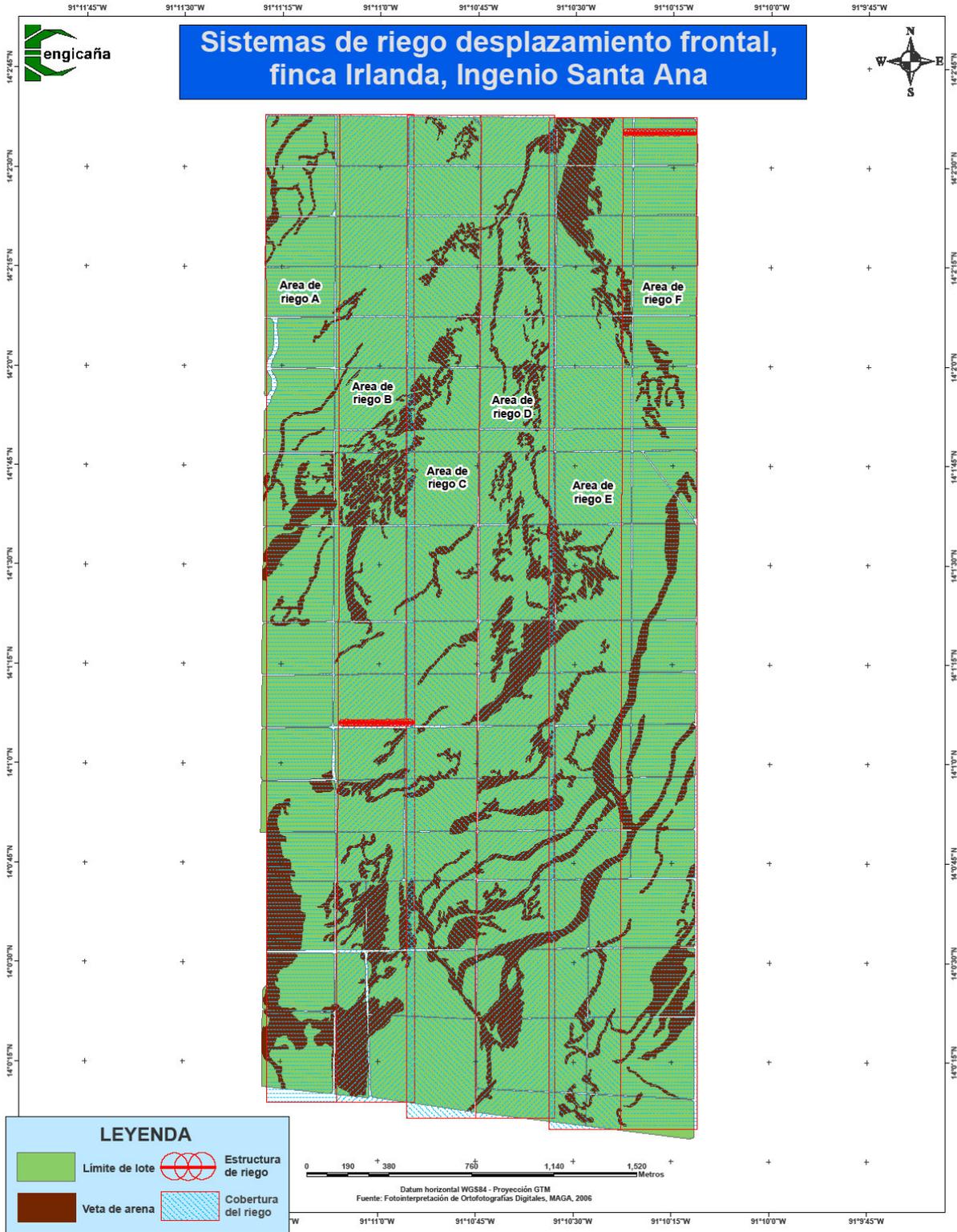


Figura 21 Superficie irrigada por el sistema de riego de desplazamiento frontal de finca Irlanda.

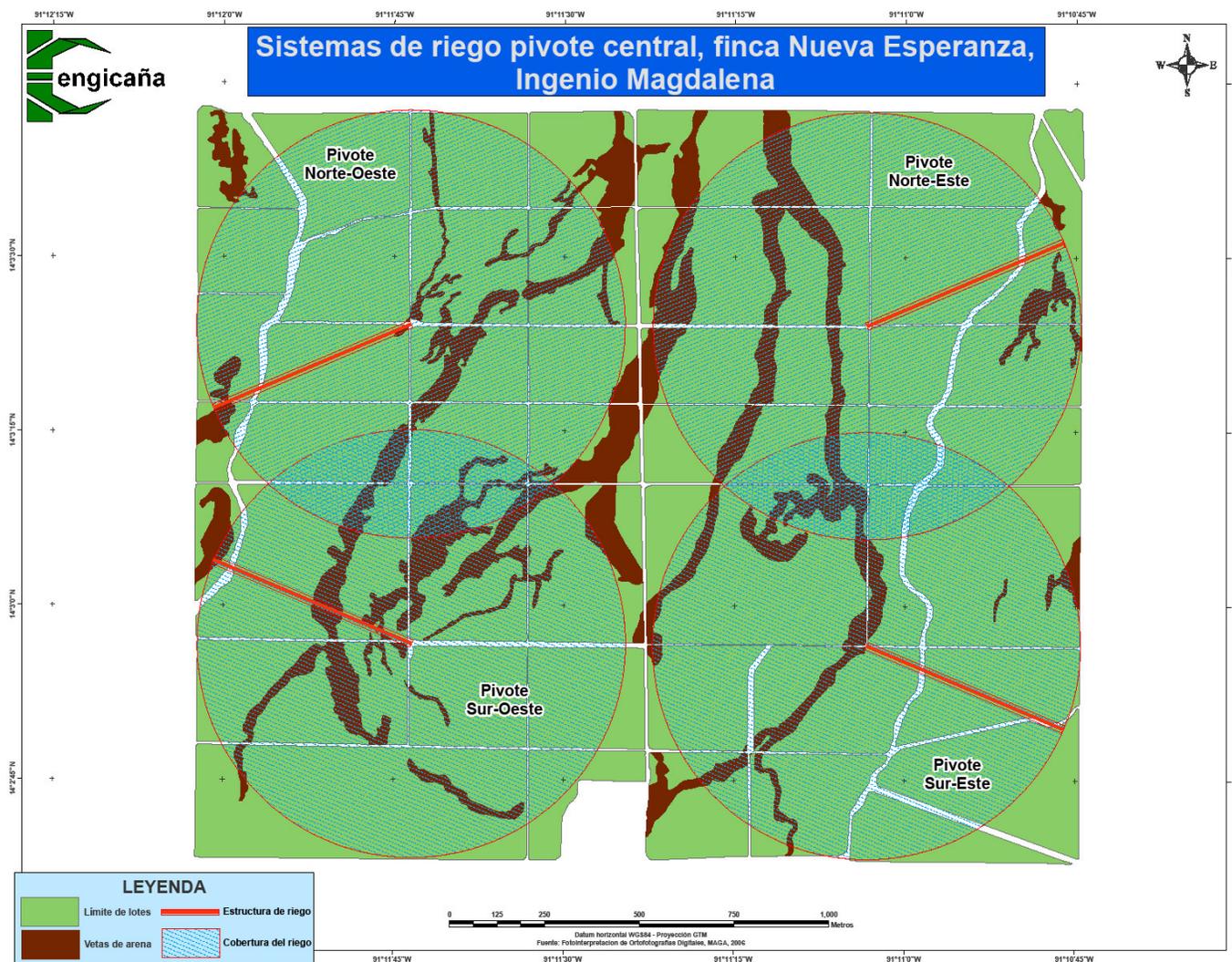


Figura 22 Superficie irrigada por el sistema de riego pivote central fijo de finca Nueva Esperanza.

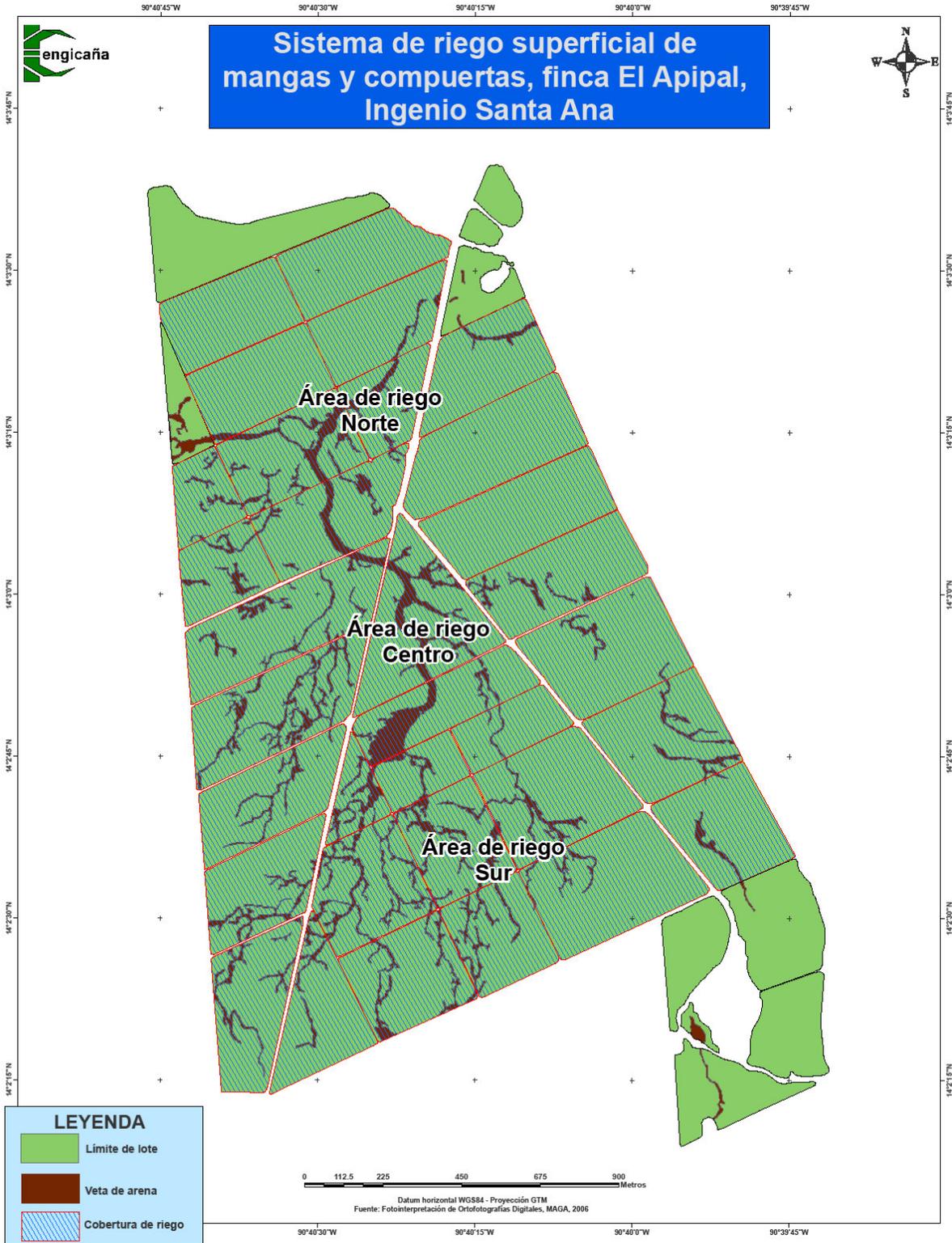


Figura 23 Superficie irrigada por el sistema de riego superficial de mangas y compuertas en finca El Apipal.

2.6.3 Capacidad de retención de humedad del suelo en las fincas de estudio

La disponibilidad de agua para las plantas se relaciona con el agua aprovechable, la cual corresponde a la cantidad de agua retenida por el suelo entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

En finca Irlanda, la diferencia en la capacidad de retención de humedad (CRH) de los suelos con veta de arena, respecto a los suelos sin vetas varía de 0.11 a 0.92 milímetros de agua por cada centímetro de profundidad en el perfil de suelo (mm cm^{-1}), en finca Nueva Esperanza varía de 0.14 a 0.83 mm cm^{-1} , mientras que en finca El Apipal se observan mayores diferencias, la CRH en suelos con vetas de arena varía hasta en 1.26 mm cm^{-1} respecto a los suelos sin veta en ésta área. Es importante mencionar que los suelos en finca El Apipal se ubican cerca de los cauces de ríos, en donde los eventos de desbordamiento suelen suceder más a menudo. En todos los casos la cantidad de agua aprovechable en suelos con vetas de arena es menor al observado en suelos sin vetas. Las diferencias en la CRH de los suelos de cada finca se presentan en los cuadros 24, 25 y 26.

Cuadro 24 Capacidad de Retención de Humedad estimada a través de lámina de agua aprovechable en suelos con vetas y sin vetas de arena en finca Irlanda.

Área de riego	LAA (mm cm^{-1})		
	Sin Veta	Con veta	Diferencial
A	1.97	1.86	0.11
B	2.19	1.39	0.81
C	1.90	1.72	0.18
D	2.03	1.88	0.16
E	2.14	1.29	0.84
F	2.10	1.18	0.92

Cuadro 25 Lámina de agua aprovechable en suelos con vetas y sin vetas de arena en finca Nueva Esperanza.

Área de riego	LAA mm cm ⁻¹		
	Sin veta	Con veta	Diferencial
Pivote Sur-Este	1.97	1.15	0.83
Pivote Sur-Oeste	1.90	1.76	0.14
Pivote Norte-Este	1.84	1.26	0.58
Pivote Norte-Oeste	2.07	1.47	0.61

Cuadro 26 Lámina de agua aprovechable en suelos con vetas y sin vetas de arena en finca El Apipal.

Área de riego	LAA mm cm ⁻¹		
	Sin veta	Con Veta	Diferencial
Área norte	1.77	0.52	1.26
Área centro	1.63	0.42	1.20
Área sur	1.46	0.82	0.63

En finca Irlanda la variación de la CRH en suelos con vetas de arena y en suelos sin vetas en los perfiles de suelo de las diferentes superficies de riego, varía significativamente en algunos estratos, como se muestra en la figura 24.

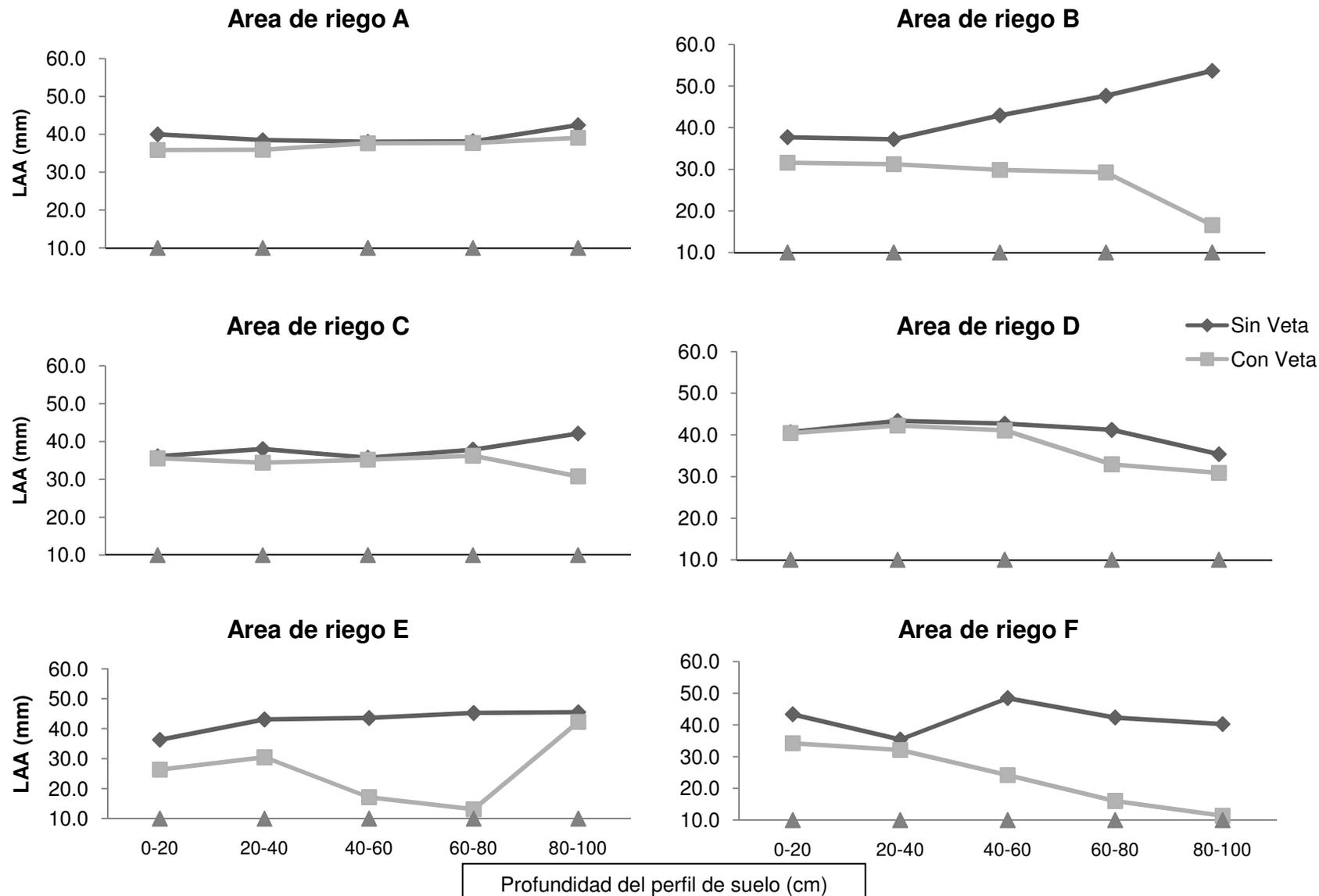


Figura 24 Comportamiento de la lámina de agua aprovechable en el perfil de suelo en áreas con veta y sin veta en las diferentes superficies de riego en Finca Irlanda.

En la superficie de riego A la diferencia en la CRH en suelos con vetas de arena, respecto a los suelos sin vetas alcanza valores de 4 mm de agua en los primeros 20 cm de profundidad del perfil de suelo, sin embargo en los estratos subyacentes la retención de humedad es similar a la determinada en suelos sin vetas de arena, volviendo a diferenciarse en los últimos 80 - 100 cm, esto debido a que las vetas de arena pueden encontrarse en profundidades variables en todo el perfil de suelo. En las superficies de riego C y D, los estratos superficiales muestran valores de retención alta aproximándose a los determinados en suelos sin vetas de arena, mientras que en los estratos profundos la diferencia es notable, hasta 30 mm en 20 cm de profundidad del perfil de suelo.

En las áreas de riego B, E y F la diferencia en las condiciones de retención de ambos suelos es amplia, observándose la tendencia a ser relativamente baja en los estratos superficiales (menos de 10 mm/20 cm profundidad) y alta en los estratos profundos (hasta 36 mm/20 cm de profundidad), exceptuando el último estrato del área de riego E, donde la CRH es similar a la observada en áreas sin vetas de arena.

En la figura 25 se observa la distribución de la CRH en el perfil de suelo de las diferentes áreas de riego de la finca Nueva Esperanza.

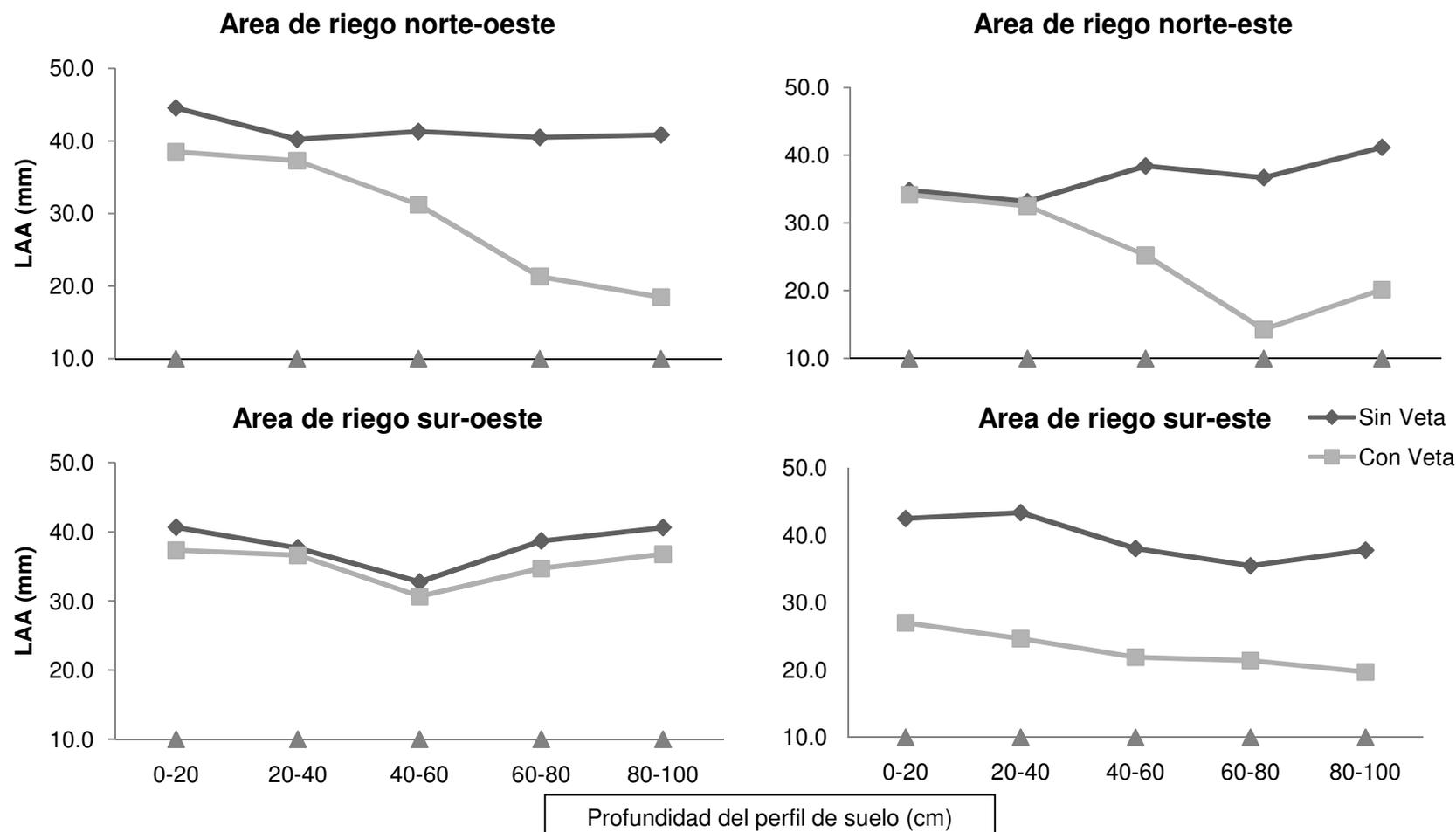


Figura 25 Comportamiento de la lámina de agua aprovechable en el perfil de suelo en áreas con veta y sin veta en las diferentes superficies de riego en Finca Nueva Esperanza.

En el área de riego Norte-Este la CRH en suelos con veta de arena en los estratos superficiales es similar a la observada en suelos sin veta, sin embargo desciende después de los 40 centímetros de profundidad del perfil de suelo, mientras que en suelos sin vetas aumenta, la diferencia en las condiciones de retención entre ambos suelos alcanza aproximadamente 20 mm de agua. El área de riego Norte-Oeste muestra un comportamiento similar al observado en el área Norte-Este, la CRH en los estratos superficiales varía de 3 a 7 mm respecto a los suelos sin vetas, en los estratos subyacentes la retención de humedad en suelos con vetas desciende hasta 19 mm en 20 cm de profundidad del perfil de suelo. En los suelos con vetas de arena del área de riego Sur-Oeste, la retención de humedad en todo el perfil de suelo muestra la misma tendencia a la observada en suelos sin veta de la misma área, sin embargo es menor. En el área de riego Sur-Este existe amplia diferencia en las condiciones de retención de humedad de ambos suelos, ésta oscila entre 13 y 19 mm de agua en los diferentes estratos del perfil de suelo.

En la figura 26 se presenta el comportamiento de la CRH de los suelos con vetas de arena y suelos sin vetas en los primeros 100 cm de profundidad del perfil en finca El Apipal.

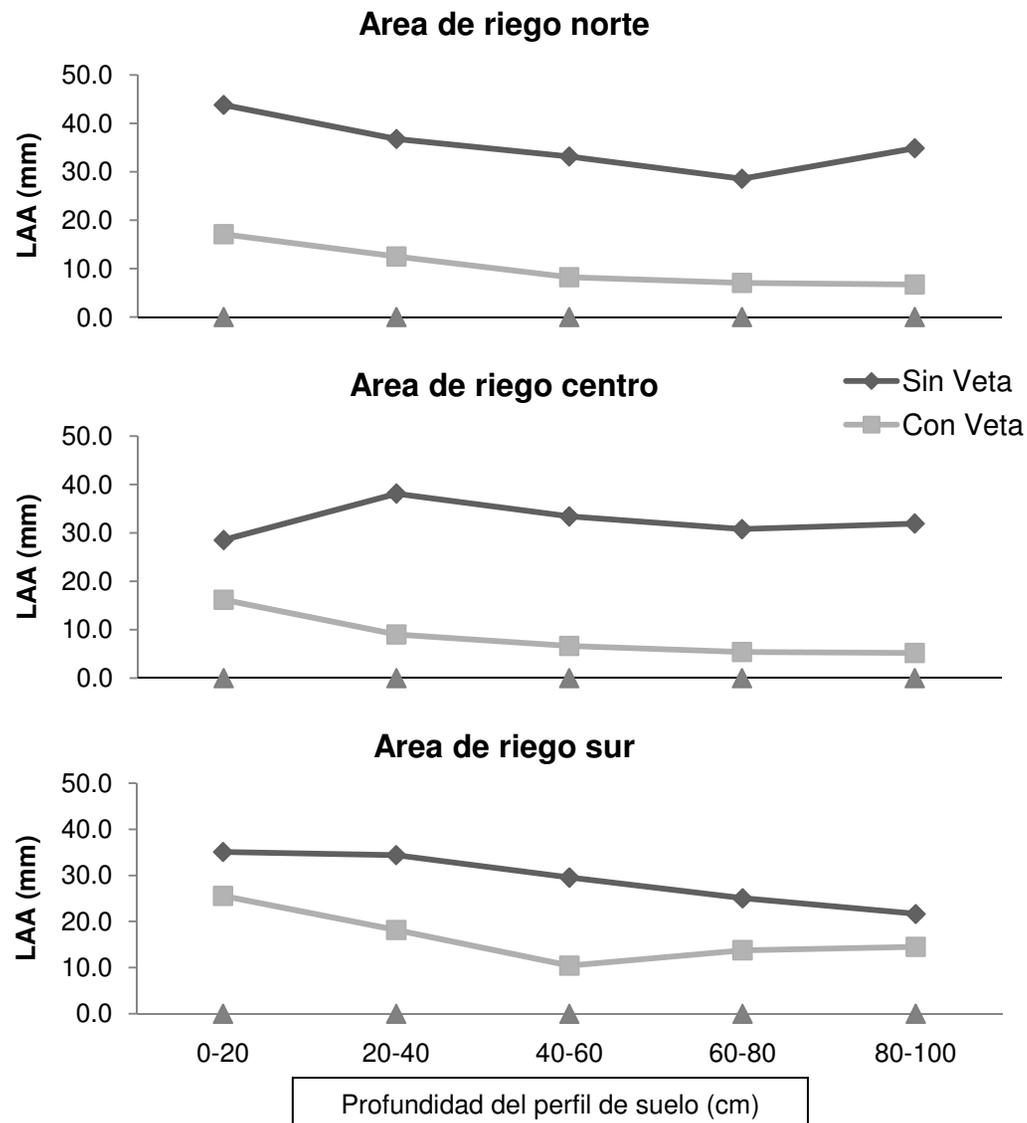


Figura 26 Comportamiento de la lámina de agua aprovechable en el perfil de suelo en áreas con veta y sin veta en las diferentes superficies de riego en Finca El Apipal.

La diferencia de CRH entre ambos suelos en las tres áreas es bastante amplia, ésta oscila de 6 a 26 mm en estratos de 20 cm de profundidad del perfil de suelo, a diferencia de los valores observados en fincas Irlanda y Nueva Esperanza, acá no existen valores de retención similares entre suelos con vetas de arena y suelos sin vetas; sin embargo en ambos se observa la disminución de la CRH en relación con la profundidad del suelo.

2.6.4 Requerimientos de agua del cultivo de caña de azúcar en las fincas de estudio

La determinación de los requerimientos de agua se hizo mediante la estimación de pérdidas de humedad en el sistema suelo - planta, determinada por la evapotranspiración potencial del cultivo de caña de azúcar.

En la figura 27 se presenta el comportamiento de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) promedio diaria en los últimos 4 años en las estaciones cercanas a las fincas de estudio.

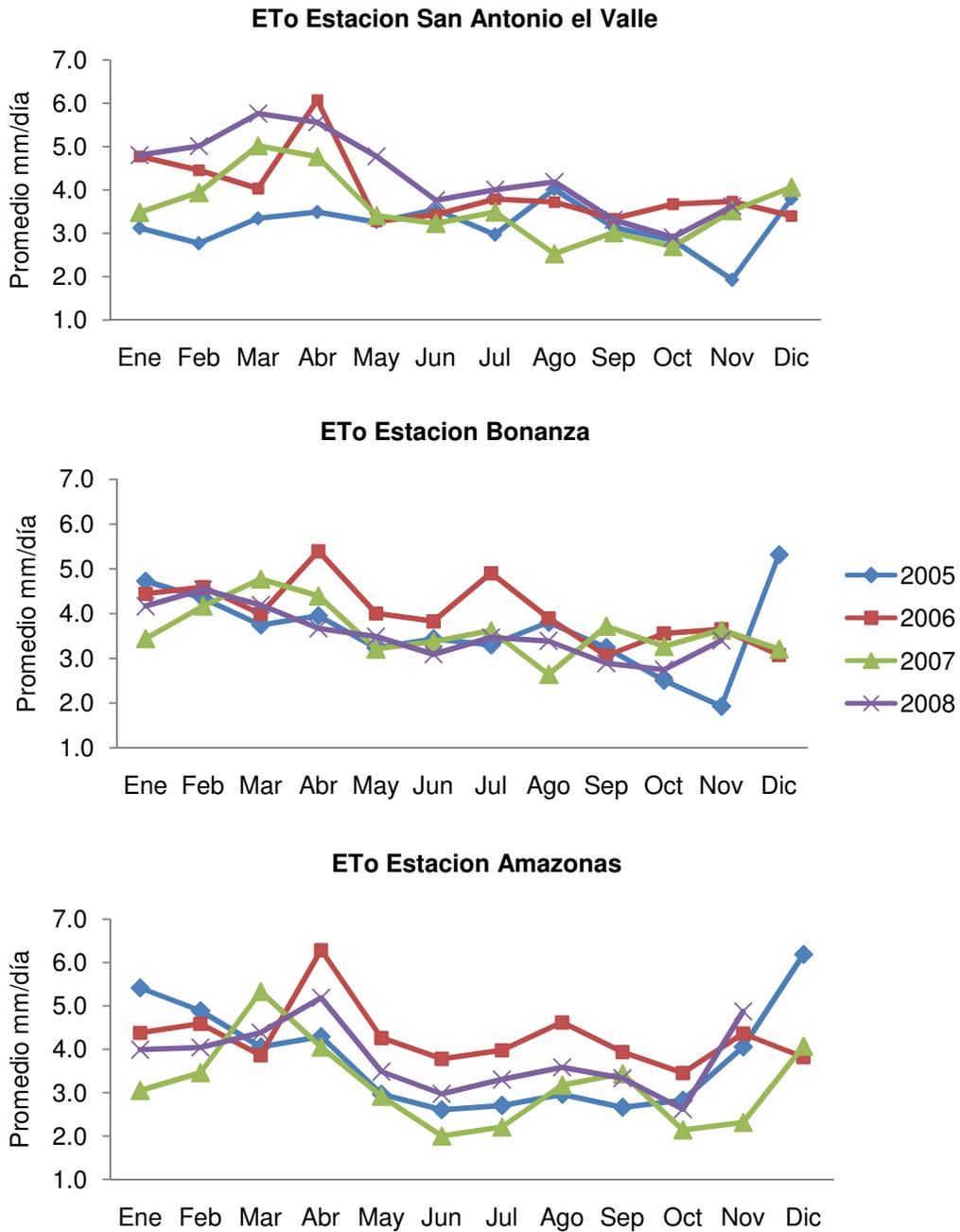


Figura 27 Comportamiento de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ETo) en estaciones meteorológicas cercanas a las fincas de estudio.

Los valores de evapotranspiración máximos se observan durante los meses de diciembre a abril, período que coincide con la época seca en la zona cañera del sur de Guatemala.

En el cuadro 27 se muestra el valor de ETo máximo encontrado en cada una de las estaciones meteorológicas, y la evaporación del cultivo de caña de azúcar (ETc) para las

etapas de macollamiento y elongación en suelos con vetas de arena y en suelos sin vetas según el valor de Kc específico para los suelos y etapas de crecimiento del cultivo de caña.

Cuadro 27 Evapotranspiración diaria del cultivo de caña de azúcar en las etapas de macollamiento y elongación, en suelos con vetas y sin vetas de arena

Estación meteorológica	Finca	ETo máxima promedio observada mm d ⁻¹	Evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar (ETc)			
			Macollamiento sin veta mm d ⁻¹	Elongación sin veta mm d ⁻¹	Macollamiento con veta mm d ⁻¹	elongación con veta mm d ⁻¹
			Kc 0.3	Kc 0.6	Kc 0.6	Kc 0.9
Amazonas	El Apipal	6.19	1.86	3.71	3.71	5.57
Bonanza	Nueva Esperanza	5.31	1.59	3.19	3.19	4.78
San Antonio	Irlanda	6.07	1.82	3.64	3.64	5.46

El valor de Kc en las etapas iniciales es bajo, y se incrementa a medida que el cultivo se aproxima a la etapa de elongación o rápido crecimiento, esto debido a que la demanda de agua en la etapa de macollamiento es baja, y se incrementa en la fase de elongación

En el cuadro 27 se observa que en suelos con vetas de arena la evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar en la etapa de macollamiento es 2 mm mayor a la ETc en suelos sin vetas para el mismo periodo de crecimiento, lo mismo sucede en la etapa de elongación; además las necesidades de agua se incrementan cuando el cultivo se encuentra en suelos con vetas de arena ya que la humedad retenida se pierde con facilidad, haciendo más difícil la absorción de agua en las raíces, cuando la demanda es alta.

2.6.5 Estrategias de irrigación espacialmente variable para el manejo de áreas con secciones de vetas de arena

2.6.5.1 Seccionamiento del área de riego

En la figura 28 , 29 y 30 se presenta el seccionamiento del riego en los tres diferentes sistemas de irrigación de las fincas de estudio. En finca Irlanda, se totalizaron 47 secciones de riego de igual área para cada una de las superficies de irrigación, éstas fueron clasificadas en las categorías definidas según la magnitud de vetas de arena, y se

agruparon si éstas pertenecían a la misma categoría. En finca Nueva Esperanza, las circunferencias de riego fueron divididas en 16 secciones de igual área. En finca El Apipal los lotes fueron subdivididos cada 18 metros, el cual agrupa 2 chorras de 12 surcos cada uno.

2.6.5.2 Magnitud de vetas de arena en las secciones de riego

En los cuadros 28, 29 y 30 se presenta el número de secciones de riego según la magnitud de vetas de arena en cada finca de estudio, éstas fueron agrupadas en 4 diferentes categorías de manejo, las cuales responden a diferentes formas de manejo del riego.

Cuadro 28 Porcentaje de secciones de riego en las categorías de manejo de finca Irlanda.

Categoría de manejo	Magnitud vetas de arena	Secciones de riego (%)					
		Área de riego A	Área de riego B	Área de riego C	Área de riego D	Área de riego E	Área de riego F
I	< 10 %	41.3	47.8	55.3	23.4	31.9	46.8
II	10 - 20 %	26.0	17.3	31.9	38.2	31.9	40.4
III	20 - 30 %	13.0	10.8	6.3	23.4	17.0	6.3
IV	> 30 %	19.6	23.9	6.3	14.8	19.1	6.3

Cuadro 29 Porcentaje de secciones de riego en las categorías de manejo de finca Nueva Esperanza.

Categoría de manejo	Magnitud vetas de arena	Secciones de riego (%)			
		Pivote NO	Pivote NE	Pivote SO	Pivote SE
I	< 10 %	68.7	50	50	63
II	10 - 20 %	6.3	25.0	31.3	18.8
III	20 - 30 %	25.0	6.3	6.3	12.5
IV	> 30 %	0.0	18.8	12.5	6.3

Cuadro 30 Porcentaje de secciones de riego en las categorías de manejo de finca El Apipal.

Categoría de manejo	Magnitud vetas de arena	Secciones de riego %		
		norte	centro	sur
I	< 10%	78.46	63.35	61.57
II	10 - 20 %	11.79	20.64	29.63
III	20 - 30 %	5.69	9.61	8.33
IV	> 30 %	4.07	6.41	0.46

En el cuadro 28 se observa que las secciones definidas en las superficies de riego de finca Irlanda, el 41 % de las secciones posee menos del 10 % de vetas de arena (categoría I), 27 % de las secciones poseen de 10 a 20 % de vetas de arena (categoría II), en la categoría III (20 – 30 % área con vetas de arena) se agrupan el 13 % de las secciones, mientras que el 15 % de las secciones presentan vetas en más del 30 % de su área (categoría IV).

En el cuadro 29 se observa la magnitud de vetas definida en las secciones de riego en finca Nueva Esperanza, la mayoría de secciones definidas (más del 50 %) poseen menos del 10 % de área con vetas de arena (categoría I), la categoría II (10 – 20 %) agrupa 20 % de las secciones de riego, la categoría III (20 – 30 %) el 13 % de las secciones, y la categoría IV (> 30 %) menos del 10 % de las secciones de riego.

En el cuadro 30 en finca El Apipal se observa que más del 60 % en todas las áreas de riego están clasificadas como categoría I (< 10 % vetas de arena), del 10 al 20 % de secciones de riego definidas están dentro de la categoría de manejo II (10 – 20 % vetas de arena), en menor escala se encuentran secciones definidas dentro de las categorías III y IV, las cuales corresponden a secciones con alta incidencia de vetas de arena.

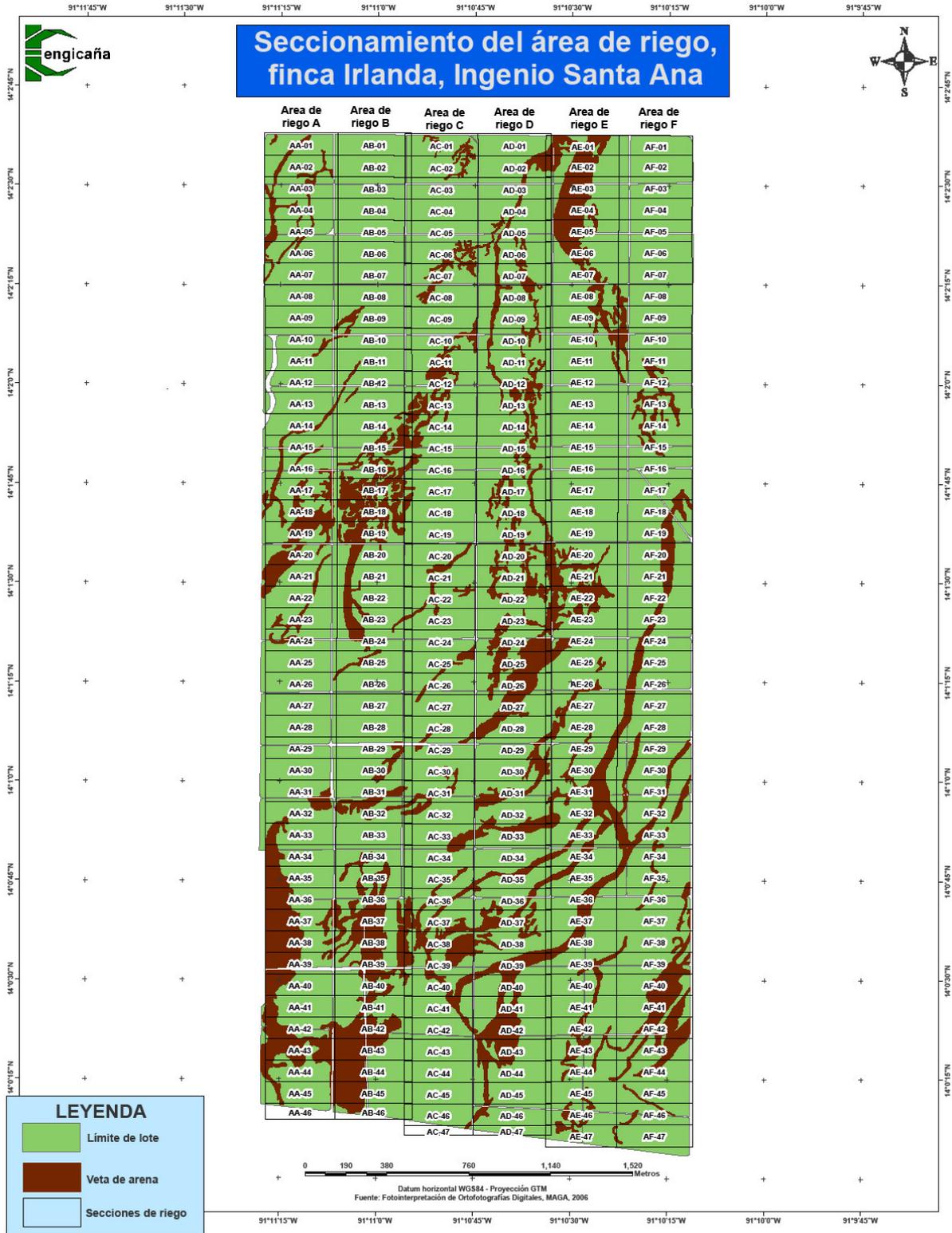


Figura 28 Seccionamiento de las superficies de riego en Finca Irlanda

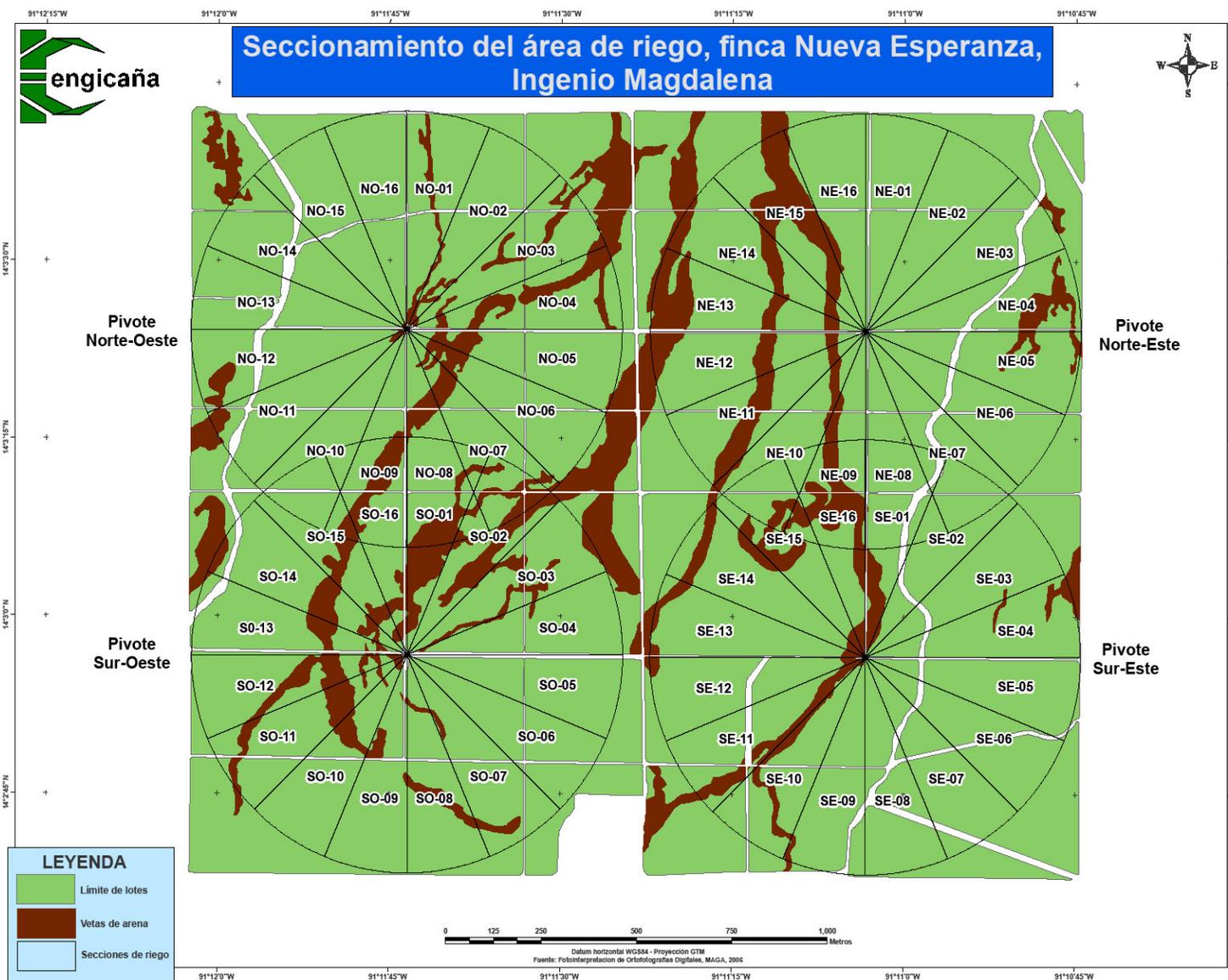


Figura 29 Seccionamiento de las superficies de riego en Finca Nueva Esperanza.

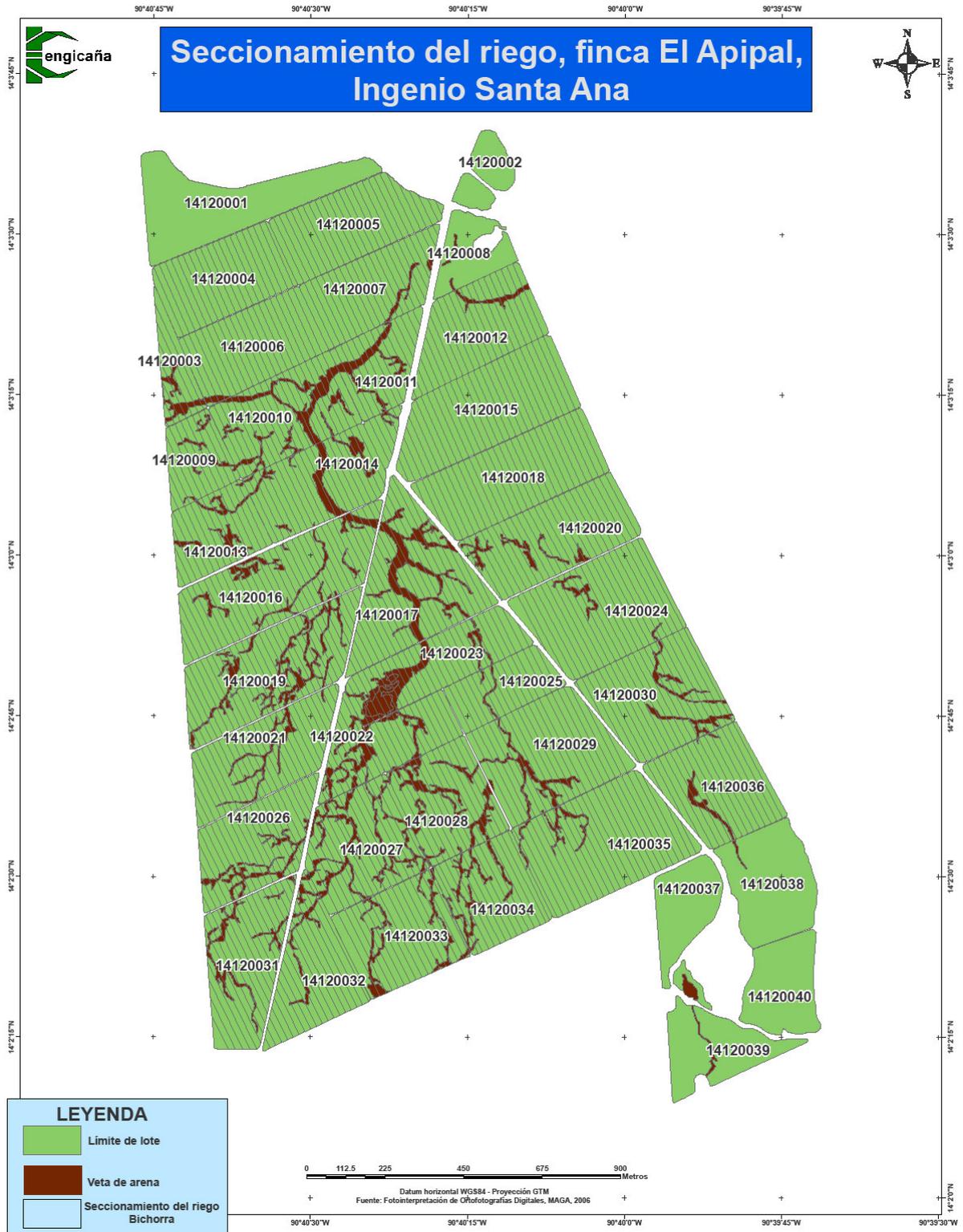


Figura 30 Seccionamiento de las superficies de riego en Finca El Apipal.

2.6.6 Programación de la operación del riego

En los cuadros 31, 32 y 33 se muestran las frecuencias y láminas de riego a aplicar en finca Irlanda, finca Nueva Esperanza y finca El Apipal, según las condiciones físicas del suelo en áreas con vetas y sin vetas de arena en las diferentes superficies de riego.

Cuadro 31 Operación del riego en finca Irlanda.

Categoría de manejo	Operación del riego	Área de riego	Macollamiento	Elongación	Área de riego	Macollamiento	Elongación		
I	Frecuencia	A	13	10	D	14	10		
	Lámina		23.52	34.92		25.20	38.00		
II	Frecuencia		11	9		12	9		
	Lámina		23.02	34.39		25.10	37.78		
III	Frecuencia		8	7		8	7		
	Lámina		22.03	33.35		24.90	37.35		
IV	Frecuencia		6	6		6	6		
	Lámina		21.54	32.82		24.80	37.13		
I	Frecuencia		B	12		10	E	13	10
	Lámina			22.48		35.36		23.82	36.89
II	Frecuencia			11		9		12	9
	Lámina			21.57		33.47		22.12	33.21
III	Frecuencia	7		6	8	8			
	Lámina	19.76		29.70	18.72	25.85			
IV	Frecuencia	5		5	7	7			
	Lámina	18.85		27.81	17.02	22.17			
I	Frecuencia	C		12	9	F		13	10
	Lámina			22.24	32.95			23.62	38.16
II	Frecuencia			11	8			11	9
	Lámina			21.92	32.60			22.68	35.40
III	Frecuencia		8	7	7		6		
	Lámina		21.29	31.88	20.81		29.88		
IV	Frecuencia		6	6	5		4		
	Lámina		20.97	31.53	19.87		27.12		

Cuadro 32 Operación del riego en finca Nueva Esperanza.

Categoría de manejo	Operación del riego	Área de riego	Macollamiento	Elongación	Área de riego	Macollamiento	Elongación		
I	Frecuencia	NO	16	12	NE	13	10		
	Lámina		25.43	37.82		20.39	31.91		
II	Frecuencia		14	11		11	9		
	Lámina		24.76	36.39		20.29	30.82		
III	Frecuencia		9	8		8	7		
	Lámina		23.41	33.54		20.08	28.64		
IV	Frecuencia		7	7		6	6		
	Lámina		22.74	32.11		19.98	27.55		
I	Frecuencia		SO	15		10	SE	16	12
	Lámina			23.50		33.31		25.76	37.17
II	Frecuencia	13		9	13	10			
	Lámina	23.17		32.83	23.19	33.39			
III	Frecuencia	9		8	8	6			
	Lámina	22.51		31.85	18.05	25.83			
IV	Frecuencia	7		7	5	5			
	Lámina	22.18		31.37	15.49	22.05			

Frecuencia: días, Lámina: mm

Cuadro 33 Operación de riego en finca El Apipal.

Categoría de manejo	Operación del riego	Área de riego	Macollamiento	Elongación	
I	Frecuencia	norte	17	12	
	Lámina		32.23	45.50	
II	Frecuencia		14	10	
	Lámina		26.40	36.96	
III	Frecuencia		7	5	
	Lámina		14.72	19.89	
IV	Frecuencia		3	3	
	Lámina		8.89	11.35	
I	Frecuencia		centro	14	11
	Lámina			26.65	40.01
II	Frecuencia			11	9
	Lámina			21.17	31.37
III	Frecuencia	6		4	
	Lámina	13.77		18.94	
IV	Frecuencia	3		2	
	Lámina	10.06		12.72	
I	Frecuencia	sur		17	12
	Lámina			32.23	45.50
II	Frecuencia			14	10
	Lámina			26.40	36.96
III	Frecuencia		7	5	
	Lámina		14.72	19.89	
IV	Frecuencia		3	3	
	Lámina		8.89	11.35	

Frecuencia: días, Lámina: mm

En los cuadros 31, 32 y 33 se observa que la frecuencia de riego en la categoría IV (> 30 % de área con vetas de arena) son cortas, en relación a las frecuencias en la categoría I (< 10 % de área con vetas de arena) donde son más amplias, tal y como se ha establecido según el criterio técnico definido, además en la categoría II (10 – 20 % vetas de arena) la frecuencia es más corta que la definida en la categoría I, de la misma manera en la

categoría III (20 – 30 % vetas de arena) la frecuencia es más larga a la establecida en la categoría IV, esto responde a las necesidades de agua según la CRH en los suelos de las diferentes fincas de estudio, establecidas específicamente por la magnitud de vetas de arena en cada área de riego.

Además la cantidad de agua a aplicar en áreas definidas dentro de la categoría IV es menor a las definidas en áreas con menor incidencia de vetas de arena, esto coincide con la estrategia de aplicar pequeñas cantidades de agua más frecuentemente, con la finalidad de aumentar la eficiencia en la disponibilidad de agua en suelos arenosos, donde la CRH es baja.

Por otro lado la lámina de riego en la etapa de elongación en todos los casos es mayor a la definida en la etapa de macollamiento, dado a que en este período existen mayores necesidades de agua por parte del cultivo de caña de azúcar; en las etapa de macollamiento y elongación en áreas definidas dentro de la categoría III y IV, donde existe mayor incidencia de vetas de arena, las frecuencias son similares, debido a que la poca humedad retenida se pierde rápidamente dado a la existencia de mayor área con vetas de arena.

Es importante mencionar que para una programación del riego más eficiente, debe de considerarse el uso del balance hídrico, en donde a partir del primer día de la temporada de riego se determinen las entradas (lluvia) y salidas (evapotranspiración) de agua dentro del suelo, pudiéndose variar las frecuencias y/o láminas de aplicación del riego, basándose siempre en la capacidad de retención de humedad específico establecido en la presente investigación.

2.6.7 Integración de parámetros

En el archivo digital adjunto se presenta la geodatabase correspondiente a cada finca de estudio, allí se detalla la sección específica de riego con información sobre las estrategias de riego definidas para el manejo de áreas con secciones de vetas de arena.

2.7. CONCLUSIONES

- 1) El proceso cartográfico definido permitió establecer la ubicación geoespacial y magnitud de áreas con vetas de arena en el terreno de tres fincas productoras de caña en la zona baja de la región cañera del sur de Guatemala. Los porcentajes de área con vetas de arena respecto al área total son: 16.1 % (142.99 ha) en la finca Irlanda 12.0% (52.45 ha) en la finca Nueva Esperanza y 6.9% (27.03 ha) en finca El Apipal.
- 2) La cobertura de riego en finca Irlanda es de 842.82 ha (95.10% del área total), en finca Nueva Esperanza se riegan 302.08 ha (90.02% del área total), y en finca El Apipal se irrigan 348.10 ha (89.05% del área total).
- 3) La capacidad de retención de humedad (CRH) en suelos con vetas de arena es menor a la estimada en suelos sin vetas. En la finca Irlanda la diferencia entre la CRH entre suelos con vetas y sin vetas es en promedio de 0.50 milímetros de agua por cada centímetro de profundidad del perfil de suelo (mm cm^{-1}), en la finca Nueva Esperanza la diferencia de CRH es de 0.14 a 0.83 mm cm^{-1} . En finca El Apipal la diferencia promedio de CRH es mayor a la observada en fincas Irlanda y Nueva Esperanza, ésta alcanzó valores de 1.03 mm cm^{-1} .
- 4) La variabilidad de CRH entre ambos suelos (con vetas y sin vetas) en general, varía en diferentes estratos del perfil de suelo, observándose que en áreas definidas a ser vetas de arena, la CRH en determinados estratos alcanzó valores similares a los establecidos en suelos sin vetas de arena, sin embargo se observó que no fue así en todo el perfil de suelo.
- 5) Las necesidades de agua son mayores en la época sin lluvias, durante los meses de diciembre a abril, los valores de evapotranspiración alcanzan hasta 6.07, 5.31 y 6.19 milímetros de agua por día para las fincas Irlanda, Nueva Esperanza y El Apipal respectivamente.

- 6) Se determinó la evapotranspiración potencial del cultivo de caña de azúcar según el coeficiente único del cultivo determinado para las condiciones de la zona cañera del sur de Guatemala. Durante la fase de elongación la necesidad de agua es de 2 mm d^{-1} mayor a los requerimientos en la fase de macollamiento. La pérdida de humedad se incrementa cuando el cultivo se encuentra plantado en suelos arenosos, hasta 2 mm d^{-1} más que la evapotranspiración en la misma fase de crecimiento.

- 7) Se establecieron estrategias técnicas de riego para el manejo de área con secciones de vetas de arena, los criterios definidos responden a diferentes láminas y frecuencias de riego en función de la magnitud de vetas de arena. Esto implicó definir categorías de manejo que determinan la operación del riego, según los requerimientos localizados del cultivo de caña de azúcar.

2.8. RECOMENDACIONES

La tecnología desarrollada para la irrigación espacialmente variable en fincas que presentan secciones con vetas de arena, puede hacerse más específica si se utilizan programadores de riego que brinden información del balance de humedad en el suelo en tiempo real (sensores de humedad en el suelo, programadores visuales de riego, balance hídrico, entre otros) esto permitirá ahorrar agua y energía al aplicar el riego según la dinámica de las condiciones hídricas a través del tiempo.

Validar la tecnología propuesta, tomando en cuenta que debe evaluarse en diferentes regiones, considerando que los resultados sean técnica y económicamente viables para su replicación en toda la agroindustria azucarera guatemalteca.

Realizar muestreos intensivos de suelo para determinar con la mayor exactitud posible las condiciones de humedad del suelo, mejor aún si la determinación de las características físicas del suelo se hace en cada sección de riego establecida.

2.9. BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia, FAO. 322 p. (Estudio FAO de Riego y Drenaje no. 56).
2. Barneond, J. 2008. Carta de aspersión de los sistemas de riego de pivote central fijo de finca Nueva Esperanza, Ingenio Magdalena (correo electrónico). Escuintla, Guatemala, Ingenio Magdalena.
3. Castro, O. 2003. Las cuencas hidrográficas de la zona cañera guatemalteca y su entorno (en línea). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Consultado 22 set 2008. Disponible <http://www.cengicana.org>
4. _____. 2006a. Los sistemas de riego en la zona cañera guatemalteca, sus innovaciones y formas de uso del recurso hídrico. Guatemala, CENGICAÑA, Memoria: presentación de resultados de investigación zafra 2005 - 2006. 2006:251-258.
5. _____. 2006b. Recomendaciones técnicas y económicas para la aplicación del riego en caña de azúcar. Guatemala, CENGICAÑA, Memoria: presentación de resultados de investigación zafra 2005 – 2006. 2006:238-244.
6. Castro, O; Esquit, V. 2006. Recomendaciones para la optimización del uso de agua - el balance hídrico en pivotes fijos, con un ejemplo de su utilización en la finca Monte Alegre, Ingenio La Unión. Guatemala, CENGICAÑA, Memoria: presentación de resultados de investigación Zafra 2005 – 2006. 2006:230-237.
7. Castro, O; Montufar, J. 2005. Respuesta de la caña de azúcar al riego en la zona cañera guatemalteca (estrategias generales y específicas sobre cuánto y cuándo regar). Guatemala, CENGICAÑA, Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2004–2005. 2005:116-126.
8. Castro, O; Suárez, A; Villatoro, B; Rosales, C. 2007. Estrategias técnicas de riego para el manejo de vetas arenosas, una aproximación de agricultura de precisión para la zona cañera guatemalteca. Guatemala, CENGICAÑA, Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2006 – 2007. 2007:228-232.
9. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2007. Estadísticas de zafra. Guatemala, CENGICAÑA, Boletín Estadístico 8(1):1-8.
10. CENICAÑA (Centro Colombiano de Investigación de la Caña de Azúcar, CO). 2004. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. 2 ed. Cali, Colombia. 66 p. (Serie Técnica no. 33).

11. Gómez, J; Sánchez, O; Buenaventura, C; Rangel, H. 1979. Caña de azúcar. Palmira, Colombia, Instituto Colombiano Agropecuario, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Palmira. 260 p.
12. Hebert, L. 1964. Culture of sugarcane for sugar production in Louisiana (en línea). Louisiana, US, Agriculture Research Service. (Agriculture Handbook no. 262). Consultado 24 jul 2008. Disponible <http://naldr.nal.usda.gov/>
13. ICL (Ingeniería del Campo Limitada, GT). 1996. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 2 ed. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, CENGICANA. 215 p.
14. Juárez, D; Muñoz, E. 1998. Requerimientos de riego de la caña de azúcar en la costa sur de Guatemala: estudio exploratorio. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, CENGICANA. 61 p.
15. López, E. 2001. Evaluación del efecto de riego aplicados en diferentes etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en primer corte. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 50 p.
16. López, F. 2008. Carta de aspersión del sistema de riego de desplazamiento frontal de finca Irlanda de Ingenio Santa Ana (correo electrónico). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana.
17. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2004. Mapa fisiográfico-geomorfológico del departamento de Escuintla (en línea). Guatemala, UPGGR. Esc. 1:500,000. Color. Consultado 15 set 2008. Disponible http://200.12.49.237/SIG_MAGA/escuintla.html
18. _____. 2006. Proyecto: Imágenes digitalizadas de Guatemala para el desarrollo. Guatemala, UPGGR. 1 USB.
19. Martínez, A. 2009. Información sobre el sistema de riego de mangas y compuertas de la finca El Apipal de Ingenio Santa Ana (comunicación personal). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana.
20. Melgar, W. 2003. Estado de la biodiversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala: documento de trabajo sobre recursos genéticos forestales (en línea). Roma, Italia, FAO, Dirección de Recursos Forestales. Consultado 3 oct 2008. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/>
21. Neibling, H. 1997. Irrigation systems for Idaho agriculture (en línea). Idaho, US, University of Idaho, College of Agriculture. Consultado 11 nov 2008. Disponible <http://info.ag.uidaho.edu>
22. Orozco, H; Catalán, M; Castro, O; Queme, J. 2004. Catálogo de variedades promisorias de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca: morfología y productividad (en línea). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. Consultado 15 abr 2008. Disponible <http://www.cengicana.org>

23. Orozco, H; Soto, G; Pérez, O; Ventura, R; Recinos, M. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp) en Guatemala con fines de investigación en variedades (en línea). Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. (Documento Técnico no. 6). Consultado 15 abr 2008. Disponible <http://www.cengicana.org>
24. Rogers, D; Lamm, F; Alam, M; Trooien, T; Clark, G; Barnes, P; Mankin, K. 1997. Efficiencies and water losses of irrigation systems (en línea). Kansas, US, Kansas State University, Cooperative Extension Service. (Irrigation Management Series). Consultado 11 nov 2008. Disponible <http://www.oznet.ksu.edu/>
25. Salguero, M. 2004. Estudio hidrogeológico con fines de riego, de la cuenca del río Acomé, Escuintla, Guatemala (en línea). Guatemala, FAUSAC. Consultado 14 set 2008. Disponible <http://www.caragua.org/docs/>
26. Smith, R; Raine, S; McCarthy, A; Hancock, N. 2002. Managing spatial and temporal variability in irrigated agriculture through adaptive control (en línea). Toowoomba, Australia, University of Southern Queensland, National Centre for Engineering in Agriculture, and Cooperative Research Centre for Irrigation Futures. Consultado 3 oct 2008. Disponible en <http://www.usq.edu.au/>
27. Solomon, K. 1988. Irrigation systems and water application efficiencies. California, US, California State University, Center for Irrigation Technology. (Irrigation Notes). Consultado 11 nov 2008. Disponible <http://cati.csufresno.edu/>
28. SRDC (Sugar Research and Development Corporation, AU). 1991. Irrigation for sugarcane. Queensland, Australia, Burdekin Sugar Experiment Station. 51 p.
29. USDA, (United States Department of Agriculture, US). 1966. Aerial photo interpretation in classifying and mapping soils (en línea). United States of America, USDA, Soil Conservation Service. (Agriculture handbook no. 294). Consultado 15 abr 2008. Disponible <http://naldr.nal.usda.gov>
30. Van Antwerpen, R; Meyer, J. 2002. Soil factors affecting water use efficiency in sugarcane (en línea). Mount Edgecombe, South Africa, South African Sugar Association Experiment Station. Consultado 16 abr 2008. Disponible <http://www.sasa.org.za/>

3. CAPÍTULO III

**Informe de servicios realizados en el programa de Agronomía del Centro
Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar
(CENGICAÑA)**

3.1. PRESENTACIÓN

El objeto del programa de Agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) es desarrollar, adaptar y validar prácticas de manejo del cultivo de caña de azúcar, con la finalidad de aumentar la productividad y sostenibilidad del cultivo para la agroindustria azucarera guatemalteca.

El programa de Agronomía se conforma por las áreas de Fertilización y Nutrición Vegetal, Riegos, Agrometeorología, Malezas y Madurantes y Sistemas de Información Geográfica. El área de Sistemas de Información Geográfica, tiene como proyecto principal la Zonificación Agroecológica (ZAE) de la zona cañera de Guatemala, la cual permite planificar y mejorar la toma de decisiones, optimizando así el uso de los recursos en la producción de caña de azúcar, además permite orientar de mejor manera la investigación y desarrollo tecnológico de las prácticas agronómicas que se aplican al cultivo.

El proyecto de Zonificación Agroecológica incluye la identificación de zonas homogéneas agrupando atributos edafológicos y climáticos similares, para esto se han ido desarrollando diferentes mapas que permiten agrupar estas características de suelo (fertilidad y texturas) y clima (lluvia y temperatura del aire) de la región cañera de Guatemala.

De esa manera, en el presente documento se presentan tres de los proyectos que se han realizado, los cuales han permitido aproximar de mejor manera la información que se ha generado en el proyecto de ZAE, los proyectos realizados son: a) Segunda aproximación del mapa de fertilidad y texturas, b) Representatividad de las estaciones meteorológicas automatizadas, para la estimación de la precipitación pluvial, y c) Elaboración de mapas históricos de temperatura del aire de la zona cañera del sur de Guatemala.

3.2. ÁREA DE INFLUENCIA

La extensión de la información generada en los proyectos de servicio presentados en este documento, abarcan en su totalidad las 210,000 hectáreas de la zona cañera del sur de Guatemala, la cual se localiza en la Planicie Costera del Pacífico, ubicada en la costa sur de Guatemala, específicamente en los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa.

Los servicios fueron realizados en el Área de Sistemas de Información Geográfica, del Programa de Agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), cuya sede se encuentra en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

3.3. OBJETIVO GENERAL

- Proveer de información para la planificación y toma de decisiones en la producción del cultivo de caña de azúcar, mediante la elaboración de mapas temáticos de los atributos del entorno de la zona cañera del sur de Guatemala.

3.4. Segunda aproximación de los mapas de fertilidad y texturas de la zona cañera del sur de Guatemala

3.4.1 Definición del problema

Según el Estudio Semidetallado de Suelos de la zona cañera guatemalteca elaborado en el año 1993, en el área existen 37 familias correspondientes a 6 órdenes de suelo, esto con base a la Clasificación Taxonómica de Suelos generada por USDA. El número de familias de suelo y órdenes existentes en la zona cañera, evidencian una alta variabilidad, tanto en los tipos de suelo como en sus propiedades, específicamente en el contenido de nutrientes y tipos texturales, características de gran importancia para el manejo de cultivos. La variabilidad del suelo se muestra en función de la distribución espacial de sus características, variabilidad que se estima a través del muestreo de suelos.

En el año 2006, CENGICAÑA y el Comité de Zonificación Agroecológica elaboraron la primera aproximación del mapa de fertilidad y texturas de la zona cañera guatemalteca, proyecto desarrollado con el objeto de generar información espacial actualizada de parámetros y variables relacionadas con el cultivo de caña de azúcar. (memoria) En función de detallar mejor la información espacial, teniendo una mayor y mejor cobertura de la variabilidad del suelo, al poseer mayor información de las características del suelo, se plantea en el presente documento la metodología para elaborar la segunda aproximación del mapa de fertilidad y texturas.

3.4.2 Objetivos

- Elaborar la segunda aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas de la zona cañera del sur de Guatemala, a partir de la georreferenciación de información de los análisis químicos y físicos de las muestras de suelos realizados en CENGICAÑA durante los años 2002 al 2007.
- Identificar la distribución espacial de los principales parámetros de fertilidad según la estratificación de la zona cañera del sur de Guatemala, estimando el valor medio de cada parámetro en las diferentes zonas de producción.
- Identificar la distribución espacial de las clases texturales de los suelos, según la estratificación de la zona cañera del sur de Guatemala, determinando la superficie de cada clase en las diferentes zonas de producción.

3.4.3 Metodología

3.4.3.1 Recopilación de la base de datos de muestras analizadas en el laboratorio de CENGICAÑA en los años 2,002 al 2,007

Los resultados de análisis de suelos de los lotes de producción de caña de azúcar de los ingenios de la agroindustria azucarera guatemalteca, que se realizan en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA, son almacenados en un archivo electrónico, compilándose en una base de datos; el archivo electrónico muestra el origen de la muestra (lote y finca) y los resultados de los análisis físico-químicos del suelo.

La base de datos fue depurada, eliminando aquellas muestras que fueron extraídas en estratos subsuperficiales, o bien extraídas en donde fueron realizados ensayos de enmiendas (Ejemplo: aplicación de vinaza) así como aquellas muestras sin identificación de lote de extracción.

3.4.3.2 Georeferenciación de las muestras

Cada Ingenio ha creado un archivo en .SHP de los lotes de producción de las fincas que administra, la cual muestra en su tabla de atributos la codificación de cada lote, finca e Ingenio, entre otros. Esto ha simplificado el proceso de georeferenciación de las muestras de suelo, por lo que se procedió a asignar las coordenadas geográficas según el lote al que pertenecen.

El procedimiento para georeferenciar las muestras de suelo consistió en:

- a. Generar un archivo de centroides de los lotes de cada finca a través de las herramientas SIG.
- b. Añadir la tabla de parámetros físico-químicos, según sea el caso, a la tabla de atributos del archivo de centroides en el SIG mediante el empalme de los campos correspondientes a código de lote.

El objetivo de las aproximaciones en la elaboración de mapas temáticos es detallar mejor la información, por lo que ésta debe especificarse de mejor forma. De esa manera, se unió la información del mapa de la Primera Aproximación con la información generada en el presente proyecto, resultando en mayor cantidad de información para realizar el análisis

espacial de los atributos de fertilidad y texturas, lo que determinó una mayor cobertura de la zona cañera guatemalteca.

3.4.3.3 Análisis de la información

Con herramientas de hojas electrónicas se revisó la homogeneidad de los resultados de las muestras de laboratorio, consignando así información consistente para la elaboración de los mapas.

3.4.3.4 Análisis espacial

El proceso de análisis espacial permite definir la distribución espacial de los parámetros de fertilidad, en este caso de:

- pH
- Materia Orgánica
- Potasio, Fósforo, Calcio y Magnesio

La distribución espacial se determinó a través del uso de las herramientas de análisis espacial del SIG, procesando los parámetros de fertilidad y texturas detallados arriba, a través de los principios de interpolación y extrapolación contenidos en el SIG.

Para el caso del mapa de texturas se elaboraron tres capas en formato raster, una para cada tipo de partículas del suelo (arcilla, limo y arena) Estas capas fueron la base para determinar los 12 tipos texturales, los cuales fueron establecidos utilizando álgebra de mapas.

En la Primera Aproximación los mapas generados fueron delimitados dentro de la zona cañera reportada por el MAGA en el “Mapa de uso de la tierra y cobertura del suelo de la República de Guatemala”, escala 1:50,000 elaborado por la UPGGR del MAGA en el año 2,006, a partir de imágenes satelitales del año 2003. Para la Segunda Aproximación los límites de la zona cañera se han extendido, debido al crecimiento de la Agroindustria, por lo que los mapas fueron generados en base a las áreas reportadas por MAGA, y adicionalmente las áreas reportadas por los ingenios azucareros en sus archivos SIG.

3.4.3.5 Revisión de metodología de interpolación

Se utilizó la información de materia orgánica para determinar que método de interpolación, de los tres que ofrece el paquete ArcGIS versión 9.2 (Spline, IDW, Kriging) proporcionaba mejores valores de predicción. Utilizando herramientas del SIG (Zonal Statistics) se comprobó que el método de interpolación IDW muestra valores de materia orgánica similares a los contenidos en la base de datos.

3.4.3.6 Edición de mapas

Para editar los mapas de la Segunda Aproximación, se procedió a reclasificar las capas raster elaboradas en la fase de análisis espacial, los criterios de agrupación fueron modificados en relación a los utilizados en los mapas de la Primera Aproximación (Cuadro 34), para el caso de los mapas de texturas, se asignó un código en la capa raster para cada una de las clases texturales presentes en la zona cañera, como se muestra en el cuadro 35.

Cuadro 34 Criterios de Agrupación de Parámetros de Fertilidad

pH		Materia Orgánica	
Categoría	Valor de pH	Categoría	% de M.O.
1	< 5.5	1	< 3.0
2	5.5 – 6.5	2	3.00 – 5.0
3	6.5 – 7.2	3	> 5.00
4	7.2 – 8.0		
5	> 8.0		
Potasio K		Fósforo P	
Categoría	ppm	Categoría	ppm
1	< 100	1	< 5.0
2	100 – 150	2	5.0 – 10
3	150 – 300	3	10 – 30
4	> 300	4	> 30
Calcio Ca		Magnesio Mg	
Categoría	Meq/100g	Categoría	Meq/100g
1	< 4.0	1	< 1.0
2	4.0 – 8.0	2	1.0 – 2.0
3	8.0 – 12	3	2.0 – 4.0
4	> 12	4	> 4.0

Cuadro 35 Códigos correspondientes a las clases texturales.

Textura	
Categoría	Tipo Textural
2	Arcilloso
3	Arcillo Arenoso
4	Arcillo Limoso
5	Franco Arcillo Arenoso
6	Franco Arcilloso
7	Franco Arcillo Limoso
8	Arenoso
9	Franco Arenoso
10	Franco
11	Franco Limoso
12	Limoso
13	Arena Franca

Luego de haber desarrollado la reclasificación de los parámetros, según los criterios de agrupación planteados arriba, se editó un mapa para cada atributo, totalizando un juego de 7 mapas que corresponden a la Segunda Aproximación de mapas de fertilidad y texturas, estos son: pH, materia orgánica (%), fósforo disponible (ppm), potasio intercambiable (ppm), calcio (meq/100g), magnesio (meq/100g) y un mapa de texturas (clase textural). Se elaboraron en formato raster con un tamaño de píxel de 25 x 25 metros, equivalentes a 0.0625 hectáreas de superficie

3.4.3.7 Identificación de la distribución de los parámetros de fertilidad

La información generada en los mapas temáticos de fertilidad se agrupó dentro de las cuatro zonas altitudinales de la zona cañera: zona litoral (menor de 40 msnm), zona baja (40-100 msnm), zona media (100-300 msnm) y zona alta (mayor de 300 msnm), con el fin de estimar la distribución espacial de los parámetros de fertilidad, y texturas.

La información se presenta como porcentaje del área de cada estrato de acuerdo a los rangos de clasificación de cada parámetro. También se obtuvo la media de cada parámetro dentro de las 20 zonas de la estratificación de la zona cañera de la costa sur de Guatemala. Para el caso de texturas se obtuvo el porcentaje de cada clase textural, por estrato altitudinal.

3.4.4 Evaluación

3.4.4.1 Recopilación y depuración de la base de datos

Para la elaboración de la Segunda Aproximación de los mapas de fertilidad se obtuvieron 2,857 muestras con información completa del análisis químico y para el mapa de texturas un total de 1,578 muestras con información completa del análisis físico. Esta diferencia entre muestras de los dos tipos de análisis se debe a que, las muestras de análisis químico no precisamente conlleva un análisis físico, en la mayoría de casos.

Para la edición de la Segunda Aproximación de los mapas de fertilidad y texturas, se utilizaron 5,129 muestras con información de fertilidad y 3,387 muestras con información de texturas.

3.4.4.2 Análisis espacial

Como resultado de las pruebas se consideró utilizar el método *IDW "Inverse Distance Weighted"* debido, principalmente, a que el método estima con un peso igual a los valores extremos (máximo y mínimo) de la muestra; en comparación el método *Kriging* les da un menor peso y que, por lo tanto, muestra valores extremos más alejados de los datos originales de las muestras. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Suárez y Pérez, 2006 en base al análisis efectuado en la Primera Aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas, donde este método resulto el adecuado para la interpolación de datos de fertilidad.

3.4.4.3 Edición de mapas

Se elaboraron 7 mapas: pH, MO, Ca, Mg, P, K y texturas. Los mapas elaborados se encuentran en formato JPG, PDF (para visualización en Acrobat Reader), raster (para su manipulación en ArcGIS y ArcExplorer), además se elaboraron los mapas con la información de la localización de los puntos de las tomas de las muestras utilizadas para el análisis químico y físico.

3.4.4.4 Identificación de la distribución de los parámetros de fertilidad

Con base en la información generada en la Segunda Aproximación de los mapas de fertilidad, se cuantificaron los patrones de distribución de los parámetros de fertilidad en la zona cañera del sur de Guatemala, a través de la estimación del porcentaje de área que ocupan dentro de los diferentes estratos altitudinales, en función de los criterios de agrupación mencionados en el cuadro 1. Los resultados se muestran en los cuadros 36 al 41.

Cuadro 36 Área y porcentaje de distribución de los valores de pH según los estratos altitudinales de la zona cañera.

Estrato altitudinal	Rangos de clasificación de pH									
	≤ 5.50		5.51 – 6.50		6.51 - 7.20		7.21 - 8.00		≥ 8.01	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Alta > 300	14	4180.83	85	25383.65	1	298.63	0	0.00	0	0.00
Media 100-300	9	7296.74	87	70535.18	4	3242.99	0	0.00	0	0.00
Baja 40-100	3	1991.84	75	49796.23	22	14606.89	0	0.00	0	0.00
Litoral < 40	0	0.00	27	35433.78	52	68242.84	20	26247.24	1	1312.36

Cuadro 37 Área y porcentaje de distribución de los valores de materia orgánica según los estratos altitudinales de la zona cañera.

Estrato altitudinal	Rangos de clasificación de MO %					
	≤ 3.00		3.01 – 5.00		≥ 5.01	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Alta > 300	4	1194.52	42	12542.51	54	16126.08
Media 100-300	11	8918.24	45	36483.71	44	35672.96
Baja 40-100	29	19254.54	55	36517.23	16	10623.19
Litoral < 40	75	98427.17	24	31496.69	1	1312.36

Cuadro 38 Área y porcentaje de distribución de los valores de fósforo según los estratos altitudinales de la zona cañera.

Estrato altitudinal	Rangos de clasificación de Fósforo ppm							
	≤ 5.00		5.01 – 10.00		10.01 – 30.00		≥ 30.01	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Alta > 300	55	16424.71	23	6868.51	13	3882.21	9	2687.68
Media 100-300	57	46212.70	16	12971.98	14	11350.48	13	10539.73
Baja 40-100	21	13942.94	33	21910.34	32	21246.39	14	9295.29
Litoral < 40	1	1312.36	3	3937.08	23	30184.33	73	95802.44

Cuadro 39 Área y porcentaje de distribución de los valores de potasio según los estratos altitudinales de la zona cañera.

Estrato altitudinal	Rangos de clasificación de Potasio ppm							
	≤ 100.00		100.01 – 150.00		150.01 – 300.00		≥ 300.01	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Alta > 300	43	12841.14	8	2389.05	16	4778.10	33	9854.83
Media 100-300	10	8107.49	16	12971.98	47	38105.21	27	21890.22
Baja 40-100	2	1327.89	10	6639.79	49	32533.53	39	25894.03
Litoral < 40	1	1312.23	2	2624.72	11	14435.98	86	112863.15

Cuadro 40 Área y porcentaje de distribución de los valores de calcio según los estratos altitudinales de la zona cañera.

Estrato altitudinal	Rangos de clasificación de Calcio meq/100 g							
	≤ 4.00		4.01 – 8.00		8.01 – 12.00		≥ 12.01	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Alta > 300	15	4479.46	60	17917.87	22	6559.88	3	895.89
Media 100-300	2	1621.49	35	28376.22	45	36483.71	18	14593.94
Baja 40-100	2	1327.89	21	13942.94	41	27221.93	36	23902.19
Litoral < 40	1	1312.36	4	5249.44	32	41995.59	63	82678.82

Cuadro 41 Área y porcentaje de distribución de los valores de magnesio según los estratos altitudinales de la zona cañera.

Estrato altitudinal	Rangos de clasificación de Magnesio meq/100 g							
	≤ 1.00		1.01 – 2.00		2.01 – 4.00		≥ 4.01	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Alta > 300	50	14931.56	25	7465.78	20	5972.62	5	1493.15
Media 100-300	4	3242.99	26	21079.47	58	47023.45	12	9728.99
Baja 40-100	1	663.94	15	9959.24	53	35189.33	31	20582.44
Litoral < 40	1	1312.36	1	1312.36	19	24934.88	78	102364.26

Además, se obtuvo el valor medio de cada parámetro en cada una de las 20 zonas de producción de la estratificación de la zona cañera, se presentan en los cuadros del 42 al 47.

Cuadro 42 Valor medio de pH en los 20 estratos de la zona cañera

División altitudinal	División longitudinal				
	Este	Centro-Este	Centro	Centro-Oeste	Oeste
Alto	--	5.7	5.7	5.6	--
Medio	5.7	5.9	5.9	6.2	--
Bajo	6.1	6.2	6.2	6.1	--
Litoral	6.5	6.8	7.0	6.8	6.4

Cuadro 43 Valor medio de materia orgánica (%) en los 20 estratos de la zona cañera.

División altitudinal	División longitudinal				
	Este	Centro-Este	Centro	Centro-Oeste	Oeste
Alto	--	4.4	5.3	5.4	--
Medio	3.7	4.1	5.8	5.3	--
Bajo	2.4	3.3	4.1	5.1	--
Litoral	2.2	2.0	2.5	3.1	2.6

Cuadro 44 Valor medio de fósforo disponible (ppm) en los 20 estratos de la zona cañera.

División altitudinal	División longitudinal				
	Este	Centro-este	Centro	Centro-oeste	Oeste
Alto	--	3.5	7.1	5.4	--
Medio	10.6	4.8	16.4	10.4	--
Bajo	18.0	19.5	11.7	12.4	--
Litoral	43.5	63.5	45.1	36.5	47.5

Cuadro 45 Valor medio de potasio intercambiable (ppm) en los 20 estratos de la zona cañera.

División altitudinal	División longitudinal				
	Este	Centro-Este	Centro	Centro-Oeste	Oeste
Alto	--	59.7	121.7	373.7	--
Medio	297.0	184.3	238.6	227.7	--
Bajo	281.2	292.3	282.3	326.4	--
Litoral	397.2	395.9	650.1	483.4	470.9

Cuadro 46 Valor medio de calcio (meq/100g) en los 20 estratos de la zona cañera.

División altitudinal	División longitudinal				
	Este	Centro-Este	Centro	Centro-Oeste	Oeste
Alto	--	5.0	5.8	7.9	--
Medio	8.6	6.0	10.4	11.0	--
Bajo	12.8	8.0	12.5	15.0	--
Litoral	14.9	11.0	13.2	15.1	17.2

Cuadro 47 Valor medio de magnesio (meq/100g) en los 20 estratos de la zona cañera.

División altitudinal	División longitudinal				
	Este	Centro-Este	Centro	Centro-Oeste	Oeste
Alto	--	0.8	1.0	2.4	--
Medio	3.0	1.7	2.4	3.6	--
Bajo	3.7	3.1	3.4	4.5	--
Litoral	4.1	5.4	5.5	6.5	6.0

De forma generalizada puede establecerse que la distribución espacial de los diferentes parámetros químicos evaluados en la elaboración de la Segunda Aproximación del mapa de fertilidad, muestran estrecha relación con la altitud; además se observan tendencias en la distribución longitudinal de algunos parámetros.

El pH muestra valores bajos <6.5 (suelos ácidos) en más del 70 % de la Zonas Baja, Media y Alta, los valores medios de las diferentes zonas de producción muestran que la acidez se concentra en las regiones del occidente de la Zona Cañera; en la Zona Litoral se observa que más del 50% del área lo representan suelos ligeramente ácidos a neutros (pH 6.51 a 7.20) mostrando una tendencia a la alcalinidad en las regiones del centro. La concentración de suelos ácidos en las partes altas puede explicarse debido a la existencia de mayores precipitaciones pluviales en éstas áreas (mayores a los 2,000 mm anuales) las cuales

ocasionan un lavado de bases en el perfil del suelo, caso contrario a lo que ocurren en la zona litoral en donde se observa una tendencia hacia la alcalinidad.

La materia orgánica muestra altas concentraciones (> 5.01 %-) en más del 44% de las zonas media y alta, Según Suárez y Pérez, 2006 esto se debe a la predominancia de suelos Andisoles en el área, suelos que por sus características (arcillas alófanas) retardan los procesos de oxidación del material orgánico; la concentración de materia orgánica en la zona baja es media (3.01 – 5.00%) en más del 50% del área, mientras que en la zona litoral es pobre (<3.00% en 75% del área). Los valores medios de materia orgánica muestran una tendencia de alta concentración en la parte central y oriental de la Zona Cañera (> 5.01%) y media en la zona occidental.

El fósforo muestra una tendencia contraria a la materia orgánica, ya que en la zona alta y media se encuentra en bajas concentraciones (< 5.00 ppm) en más del 55% del área, esto debido también a la predominancia de suelos Andisoles que fijan P en las arcillas alófanas, sin embargo en las zonas baja y litoral, donde predominan suelos Mollisoles, el P se encuentra en concentraciones altas a muy altas respectivamente. Longitudinalmente la distribución del fósforo parece no marcar una tendencia definida.

En cuanto al potasio, el calcio y el magnesio, se define la misma tendencia planteada por Suarez y Pérez, 2006, en donde se observa baja presencia en los suelos de la Zona Alta, debido entre otros factores al efecto de lixiviación ocasionado por altas precipitaciones en el área, caso contrario en las zonas de menor altitud, donde las lluvias son menores, específicamente en la Zona Litoral.

3.4.4.5 Distribución de las clases texturales en la zona cañera

En el cuadro 48 se presenta la distribución de las 12 clases texturales según los estratos altitudinales de la zona cañera de Guatemala.

Cuadro 48 Distribución de las clases texturales según los estratos altitudinales de la zona cañera.

Estrato altitudinal	Área	Alto	Medio	Bajo	Litoral
Arcilloso	%	--	0.00	0.11	0.03
	Ha	--	3.44	70.20	38.43
Arcillo Arenoso	%	--	0.00	0.00	--
	Ha	--	0.01	0.45	--
Arcillo Limoso	%	--	--	0.01	0.03
	Ha	--	--	8.37	32.97
Franco Arcillo Arenoso	%	0.14	3.79	1.89	0.26
	Ha	40.89	3055.20	1235.85	321.64
Franco Arcilloso	%	--	2.73	5.60	4.67
	Ha	--	2203.08	3660.70	5688.13
Franco Arcillo Limoso	%	--	--	0.01	0.47
	Ha	--	--	3.94	573.88
Arenoso	%	0.48	0.00	0.02	0.03
	Ha	139.18	1.30	10.94	37.15
Franco Arenoso	%	98.82	78.92	73.26	55.18
	Ha	28807.17	63605.54	47903.17	67225.29
Franco	%	0.20	13.50	18.79	36.84
	Ha	57.58	10881.04	12284.78	44886.81
Franco Limoso	%	0.06	0.09	0.21	2.39
	Ha	18.20	73.03	138.22	2913.18
Limoso	%	--	--	--	0.00
	Ha	--	--	--	0.58
Arena Franca	%	0.30	0.96	0.10	0.10
	Ha	87.57	776.41	68.22	118.40

Se observa que las clases texturales que predominan en la zona cañera son los suelos franco arenosos y francos. Los suelos franco arenosos predominan en el estrato alto (98.82 % del área total), sin embargo el área ocupada por estos suelos es menor en los estratos inferiores, en los estratos medio, bajo y litoral, el porcentaje de área que ocupan es de 78.92, 73.26 y 55.18 % respectivamente.

Los suelos francos ocurren de manera inversa a los suelos franco arenosos, el porcentaje de área que ocupan es mayor en el estrato litoral (36.84%) y disminuyen en superficie en los

estratos superiores, en los estratos alto, medio y bajo, el porcentaje de área que ocupan estos suelos es de 0.20, 13.50 y 18.79% respectivamente.

Se observa, además, que existen algunas tendencias en la distribución espacial de algunas clases texturales, los suelos Arcillo Limosos, Franco Arcillo Limosos y Limosos se encuentran únicamente en los estratos bajo y litoral, otros como la Arena Franca, los suelos Franco Arcillo Arenosos y Arenosos se encuentran en todos los estratos, sin embargo su superficie es poco significativa.

En la figura 31 se presenta el mapa de texturas de la zona cañera del sur de Guatemala, se observa que las texturas finas se concentran en los extremos de la zona cañera, específicamente en las zonas Medio Oeste (M Oeste), Bajo Oeste (B Oeste), Litoral Oeste (L Oeste), Bajo Este (B Este) y Litoral Este (L Este). En el mapa se aprecia que la textura predominante son en la zona son los suelos franco arenosos, encontrándose en todas las zonas definidas, los suelos con texturas gruesas se ubican principalmente en las zonas Litoral Centro (L Centro), en la parte oriental de la zona Litoral Centro Este (L C Este), y en la parte este de la zona Litoral Este (L Este).

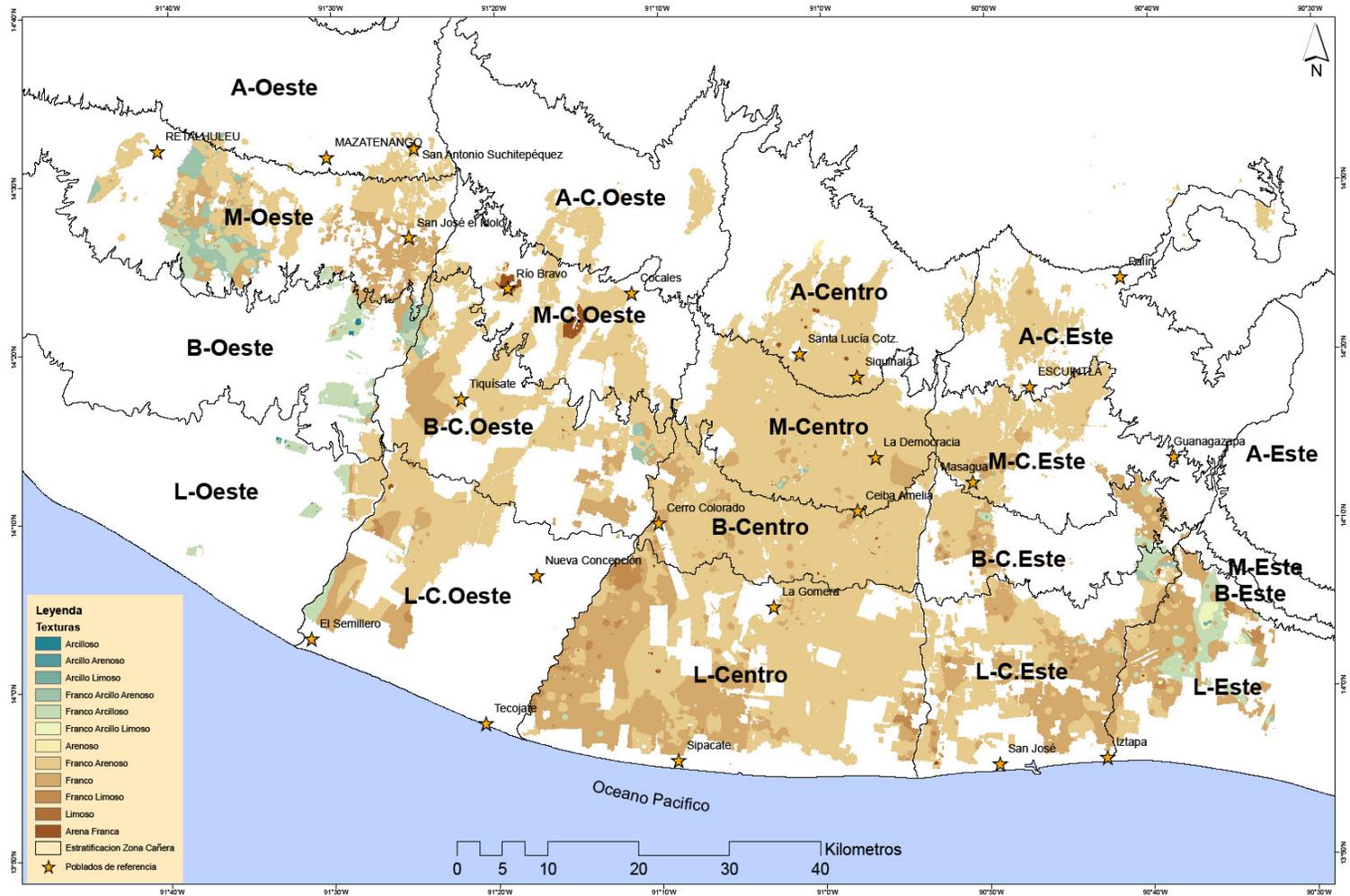


Figura 31 Mapa de texturas (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala.

3.4.5 Constancias

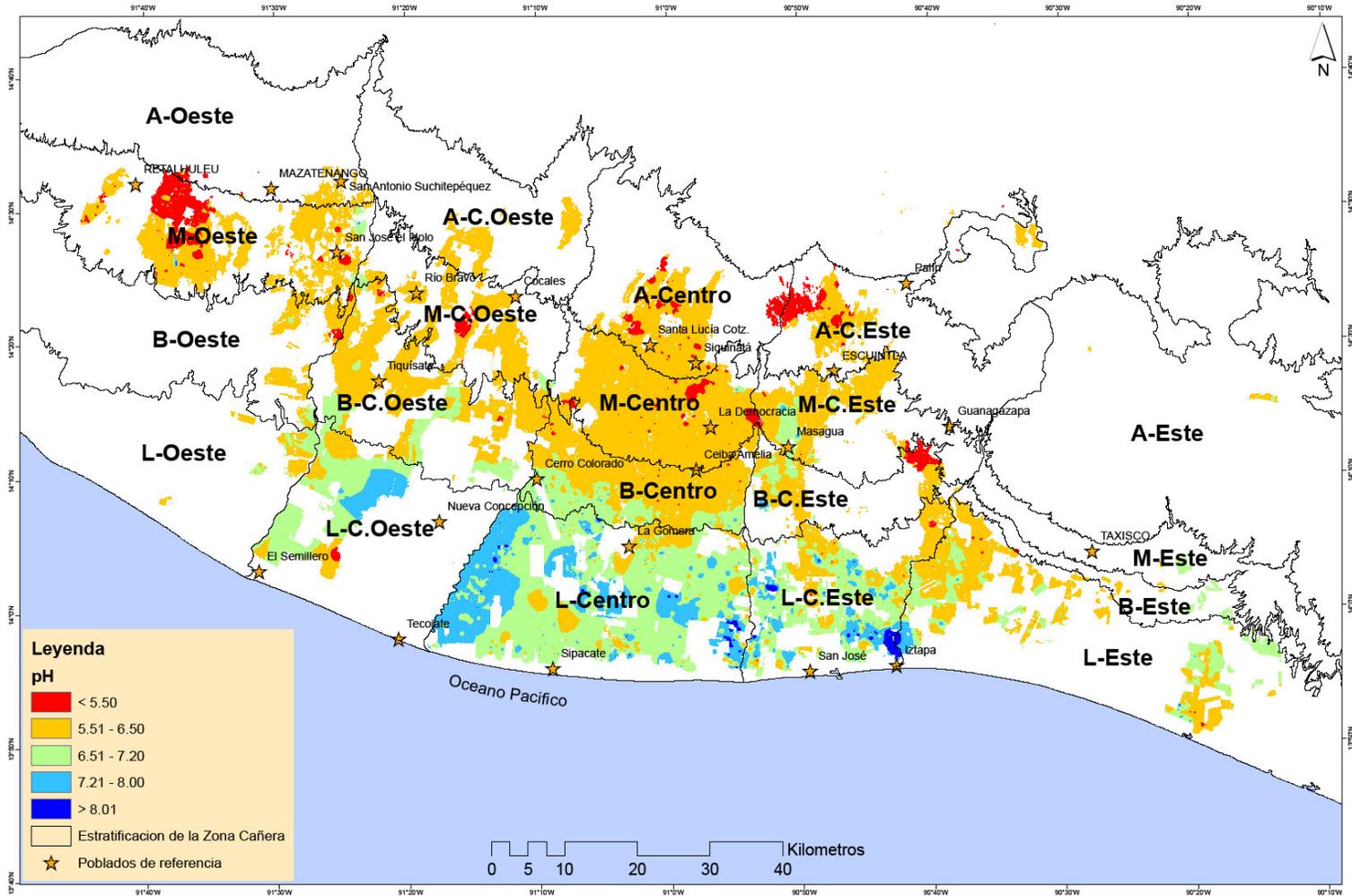


Figura 32 Mapa de pH (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala.

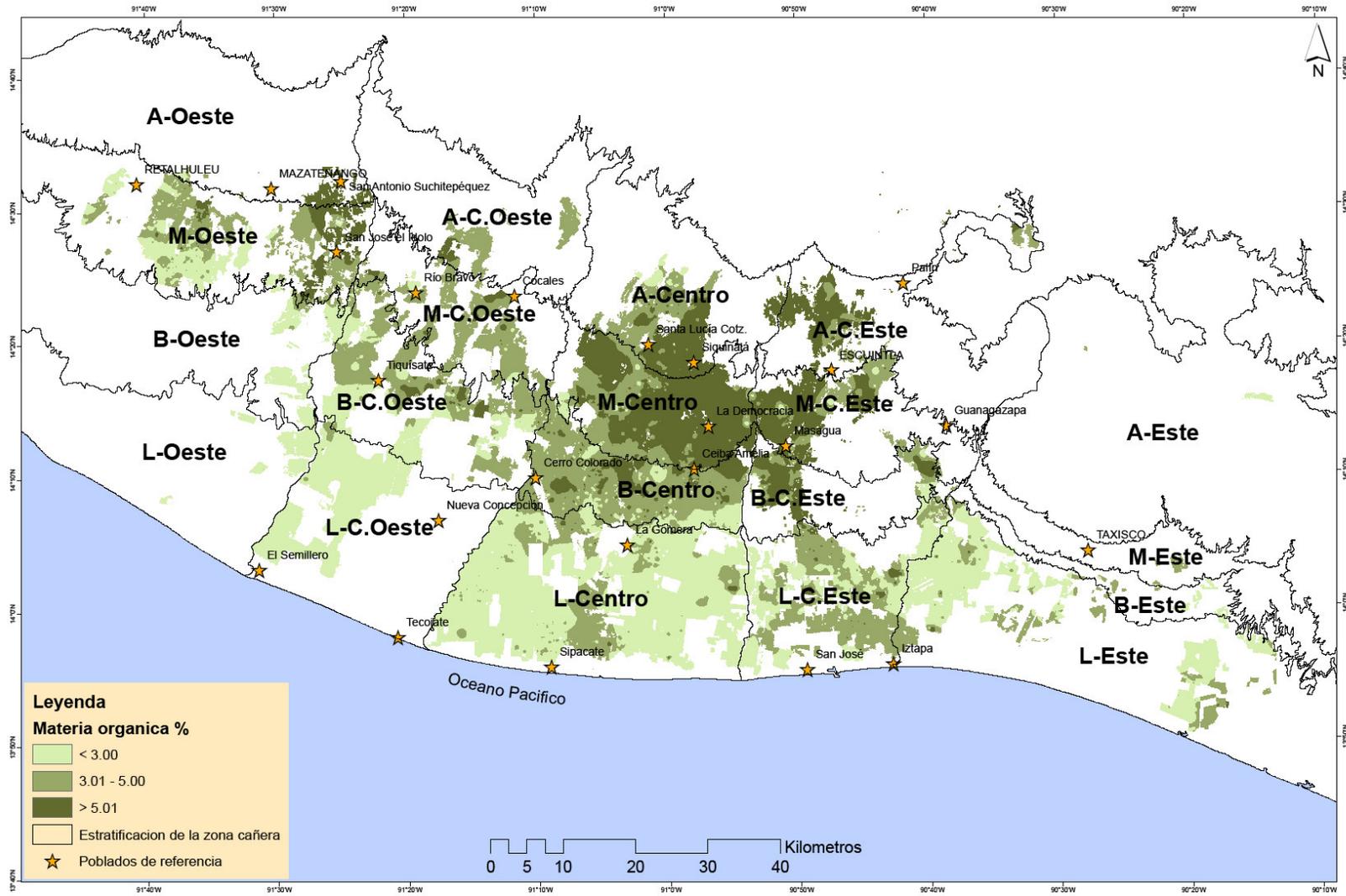


Figura 33 Mapa de materia orgánica (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala.

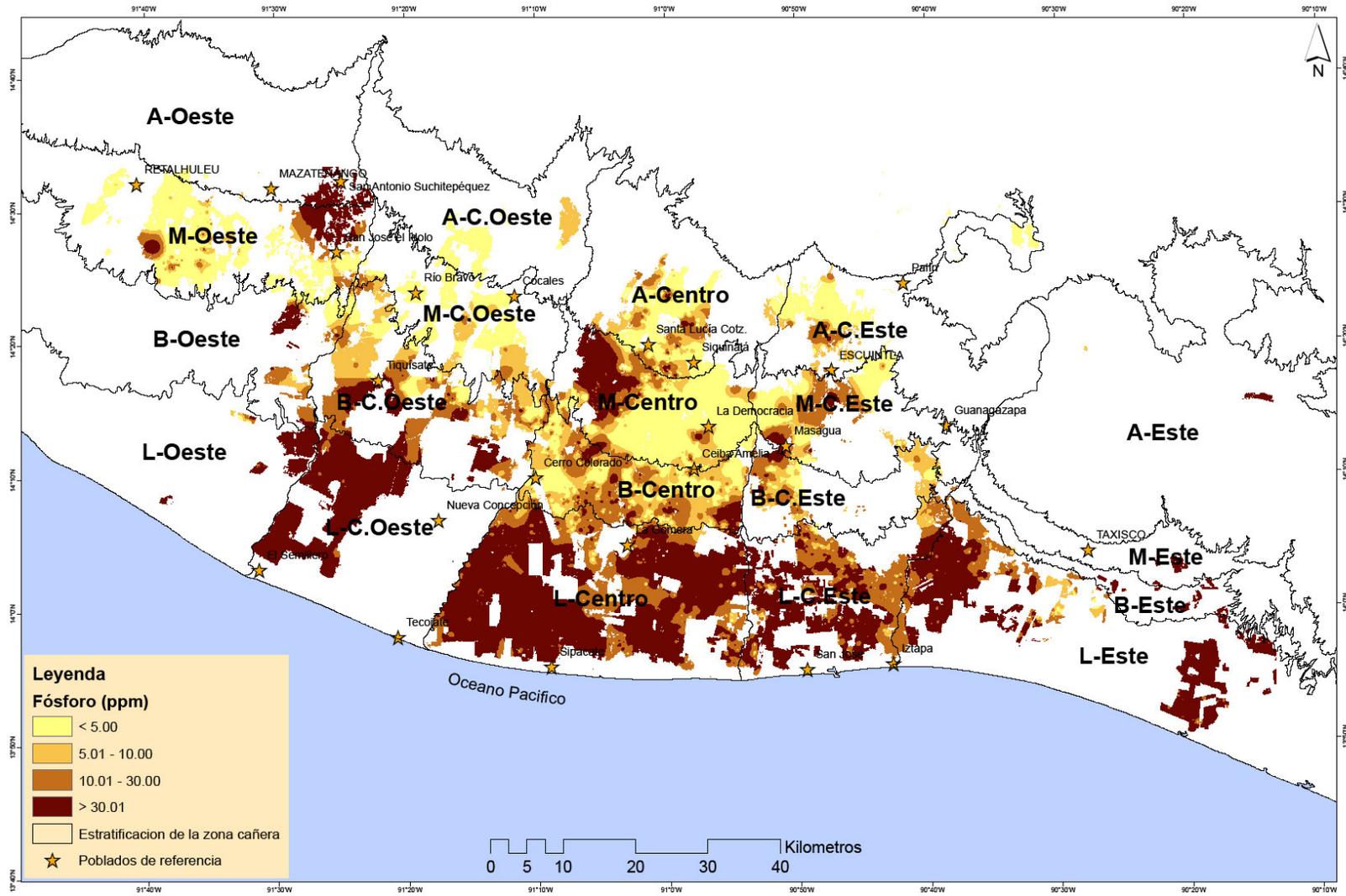


Figura 34 Mapa de fósforo (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala.

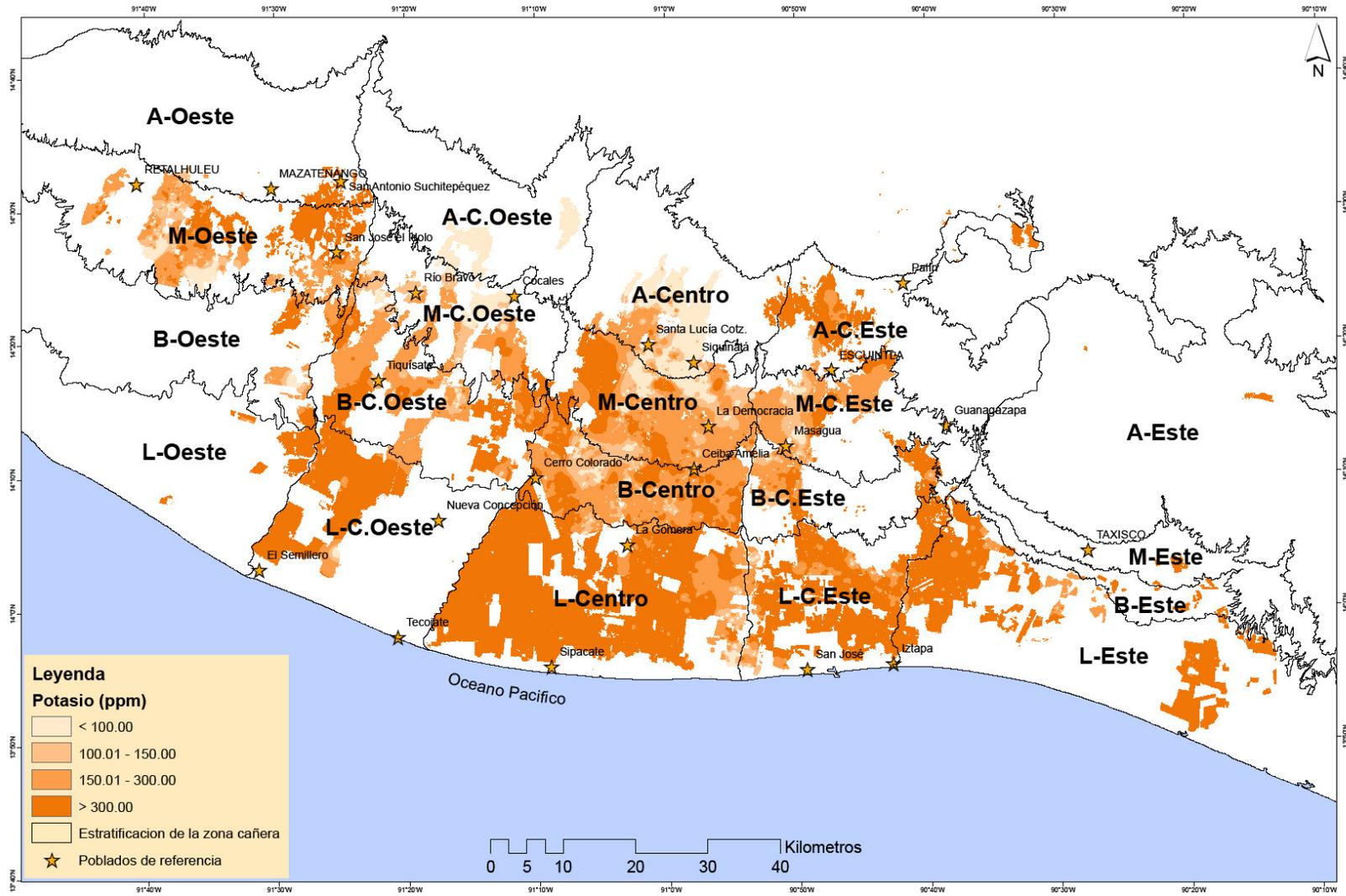


Figura 35 Mapa de potasio (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala.

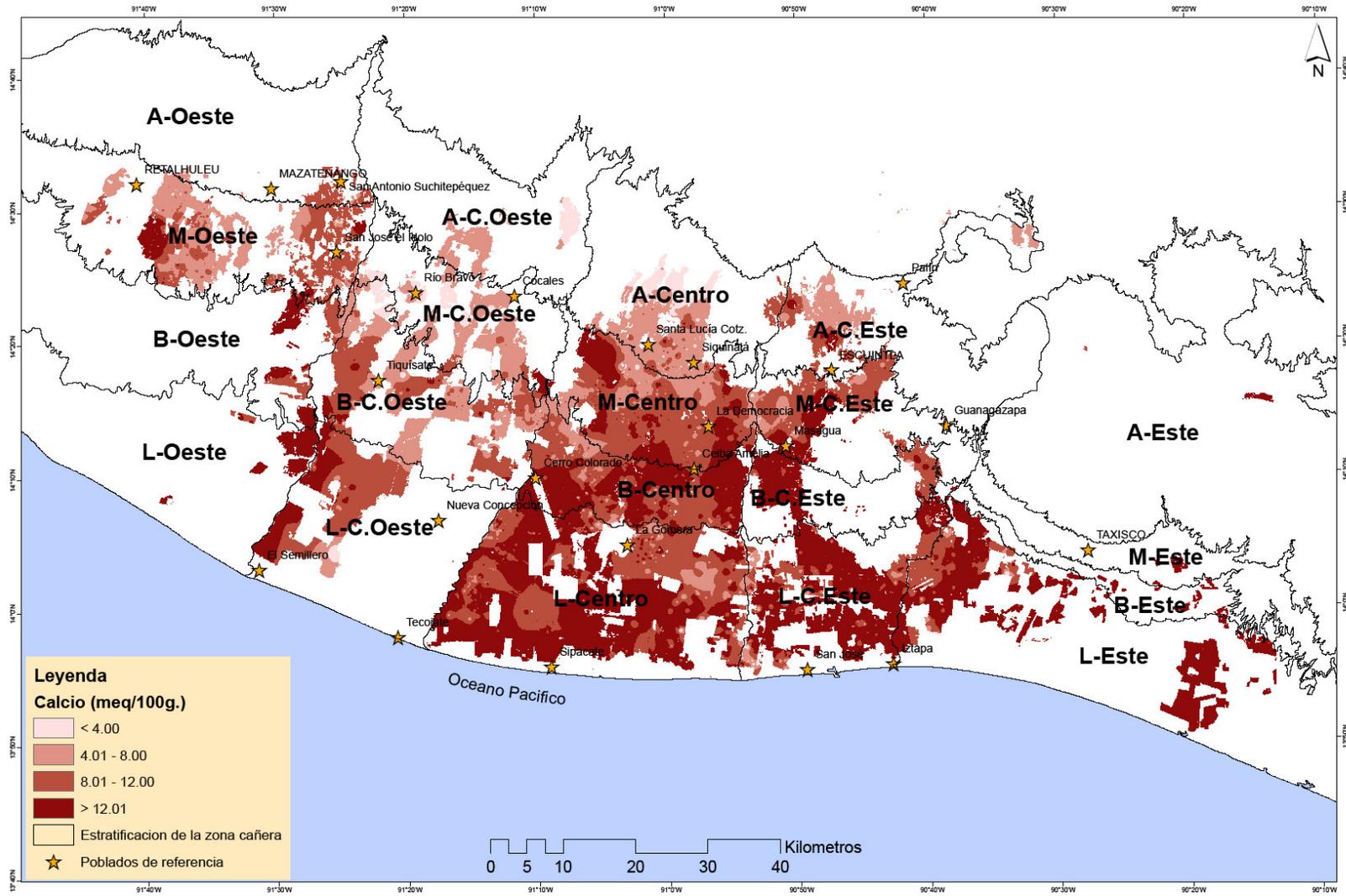


Figura 36 Mapa de calcio (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala.

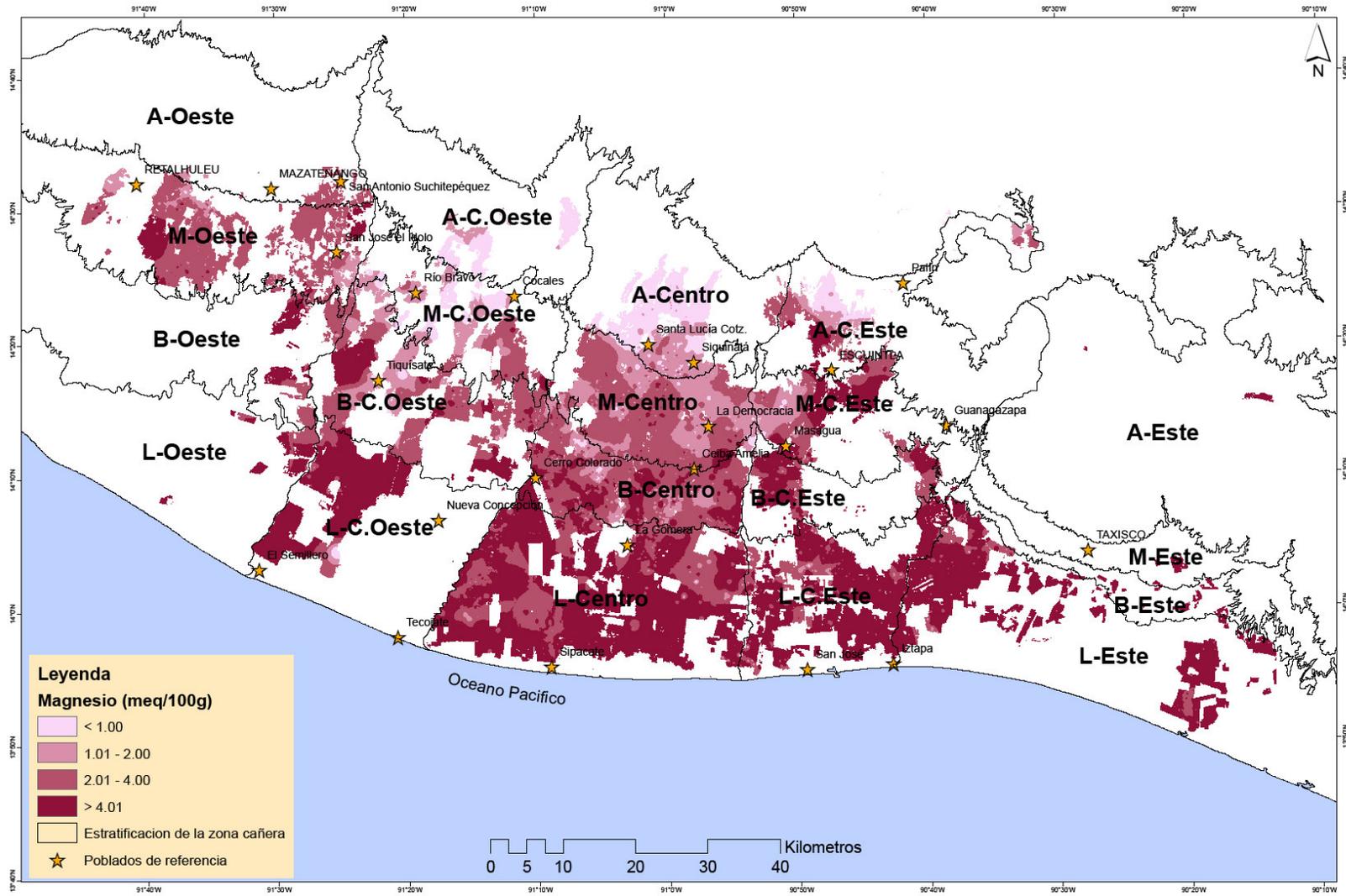


Figura 37 Mapa de magnesio (2a. Aproximación) de la zona cañera de Guatemala.

3.5. Representatividad de la red de estaciones meteorológicas automatizadas de CENGICAÑA, para la estimación de la precipitación pluvial en la zona cañera del sur de Guatemala

3.5.1 Definición del problema

Los requerimientos de información meteorológica en la agroindustria azucarera guatemalteca se centran principalmente para la planificación de actividades agrícolas, las cuales están determinadas en función del comportamiento climático que predomina en el área donde se ejecutan.

El área donde se planifican actividades agrícolas puede encontrarse distante de alguna estación meteorológica, sin embargo, las condiciones climáticas en este lugar pueden diferir en relación a las que existen en donde han sido observadas, debido a la alta variabilidad espacial del clima. Normalmente se determina que las condiciones climáticas en determinado lugar son similares a las medidas por las estaciones meteorológicas, esto puede resultar contraproducente al establecerse condiciones diferentes a las que existen en el área de estudio, además, de que puede tomarse como referencia aquella estación que no representa las condiciones climáticas en esa área.

La representatividad de estaciones meteorológicas puede determinarse a través del cálculo del peso de estaciones meteorológicas (station weight) dentro de un área, el peso de estaciones meteorológicas corresponde a un factor escalar utilizado para transformar datos meteorológicos puntuales, en datos promedio sobre un área, la cual se asume está representada por la estación meteorológica. En otras palabras, la representatividad de las estaciones meteorológicas permite establecer los límites de un área sobre la cual se expresan parámetros climáticos observados en un punto determinado. Esto permite establecer el área de representatividad de las estaciones meteorológicas, y además puede deducirse de forma técnica y precisa las condiciones climáticas en cualquier lugar de la zona cañera guatemalteca. (Fiedler, 2003)

3.5.2 Objetivos

- Aplicar una metodología que permita determinar el área de influencia de cada una de las estaciones meteorológicas automatizadas que administra CENGICAÑA.
- Determinar la precipitación pluvial promedio anual sobre la zona cañera del sur de Guatemala, mediante la aplicación de una metodología precisa.

3.5.3 Metodología

La metodología para determinar la representatividad de estaciones meteorológicas se derivó a partir de mapas de isoyetas y polígonos de Thiessen, la metodología utilizada permitió eliminar el sesgo asociado por la diferencia entre la distribución espacial de la precipitación, determinada por polígonos de Thiessen, y la distribución espacial más precisa, descrita por mapas de isoyetas; de esa manera fue posible convertir datos puntuales de lluvia (lluvia observada en un pluviómetro) en datos de precipitación sobre un área, la cual se asume representa cada estación.

3.5.3.1 Determinación de los datos de lluvia

Se recopilaron los registros diarios de lluvia de 17 estaciones meteorológicas automatizadas de 7 años (2001 – 2007); utilizando hojas electrónicas se determinó el valor de precipitación promedio anual por cada estación, designado en este documento como Pi

3.5.3.2 Peso de estaciones meteorológicas dentro de la zona cañera

Para determinar el peso de estaciones meteorológicas dentro de la zona cañera, se elaboró el mapa de polígonos de Thiessen, este se hizo utilizando herramientas de proximidad del SIG.

Los polígonos de Thiessen permitieron establecer el área de distribución que representa cada estación meteorológica dentro de cada uno de los estratos altitudinales que se definen en la zona cañera (Alto, Medio, Bajo y Litoral). De esa manera se estableció la relación de área de cada estación respecto al área total de cada estrato, utilizando la siguiente expresión:

$$T_i = \frac{A_i}{A_T}$$

Donde:

T_i = Peso de estación, basado en el área establecida por los polígonos de Thiessen

A_i = Área representada por el polígono de Thiessen de la estación i

A_T = Área total del estrato altitudinal.

Determinación de la precipitación pluvial promedio sobre los estratos altitudinales de la zona cañera (MAP_T) utilizando polígonos de Thiessen

La precipitación promedio sobre el área que representa cada estación según su polígono de Thiessen, se calculó a partir de la siguiente expresión:

$$MAP_i = P_i$$

Donde:

MAP_i = Precipitación pluvial sobre el área i

P_i = Precipitación puntual de la estación i

Para determinar la precipitación promedio total sobre cada estrato altitudinal, se utilizó la siguiente expresión:

$$MAP_T = \sum_i T_i P_i$$

Donde:

MAP_T = Precipitación promedio total de cada estrato altitudinal

T_i = Peso de la estación i

P_i = Precipitación puntual de la estación i

3.5.3.3 Determinación de la precipitación pluvial promedio sobre los estratos altitudinales (MAP_T) utilizando isoyetas

Utilizando herramientas de análisis espacial de un SIG, se elaboró el mapa promedio anual de isoyetas con intervalos de 100 milímetros, extrapolando los valores promedio anual de lluvia de cada una de las 17 estaciones meteorológicas automáticas de la zona cañera del sur del país.

La determinación del MAP_i utilizando el mapa de isoyetas, fue realizado a través del cálculo del promedio de los valores de lluvia entre isoyetas, y los límites definidos por los polígonos de Thiessen y los límites de los estratos altitudinales de la zona cañera. (Figura 38)

$$MAP_i = \frac{P_a + P_b}{2}$$

Donde:

MAP_i = Precipitación pluvial sobre el área i (definida entre isoyetas, y dentro del polígono de Thiessen y los límites de los estratos altitudinales)

P_a = Valor de la isoyeta a (inferior)

P_b = Valor de la isoyeta b (superior)

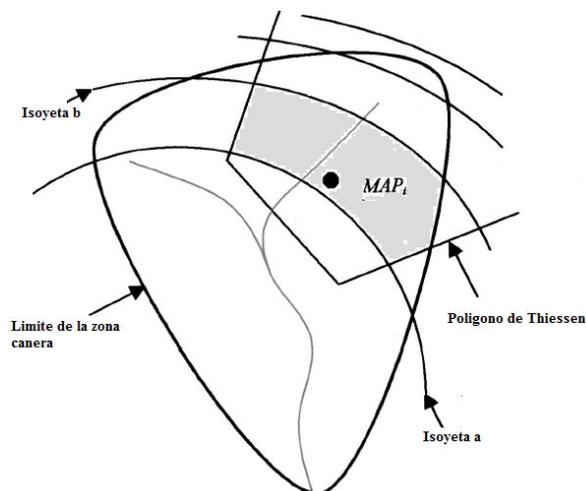


Figura 38 Ejemplo hipotético para la obtención del MAP_i

Para determinar la precipitación promedio total sobre cada estrato altitudinal, se sumaron los valores de MAP_i de cada una de las isoyetas establecidas dentro de cada polígono de Thiessen, y los límites de los estratos altitudinales.

3.5.3.4 Procedimiento de cálculo

El factor escalar de una estación, designado como S_i , se derivó de la relación entre el valor puntual de precipitación observado (P_i) en la estación i , y el valor medio de precipitación sobre un área (MAP_i) derivado del mapa de isoyetas, utilizando la siguiente expresión:

$$S_i = \frac{MAP_i}{P_i}$$

Donde:

S_i = factor escalar de la estación i

MAP_i = precipitación sobre el área de la estación i , derivado del mapa de isoyetas

P_i = Precipitación puntual observada en la estación i

La expresión anterior permite determinar la precipitación promedio sobre un área (MAP), tomando en consideración la distribución espacial de la lluvia, determinada por polígonos de Thiessen e isoyetas para cada estrato altitudinal de la zona cañera, a través de la siguiente expresión:

$$MAP_T = \sum_i S_i T_i P_i$$

Donde:

MAP_T = Precipitación promedio total sobre la zona cañera

S_i = Factor escalar de la estación i

T_i = Peso de la estación i , determinada por los polígonos de Thiessen

P_i = Precipitación puntual observada en la estación i

3.5.4 Evaluación

3.5.4.1 Representatividad de estaciones meteorológicas automatizadas

3.5.4.2 Estrato alto

En el cuadro 49 se presentan los resultados del cálculo de la representatividad de las estaciones meteorológicas automatizadas para determinar la precipitación pluvial en el estrato alto de la zona cañera del sur de Guatemala.

Cuadro 49 Resultados de la estimación de lluvia para el estrato alto de la zona cañera.

Estación	Área Km ²	P _i mm	T _i	MAP _i mm	S _i	W _i
CEN	548.65	4232	0.184	3963.08	0.94	0.172
BAL	151.7	3445	0.051	3649	1.06	0.054
PAG	524.37	4643	0.176	4030.41	0.87	0.153
PUY	12.29	2203	0.004	3565.67	1.62	0.007
SAJ	385.13	1707	0.129	1867.11	1.09	0.141
TOR	680.69	4550	0.228	2308.4	0.51	0.116
TUL	680.88	3306	0.228	3652.68	1.10	0.252

Nota: $P_i = 3,440.85$ mm, $\sum T_i P_i = 3,791.73$ mm, $\sum S_i T_i P_i = 3,241.33$ mm

Se observa que el peso de las estaciones (T_i) oscila entre 0.4 y 22.8 %, siendo las estaciones que mayor área representan Tuluá y Torolita con un 22.8% de peso cada una.

La estimación de la precipitación sobre el estrato alto, utilizando los valores observados en cada una de las estaciones (P_i) es de 3,440.85 mm, utilizando los pesos de estaciones definidos por los polígonos de Thiessen se estima que la precipitación es 350.88 mm mayor, sin embargo utilizando los factores escalares de las estaciones (utilizando Isoyetas y polígonos de Thiessen), la precipitación sobre este estrato se estima en 3,241.33 mm, una diferencia de 199.52 mm menos a la estimada por P_i; por lo tanto utilizando ésta

metodología se previene un sesgo a largo plazo de aproximadamente de aproximadamente el 6 %.

3.5.4.3 Estrato medio

En el cuadro 50 se presentan los resultados para el estrato medio.

Cuadro 50 Resultados de la estimación de lluvia para el estrato medio de la zona cañera.

Estación	Área Km ²	Pi mm	Ti	MAPi mm	Si	Wi
AMA	0.75	1566	0.000	2150.00	1.37	0.001
BOU	24.10	1642	0.012	2220.27	1.35	0.017
CEN	154.07	4232	0.078	3203.10	0.76	0.059
BAL	197.16	3445	0.100	2771.84	0.8	0.08
ESP	24.93	1301	0.013	2822.41	2.17	0.027
NRJ	86.63	2215	0.044	2863.97	1.29	0.057
PAG	187.87	4643	0.095	3291.61	0.71	0.068
PUY	190.15	2203	0.096	2989.35	1.36	0.131
SAJ	154.72	1707	0.078	1987.57	1.16	0.091
TOR	219.48	4550	0.111	2608.82	0.57	0.064
TRI	94.88	1591	0.048	2451.29	1.54	0.074
TUL	637.58	3306	0.323	2803.00	0.85	0.274

Nota: $Pi = 2,700.08$ mm, $\sum TiPi = 3,243.65$ mm, $\sum SiTiPi = 2,790.58$ mm

En el estrato medio, las estación Tululá tiene un área de influencia de 32.3 % (637.58 Km²), las demás oscilan entre el 0.04 al 11.1 %.

La precipitación observada (P_i) sobre el estrato medio es de 2,700.08 mm; utilizando polígonos de Thiessen la precipitación es 543.57 mm mayor; utilizando polígonos de Thiessen e isoyetas es 90.58 mm mayor, el sesgo prevenido acá es de aproximadamente 3 %.

3.5.4.4 Estrato bajo

En el cuadro 51 se presentan los resultados para el estrato bajo

Cuadro 51 Resultados de la estimación de lluvia para el estrato bajo de la zona cañera.

Estación	Área Km ²	Pi mm	Ti	MAPi mm	Si	Wi
AMA	70.3	1566	0.043	1959.1	1.25	0.053
BON	16.71	1333	0.01	1683.98	1.26	0.013
BOU	124.63	1642	0.075	1878.82	1.14	0.086
CEN	0.5	4232	0.000	2666.81	0.63	0.000
ESP	235.18	1301	0.142	2148.14	1.65	0.235
IRL	2.62	1428	0.002	1731.19	1.21	0.002
PAG	6.68	4643	0.004	2983.16	0.64	0.003
PUY	228.63	2203	0.138	2099.45	0.95	0.132
SAJ	98.54	1707	0.06	1972.43	1.16	0.069
TEH	198.43	1795	0.12	1964.21	1.09	0.131
TOR	23.97	4550	0.015	2308.06	0.51	0.007
TRI	125.1	1591	0.076	1992.66	1.25	0.095
TUL	520.55	3306	0.315	2207.96	0.67	0.21

Nota: $P_i = 2,407.46$ mm, $\sum T_i P_i = 2,262.38$ mm, $\sum S_i T_i P_i = 2,085.04$ mm

En el estrato bajo, al igual que en los estratos alto y medio, la Estación Tuluá presenta el mayor área de influencia, cubriendo el 31.5 % del área total de este estrato (520.55 Km²); las demás tienen un área de influencia menor al 15 %, habiendo algunas con Influencia de menos del 0.06 % (Estación CENGICAÑA).

La precipitación pluvial observada en este estrato es de 2,407.46 mm; la precipitación sobre el estrato según los polígonos de Thiessen es 145.08 mm menor, mientras que la estimada utilizando isoyetas y polígonos de Thiessen es 322.42 mm menor, el sesgo alcanza un valor aproximado del 13 %.

3.5.4.5 Estrato litoral

En el cuadro 52 se presentan los resultados para el estrato litoral.

La estación con mayor área de influencia en este estrato sigue siendo Tuluá con un 21.9% (869.96 Km²), además la estación Irlanda 20.3 % (806.30 Km²), las demás presentan un área de influencia que oscila entre 0.2 y 14.2 %.

La precipitación observada sobre el estrato litoral es de 1,724.69 mm, estimándose con polígonos de Thiessen esta asciende a 1,907.20 mm, mientras que la estimada con la metodología de isoyetas y polígonos de Thiessen disminuye 93.14 mm respecto a la observada, el sesgo utilizando ésta metodología es de aproximadamente el 5 %.

Cuadro 52 Resultados de la estimación de lluvia para el estrato litoral de la zona cañera.

Estación	Área Km ²	Pi mm	Ti	MAPi mm	Si	Wi
AMA	414.92	1566	0.104	1588.28	1.01	0.106
BON	221.09	1333	0.056	1476.64	1.11	0.062
BOU	221.95	1642	0.056	1558.1	0.95	0.053
ESP	12.34	1301	0.003	1735.45	1.33	0.004
GUD	344.35	1084	0.087	1497.25	1.38	0.12
IRL	806.3	1428	0.203	1511.21	1.06	0.215
NRJ	217.37	2215	0.055	1860.34	0.84	0.046
PUY	9.21	2203	0.002	1619.61	0.74	0.002
SAV	257.32	1250	0.065	1350.43	1.08	0.07
SAJ	565.34	1707	0.142	1733.99	1.02	0.144
TEH	26.68	1795	0.007	1682.48	0.94	0.006
TRI	7.86	1591	0.002	1746.96	1.1	0.002
TUL	869.96	3306	0.219	1823.46	0.55	0.121

Nota: $P_i = 1,724.69$ mm. $\sum T_i P_i = 1907.20$ mm, $\sum S_i T_i P_i = 1,631.55$ mm

3.5.5 Constancias

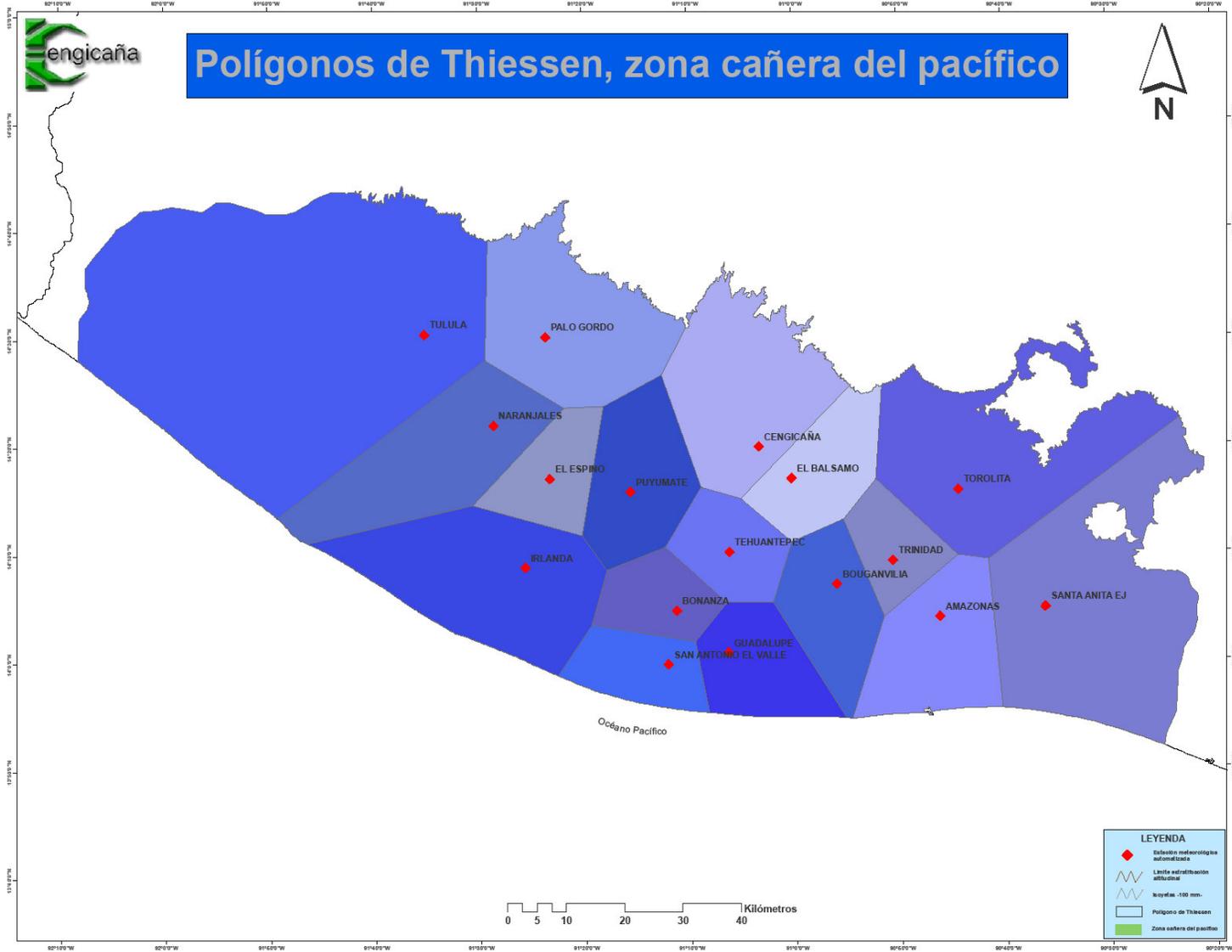


Figura 39 Polígonos de Thiessen de la red de estaciones meteorológicas de CENGICAÑA.

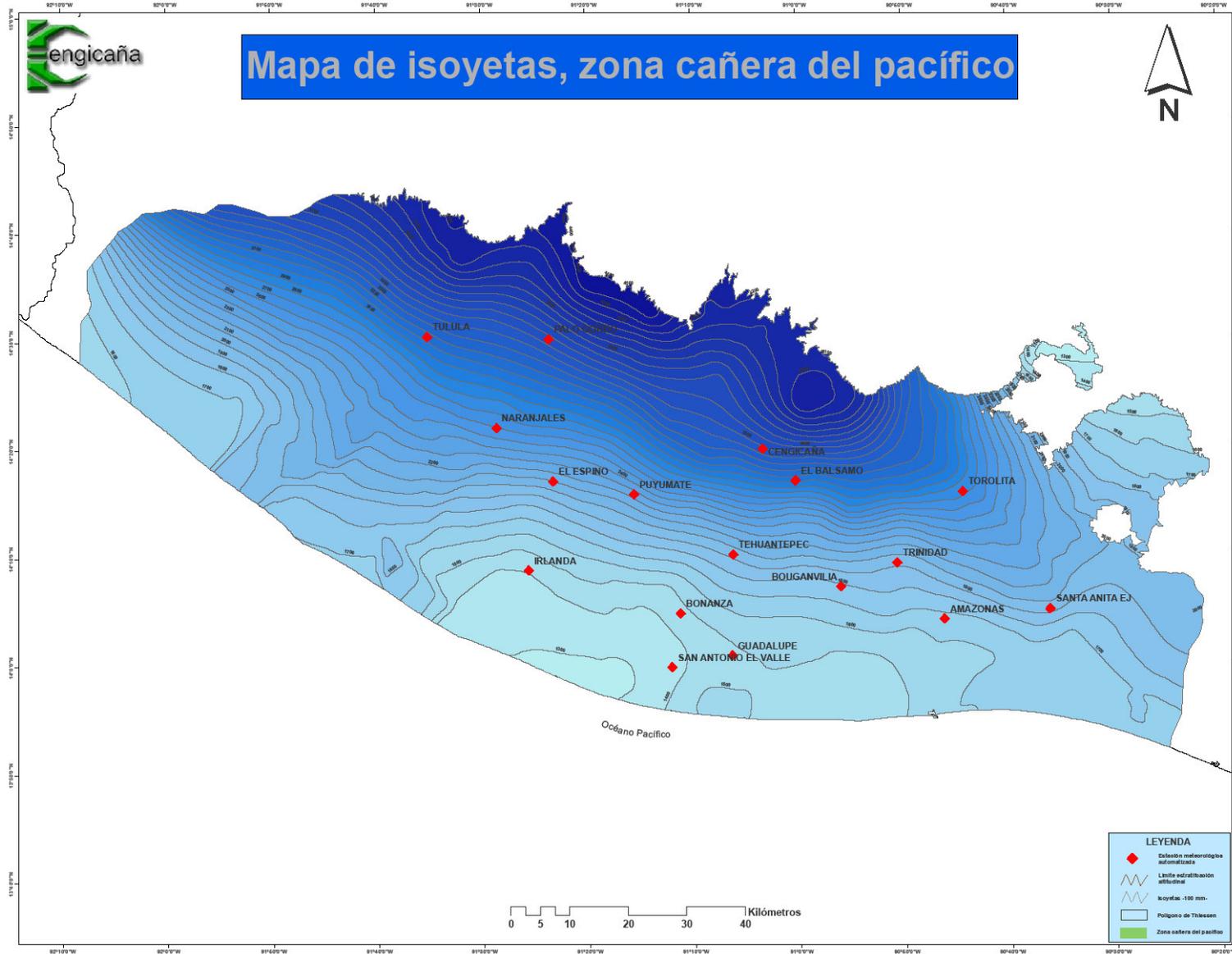


Figura 40 Mapa de Isoyetas (2000 - 2007) de la zona cañera.

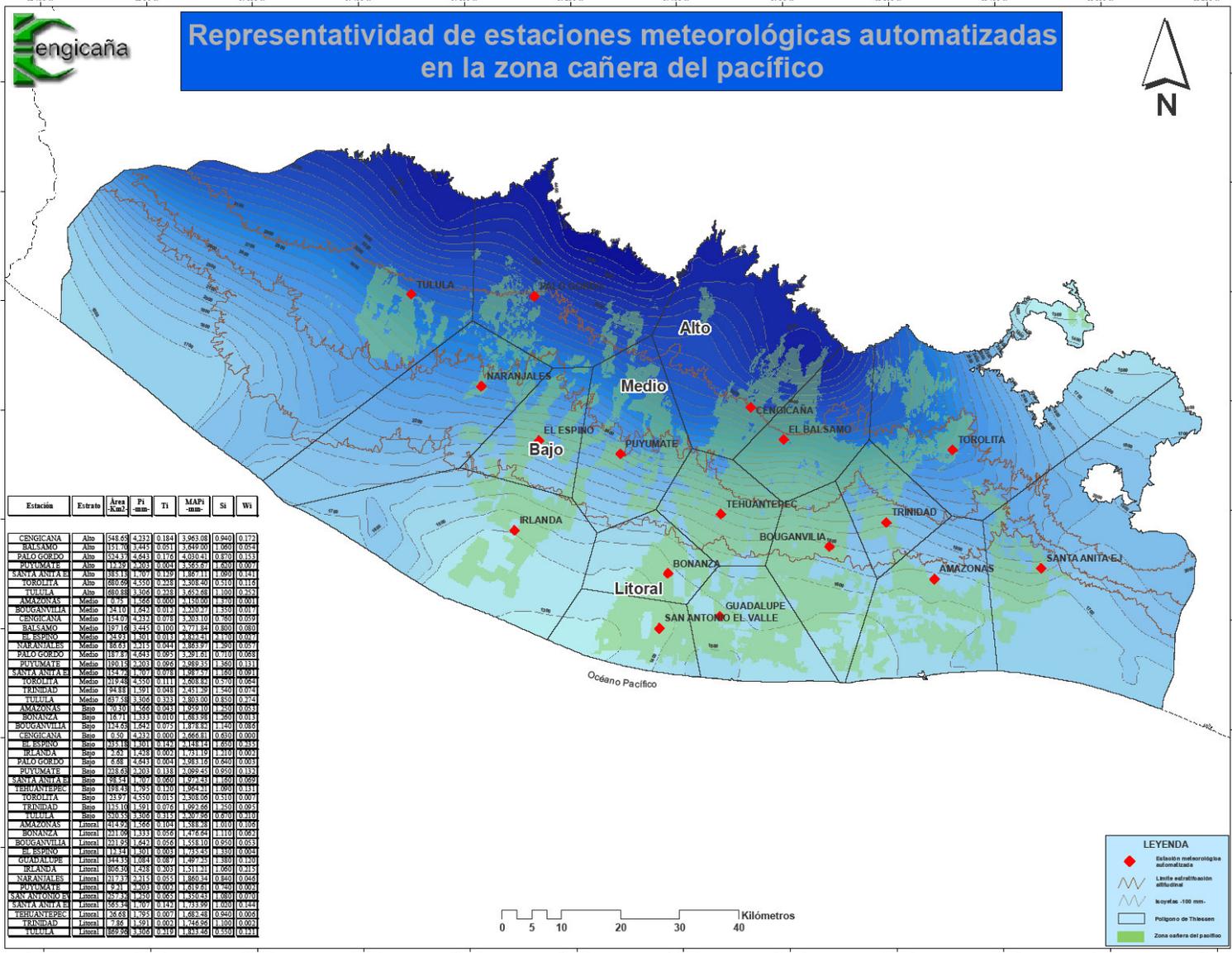


Figura 41 Representatividad de estaciones meteorológicas en la zona cañera.

3.6. Mapas históricos de temperatura de la zona cañera del sur de Guatemala

3.6.1 Definición del problema

La mayoría de datos climáticos se obtienen a través de estaciones meteorológicas, que para el caso de la agroindustria azucarera guatemalteca se derivan de una red de estaciones automáticas y semiautomáticas, las cuales toman diferentes variables climáticas, entre ellas: lluvia, temperatura, radiación solar, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, humedad de hojas y evapotranspiración. Las variables climáticas tomadas por los sensores de las estaciones meteorológicas muestran datos puntuales, los cuales permiten inferir sobre las condiciones climáticas de áreas relativamente cercanas a estas, por lo que sí se requiere establecer las condiciones climáticas en áreas alejadas, podría incurrirse a errores de estimación bastante considerables. (Rodríguez-Lado et al. 2007)

El mapeo de variables climáticas ha surgido como alternativa a la problemática de estimar las condiciones de clima en áreas lejanas a estaciones meteorológicas, ya que permite establecer el comportamiento de las variables del clima en áreas extensas, a través de la conversión de datos discretos (datos de estaciones meteorológicas) en datos continuos (datos amplificados a un área mayor) , mediante técnicas de interpolación o a través de la correlación con otros factores como la posición latitudinal y la orografía. En algunas investigaciones se ha establecido que la relación altitud-temperatura tiene alta significancia. (Rodríguez-Lado, et al. 2007)

La temperatura es uno de los parámetros climáticos de mayor importancia a conocer dentro de un agrosistema, ya que es un factor que por sí solo describe, en términos generales, las condiciones climáticas de un área en particular, aunque no detalla completamente el entorno, permite formar una idea del ambiente en que por ejemplo puede desarrollarse determinado cultivo. De esa manera pueden establecerse los escenarios en que se desarrolla o pueden desarrollar los cultivos agrícolas, y en función de esto, pueden plantearse actividades de importancia para la producción agrícola, como generar recomendaciones sobre uso de la tierra, seleccionar cultivares en función de sus potencialidades, o evaluar áreas idóneas para la producción agrícola, entre otras. (MDC, 2005)

3.6.2 Objetivos

- Generar datos continuos de variables climáticas para la zona cañera del sur de Guatemala, mediante la modelación de la temperatura del aire.
- Construir mapas históricos de temperatura del período 2000 – 2006 para la zona cañera de la costa sur de Guatemala, a través de la aplicación de técnicas de SIG.

3.6.3 Metodología

3.6.3.1 Recopilación y análisis de bases de datos climáticos

El área de agrometeorología de CENGICAÑA es el ente encargado de administrar la información climática generada por la red de estaciones meteorológicas de la zona cañera guatemalteca. La red de estaciones está compuesta por estaciones convencionales, semiautomáticas y automáticas, las cuales generan información de las variables climáticas lluvia, temperatura, radiación solar, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, humedad de hojas y evapotranspiración. (CENGICAÑA, 2008)

La selección de estaciones a tomar en cuenta para analizar los datos de temperatura, se realizó en base a los criterios planteados por Villalobos, citado por Suárez y Sánchez, 2008; las cuales se enfatizan en la representatividad, calidad de datos, consistencia, facilidad de actualización y permanencia de las estaciones meteorológicas.

De esa forma se construyó una base de datos en forma tabular que contiene datos de temperatura para cada estación, sobre la cual se calculó la media para cada uno de los 12 meses del año, para los periodos de zafra y no zafra y de forma anual.

3.6.3.2 Modelación temperatura – altitud

Para desarrollar los modelos de estimación de temperatura, se hizo un análisis de regresión simple de los datos de temperatura obtenidos en cada estación, correlacionándolos con la altitud de la ubicación de la estación meteorológica correspondiente, de esa forma se obtuvieron 15 modelos para cada temporada establecida (mensual, anual y período zafra y no zafra) Los modelos generados estiman la temperatura del aire en función de la altitud, según la siguiente expresión:

$$T^{\circ}C = a(y) + b$$

Donde:

T°C = Temperatura del aire

a = Coeficiente de correlación

b = Intercepto

y = Variable independiente (Altitud en metros sobre el nivel del mar)

Para cada modelo se determinó el coeficiente de determinación (R^2)

3.6.4 Integración del modelo de temperatura al SIG

Los modelos de regresión generados fueron convertidos en mapas de temperatura utilizando álgebra de mapas de un SIG, procesando las variables independientes como capas de mapa en formato raster. Para esto se generó una capa raster de altitud, obtenido a partir de un Modelo de Elevación Digital con pixeles de 0.5 Km² (UPGGR-MAGA, 2006).

3.6.4.1 Edición de Mapas

Con las herramientas de edición de mapas del SIG, se generaron 15 mapas de temperatura:

- 1 por cada mes del año,
- 1 anual,
- 1 para el período de zafra y
- 1 para el período de no zafra

3.6.5 Evaluación

3.6.5.1 Modelos de regresión temperatura – altitud

En el cuadro 53 se presentan los resultados del análisis de regresión de la temperatura media para cada uno de los períodos definidos (mensual, anual, período zafra y no zafra)

Cuadro 53 Resultados del análisis de regresión para la modelación de la temperatura del aire.

Período	Coeficientes de regresión		R ²
Enero	Altitud = -0.0047	Intercepto = 26.5996	0.7407
Febrero	Altitud = -0.0050	Intercepto = 27.1593	0.7283
Marzo	Altitud = -0.0053	Intercepto = 28.2116	0.8249
Abril	Altitud = -0.0054	Intercepto = 28.8731	0.8560
Mayo	Altitud = -0.0056	Intercepto = 28.7010	0.8428
Junio	Altitud = -0.0052	Intercepto = 27.7921	0.8434
Julio	Altitud = -0.0051	Intercepto = 27.7238	0.8358
Agosto	Altitud = -0.0051	Intercepto = 27.8020	0.8704
Septiembre	Altitud = -0.0049	Intercepto = 27.2967	0.7878
Octubre	Altitud = -0.0050	Intercepto = 27.1584	0.8309
Noviembre	Altitud = -0.0053	Intercepto = 27.3142	0.8467
Diciembre	Altitud = -0.0051	Intercepto = 26.8419	0.7770
Anual	Altitud = -0.0051	Intercepto = 27.6227	0.8592
Zafra	Altitud = -0.0051	Intercepto = 27.4999	0.835
No zafra	Altitud = -0.0051	Intercepto = 27.7452	0.8602

Se observa que existe alta correlación de la temperatura del aire en relación a la altitud, la precisión de los modelos de regresión es mayor al 70 % en todos los casos, como muestran los valores de determinación.

Todos los meses tienen valores de R² similares, los valores más bajos de R² se obtuvieron para los meses de enero, febrero y diciembre (invierno en el hemisferio norte). Para los modelos anuales y de zafra y no zafra los valores de R² son mayores a 0.83.

Los coeficientes de regresión poseen valores negativos, como es de esperarse la temperatura del aire es inversamente proporcional al incremento en altitud.

En el cuadro 54 se presentan algunas estadísticas descriptivas para la temperatura mensual, anual y períodos de zafra y no zafra.

Cuadro 54 Estadísticas descriptivas, de la temperatura del aire en la zona cañera.

Periodo	Temperatura media °C			
	Media	Desviación estándar	Mínima	Máxima
Enero	24.99	1.86	17.45	26.59
Febrero	25.45	1.98	17.43	27.15
Marzo	26.40	2.09	17.90	28.20
Abril	27.02	2.14	18.37	28.86
Mayo	26.78	2.21	17.81	28.69
Junio	26.01	2.06	17.68	27.78
Julio	25.98	2.02	17.80	27.71
Agosto	26.05	2.02	17.88	27.79
Septiembre	25.62	1.94	17.76	27.29
Octubre	25.44	1.98	17.43	27.15
Noviembre	25.50	2.09	17.00	27.30
Diciembre	25.09	2.02	16.92	26.83
Anual	25.87	2.02	17.70	27.61
Zafra	25.75	2.02	17.58	27.49
No zafra	26.00	2.02	17.82	27.74

Se observa que no existen grandes diferencias de temperatura durante todo el año, sin embargo los meses extremos son Diciembre (16.92 °C) y Abril (28.86 °C), a pesar de que el mes de Enero no presenta el valor de temperatura mínima más bajo, posee el menor valor de temperatura media. Las temperaturas más bajas se dan en las zonas altas, mayores a los 300 msnm.

3.6.6 Constancias

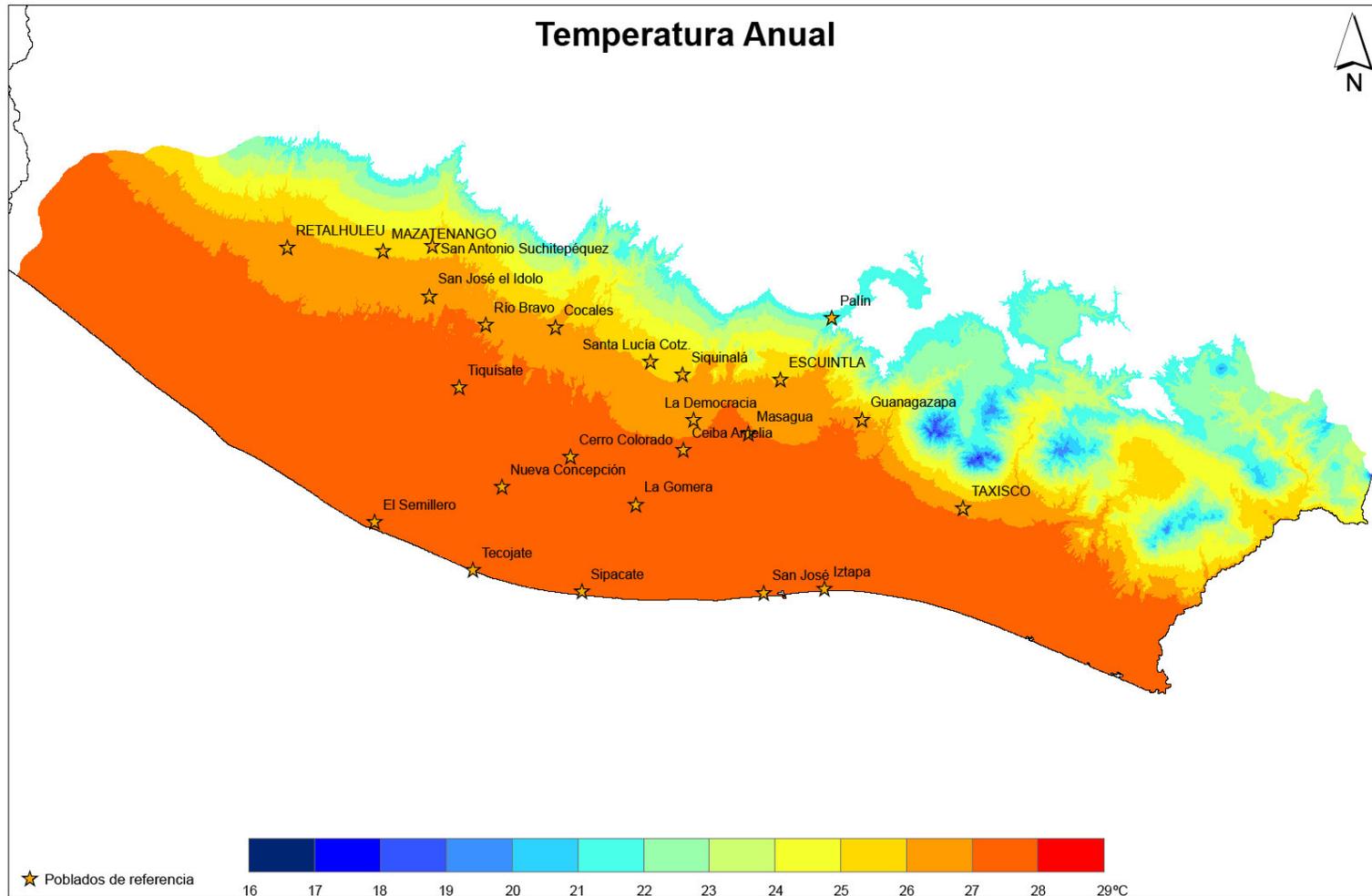


Figura 42 Mapa anual de temperatura media del aire en la zona cañera.

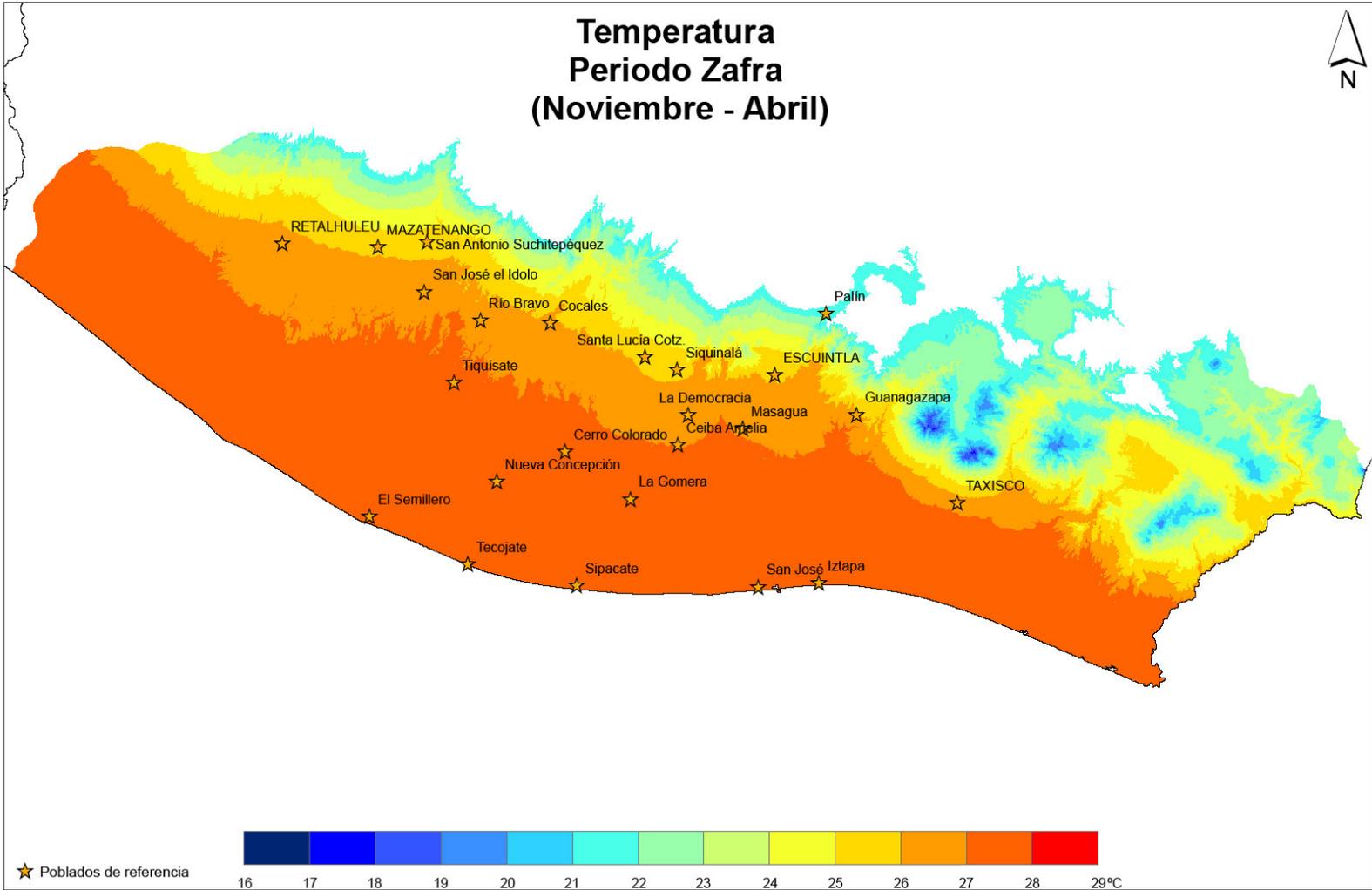


Figura 43 Mapa de temperatura media del aire para el periodo de zafra en la zona cañera.

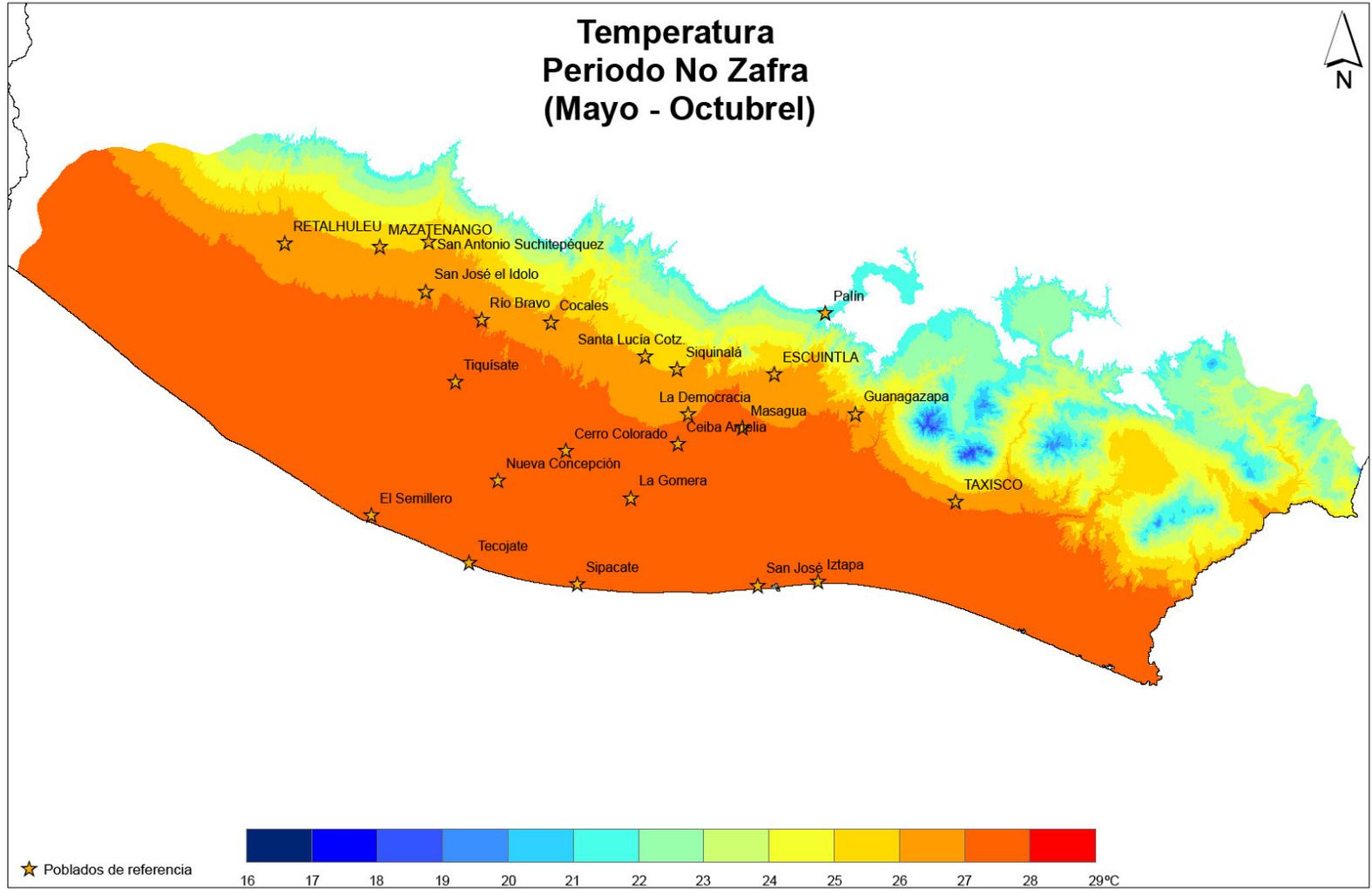


Figura 44 Mapa de temperatura media del aire para el periodo de no zafra en la zona cañera.

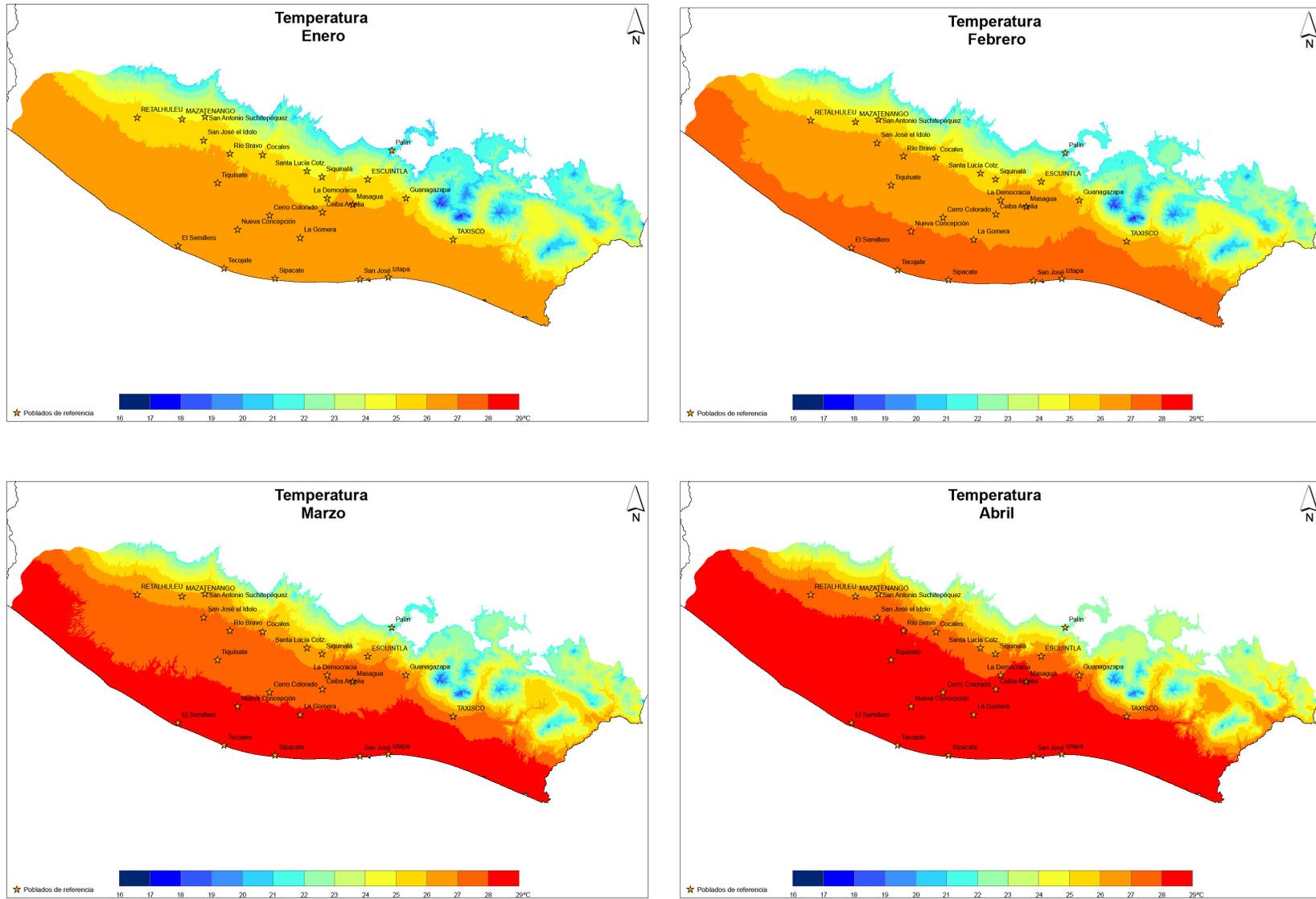


Figura 45 Mapas de temperatura media del aire, meses Enero a Abril en la zona cañera.

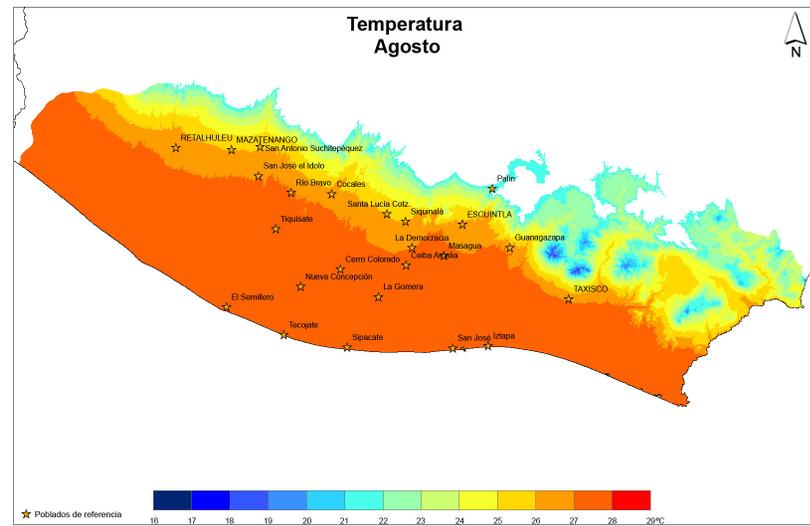
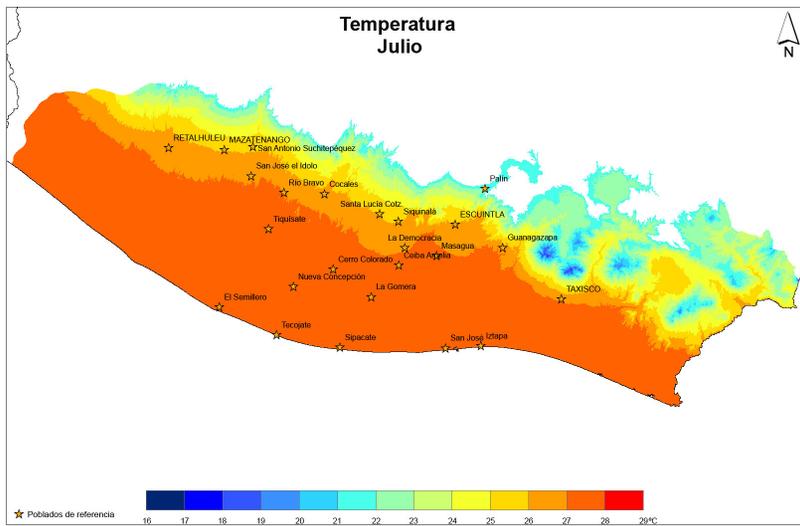
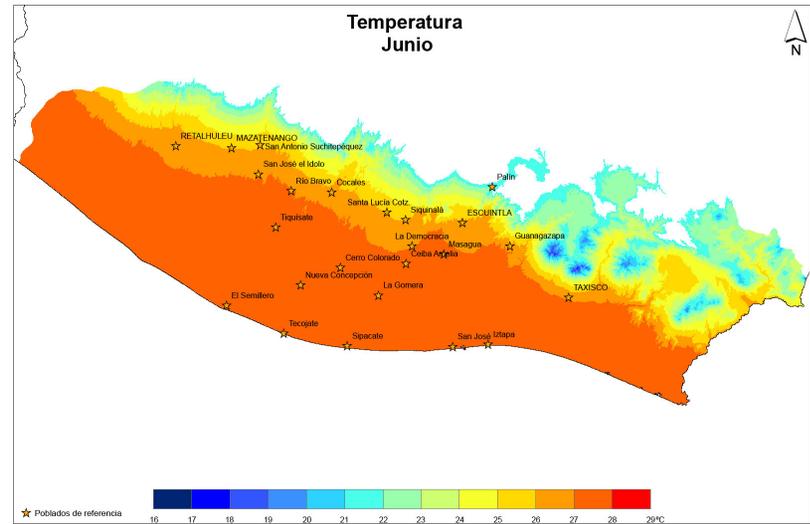
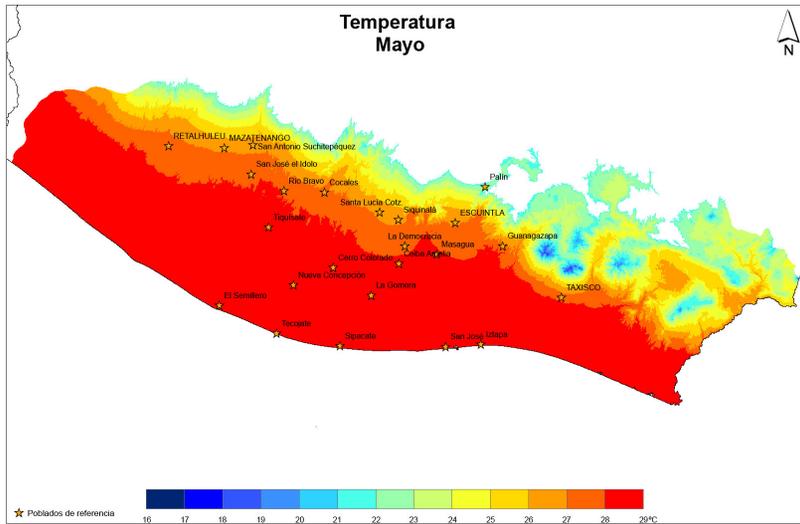


Figura 46 Mapas de temperatura media del aire, meses Mayo - Agosto en la zona cañera.

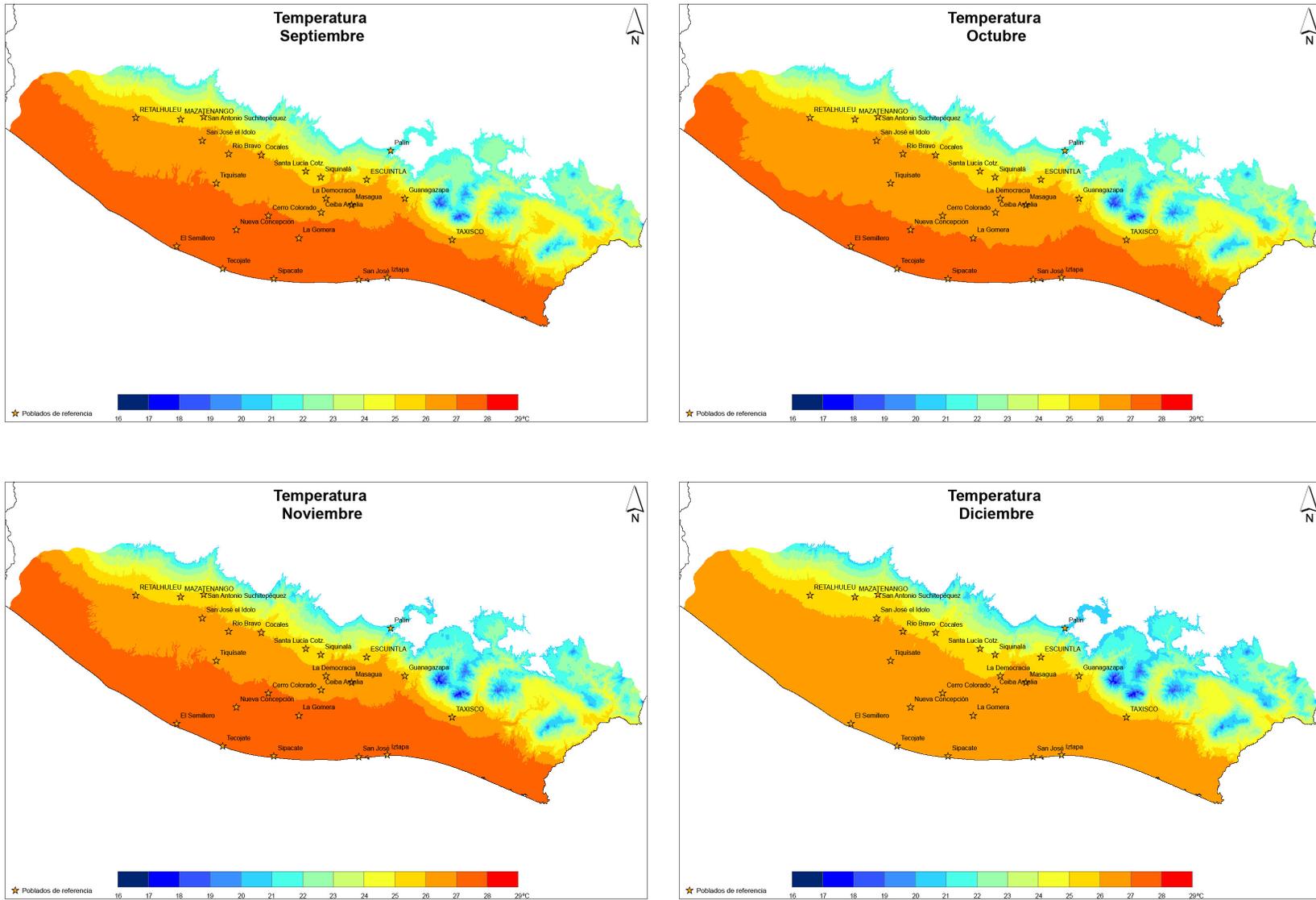


Figura 47 Mapas de temperatura media del aire, meses Septiembre a Diciembre en la zona cañera.

3.7. BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2008. Informe anual 2006–2007. Guatemala. 62 p.
2. Fiedler, F. 2003. Simple, practical method for determining station weights using Thiessen polygons. *Journal of Hidrologic Engineering* 8(4):219–221.
3. MDEC (Meteorological Development Cooperation, FI). 2005. Significance of weather and climate for agriculture: Finland and development cooperation in the field of meteorology (en línea). Helsinki, Finland. 3 p. Consultado 15 mar 2009. Disponible en: <http://tco.fmi.fi/Significance.pdf>
4. Orozco, H; Soto, G, Pérez, O, Ventura, R, Recinos, M. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp) en Guatemala con fines de investigación en variedades. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 27 p. (Documento Técnico no. 6). Disponible en: <http://cengicana.org/Portal/Biblioteca/PublicacionesCENGICANA/DocumentosTecnicos/0706/DocumentoTecnico6.pdf>
5. Rodríguez-Lado, L; Spavorek, G; Vidal-Torrado, P; Dourado-Neto, D; Macías-Vásquez, F. 2007. Modelling air temperature for the state of Sao Paulo, Brazil (en línea). *Scientia Agricola*. Piracicaba, Brasil 64(5):. Consultado 28 may 2009. Disponible en: www.scielo.br/pdf/sa/v64n5/v64n5a02.pdf
6. Suárez, J. 2005. Elaboración de mapas temáticos de fertilidad y texturas para la elaboración de programas de fertilización. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, CENGICAÑA. 7 p. (Protocolo de investigación y desarrollo de tecnología. Programa de Agronomía).
7. Suárez, J; Pérez, O. 2006. Primera aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas: herramientas para la planificación. Guatemala, CENGICAÑA, Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2005–2006. Guatemala. p. 226–229.
8. Suárez, J; Sánchez, J. 2007. Mapas de precipitación histórica de la zona cañera del sur de Guatemala, Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2006–2007. p. 172.

9. The University Of Melbourne, AU. 1999. GIS self learning tool: DEM theory (en línea). Melbourne, Australia. Consultado 20 jun 2008. Disponible en: <http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/glossary.htm>

4. ANEXOS

4.1. GLOSARIO

A

Acimut Ángulo formado entre una línea y un meridiano.

C

Capacidad de retención de humedad del suelo (CRH) Aptitud del suelo para mantener la humedad en niveles que sean disponibles para la planta.

Capilaridad Fenómeno por el que la superficie de un líquido en contacto con un sólido se eleva o deprime según el líquido moje o no al sólido.

Cartografía Arte y ciencia que expresa gráficamente, usualmente a través de mapas, los atributos naturales y sociales de la tierra.

Centroide El centro geométrico de un objeto. De una línea, es su punto medio, de un polígono, es el centro del área.

D

Datum Modelo matemático de la Tierra que se aproxima a la forma de esta, permite realizar cálculos de forma consistente y precisa. El Datum está representado físicamente por una red de monumentos cuyas posiciones han sido precisamente medidas y calculadas sobre esa superficie de referencia.

Déficit hídrico El déficit hídrico ocurre cuando la demanda de agua por parte de las plantas excede la cantidad disponible durante cierto período o cuando la calidad del agua es pobre y restringe su uso.

Diseño Asistido por Computador (CAD) Es un sistema basado en computadora que sirve para el diseño, preparación, y despliegue de información geográfica. Estos sistemas son comúnmente usados para dar soporte a la ingeniería, planificación, e ilustración de actividades.

Drawing (DWG) Extensión de archivo electrónico de dibujo computarizado, utilizado principalmente por el programa Auto CAD; producto de la compañía AutoDesk.

E

Eficiencia de aplicación (Ea) Es la cantidad de agua que es almacenada en la zona radicular para el uso de las plantas en relación con el total de agua aplicada.

F

Fotointerpretación Conjunto de técnicas que sirven para obtener mediciones precisas de las imágenes. Ciencia que sirve para identificar y describir objetos en fotografías.

G

Geodatabase Es una base de datos o estructura de archivos usada principalmente para almacenar, consultar, y manipular datos espaciales. Las geodatabase almacenan geometría, sistema de referencia espacial, atributos, y reglas de comportamiento de la información.

I

Información geográfica Es una abstracción o representación de la realidad geográfica (paisaje).

L

Lámina de agua aprovechable (LAA) Es el contenido de agua -expresada en lámina- que corresponde a la cantidad de agua retenida por el suelo entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) El agua rápidamente aprovechable es el contenido de humedad existente entre la capacidad de campo y el nivel crítico de humedad, ésta puede expresarse en valores de lámina.

N

Nivel crítico de humedad (NH) Punto crítico a partir del cual se afecta la tasa de crecimiento de los tallos, generalmente, el punto de referencia que identifica el nivel crítico de humedad se toma cuando se consume el 60% del agua aprovechable o agua útil.

O

Ortofotografías Fotografía aérea modificada geométricamente para ajustarla a un sistema de proyección geográfica.

P

Polígonos En un mapa, es una figura cerrada, definida por una secuencia conectada de pares x,y coordenados, donde el primer y último par son el mismo y todos los demás son únicos.

Proyección geográfica Representación de la tierra construida en un plano con líneas que representan y corresponden a los meridianos y paralelos de la superficie curva de la tierra.

R

Riego deficitario Moderno sistema de manejo del agua basado en el riego sólo en momentos concretos del cultivo, y que permite un sustancial ahorro del agua sin merma de producción.

S

Shapefile (SHP) Es un formato de almacenamiento de datos vectoriales, el cual almacena la ubicación, forma, y atributos de una representación geográfica. Esta extensión es utilizada por el software ArcGIS, producto de la compañía ESRI.

Sistema de Información Geográfica (SIG) Colección de hardware, software y datos geográficos diseñados para recoger, almacenar, actualizar, manipular, analizar y reproducir datos con referencias geográficas.

Sistema de Geoposicionamiento Global (GPS) Sistema mediante el cual es posible estimar las coordenadas actuales de una estación en tierra mediante la recepción simultánea de señales emitidas por varios satélites.

T

Trayectoria o Track En un GPS es la dirección de desplazamiento del portador del aparato relativa a una posición en la tierra, también conocido como Course Over Ground (COG) o Curso Sobre la Tierra.

V

Vectorial Representación de datos geográficos a través de elementos llamados, punto, línea y polígono. Modelo de datos en el que la realidad se representa mediante vectores o estructuras de vectores.

Vetas de arena Áreas físicas definidas y diferenciadas por uno o más estratos de arena en el perfil del suelo.

Cuadro 56A Codificación para asignar valor en campo de calidad de fuste.

Códigos Calidad Tronco		
Opción	Descripción/definición	Código
Alta	Sin daños visibles de incendio, plagas, enfermedades, animales, etc.	1
Media	Pequeño Defecto o daños debidos a incendio, plaga, enfermedad, animales, etc.	2
Baja	Varios Defectos o daños debidos a incendios, plagas, enfermedades, animales, etc.	3

Cuadro 57A Codificación para asignar valor en campo de forma de fuste.

Código Forma de Fuste		
Opción	Descripción/definición	Código
Recto	Fuste derecho, sin ninguna malformación	1
Inclinación	Fuste derecho pero con alto grado de inclinación respecto a su eje vertical	2
Deformación	Fuste con deformaciones en toda su longitud	3
Torceduras	Fuste con torceduras en toda su longitud	4
Bifurcaciones	Dos o más pies en un mismo árbol, cuando inician debajo del DAP	5

Cuadro 58A Codificación para asignar valor en campo de estado sanitario.

Códigos de Estado Sanitario		
Opción	Descripción/definición	Código
Sano	Ausencia de Síntomas de enfermedad o presencia de parásitos que tengan algún efecto importante sobre el desarrollo y vitalidad del árbol	1
Ligeramente Afectado	Presencia de síntomas de enfermedad y/o parásitos que afectan en cierta medida al desarrollo y vitalidad del árbol	2
Gravemente Afectado	Presencia de síntomas de enfermedad y/o parásitos que afectan sustancialmente al crecimiento y vitalidad del árbol, sin ser mortal	3
Árbol muerto o moribundo	Muerto, cuando ninguna de sus partes vive o está viva (Hojas, yemas, cambium) a 1,3m o por encima. Moribundo si muestra daños que llevarán con seguridad a su muerte, árbol en pie.	4
Árbol caído muerto o moribundo	ídem anterior, y está caído.	5

Cuadro 59A Codificación para asignar valor en campo de Agente Causal.

Código Agentes Causales		
Opción	Descripción/definición	Código
No Aplicable	Árbol Sano, sin signos de enfermedad, parásitos, etc.	0
Insectos	Indicios de ataques de insectos	1
Enfermedades/ Hongos	Hongos u otra enfermedad	2
Incendios	Quemado	3
Animales	Daños debido a animales silvestres o domésticos	4
Ser Humano	Cortas, daños a la corteza, explotación maderera	5
Clima	Daño por el viento, exceso de humedad, rayos, etc.	6
Otras	Especificar	7

Cuadro 60A Resultados del análisis físico de laboratorio de las muestras de suelo de finca Irlanda.

ID		Finca	Estrato	Ingenio	CE (dS m-1)	%			TEXTURA	%H	% H	D.AP. g/cc
Superficie de riego	C/S Veta					ARC	LIM	ARE		15 ATM.	1/3 ATM.	
A	Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.18	21.12	32.70	46.18	Franco	20.31	37.35	1.05
A	Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.07	12.59	33.13	54.29	Franco Arenoso	17.57	33.30	1.14
A	Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.07	12.90	39.54	47.56	Franco	22.24	41.51	0.98
A	Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.05	14.72	33.15	52.12	Franco Arenoso	17.37	34.90	1.07
A	Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.05	16.66	31.09	52.25	Franco Arenoso	17.79	37.84	0.97
A	Sin Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.07	12.59	29.11	58.30	Franco Arenoso	19.47	36.61	1.17
A	Sin Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.10	14.97	39.33	45.70	Franco	21.65	40.05	1.04
A	Sin Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	1.99	18.85	37.37	43.79	Franco	15.91	32.42	1.15
A	Sin Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.05	12.49	32.95	54.56	Franco Arenoso	17.61	36.35	1.02
A	Sin Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.06	21.04	38.96	40.00	Franco	18.93	38.17	1.10
B	Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.10	14.83	30.47	54.70	Franco Arenoso	14.90	27.80	1.23
B	Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.05	10.63	19.96	69.41	Franco Arenoso	11.62	23.97	1.26
B	Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.04	10.57	21.88	67.55	Franco Arenoso	11.10	23.02	1.25
B	Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.02	12.99	18.62	68.39	Franco Arenoso	10.72	22.80	1.21
B	Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.02	6.64	12.06	81.30	Arena Franca	5.66	11.38	1.45
B	Sin Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.09	16.95	40.66	42.39	Franco	16.85	34.08	1.09
B	Sin Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.09	18.93	40.49	40.57	Franco	18.75	36.35	1.06
B	Sin Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.07	12.91	34.60	52.49	Franco Arenoso	17.81	38.73	1.03
B	Sin Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.04	12.78	32.58	54.64	Franco Arenoso	16.16	38.33	1.07
B	Sin Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.05	14.98	47.14	37.88	Franco	17.84	43.87	1.03
C	Sin Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.07	12.73	36.53	50.73	Franco	13.84	29.54	1.15
C	Sin Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.11	13.28	36.02	50.70	Franco	15.37	32.30	1.12
C	Sin Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.08	11.24	23.58	65.17	Franco Arenoso	13.05	27.08	1.27
C	Sin Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.07	15.54	30.08	54.38	Franco Arenoso	20.11	38.64	1.02
C	Sin Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.04	9.11	32.33	58.56	Franco Arenoso	14.98	34.86	1.06

C	Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.10	17.52	36.15	46.34	Franco	20.36	37.02	1.07
C	Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.10	12.73	36.37	50.90	Franco	13.94	29.00	1.14
C	Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.05	10.69	30.65	58.65	Franco Arenoso	14.48	29.35	1.18
C	Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.04	9.24	28.17	62.59	Franco Arenoso	12.91	28.76	1.14
C	Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.05	9.37	23.16	67.46	Franco Arenoso	12.27	25.13	1.20
D	Sin Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.07	16.50	33.05	50.45	Franco	15.78	34.58	1.08
D	Sin Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.05	14.58	41.07	44.35	Franco	16.45	36.34	1.09
D	Sin Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.05	16.67	38.93	44.39	Franco	16.03	36.36	1.05
D	Sin Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.04	14.42	30.63	54.95	Franco Arenoso	13.13	30.81	1.17
D	Sin Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.03	12.61	38.69	48.69	Franco	11.69	27.45	1.12
D	Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.05	14.53	32.96	52.51	Franco Arenoso	14.62	33.19	1.09
D	Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.05	16.80	33.10	50.10	Franco	14.86	33.24	1.15
D	Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.04	12.61	26.94	60.45	Franco Arenoso	12.35	28.75	1.25
D	Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.03	8.59	24.64	66.76	Franco Arenoso	10.27	23.73	1.22
D	Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.04	8.56	38.66	52.78	Franco Arenoso	9.44	22.38	1.19
E	Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.04	8.70	14.17	77.13	Franco Arenoso	8.05	18.16	1.30
E	Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.04	8.66	16.10	75.24	Franco Arenoso	9.83	21.22	1.34
E	Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.03	6.63	9.98	83.39	Arena Franca	6.26	12.08	1.47
E	Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.02	4.48	6.09	89.44	Arena	4.75	9.33	1.43
E	Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.01	4.42	4.18	91.41	Arena	3.70	17.83	1.50
E	Sin Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.07	14.89	36.97	48.14	Franco	14.26	29.98	1.15
E	Sin Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.05	14.88	43.07	42.05	Franco	16.05	34.53	1.17
E	Sin Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.04	12.79	41.02	46.19	Franco	14.56	33.71	1.14
E	Sin Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.04	11.34	42.73	45.93	Franco	15.43	37.56	1.02
E	Sin Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.04	11.03	41.57	47.40	Franco	15.20	37.27	1.03
F	Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.08	15.49	34.34	50.16	Franco	17.07	32.57	1.10
F	Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.04	9.31	15.75	74.94	Franco Arenoso	10.36	23.92	1.18
F	Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.04	7.07	11.39	81.54	Arena Franca	7.82	17.28	1.28
F	Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.03	7.00	7.61	85.39	Arena Franca	6.21	12.04	1.37

F	Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.02	5.13	3.45	91.42	Arena	3.61	7.36	1.51
F	Sin Veta	Irlanda	0-20	Sta. Ana	0.05	11.32	19.80	68.88	Franco Arenoso	10.87	28.45	1.23
F	Sin Veta	Irlanda	20-40	Sta. Ana	0.09	17.63	48.29	34.08	Franco	20.40	36.73	1.08
F	Sin Veta	Irlanda	40-60	Sta. Ana	0.06	13.44	36.33	50.22	Franco	15.32	37.48	1.09
F	Sin Veta	Irlanda	60-80	Sta. Ana	0.05	9.15	32.03	58.82	Franco Arenoso	11.64	30.09	1.15
F	Sin Veta	Irlanda	80-100	Sta. Ana	0.04	9.21	25.96	64.83	Franco Arenoso	9.74	25.87	1.25

Cuadro 61A Resultados del análisis físico de laboratorio de las muestras de suelo de finca Nueva Esperanza.

ID		Finca	Estrato	Ingenio	CE (dS m-1)	%			TEXTURA	%H	% H	D.AP.
Superficie de riego	C/S Veta					ARC	LIM	ARE		15 ATM.	1/3 ATM.	g/cc
Sureste	Veta	Nueva Esperanza	0-20	Magdalena	0.05	9.29	20.89	69.82	Franco Arenoso	9.91	20.40	1.29
Sureste	Veta	Nueva Esperanza	20-40	Magdalena	0.04	9.25	14.75	76.00	Franco Arenoso	9.12	18.25	1.35
Sureste	Veta	Nueva Esperanza	40-60	Magdalena	0.03	7.34	16.57	76.09	Franco Arenoso	7.61	15.46	1.39
Sureste	Veta	Nueva Esperanza	60-80	Magdalena	0.03	7.18	12.74	80.08	Arena Franca	6.73	13.99	1.47
Sureste	Veta	Nueva Esperanza	80-100	Magdalena	0.02	7.20	10.78	82.01	Arena Franca	6.02	12.51	1.52
Sureste	Sin Veta	Nueva Esperanza	0-20	Magdalena	0.06	15.54	39.43	45.03	Franco	14.51	33.51	1.12
Sureste	Sin Veta	Nueva Esperanza	20-40	Magdalena	0.06	13.63	31.31	55.06	Franco Arenoso	14.19	33.11	1.15
Sureste	Sin Veta	Nueva Esperanza	40-60	Magdalena	0.04	13.46	29.33	57.22	Franco Arenoso	14.37	30.21	1.20
Sureste	Sin Veta	Nueva Esperanza	60-80	Magdalena	0.05	15.54	33.37	51.08	Franco	15.50	30.54	1.18
Sureste	Sin Veta	Nueva Esperanza	80-100	Magdalena	0.04	15.56	35.76	48.68	Franco	18.63	35.70	1.11
Suroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	0-20	Magdalena	0.06	19.76	31.47	48.78	Franco	16.01	33.71	1.15
Suroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	20-40	Magdalena	0.06	17.78	35.44	46.78	Franco	18.38	35.91	1.07
Suroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	40-60	Magdalena	0.03	9.33	29.00	61.67	Franco Arenoso	11.92	25.25	1.23
Suroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	60-80	Magdalena	0.03	9.27	25.08	65.65	Franco Arenoso	11.03	26.80	1.23
Suroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	80-100	Magdalena	0.03	13.77	30.75	55.48	Franco Arenoso	13.32	31.34	1.13
Suroeste	Veta	Nueva Esperanza	0-20	Magdalena	0.06	15.59	33.18	51.22	Franco	14.83	31.06	1.15
Suroeste	Veta	Nueva Esperanza	20-40	Magdalena	0.06	17.59	30.98	51.43	Franco	14.87	30.85	1.15
Suroeste	Veta	Nueva Esperanza	40-60	Magdalena	0.03	11.42	20.89	67.68	Franco Arenoso	11.43	24.53	1.17

Suroeste	Veta	Nueva Esperanza	60-80	Magdalena	0.04	13.48	24.85	61.67	Franco Arenoso	13.68	27.89	1.22
Suroeste	Veta	Nueva Esperanza	80-100	Magdalena	0.04	13.33	26.83	59.84	Franco Arenoso	11.70	26.62	1.23
Noreste	Veta	Nueva Esperanza	0-20	Magdalena	0.04	12.69	27.60	59.71	Franco Arenoso	10.34	24.13	1.24
Noreste	Veta	Nueva Esperanza	20-40	Magdalena	0.03	10.43	17.45	72.11	Franco Arenoso	9.18	21.13	1.36
Noreste	Veta	Nueva Esperanza	40-60	Magdalena	0.02	8.23	11.41	80.37	Arena Franca	7.36	16.43	1.39
Noreste	Veta	Nueva Esperanza	60-80	Magdalena	0.01	8.19	5.48	86.33	Arena Franca	5.64	10.56	1.45
Noreste	Veta	Nueva Esperanza	80-100	Magdalena	0.02	8.23	13.65	78.13	Franco Arenoso	7.28	14.36	1.42
Noreste	Sin Veta	Nueva Esperanza	0-20	Magdalena	0.06	14.50	26.16	59.34	Franco Arenoso	12.29	27.21	1.17
Noreste	Sin Veta	Nueva Esperanza	20-40	Magdalena	0.05	14.58	30.27	55.15	Franco Arenoso	12.60	27.07	1.15
Noreste	Sin Veta	Nueva Esperanza	40-60	Magdalena	0.03	12.57	30.60	56.84	Franco Arenoso	11.96	28.19	1.18
Noreste	Sin Veta	Nueva Esperanza	60-80	Magdalena	0.03	10.53	30.49	58.98	Franco Arenoso	11.15	26.83	1.17
Noreste	Sin Veta	Nueva Esperanza	80-100	Magdalena	0.03	14.81	40.58	44.61	Franco	13.93	32.79	1.09
Noroeste	Veta	Nueva Esperanza	0-20	Magdalena	0.06	14.70	26.41	58.89	Franco Arenoso	12.10	28.52	1.17
Noroeste	Veta	Nueva Esperanza	20-40	Magdalena	0.04	12.66	22.34	65.00	Franco Arenoso	11.02	25.74	1.27
Noroeste	Veta	Nueva Esperanza	40-60	Magdalena	0.03	10.51	17.92	71.57	Franco Arenoso	8.21	19.42	1.39
Noroeste	Veta	Nueva Esperanza	60-80	Magdalena	0.02	6.40	7.85	85.75	Arena Franca	5.69	12.86	1.49
Noroeste	Veta	Nueva Esperanza	80-100	Magdalena	0.02	6.41	7.94	85.65	Arena Franca	5.07	11.21	1.50
Noroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	0-20	Magdalena	0.10	27.75	45.85	26.40	Franco Arcilloso	21.55	43.47	1.02
Noroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	20-40	Magdalena	0.08	23.67	41.81	34.51	Franco	24.30	45.21	0.96
Noroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	40-60	Magdalena	0.06	21.61	39.92	38.48	Franco	25.62	48.97	0.88
Noroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	60-80	Magdalena	0.05	23.69	54.78	21.53	Franco Limoso	26.42	47.52	0.96
Noroeste	Sin Veta	Nueva Esperanza	80-100	Magdalena	0.05	21.70	48.54	29.77	Franco	27.10	48.41	0.96

Cuadro 62A Resultados del análisis físico de laboratorio de las muestras de suelo de finca El Apipal.

ID		Finca	Estrato	Ingenio	CE (dS m ⁻¹)	%			TEXTURA	%H	% H	D.AP. g/cc
Superficie de riego	C/S Veta					15 ATM.	1/3 ATM.					
Área sur	Veta	Apipal	0-20	Sta. Ana	0.05	14.95	26.34	58.71	Franco Arenoso	11.06	20.83	1.31
Área sur	Veta	Apipal	20-40	Sta. Ana	0.04	9.01	18.31	72.68	Franco Arenoso	8.05	14.55	1.40

Área sur	Veta	Apipal	40-60	Sta. Ana	0.02	6.88	7.65	85.47	Arena Franca	5.68	9.40	1.40
Área sur	Veta	Apipal	60-80	Sta. Ana	0.03	8.76	10.16	81.08	Arena Franca	7.45	12.50	1.36
Área sur	Veta	Apipal	80-100	Sta. Ana	0.03	8.77	12.15	79.07	Arena Franca	7.22	12.43	1.39
Área sur	Sin Veta	Apipal	0-20	Sta. Ana	0.05	15.07	30.67	54.26	Franco Arenoso	13.96	29.20	1.15
Área sur	Sin Veta	Apipal	20-40	Sta. Ana	0.04	15.07	38.70	46.23	Franco	16.10	30.85	1.17
Área sur	Sin Veta	Apipal	40-60	Sta. Ana	0.03	10.75	30.67	58.58	Franco Arenoso	13.19	25.70	1.18
Área sur	Sin Veta	Apipal	60-80	Sta. Ana	0.03	10.89	24.17	64.94	Franco Arenoso	11.76	22.20	1.20
Área sur	Sin Veta	Apipal	80-100	Sta. Ana	0.03	10.93	24.13	64.94	Franco Arenoso	10.99	19.68	1.25
Área centro	Veta	Apipal	0-20	Sta. Ana	0.03	8.51	15.85	75.65	Franco Arenoso	7.61	14.54	1.17
Área centro	Veta	Apipal	20-40	Sta. Ana	0.02	6.80	6.16	87.04	Arena Franca	6.45	11.23	0.94
Área centro	Veta	Apipal	40-60	Sta. Ana	0.02	4.74	4.22	91.04	Arena	4.69	7.13	1.36
Área centro	Veta	Apipal	60-80	Sta. Ana	0.01	4.35	4.14	91.51	Arena	4.40	6.29	1.43
Área centro	Veta	Apipal	80-100	Sta. Ana	0.01	4.35	4.14	91.51	Arena	3.91	5.74	1.42
Área centro	Sin Veta	Apipal	0-20	Sta. Ana	0.04	12.48	28.62	58.90	Franco Arenoso	11.74	23.18	1.25
Área centro	Sin Veta	Apipal	20-40	Sta. Ana	0.04	16.69	36.85	46.46	Franco	15.25	32.03	1.14
Área centro	Sin Veta	Apipal	40-60	Sta. Ana	0.03	14.62	29.04	56.33	Franco Arenoso	12.27	25.45	1.27
Área centro	Sin Veta	Apipal	60-80	Sta. Ana	0.03	12.62	7.17	80.20	Franco Arenoso	15.03	28.29	1.16
Área centro	Sin Veta	Apipal	80-100	Sta. Ana	0.03	12.54	38.98	48.48	Franco	15.47	30.03	1.10
Área norte	Veta	Apipal	0-20	Sta. Ana	0.04	8.54	19.92	71.54	Franco Arenoso	8.35	15.98	1.12
Área norte	Veta	Apipal	20-40	Sta. Ana	0.03	8.58	12.11	79.31	Arena Franca	8.10	13.76	1.10
Área norte	Veta	Apipal	40-60	Sta. Ana	0.02	6.34	5.98	87.68	Arena Franca	8.19	11.64	1.19
Área norte	Veta	Apipal	60-80	Sta. Ana	0.02	6.45	3.83	89.72	Arena	7.57	10.31	1.29
Área norte	Veta	Apipal	80-100	Sta. Ana	0.02	6.45	1.94	91.61	Arena	6.22	8.74	1.33
Área norte	Sin Veta	Apipal	0-20	Sta. Ana	0.06	19.06	40.78	40.16	Franco	16.92	36.81	1.10
Área norte	Sin Veta	Apipal	20-40	Sta. Ana	0.05	23.13	51.23	25.64	Franco Limoso	18.85	35.56	1.10
Área norte	Sin Veta	Apipal	40-60	Sta. Ana	0.04	16.84	42.95	40.20	Franco	15.77	31.23	1.07
Área norte	Sin Veta	Apipal	60-80	Sta. Ana	0.04	14.82	42.73	42.45	Franco	13.67	26.62	1.10
Área norte	Sin Veta	Apipal	80-100	Sta. Ana	0.03	14.98	40.99	44.03	Franco	15.59	31.36	1.11

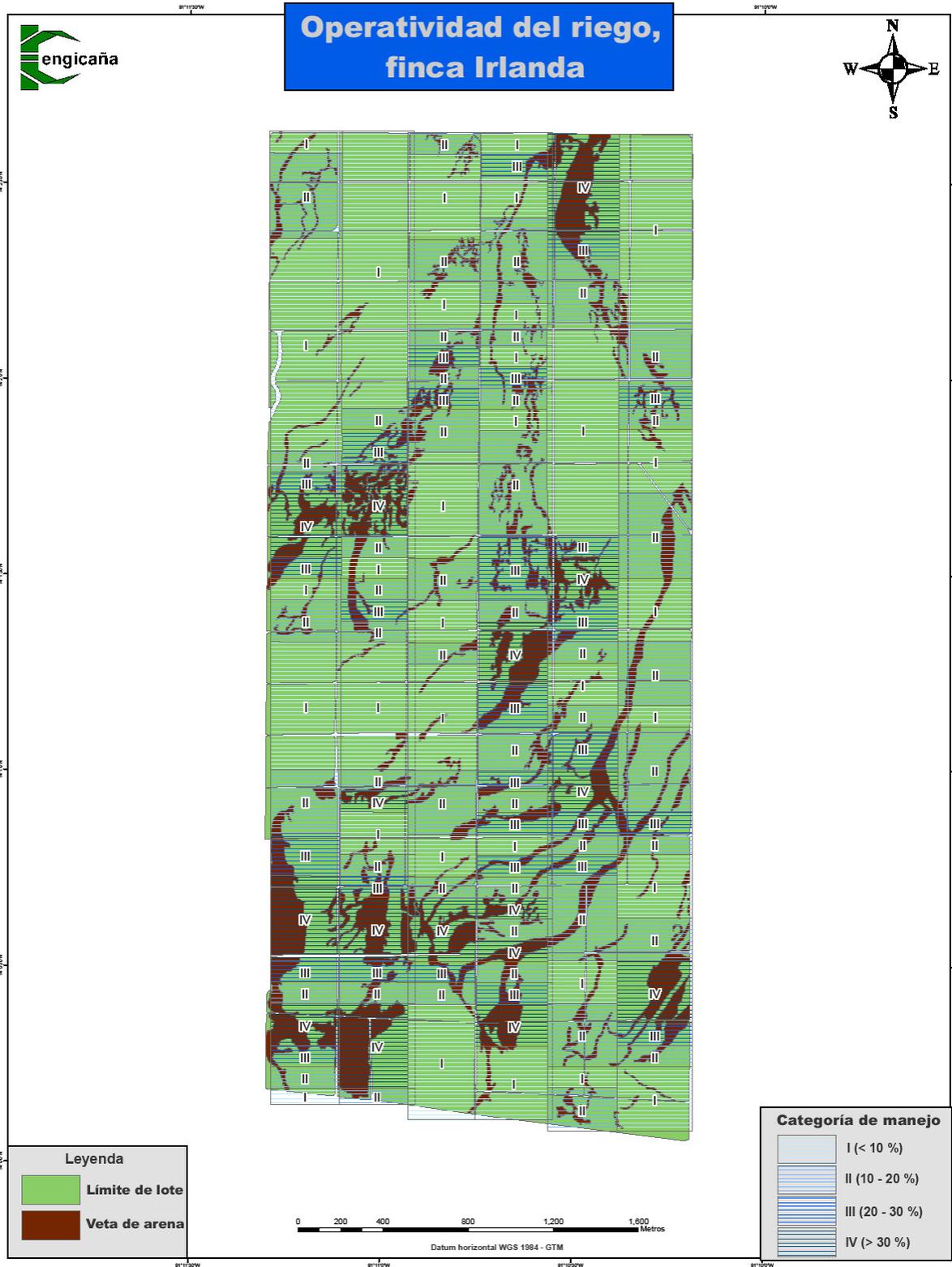


Figura 48A Operatividad del riego en Finca Irlanda.

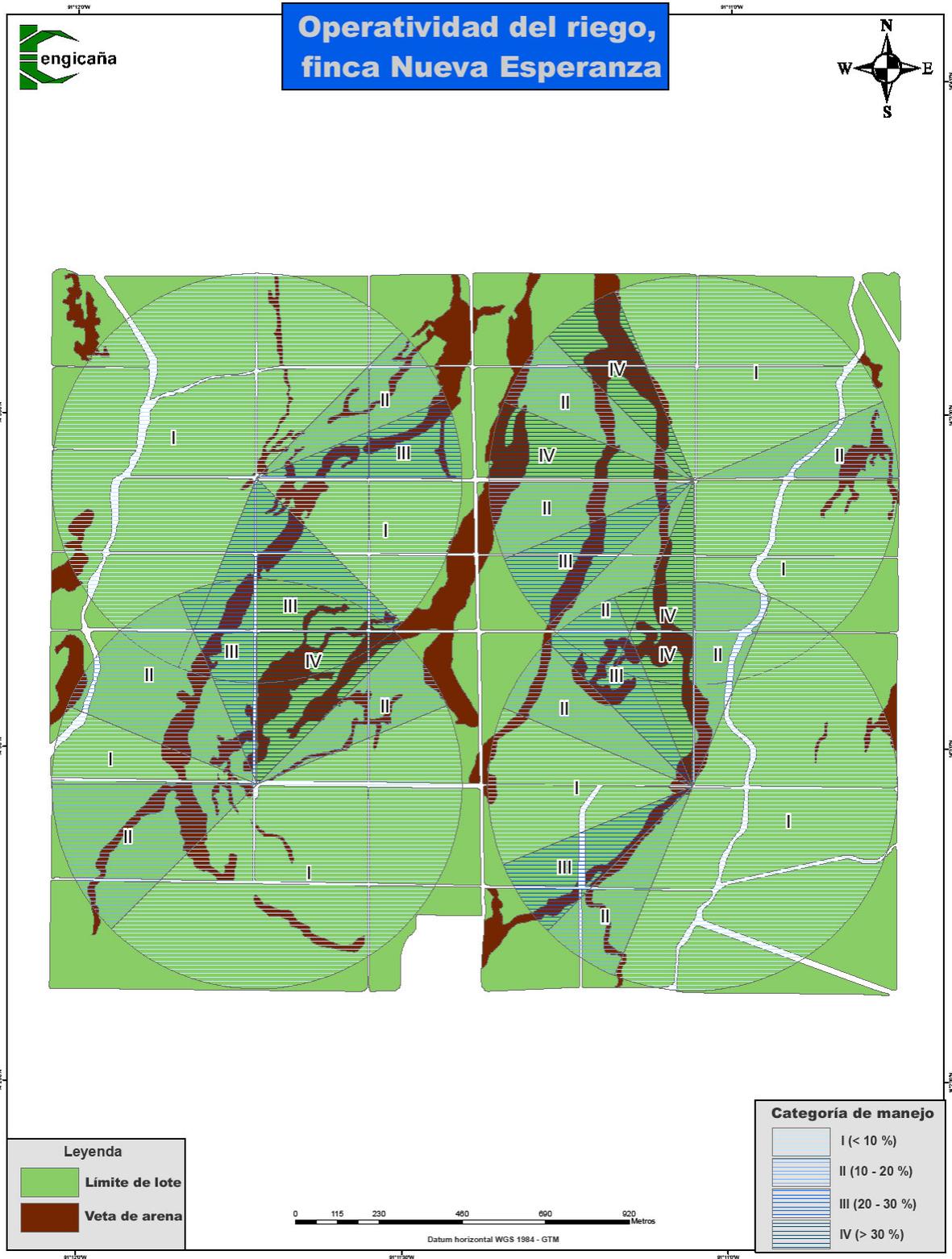


Figura 49A Operatividad del riego en Finca Nueva Esperanza.



Figura 50A Operatividad del riego en Finca El Apipal.