

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SODICIDAD DE VARIEDADES
PROMISORIAS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) Y SERVICIOS
AGRONÓMICOS EN EL CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN
Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR
-CENGICAÑA-

Braulio Ramiro Villatoro Villatoro

Guatemala, Noviembre 2,008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SODICIDAD DE VARIEDADES
PROMISORIAS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) 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:

Braulio Ramiro Villatoro Villatoro

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, Noviembre 2,008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Lic. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL CUARTO	Br. Rigoberto Morales Ventura
VOCAL QUINTO	Br. Miguel Armando Salazar Donis
SECRETARIO	MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, Noviembre 2,008

Guatemala, Noviembre del 2008

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 realizado en “Evaluación de la tolerancia a la sodicidad de variedades promisorias de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) 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 Sistemas de Producción Agrícola, 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”

Braulio Ramiro Villatoro Villatoro

ACTO QUE DEDICO

A Dios:

Fuente poderosa de sabiduría y sostén en los momentos difíciles de mi vida.

A mis padres:

Ramiro Alfonso Villatoro Jiménez
Mayra Leticia Villatoro Barrios

Con todo mi amor como premio a su trabajo, esfuerzo y dedicación simplemente quiero decirles misión cumplida.

A mi esposa:

Emora Alejandra Sarti de León

Gracias por el apoyo, paciencia y amor que me has brindado.

A mis hijos:

Braulio Alejandro Villatoro Sarti
Roiler Sarti de León

Espero que Dios me de la sabiduría necesaria para guiarlos por el buen camino con ejemplos de amor, cariño y responsabilidad para que logren las metas que se tracen a lo largo de su vida, los amo.

A mis hermanos:

Mayra Lucía, Francisco Ricardo y Bárbara Eloísa

Sigan adelante y échenle ganas para que sus sueños se cumplan, los quiero.

A mis abuelos:

“abuelito Braulio” Braulio Chij (Q.E.P.D.)
“mama Angelita” María de los Ángeles Barrios Franco (Q.E.P.D.)
“mamá Lucía” Lucila Jiménez (Q.E.P.D.)

Donde quiera que estén gracias por ser mis ángeles de la guarda.

“papa Cayo” Ricardo Villatoro

Gracias a Dios que me permite tenerlo, por los consejos que me ha brindado

A la familia Sarti de León:

Don Roiler, doña Sonia, Amandita y Georgi

Gracias por su apoyo para cumplir este sueño y que Dios los bendiga por todo lo que han hecho por mí y mi familia.

A mis tíos:

Miguel Montúfar y Lesbia Villatoro
Antonio Villatoro
Edgar y Violeta Villatoro Lux
Ramiro Ralda y Lesbia Muñoz
Edgar Villatoro Barrios
Gardenia, Gloria, Oneida, Hilmar, Misael y Saúl Jiménez
primos y demás familia

Gracias por su apoyo

A mis amigos:

Walter Agustín, Baldomero Jorge, Carlos López, Gerson de León,
Eddy Sáenz, Mónica Aldana, Teresa Guerra, Brenda García,
Alexander González, Franklin Chen, Leonel Guzmán, Rodrigo del Cid,
Fernando Itzep, Luis Fernando Samayoa, Carlos Rosales, Ingrid
López, Edwin de León, Deborah de León, Hugo Estrada, José Morán,
José Samayoa, al que no haya nombrado mil disculpas.

Gracias por ser mis amigos, muy especialmente a las y los de la banda.

A la familia López Alburez:

“doña misha” María Emilse de la Cruz Alburez Recinos
Mauricio, Carlos, Mario y Willie

Doña Emilse le agradezco el apoyo brindado al recibirme en su casa como un hijo más y por ser como una madre más para mí, a sus hijos por permitirme formar parte de su familia

A la familia Sarti Muñoz:

Con cariño, especialmente a “doña Mori” Emora Muñoz, hijos Guillermo, Joaquín, Brenda, Victoria, Luis Alfredo y Patricia, hijos políticos Ernesto López, Luis Fernando Alfonso, Blanca Barrios y Cecilia García, nietos, bisnietos y demás familia.

A la familia Castro Acosta:

Ing. Otto Castro
Sra. Sandra Acosta de Castro
Ottoniel, Silvia Cristina y María Sandra Castro Acosta

A la familia Jorge Pérez:

Sr. Juan Jorge
Sra. Oralia Pérez
Romeo, Baldomero y Cecilia

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A Retalhuleu:

Bendita tierra donde nací

A Colegio D'antoni:

Por formarme en los primeros años de mi vida

A Colegio Shalom:

Por la formación cristiana que recibí en sus aulas

A Instituto "Adolfo V. Hall" del sur:

Cuna de los hijos del Honor y la Ciencia por formarme y hacerme un hombre de bien

A CENGICAÑA:

Por abrirme sus puertas para culminar mi formación académica y a la vez empezar mi carrera profesional.

In memoriam:

Luis Artemio Mérida Barrios

Gracias por tu amistad, ejemplo de humildad y trabajo arduo

AGRADECIMIENTOS

A Ing. Ezequiel López:

Por la asesoría brindada durante el desarrollo de mi Ejercicio Profesional Supervisado.

A Ing. Ovidio Pérez:

Por la asesoría y el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

A Ing. Otto Castro:

Por su amistad y apoyo en la realización de mi Ejercicio Profesional Supervisado.

A Ing. Alfredo Suárez:

Por la asesoría y el apoyo brindado para la realización de mi Ejercicio Profesional Supervisado.

A Ing. Iván Dimitri Santos:

Por la asesoría para la realización de este trabajo.

A Dr. Mario Melgar:

Por el apoyo para la realización de este trabajo y la oportunidad brindada para formar parte del personal profesional de CENGICAÑA.

A Ing. Abimael López y la Corporación Pantaleón-Concepción:

Por el apoyo brindado en permitir que se utilizará la finca Rancho Texas para la realización del trabajo de investigación.

A José López, Elizandro Ramírez y Ramón Ordoñez:

“chepito” le agradezco el cuidado del experimento, “chandon” y “chandito” su apoyo en la cosecha y al resto de personal de campo de CENGICAÑA le agradezco su apoyo en la fase experimental de la investigación.

Al personal del Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA:

Licda. Wendy de Cano, Hugo Paz, Ottoniel Saravia, Damaris Marroquín, Gerson García y Lorenzo Hernández por el apoyo para el análisis de las muestras de este trabajo.

A personal Profesional, Técnico y Administrativo de CENGICAÑA:

Por su apoyo directa o indirectamente para la realización de este trabajo.

A personal de la Agroindustria Azucarera Guatemalteca:

Por su apoyo directa o indirectamente para la realización de este trabajo.

INDICE GENERAL

Índice de figuras	vi
Índice de cuadros	viii
Resumen	xi

CAPITULO I: DIAGNÓSTICO

SITUACIÓN ACTUAL DEL PROGRAMA DE AGRONOMIA DEL CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR –CENGICAÑA- MARZO 2,007

1. Presentación	2
2. Marco teórico	3
2.1. Marco referencial	3
2.1.1 Antecedentes	3
2.1.2 Principios de CENGICAÑA	3
2.1.3 Plan estratégico 2005 – 2015	4
2.1.4 Sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2000 de CENGICAÑA	5
2.1.5 Organización de CENGICAÑA	5
2.1.6 Convenios de cooperación	7
2.1.7 Actividades de investigación, transferencia de tecnología y asesoría	8
2.1.8 Zonificación agro-ecológica (ZAE)	9
2.1.9 Estación experimental Camantulul	11
3. Objetivos	13
3.1. General	13
3.2. Específicos	13
4. Metodología	14
4.1. Entrevistas personales	14
4.2. Preguntas realizadas durante la entrevista	14
4.3. Revisión bibliográfica	15
4.4. Captura de la información	15
5. Resultados	16
5.1. Estructura del programa de agronomía	16
5.2. Funciones del programa de agronomía	16
5.3. Actividades programadas año 2007	18
5.4. Principales resultados de actividades de investigación realizadas durante la zafra 2005-2006 presentados en la Memoria. Presentación de resultados. Análisis de la zafra 2005- 2006. (ésta se entrega en agosto de cada año)	19
5.5. Principales resultados de actividades de investigación realizadas durante la zafra 2005-2006 presentados en el informe anual 2005-2006. (éste se entrega en Diciembre de cada año)	20

5.6. Comités técnicos	21
5.7. Días de campo	21
5.8. Oportunidades de mejora	22
6. Conclusiones	24
7. Bibliografía	26

CAPITULO II: INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA TOLERANCIA A LA SODICIDAD DE VARIEDADES PROMISORIAS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp. L.*) EN EL CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR –CENGICAÑA-

1. Introducción	28
2. Planteamiento del problema	30
3. Marco teórico	31
3.1. Marco conceptual	31
3.1.1 Caña de azúcar	31
3.1.2 Salinidad de los suelos como agente contaminante	41
3.1.3 Naturaleza de las sales solubles	42
3.1.4 Causas de la salinidad	42
3.1.5 Efectos del exceso de sodio sobre el suelo y las plantas	44
3.1.6 Tolerancia de las plantas al exceso de sodio del suelo	46
3.1.7 Medidas de la salinidad y de la sodicidad	47
3.1.8 Clasificación de suelos según salinidad y sodicidad	48
3.1.9 Descripción de algunos tipos de suelos según su salinidad y sodicidad	48
3.1.10 Antecedentes de estudios realizados sobre sodicidad en caña de azúcar	50
3.2. Marco referencial	52
3.2.1 Descripción general del área experimental	52
3.2.2 Descripción general del área de donde fue extraído el suelo para el experimento	52
3.2.3 Descripción de las variedades evaluadas	53
4. Objetivos	61
5. Hipótesis	61
6. Metodología	62
6.1. Selección del suelo utilizado	62
6.2. Muestreo de suelos con fines de fertilidad	62
6.2.1 Colecta del suelo para el experimento en campo	62
6.3. Preparación del suelo para análisis químico y físico y el experimento en campo	62
6.3.1 Tamizado	62
6.3.2 Secado del suelo	62
6.4. Sodificación del suelo utilizado en el experimento de campo	63
6.4.1 Cálculo de cloruro de sodio aplicado en las macetas	64
6.4.2 PSI y conductividad eléctrica de los tratamientos	65
6.5. Preparación de las macetas para la siembra de la caña	65
6.6. Siembra de las variedades	66

6.7. Manejo agronómico del cultivo	66
6.7.1 Fertilización	66
6.7.2 Riego	66
6.7.3 Control de plagas y enfermedades	66
6.7.4 Cosecha	66
6.8. Metodología experimental	67
6.8.1 Unidad experimental	67
6.8.2 Diseño de tratamientos	67
6.8.3 Diseño experimental	67
6.8.4 Croquis de la fase de campo	68
6.8.5 Variables de respuesta	68
6.8.6 Análisis de la información	71
7. Resultados y discusión	72
7.1. Biomasa fresca	72
7.2. Biomasa seca	75
7.3. Altura y número de tallos	75
7.3.1 Altura	78
7.4. Análisis de tejido foliar en hoja TVD con fines de diagnóstico nutricional	79
7.4.1 Porcentaje de sodio (% de Na)	79
7.4.2 Porcentaje de calcio (% de Ca)	80
7.4.3 Nitrógeno, magnesio, potasio y fósforo	81
7.4.4 Elementos menores	83
7.5. Raíces	83
7.5.1 Raíces peso fresco (g/maceta)	83
7.5.2 Raíces peso seco (g/maceta)	84
7.6. Análisis foliar con fines de extracción total de nutrientes	85
8. Conclusiones	88
9. Recomendaciones	88
10. Bibliografía	89
11. Anexos	92

CAPITULO III: SERVICIOS

INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS EN EL PROGRAMA DE AGRONOMÍA DEL CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR – CENGICAÑA-

SERVICIO No. 1	
MAPAS TEMÁTICOS DE FERTILIDAD Y TEXTURAS DE LOS SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DE LA COSTA SUR DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA	105
1.1. Antecedentes	106
1.2. Marco referencial	107
1.2.1 Ubicación:	107
1.3. Objetivos	107
1.3.1 General:	107

1.3.2 Específicos:	107
1.4. Metodología	108
1.4.1 Determinación del número de muestras	108
1.4.1.1 Georeferenciación de muestras	108
1.4.2 Toma de muestras	109
1.4.3 Análisis químico y físico de las muestras de suelo	109
1.4.4 Elaboración de mapas	110
1.5. Resultados	112
1.5.1 Determinación del número de muestras:	112
1.5.2 Elaboración de mapas:	113
1.6. Conclusiones	118
1.7. Recomendaciones	118
1.8. Bibliografía	118

SERVICIO No. 2

MAPAS DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DEL AÑO 2,006 DE LA ZONA CAÑERA DE LA COSTA SUR DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA	119
2.1. Antecedentes	120
2.2. Marco referencial	121
2.2.1 Ubicación:	121
2.3. Objetivos	121
2.3.1 General:	121
2.3.2 Específicos:	121
2.4. Metodología	122
2.4.1 Recopilación y análisis de la información	122
2.4.2 Determinación de la metodología de interpolación para la generación de los mapas	123
2.4.3 Elaboración de los mapas	123
2.5. Resultados	124
2.5.1 Información recopilada	124
2.5.2 Metodología para la elaboración de los mapas	124
2.5.3 Análisis efectuados	130
2.5.4 Comparación con mapas de precipitación histórica entregados en el año 2006	130
2.6. Conclusiones	140
2.7. Recomendaciones	141
2.8. Bibliografía	141

SERVICIO No. 3

BALANCE HÍDRICO 2000-2006 DE LA ZONA CAÑERA DE LA COSTA SUR DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA	142
3.1. Antecedentes	143
3.2. Marco Referencial	144
3.2.1 Ubicación:	144
3.3. Objetivos	144
3.3.1 General	144
3.3.2 Específicos:	144

3.4. Metodología	145
3.4.1 Recopilación y análisis de la información	145
3.4.2 Cálculo del 75 por ciento de probabilidad de lluvia	145
3.4.3 Generación de modelos para estimación de temperatura	146
3.4.4 Estimación de evapotranspiración potencial (ETP)	146
3.4.5 Cálculo del balance hídrico	147
3.4.6 Modelos de predicción de balance hídrico	147
3.4.7 Elaboración de los mapas	148
3.5. Resultados	148
3.5.1 Recopilación y análisis de la información	148
3.5.2 Cálculo del 75 por ciento de probabilidad de lluvia	149
3.5.3 Generación de modelos para estimación de temperatura	149
3.5.4 Estimación de temperatura de estaciones que no cuentan con esta información	150
3.5.5 Cálculo de evapotranspiración potencial (ETP)	151
3.5.6 Cálculo del balance hídrico	151
3.5.7 Generación de modelos de predicción de balance hídrico	152
3.5.8 Mapas generados	153
3.6. Recomendaciones	163
3.7. Bibliografía	163

INDICE DE FIGURAS

1. Organigrama de CENGICAÑA.	6
2. Estación experimental Finca Camantulul.	11
3. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CG96-135	55
4. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CP73-1547.	56
5. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CP72-2086.	57
6. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CP88-1165.	58
7. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad PR75-2002	59
8. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CG97-97	60
9. Ubicación del cuello, hoja TVD y porción basal de las hojas	69
10. Efecto del PSI del suelo independientemente del efecto de las variedades en la variable biomasa fresca (g/maceta)	73
11. Comparación de la biomasa fresca (g/maceta) obtenida de las variedades CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086.	74
12. Numero de tallos promedio por maceta contabilizados al momento de la cosecha en las variedades CP72-2086, CP73-1547, CP88-1165 y CG96-135	77
13. Altura promedio (cm/tallo principal) de las variedades CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086.	78
14. Concentración de Na en la hoja TVD en 8 variedades de caña de azúcar.	79
15. Peso fresco de raíces (g) entre las variedades CG96-135, CG97-97 y CP72-2086.	84
16. N total extraído (g/maceta) de las variedades CP73-1547, CP88-1165 y CP72-2086.	87
17. Extracción total de K (g/maceta) de las variedades CP88-1165, CP72-2086, CP72-1312 y CG96-135.	87
18A. Ubicación geográfica de la zona cañera Guatemalteca	92
19A. Finca Rancho Texas	93
20A. Pantes muestreados del lote 1471001 de la finca Rancho Texas	93
21A. Estación experimental CENGICAÑA	94
22A. Ubicación del proyecto dentro de CENGICAÑA	94
23. Ubicación de muestras. Primera Aproximación Mapas de Fertilidad	115
24. Ubicación de muestras. Primera Aproximación Mapas de Texturas	116
25. Ubicación de muestras. Segunda Aproximación mapas de Fertilidad y Textura. Actualizado 05/nov/07	117
26. Distribución de estaciones meteorológicas. Precipitación año 2,006	126
27. Mapa de prueba de precipitación histórica anual. Método de interpolación IDW	127
28. Mapa de prueba de precipitación histórica anual. Método de interpolación Kriging	128
29. Mapa de prueba de precipitación histórica anual. Método de interpolación Spline	129
30. Mapa de precipitación histórica hasta el año 2006 (mm) del mes de Enero	131

31. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Enero, utilizando el método <i>Kriging</i>	132
32. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Enero, utilizando el método <i>IDW</i>	133
33. Mapa de precipitación histórica hasta el año 2006 (mm) del mes de Mayo	134
34. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Mayo, utilizando el método <i>Kriging</i>	135
35. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Mayo, utilizando el método <i>IDW</i>	136
36. Mapa de precipitación histórica hasta el año 2006 (mm) del mes de Septiembre	137
37. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Septiembre, utilizando el método <i>Kriging</i>	138
38. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Septiembre, utilizando el método <i>IDW</i>	139
39. Mapa de ubicación de las estaciones utilizadas en el cálculo de Balance Hídrico (2000-2006)	153
40. Mapa de Balance Hídrico Enero (2000-2006)	154
41. Mapa de Balance Hídrico Febrero (2000-2006)	154
42. Mapa de Balance Hídrico Marzo (2000-2006)	155
43. Mapa de Balance Hídrico Abril (2000-2006)	155
44. Mapa de Balance Hídrico Mayo (2000-2006)	156
45. Mapa de Balance Hídrico Junio (2000-2006)	156
46. Mapa de Balance Hídrico Julio (2000-2006)	157
47. Mapa de Balance Hídrico Agosto (2000-2006)	157
48. Mapa de Balance Hídrico Septiembre (2000-2006)	158
49. Mapa de Balance Hídrico Octubre (2000-2006)	158
50. Mapa de Balance Hídrico Noviembre (2000-2006)	159
51. Mapa de Balance Hídrico Diciembre (2000-2006)	159
52. Mapa de Balance Hídrico Anual (2000-2006)	160
53. Mapa de Balance Hídrico Zafra (2000-2006)	160
54. Mapa de Balance Hídrico No Zafra (2000-2006)	161
55. Mapa de Balance Hídrico Entrada de época lluviosa (2000-2006)	161
56. Mapa de Balance Hídrico Canícula (2000-2006)	162
57. Mapa de Balance Hídrico Salida época lluviosa (2000-2006)	162

INDICE DE CUADROS

1. Dosis de N recomendadas en kg/ha	38
2. Dosis de P recomendadas en kg P ₂ O ₅ /ha (Primera aproximación).	38
3. Principales características de los ingenios de Guatemala	40
4. Resultados análisis químico de 2 muestras del lote 1070401 de finca Rancho Texas	53
5. Resultados análisis físico de 2 muestras del lote 1070401 de finca Rancho Texas.	53
6. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad CG96-135	55
7. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad CP73-1547	56
8. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad CP72-2086	57
9. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad CP88-1165	58
10. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad PR75-2002	59
11. Resultados en la zona baja de la variedad CG97-97	60
12. Metodologías utilizadas para el análisis químico y físico de suelos evaluados	63
13. Cálculo de la cantidad de cloruro de sodio utilizado por maceta en g.	64
14. Cálculo de cantidad de agua para hacer la solución para aplicación del cloruro de sodio.	64
15. PSI y conductividad eléctrica alcanzado en las macetas después de la aplicación de cloruro de sodio	65
16. Metodologías utilizadas para el análisis foliar	70
17. Medias de rendimiento de biomasa fresca (g/maceta) de los tratamientos evaluados	72
18. Análisis de varianza de la variable biomasa fresca (g/maceta) a la cosecha	72
19. Prueba de medias para el efecto de las variedades sobre el rendimiento de la biomasa fresca (g/maceta) independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo. (Tukey 0.05 _α)	73
20. Análisis de varianza de las variables altura (cm/tallo principal) y número de tallos al momento de la cosecha.	76
21. Prueba de medias para el efecto de las variedades en las variables altura (cm/tallo principal) y número de tallos al momento de la cosecha independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo. (Tukey 0.05 _α)	76
22. Análisis de varianza de la variable porcentaje de Ca en la hoja TVD al momento de la cosecha	80
23. Prueba de medias para el efecto de las variedades independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo para el porcentaje de Ca en la hoja TVD (Tukey 0.05 _α)	80
24. Análisis de varianza de las variables porcentaje de N, de Mg, de K y de P en la hoja TVD al momento de la cosecha	81
25. Prueba de medias para el efecto de las variedades independientemente del efecto de los niveles de PSI en las variables porcentaje de Mg y de K en la hoja TVD (Tukey 0.05 _α)	82
26. Prueba de medias para el efecto de las niveles de PSI independientemente del efecto de la variedad para el % de Mg en la hoja TVD (Tukey 0.05 _α)	82
27. Análisis de varianza, variable raíces peso fresco (g) al momento de la cosecha.	83

28. Prueba de medias para el efecto de las variedades sobre el rendimiento de raíces peso fresco (g) al momento de la cosecha independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo. (Tukey 0.05 α)	84
29. Análisis de varianza de las variables N total extraído (NTE), Ca total extraído (CaTE), Mg total extraído (MgTE) y K total extraído (KTE) (g/maceta) al momento de la cosecha	85
30. Prueba de medias para el efecto de las variedades independientemente del efecto de los niveles de PSI de las variables N total extraído, Ca total extraído, Mg total extraído y K total extraído g/maceta). (Tukey 0.05 α)	86
31. Prueba de medias para el efecto de las niveles de PSI independientemente del efecto de la variedad para la extracción total de Mg (g) (Tukey 0.05 α)	86
32A. Condiciones climáticas de CENGICAÑA	92
33A. Cálculo de sal a agregar utilizando como fuente de sodio NaCl (sal común)	95
34A. Resultados de PSI alcanzado utilizando NaCl y NaOH como fuentes de sodio.	95
35A. Medias de rendimiento de biomasa seca (g/maceta) de los tratamientos evaluados	95
36A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 21 días después de la siembra	96
37A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 42 días después de la siembra	96
38A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 63 días después de la siembra	96
39A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 84 días después de la siembra	97
40A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 105 días después de la siembra	97
41A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 140 días después de la siembra	97
42A. Número de tallos por maceta de los tratamientos evaluados al momento de la cosecha.	98
43A. Análisis foliar de % de Na en la hoja TVD al momento de la cosecha.	98
44A. Análisis foliar de % de Ca en la hoja TVD al momento de la cosecha.	98
45A. Análisis foliar de % de N en la hoja TVD al momento de la cosecha.	99
46A. Análisis foliar de % de Mg en la hoja TVD al momento de la cosecha.	99
47A. Análisis foliar de % de K en la hoja TVD al momento de la cosecha.	99
48A. Análisis foliar de % de P en la hoja TVD al momento de la cosecha.	100
49A. Análisis foliar de Cu en la hoja TVD (ppm) al momento de la cosecha.	100
50A. Análisis foliar de Zn en la hoja TVD (ppm) al momento de la cosecha.	100
51A. Análisis foliar de Fe en la hoja TVD (ppm) al momento de la cosecha.	101
52A. Análisis foliar de Mn en la hoja TVD (ppm) al momento de la cosecha.	101
53A. Peso fresco de Raíces (g) al momento de la cosecha.	101
54A. Peso seco de Raíces (g) al momento de la cosecha.	102
55A. Nitrógeno total extraído (g) al momento de la cosecha.	102
56A. Calcio total extraído (g) al momento de la cosecha.	102
57A. Magnesio total extraído (g) al momento de la cosecha.	103
58A. Potasio total extraído (g) al momento de la cosecha.	103
59A. Fósforo total extraído (g) al momento de la cosecha.	103
60. Total de muestras a analizar por ingenio.	108

61. Parámetros de clasificación del mapa pH.	110
62. Parámetros de clasificación del mapa de materia orgánica.	110
63. Parámetros de clasificación del mapa de potasio.	111
64. Parámetros de clasificación del mapa de fósforo.	111
65. Parámetros de clasificación del mapa de calcio.	111
66. Parámetros de clasificación del mapa de magnesio.	111
67. Reclasificación de la información para el mapa de texturas	112
68. Muestras a georeferenciar por cada ingenio	113
69. Valores “p” utilizados en el cálculo de ETP	147
70. Medidas de tendencia central obtenidas del cálculo del 75% de lluvia	149
71. Modelos utilizados para la estimación mensual de la temperatura media en función de la altura sobre el nivel del mar	150
72. Medidas de tendencia central obtenidas de la estimación de la temperatura utilizando modelos de predicción.	150
73. Medidas de tendencia central obtenidas de la estimación de la Evapotranspiración Potencial	151
74. Modelos de predicción de balance hídrico para la zona cañera de la costa sur de Guatemala por debajo de los 700 msnm	152

Evaluación de la tolerancia a la sodicidad de variedades promisorias de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) y servicios agronómicos 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-. A través de un diagnóstico se observó que se el programa se divide en cinco áreas, cuatro de investigación (Fertilización y Nutrición Vegetal, Riegos, Sistemas de Información Agronómica –SIG- y Agrometeorología) y una de apoyo (Laboratorio Agronómico).

Entre sus funciones están: Fertilización evaluar requerimiento y dosis de N, calibración de dosis de P y K, evaluación de S-N, evaluación de micronutrientes, fraccionamiento y dosis de P, evaluación de aplicaciones de vinaza, evaluación de leguminosas como abonos verdes; SIG elaborar la zonificación agro-ecológica, generar mapas temáticos de fertilidad y clima, impulso de las herramientas de agricultura de precisión, generación de información cartográfica digital; Riegos establecer el uso óptimo del riego a través de recomendaciones para saber ¿cuánto, cuándo y cómo regar? e hidrometría de cuencas; Agrometeorología el manejo del sistema de información agrometeorológica, vigilancia meteorológica e informes especiales; Laboratorio agronómico realizar análisis de suelos y tejidos foliares y análisis de jugo de caña.

En las nuevas zonas donde está sembrada caña de azúcar se han observado suelos con alto contenido de sodio, los tratamientos convencionales utilizados para desplazar el sodio del suelo con el uso de enmiendas (yeso) y lavado es difícil en estas áreas debido a la dificultad de drenar principalmente por la presencia de niveles freáticos superficiales característicos de estas zonas. El sodio en altos niveles causa problemas de degradación física de los suelos y toxicidad a las plantas de caña.

Ante esta situación se realizó una investigación donde preliminarmente se evaluaron variedades promisorias de caña de azúcar con respecto a su tolerancia a la sodicidad. El suelo analizado se extrajo de la finca Rancho Texas de la Corporación Pantaleón-Concepción (14°00'33.17"N y 91°05'46.41"O) altitud de 12 msnm. El tipo de suelo que se utilizó pertenece al Complejo Pacífico-Caulote que está compuesto por los conjuntos Pacífico (*Fluventic Hapludolls* –franca gruesa

MOLLISOL) y el conjunto Caulote (*Typic Ustifluvents* – arenosa ENTISOL). La fase de campo se desarrolló en las instalaciones de CENGICAÑA (14°19'50.53"N y 91°03'19.51"O) altitud 300 msnm.

El diseño de tratamientos utilizado fué el factorial 6 x 8, compuesto por los factores A=Niveles de Sodio (6 niveles: 0 testigo, 9, 15, 20, 25 y 35 PSI) y B=Variedades (8 variedades: CG96-135, CG97-97, CP72-1312, CP73-1547, CP88-1165, PR75-2002, Co-419 y CP72-2086 testigo-) evaluados bajo un diseño experimental completamente al azar. Cada unidad experimental fué 1 maceta de 12.5 Kg. de suelo seco; las variables de respuesta fueron biomasa fresca y seca; altura y número de tallos; análisis en la hoja TVD (Top Visible Dewlap o primer cuello visible) donde se obtuvieron las concentraciones de Na, N, Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe y Mn; extracción total de nutrientes (N, Ca, Mg, K y P); peso de raíces fresco y seco. El análisis de los datos se realizó con un Análisis de Varianza y cuando existía diferencia significativa se utilizó la prueba de medias de Tukey utilizando como comparador la Diferencia Significativa Honesta (DHS) con 0.05 de nivel de significancia.

A los 140 días después de la siembra (momento del corte) al analizar el rendimiento de biomasa fresca; en promedio se observaron disminuciones del 10 por ciento para la variedad CP73-1547, 25 por ciento para la variedad CP88-1165 y de 34 por ciento para la variedad CP72-2086. El Na en las variedades evaluadas en forma general aumentó su concentración conforme aumentó el sodio en el suelo. Las variedades CP88-1165 y CP73-1547 presentaron menor porcentaje de Ca en la hoja que la variedad CP72-2086. La variedad CP88-1165 presentó el mayor contenido de K. Las que extrajeron la mayor cantidad de nutrientes fueron las variedades CP73-1547 y CP88-1165.

Por lo cual se recomienda establecer un ensayo en campo definitivo con las variedades CP73-1547 y CP88-1165 en condiciones de suelos sódicos.

También se realizaron servicios de apoyo en el área de Sistemas de Información Geográfica:

1.- Segunda aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas de los suelos de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala. 2.- Mapas de precipitación pluvial del año 2006 de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala. 3.- Balance Hídrico 2000-2006 de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala. Los mapas elaborados se entregaron en formato electrónico para Acrobat Reader (PDF) y en formato de ESRI Grid para su utilización y manipulación en ArcGIS.

CAPITULO I

**SITUACIÓN ACTUAL DEL PROGRAMA DE
AGRONOMÍA DEL CENTRO GUATEMALTECO DE
INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE
AZÚCAR -CENGICAÑA-
MARZO 2,007**

1. Presentación

El Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) fué fundado en 1992, funciona con aportes económicos de los Ingenios Azucareros, proporcionales a la producción de azúcar, constituyéndose así en el único centro de investigación en el país que funciona con fondos de la iniciativa privada.

Las líneas de investigación a desarrollar cada año son definidas y coordinadas por el Comité Técnico Asesor (CTA) conformado por los Gerentes Agrícolas de los ingenios asociados a CENGICAÑA. La programación de los proyectos queda plasmada en el Plan Operativo de cada área de los cuatro programas que forman el centro. Dichos programas son: Variedades, Manejo Integrado de Plagas (MIP), **Agronomía** y Transferencia de Tecnología y Capacitación.

Este diagnóstico fué elaborado en el programa de Agronomía, en el período comprendido entre febrero y marzo del año 2007, como parte del Ejercicio Profesional Supervisado. En éste se describe la estructura organizacional del programa, las funciones, las actividades programadas para el año 2007, las oportunidades de mejora y se hace mención de los principales logros obtenidos durante el año 2006 (Análisis de la Zafra 2005-2006)

Las áreas en que se divide son: 1.- Fertilidad y Nutrición Vegetal que realiza estudios de suelos, requerimientos, uso y manejo de fertilizantes, uso y manejo agronómico de subproductos de la caña y rotación de cultivos. 2.- Riegos se encarga de evaluar la eficiencia técnica y económica del riego, niveles freáticos y la hidrometría de cuencas. 3.- Agrometeorología es la encargada de la operación de la red meteorológica y del sistema de información agrometeorológica, análisis y aprovechamiento de la información climática. 4.- Sistemas de Información Geográfica se encarga de la elaboración de mapas temáticos de fertilidad y texturas, climatológicos, etc., zonificación de áreas homogéneas de manejo, impulso de la agricultura de precisión y el apoyo a otros programas. El Laboratorio Agronómico es un apoyo del Programa de Agronomía, en el cual se realizan análisis físicos y químicos de suelos y plantas así mismo análisis de jugos de caña.

2. Marco teórico

2.1. Marco referencial

2.1.1 Antecedentes

La creación de un Centro de Investigación y Capacitación en el cultivo de la caña de azúcar es una idea que se empezó a gestar en la Asociación de Azucareros de Guatemala –ASAZGUA-, a mediados de la década de 1980, donde surgió la necesidad de mejorar la producción y la productividad del cultivo dada la importancia de la Agroindustria Azucarera en lo económico y social para el país. (Buenaventura 1992)

Con el propósito de prevalecer los elementos característicos de la agroindustria observados hasta la zafra 1989/90, en 1990 la Junta Directiva de ASAZGUA decide la creación del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar bajo las siglas de CENGICA; durante el año 1991 se efectuó un diagnóstico tecnológico el cual determinó los elementos constitutivos para establecer dicho centro. Posteriormente en enero de 1992, ASAZGUA decide fundar el Centro, procediéndose a la implementación inmediata, especialmente en selección y contratación de personal profesional y equipo básico. En febrero de 1995, la Junta Directiva aprobó las siglas con las que se conoce actualmente el centro: CENGICAÑA. La inauguración del centro como tal (infraestructura actual) ocurrió el día 26 de abril de 1996 contando con la participación del presidente de la República Lic. Álvaro Arzú. (CENGICAÑA 1996)

2.1.2 Principios de CENGICAÑA

2.1.2.1 Visión

“Satisfacer los requerimientos tecnológicos de la Industria Azucarera trabajando como una organización interdisciplinaria de investigación para generar, adaptar y transferir tecnología de calidad y alta rentabilidad, cuya dinámica y eficiencia la coloquen como entidad competitiva a nivel internacional”

2.1.2.2 Misión

“Es la organización responsable de generar, adaptar y transferir tecnología de calidad para el desarrollo rentable y sostenible de la Industria Azucarera de la región”

2.1.3 Plan estratégico 2005 – 2015

A partir de la elaboración del plan estratégico 2005 – 2015 la misión (del plan) es:

“Somos la organización de la Agroindustria Azucarera responsable de generar, adaptar y transferir tecnología de calidad para el desarrollo rentable y sostenible de sus asociados”

El Centro tiene como objetivos estratégicos:

1. Aumentar la rentabilidad del negocio a través de la mejora continua de los procesos de Variedades, Manejo Integrado de Plagas, Biotecnología, Fertilización, Riegos, Agrometeorología y Sistemas de Información Geográfica.
2. Evaluar e implementar nuevos programas de investigación en CAT (Corte, Alce y Transporte), fábrica, cogeneración, subproductos y transportes.
3. Mejorar la transferencia de tecnología a los ingenios asociados a través de capacitación, divulgación y promoción de los procesos de Benchmarking en campo, fábrica y CAT.
4. Asegurar la satisfacción de los asociados con tecnologías para mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad y *mantener el Sistema de Gestión de la Calidad certificado de acuerdo a la Norma ISO 9001:2000.*
5. Desarrollar un programa continuo de educación, formación y actualización del personal profesional y técnico de CENGICAÑA. (CENGICAÑA 2007)

2.1.4 Sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2000 de CENGICAÑA

En el plan estratégico 2005-2015 lo concerniente al objetivo estratégico 4 se menciona lo del Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001:2000; la certificación del sistema se obtuvo por parte de la Junta Directiva el 8 de enero del 2007, habiéndose llevado a cabo la Auditoria de Certificación los días 2 y 3 de Noviembre del 2006. Lo cual da origen a un alcance y una política de calidad a implementar por parte del Centro; siendo estos:

2.1.4.1 Alcance

“Investigación y desarrollo de variedades de caña de azúcar y tecnologías en manejo integrado de plagas, fertilización, riegos y capacitación para la agroindustria azucarera”

2.1.4.2 Política de calidad

Nuestro compromiso es:

“Desarrollar variedades de caña de azúcar, tecnologías en manejo integrado de plagas, fertilización, riegos y capacitación y transferirlas a nuestros clientes, mejorando continua y sosteniblemente la eficacia de nuestro sistema”

2.1.5 Organización de CENGICAÑA

CENGICAÑA funciona con aportes de 14 ingenios azucareros de Guatemala, proporcionales a la producción de azúcar de cada uno de ellos, el único que no está asociado es ingenio El Pilar.

Las líneas de investigación son definidas por el Comité Técnico Asesor –CTA-, (comité formado por los Gerentes Agrícolas de cada Ingenio) con quienes se desarrolla coordinadamente investigación aplicada y específica.

El nivel gerencial está conformado por la Asamblea General y la Junta Directiva. La primera conformada por un representante de nivel gerencial de cada uno de los ingenios y la segunda por personas electas específicamente para tal efecto. La coordinación de las actividades de CENGICAÑA está a cargo de la Dirección General.

2.1.5.1 Estructura organizacional de CENGICAÑA

La estructura organizacional de CENGICAÑA se presenta en la Figura 1.

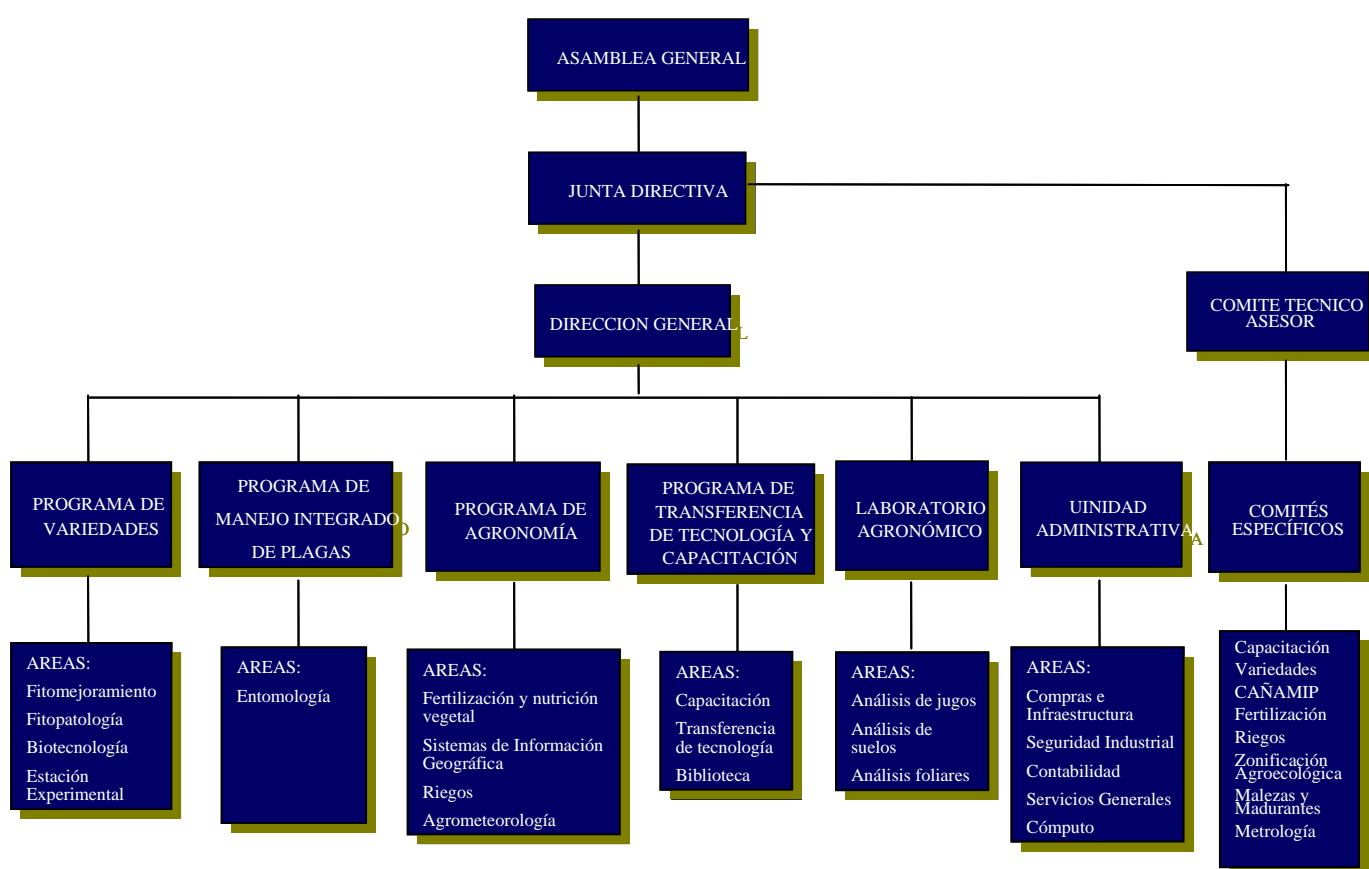


Figura 1. Organigrama de CENGICAÑA.
Fuente: CENGICAÑA 2007

2.1.6 Convenios de cooperación

CENGICAÑA mantiene nexos de cooperación o colaboración con las siguientes instituciones:

2.1.6.1 Nivel internacional

- Brasil, CTC (Centro de Tecnología Canabeira)
- Colombia, CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar)
- Costa Rica, DIECA (Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar)
- Cuba, INICA (Instituto Nacional de Investigación de la Caña de Azúcar)
- Estados Unidos, CANAL POINT, Louisiana
- Francia, CIRAD (Centre de Coopérati3n Internationale an Recherche Agroromique pour le Developpement).
- México, Cámara de la Industria Azucarera.

2.1.6.2 Grupos internacionales

- ISSCT: International Society of Sugarcane Technologists
- ICSB: International Consortium of Sugarcane Biotechnology.

2.1.6.3 Nivel nacional

- Universidad de San Carlos de Guatemala
- Universidad Rafael Landívar
- INTECAP: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad.
- CONCYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.
- Escuela Nacional Central de Agricultura

2.1.7 Actividades de investigación, transferencia de tecnología y asesoría

2.1.7.1 Programa de agronomía

- Estudios de suelos
- Requerimientos uso y manejo de fertilizantes
- Uso y manejo agronómico de subproductos de la caña y rotación de cultivos
- Evaluación de la eficiencia técnica y económica del riego
- Hidrometría de cuencas
- Operación de la red meteorológica y del sistema de información agrometeorológica
- Análisis y aprovechamiento de la información climática
- Elaboración de mapas temáticos de clima
- Elaboración de mapas temáticos de fertilidad y texturas
- Zonificación de áreas homogéneas de manejo
- Impulso de la agricultura de precisión
- Análisis físicos y químicos de suelos
- Análisis de jugos de caña.

2.1.7.2 Programa de variedades

- Recurso genético
- Intercambio de variedades
- Colecciones de germoplasma
- Colección nacional
- Colección de trabajo
- Hibridación y producción de semilla sexual
- Ciclo de cruzamientos 2005 – 06
- Producción de plántulas (seedlings)
- Marcadores moleculares
- Recurso genético en cuarentena
- Desarrollo y manejo varietal
- Enfermedades en variedades en pruebas regionales

2.1.7.3 Programa de manejo integrado de plagas

- Barrenadores del tallo
- Chinche salivosa (*Aeneolamia postica*, Homoptera:Cercopidae)
- Complejo de plagas de la raíz
- Roedores

2.1.7.4 Transferencia de tecnología y capacitación

- Implementación del programa de capacitación
- Implementación del plan de transferencia de tecnología
- Promoción e integración dentro de la industria azucarera
- Biblioteca

2.1.8 Zonificación agro-ecológica (ZAE)

La necesidad de contar con información que permita una mejor comprensión de fenómenos climáticos como la lluvia, sumada a la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas informáticas, ha impulsado la elaboración de un proyecto a nivel gremial que permita la recopilación y análisis de información climática para la elaboración de mapas temáticos de los grupos de humedad, grupos de suelos y grupos de producción. Estos mapas tienen como objetivo ser herramientas que colaboren en la planificación de estrategias del manejo del cultivo de la caña de azúcar a nivel de la agroindustria azucarera de Guatemala lo cual es posible lograrlo incluyendo dentro del programa de agronomía de CENGICAÑA el área de zonificación agro-ecológica.

En el proyecto de ZAE, se continuó con la recopilación de información de toda la zona cañera para la elaboración de los componentes de los grupos de humedad, grupos de suelos y grupos de producción. En el caso del componente de grupos de humedad se tiene una primera versión del mapa de balance hídrico hasta el año 1999; actualmente se está elaborando una segunda versión con datos climáticos de los años 2000-2006 se espera tenerlo finalizado para el primer trimestre del 2007.

Con respecto al componente de suelos, se cuenta con el “Estudio semi-detallado de suelos de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala”, el cual fue digitalizado y corregido para su uso en aplicaciones en áreas de fertilidad y riegos y entregado a los usuarios en reunión del comité de ZAE.

Finalmente, para el componente de los grupos de producción se requiere de información a nivel de fincas y lotes, para con ello poder elaborar mapas de curvas de rendimientos y composición varietal que servirán como insumos para el mapa final de grupos de producción; la coordinación de la recopilación de esta información se definirá con el comité de ZAE.

2.1.8.1 Área de sistemas de información geográfica

Durante el período 2005-2006, el área de zonificación agro-ecológica pasó a formar un proyecto contenido dentro de la nueva área de sistemas de información geográfica; esto con el fin de dar cabida a un mayor número de proyectos relacionados con el desarrollo de tecnologías de agricultura de precisión para la agroindustria azucarera de Guatemala.

2.1.8.2 Generación de información cartográfica digital

Dentro de los convenios de intercambio de información digital, este año se logró tener una base de datos digital bastante amplia y con información importante para el desarrollo de programas de apoyo a la toma de decisiones en el manejo del cultivo de la caña de azúcar. Producto de estos convenios (principalmente con el MAGA), se cuenta –entre otros- con el modelo de elevación digital de la República de Guatemala, escala 1:50,000 y el mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, escala 1:50,000.

Por aparte dentro de las actividades del área, se ha apoyado a varios ingenios en la generación de información digital de muestreos de lotes y fincas; además que se han elaborado mapas de la ubicación de estaciones meteorológicas automáticas y convencionales, red vial, cuencas hidrográficas, etc.

2.1.9 Estación experimental Camantulul

Esta estación experimental esta anexa a las instalaciones de CENGICAÑA, ocupa un total de 61.46 hectáreas; habiendo sido desmembrada de la finca Camantulul; se localiza en el estrato centro de la zona cañera de Guatemala, en las coordenadas 14°19'48" latitud norte y 91°03'16" longitud oeste, en el kilómetro 92.5 carretera CA-1 en el municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa del departamento de Escuintla. La estación experimental está distribuida en 29 lotes, con áreas que varían de 1.24 a 3.17 hectáreas. (Figura 2).

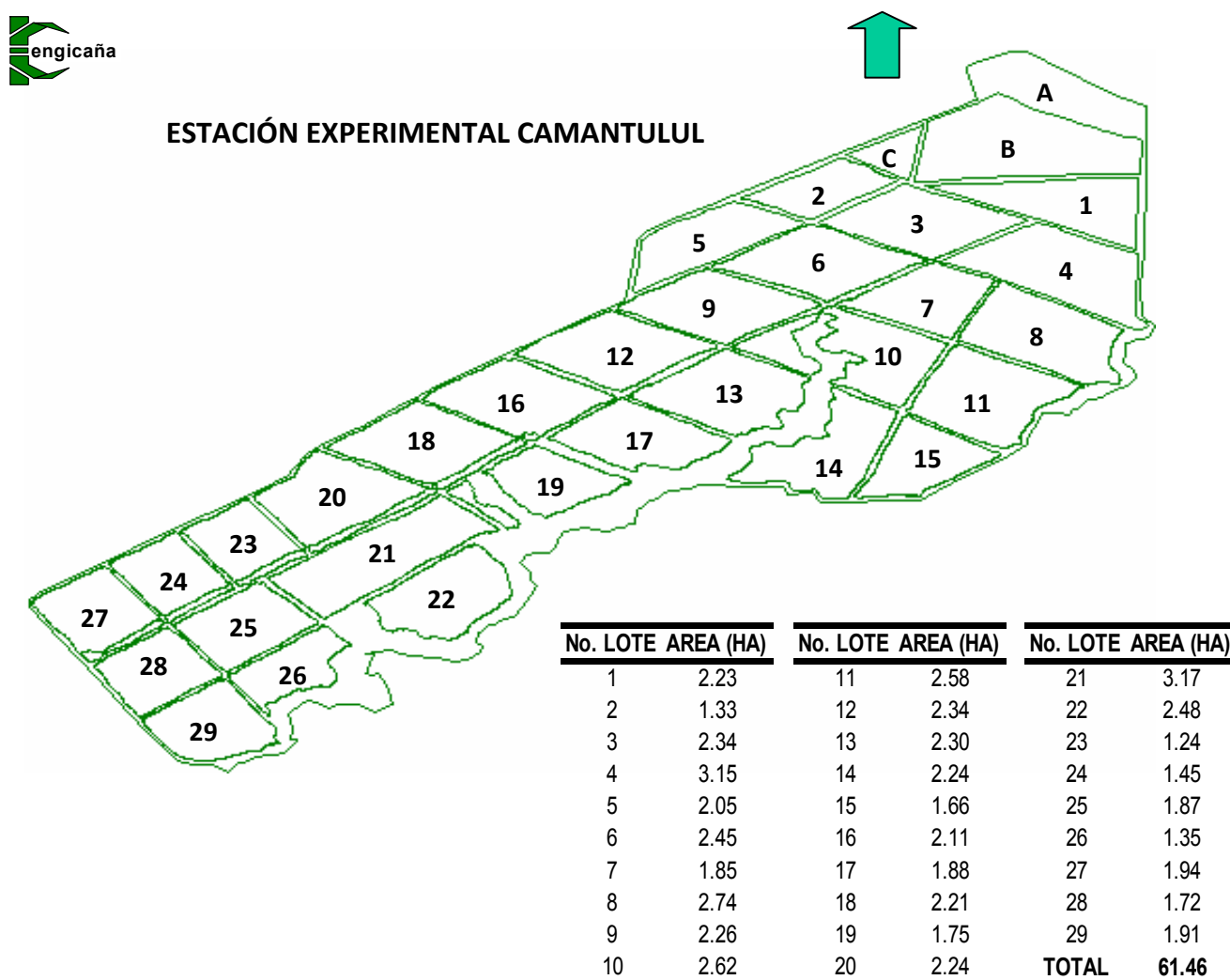


Figura 2. Estación experimental Finca Camantulul.
Fuente: Programa de Agronomía. CENGICAÑA

En el área de edificios se cuenta con laboratorios de biotecnología, entomología, fitopatología, laboratorio agronómico, biblioteca, salones para transferencia de tecnología y capacitación; también se cuenta con 2 casas de foto período y una casa de cruzamiento sexual de plantas.

2.1.9.1 Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas promedio del año 2006 fueron las siguientes:

Precipitación pluvial	4,144 mm
Temperatura máxima	32.3 °C
Temperatura media	25.6 °C
Temperatura mínima	20.5 °C
Humedad Relativa	82.9 %
Evaporación	4.49 mm

Fuente: Área de agrometeorología, programa de agronomía, CENGICAÑA.

2.1.9.2 Edafología

Los suelos de la estación experimental son del orden Andisol, serie Camantulul, originados de cenizas volcánicas, cementadas de color claro, relieve ligeramente plano, drenaje interno moderado, café oscuro, textura franco arcillosa, consistencia friable y de un espesor aproximadamente de 25-50 cm. (CENGICAÑA 1996)

3. Objetivos

3.1. General

Describir la situación actual del programa de agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar –CENGICAÑA-

3.2. Específicos

- Describir la estructura organizacional del Programa de Agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar – CENGICAÑA-.
- Describir las funciones del Programa de Agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-.
- Describir la temática de investigación a realizarse durante el año 2007 para cumplir el plan operativo del Programa de Agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-.
- Describir las oportunidades de mejora que se tienen para el año 2007 en el Programa de Agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-, con las cuales se pueda colaborar con la realización de servicios y el trabajo de investigación durante el Ejercicio Profesional Supervisado.

4. Metodología

Tomando como punto de partida los proyectos de investigación por área del Programa de Agronomía, y considerando que la meta fundamental de CENGICAÑA es proveer de productos tecnológicos para mejorar la productividad del cultivo de la caña de azúcar en Guatemala, se realizó el siguiente procedimiento:

4.1. Entrevistas personales

Se realizaron entrevistas personales al personal profesional del Programa de Agronomía, la cual fue estructurada con un formato abierto con solamente 6 preguntas previamente formuladas y el resto de la entrevista se realizó de acuerdo al criterio de los profesionales de manera que permitiera obtener mayor información.

4.2. Preguntas realizadas durante la entrevista

- 1.- ¿Cuál es la función del área bajo su cargo dentro del programa de Agronomía?
- 2.- ¿Cuáles fueron las líneas de investigación que realizó en el período Enero-Diciembre 2,006?
- 3.- ¿Cuál fue su principal aporte a la industria azucarera el año pasado dentro de su rama de investigación?
- 4.- ¿Cuales son las líneas de investigación que realizará en el período Enero-Diciembre 2,007?
- 5.- ¿Cuál es su principal objetivo de investigación para el año 2007?
- 6.- ¿Cuáles son sus oportunidades de mejora de acuerdo al SGC para el año 2007?

Personal profesional del programa de agronomía de CENGICAÑA (Marzo 2007)

Coordinador / Fertilización y Nutrición Vegetal	Ing. Ovidio Pérez
Sistemas de Información Geográfica	Ing. Alfredo Suárez
Riegos	Ing. Otto Castro
Agrometeorología	Ing. Jorge Sánchez
Laboratorio Agronómico	Licda. Wendy de Cano

4.3. Revisión bibliográfica

Se utilizaron documentos que se encuentran en la Biblioteca de CENGICAÑA con los cuales se pudo conocer la historia del centro desde su fundación; los consultados fueron:

- Guía de Inauguración de la Sede del Centro. CENGICAÑA 1996
- Documento conmemorativo de la inauguración del edificio de CENGICAÑA 1996
- Estudio para la conformación del Centro de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar de Guatemala. Buenaventura 1992

También se utilizaron Informes, estudios, diagnósticos previamente realizados sobre el Programa de Agronomía de CENGICAÑA; Memorias de Presentación de resultados Zafra 1996/97 hasta Zafra 2005/06, además los Informes Anuales de 2000 hasta 2006 en los cuales se encuentra la información necesaria sobre los principales resultados obtenidos de parte del programa de Agronomía en la investigación planteada en el plan estratégico 2005-2015, el cual es el que rige la temática a investigar que se debe cumplir y la cual es la que demandan los clientes de CENGICAÑA que son los ingenios azucareros de Guatemala

Así mismo se utilizó el Plan Operativo 2,007 del área de Sistemas de Información Geográfica, para conocer las actividades que se tienen que realizar y en las cuales se brindará apoyo durante la realización del E. P. S., principalmente en lo concerniente a los servicios a prestar.

4.4. Captura de la información

La información que se iba recopilando a lo largo del proceso se anotó en la libreta de campo para llevar su registro, se ingresó la información de manera periódica a la computadora proporcionada por CENGICAÑA para la realización de las labores encomendadas.

5. Resultados

5.1. Estructura del programa de agronomía

El Programa de Agronomía de CENGICAÑA se encuentra estructurado de la siguiente manera:

- | | |
|---|--|
| • Coordinador / Fertilización y nutrición vegetal | Ing. Ovidio Pérez
Ing. Fernando Hernández* |
| • Sistemas de información geográfica | Ing. Alfredo Suárez |
| • Riegos | Ing. Otto Castro
P. Agr. Carlos Rosales* |
| • Agrometeorología | Ing. Jorge Sánchez
Br. Manuel Maltéz* |
| • Laboratorio agronómico | Licda. Wendy de Cano
Br. Hugo Paz*
Br. Ottoniel Saravia* |

(* Técnicos)

5.2. Funciones del programa de agronomía

A Fertilización y nutrición vegetal

- Requerimiento de nitrógeno de variedades promisorias
- Validación de dosis de nitrógeno
- Calibración de fósforo y potasio
- Evaluación de azufre – nitrógeno

- Evaluación de micronutrientes
- Fraccionamiento y dosis de fósforo en Andisoles
- Evaluación de las aplicaciones de vinaza y nitrógeno en el cultivo de caña de azúcar en un suelo Andisol
- Evaluación de leguminosas como abonos verdes

B Sistemas de información geográfica

- Zonificación agro-ecológica (ZAE)
- Mapas temáticos
- Impulso de las herramientas de agricultura de precisión.
- Generación de información cartográfica digital.

C Riegos

- Uso óptimo del riego
 - Eficiencia técnica y económica del riego ¿Cuánto y cuándo regar?
 - Eficiencia técnica y económica de métodos de riego ¿Cómo regar?
- Cuencas hidrográficas
 - Hidrometría de cuencas

D Agrometeorología

- Sistema de Información agrometeorológica
- Vigilancia meteorológica e informes especiales
- Apoyo a la comisión de Medio Ambiente de ASAZGUA

E Laboratorio agronómico

- Análisis de suelos y tejidos foliares
- Análisis de jugo de caña (Brix y Pol) (CENGICAÑA 2007)

5.3. Actividades programadas año 2007

Las actividades que se tienen que llevar a cabo dentro del Programa de Agronomía de CENGICAÑA durante el año 2007 están enmarcadas en el Plan Estratégico 2005-2015, el cual fué elaborado durante los meses de marzo y abril de 2005 en trabajo conjunto con el Comité Técnico Asesor y la Junta Directiva de CENGICAÑA, en el cual se plantearon los principales proyectos a realizar durante ese período siendo los concernientes al Programa de Agronomía los siguientes:

- a) Disponer de mapas digitalizados, en línea e impresos de la zonificación agroecológica de la región cañera y con versiones actualizadas de mapas temáticos de fertilidad, clima, riegos, variedades y plagas.
- b) Que los ingenios hayan adoptado la dosis optima económica de Nitrógeno en el 90% de las áreas bajo su administración.
- c) Tener al menos una especie de leguminosa u otro cultivo adaptada y adecuada para cultivo de rotación en el sistema de producción de caña de azúcar.
- d) Lograr que los ingenios estén aplicando los componentes tecnológicos (lámina, frecuencia y métodos) para la optimización del recurso hídrico en el área con riego en la zona cañera.
- e) Disponer de información hidrométrica de 7 años de las cuencas “Coyolate y Achiguate”, base para la toma de decisiones sobre manejo integrado del recurso hídrico.
- f) Que todos los ingenios asociados dispongan de acceso rápido y confiable a la información y análisis derivado de la red de estaciones meteorológicas fortaleciendo así su toma de decisiones y el cumplimiento de las regulaciones ambientales y elaboración de modelos de pronóstico de rendimiento.

- g) Acreditar el laboratorio agronómico bajo la Norma ISO 17025 en las metodologías de análisis de jugos.

5.4. Principales resultados de actividades de investigación realizadas durante la zafra 2005-2006 presentados en la Memoria. Presentación de resultados. Análisis de la zafra 2005- 2006. (ésta se entrega en agosto de cada año)

En la Memoria *Presentación de resultados de investigación Zafra 2005-2006*, se detallan las investigaciones que desarrolló el Programa de Agronomía, siendo las siguientes:

- a) Respuesta de variedades promisorias de caña de azúcar a nitrógeno en plantía.
- b) Evaluación de las aplicaciones de vinaza y nitrógeno en el cultivo de caña de azúcar en un suelo Andisol. Primer ciclo de evaluación.
- c) Efectos del distanciamiento de surcos y densidades de siembra en la producción de caña de azúcar en dos ciclos, en la zona baja de la región cañera de Guatemala.
- d) Primera aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas.
- e) 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”, La Unión)
- f) Recomendaciones técnicas y económicas para la aplicación del riego en caña de azúcar.
- g) Índices hidrométricos noviembre 2005 – abril 2006, cuencas Coyolate y Achiguate, zona cañera guatemalteca.
- h) Los sistemas de riego en la zona cañera guatemalteca, sus innovaciones y formas de uso del recurso hídrico.

- i) Condiciones meteorológicas relevantes observadas en el año 2005 en la zona cañera.
- j) Aplicaciones de la red de estaciones y los pronósticos climáticos en la producción de caña de azúcar en Guatemala.
- k) Consecuencias del paso del huracán Stan en octubre 2005 en la zona cañera guatemalteca.

5.5. Principales resultados de actividades de investigación realizadas durante la zafra 2005-2006 presentados en el informe anual 2005-2006. (éste se entrega en Diciembre de cada año)

Los principales resultados de investigación reportados en el Informe Anual 2005-2006 en el programa de agronomía de CENGICANA fueron los siguientes:

- a) Se identificaron dos especies de leguminosas que respondieron adecuadamente para su uso en rotación con caña de azúcar en semilleros.
- b) De las variedades promisorias se determinó que no hay respuesta de éstas a las aplicaciones de nitrógeno en plantía.
- c) En vinaza, se estimó en 80 metros cúbicos por hectárea la dosis máxima, la cual es rentable.
- d) El 27 de abril de 2006 se entregó la primera aproximación de mapas temáticos de fertilidad y textura.
- f) En conjunto con el ingenio La Unión, se desarrolló el uso del balance hídrico en pivotes fijos, para la optimización del uso del agua.

- g) Se concluyó con las etapas iniciales de las recomendaciones técnicas y económicas para la aplicación del riego en caña de azúcar, estas recomendaciones promisorias iniciarán su validación comercial en la zafra 2006-07.
- h) Por tercer año consecutivo se realizó el estudio de hidrometría de las cuencas Coyolate y Achiguate.
- i) Se elaboraron informes sobre el comportamiento de las principales variables climáticas.

5.6. Comités técnicos

Es importante mencionar la existencia de comités técnicos de algunas áreas del programa siendo éstas: Riegos, Fertilidad y Nutrición Vegetal y Sistemas de Información Geográfica, dichos comités están integrados por el profesional respectivo de las áreas de CENGICAÑA y por un representante titular y un suplente de cada uno de los ingenios de la agroindustria azucarera, estos comités se reúnen periódicamente según lo consideren necesario los miembros del mismo y en las reuniones se definen las investigaciones que se realizarán durante cierto período de tiempo (pudiendo ser 1 año calendario, 1 período de zafra, entre otros), además se utilizan para transferencia de nuevas tecnologías que se adquieren en los distintos ingenios y lo más importante definir las líneas de investigación que se requieren realice CENGICAÑA.

5.7. Días de campo

Son actividades que se realizan bajo la coordinación de CENGICAÑA donde participan los miembros de cada comité; se utilizan para transferencia de tecnología ya sea avances, tecnologías promisorias o tecnologías validadas de un ingenio. Se convoca a la reunión en el punto de interés y los encargados del ingenio anfitriones o el profesional de CENGICAÑA se encargan de impartir una charla en el lugar a los miembros del comité lo cual les sirve para tomar una decisión de implementarla o no según la conveniencia en sus respectivos ingenios.

5.8. Oportunidades de mejora

De acuerdo al Sistema de Gestión de la Calidad de CENGICAÑA se realiza cada año en el mes de noviembre la evaluación de la satisfacción del cliente, a través de una consulta al Comité Técnico Asesor que emita su opinión del trabajo realizado durante el año, como resultado de esta consulta se establecen las oportunidades de mejora y las quejas para cada área y en estas se propone que acciones tomará CENGICAÑA con estas oportunidades.

En la evaluación realizada en noviembre 2,006 resultaron que las oportunidades de mejora, quejas y las acciones a tomar para el año 2007 son:

Proceso	Comentario	Quejas	Acciones
Fertilización (Desarrollar por lo menos una tecnología promisoría y una recomendación en fertilización)	Fertilización a nivel de bloques de manejo		Comité de Fertilización
	Fertirrigación		Plan Operativo 2007
		Elementos menores	Plan Operativo 2007
Riegos (Desarrollar por lo menos una tecnología promisoría y una recomendación en riegos)	Aumentar el número de experimentos		Plan Operativo 2007
	Mayor transferencia de tecnología		Plan Operativo 2007
	Validar curvas de respuesta		Comité de riegos
		Se necesita más liderazgo	Plan de Formación 2007
		Reactivar comité de riegos	Plan Operativo 2007
Zonificación Agro-ecológica (Disponer de mapas temáticos de fertilidad y riegos)	Estudios a nivel de detalle		Comité de Zonificación
	Aumentar muestreos		Comité de Zonificación
Agrometeorología (Disponer de acceso a la información y análisis derivado de la red meteorológica)	Software para utilizar información en cada ingenio		Presentación de resultados
	Nueva zona de ingenio Guadalupe		Plan Operativo 2007
		Pronóstico de	Plan Operativo 2007

		rendimientos	
		Pronóstico de floración	Plan Operativo 2007
		Reparar las estaciones dañadas	Gestiones ya realizadas

De estas oportunidades de mejora surgieron los servicios que se desarrollaron durante el Ejercicio Profesional Supervisado; de esta manera se planteo para el caso de los servicios realizados en apoyo al área de Sistemas de Información Geográfica, realizar la segunda aproximación de mapas de fertilidad y texturas (respuesta de aumentar el numero de muestreos); y para realizar estudios a nivel de detalle se determinó realizar el Balance Hídrico 2000-2006 y los mapas de temperatura de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala.

Para el caso de la investigación realizada, surge de una reunión del comité específico de fertilidad; donde se planteó la necesidad de elaborar un estudio de tolerancia a la sodicidad de variedades promisorias de caña de azúcar.

6. Conclusiones

- El Programa de Agronomía de CENGICAÑA está estructurado por 4 áreas de investigación y 1 de servicio; las áreas de investigación son: Fertilidad y Nutrición Vegetal, Agrometeorología, Sistemas de Información Geográfica y Riegos; el área de servicio es el Laboratorio de análisis de suelos y plantas. Cada área cuenta con un especialista del tema y un técnico que colabora en la realización de labores y objetivos.
- El Programa de Agronomía tiene como función principal desarrollar una tecnología promisorio y una recomendación en riegos y fertilidad para la agroindustria azucarera, facilitar la disponibilidad de datos meteorológicos actualizados y elaborar mapas de interés y de forma periódica de la zona cañera de Guatemala.
- Los principales temas de investigación a realizarse por el Programa de Agronomía durante el año 2,007 serán:
 - a) Disponer de mapas digitalizados, en línea e impresos de la zonificación agroecológica de la región cañera y con versiones actualizadas de mapas temáticos de fertilidad, clima, riegos, variedades y plagas.
 - b) Tener al menos una especie de leguminosa u otro cultivo adaptada y adecuada para cultivo de rotación en el sistema de producción de caña de azúcar.
 - c) Lograr que los ingenios estén aplicando los componentes tecnológicos (lámina, frecuencia y métodos), para la optimización del recurso hídrico en el área con riego en la zona cañera.
 - d) Que todos los ingenios asociados dispongan de acceso rápido y confiable a la información y análisis derivado de la red de estaciones meteorológicas fortaleciendo

así su toma de decisiones y el cumplimiento de las regulaciones ambientales y elaboración de modelos de pronóstico de rendimiento.

- e) Acreditar el Laboratorio Agronómico bajo la Norma ISO 17025 en las metodologías de análisis de jugos.

- A través de las oportunidades de mejora planteadas por el comité técnico asesor en la evaluación de noviembre 2006 y a la reunión del comité específico de fertilidad se establecieron los servicios y la investigación a realizar durante el ejercicio profesional supervisado; siendo estos:
 - Segunda aproximación de mapas de fertilidad y texturas (en respuesta a la oportunidad de mejora: aumentar número de muestreos)

 - Mapas de balance hídrico 2000-2006 y mapas de temperatura de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala (en respuesta a la oportunidad de mejora: estudios a nivel de detalle)

 - evaluación de la tolerancia a la sodicidad de variedades promisorias de caña de azúcar (tema basado en la solicitud del comité de fertilidad)

7. Bibliografía

1. Buenaventura, OC. 1992. Estudio para la conformación del Centro de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar de Guatemala. Guatemala. Documento Técnico No. 1. CENGICAÑA. 52 p
2. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 1996. Guía de Inauguración de la Sede del Centro. Guatemala. 20 p.
3. _____. 1996b. Documento conmemorativo de la inauguración del edificio de CENGICAÑA. Guatemala. 16 p.
4. _____. 1996c. Anexo I del libro: estudio semi-detallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. Ingeniería del campo. 137 p.
5. _____. 2005. Informe Anual 2004-2005. Guatemala. 102 p.
6. _____. 2005. Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2004 – 2005. Guatemala. 185 p.
7. _____. 2006. Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2005 – 2006. Guatemala. 185 p.
8. _____. 2007. Informe Anual 2005-2006. Guatemala. 102 p.

CAPITULO II

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA TOLERANCIA A LA SODICIDAD DE VARIEDADES PROMISORIAS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.* L.) EN EL CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACION Y CAPACITACION DE LA CAÑA DE AZUCAR
-CENGICAÑA-**

**PRELIMINARY ASSESMENT OF PROMISING SUGARCANE (*Saccharum spp.* L.) VARIETIES TOLERANCE TO A SODIC SOIL AT CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACION Y CAPACITACION DE LA CAÑA DE AZÚCAR
-CENGICAÑA-**

1. Introducción

En Guatemala durante la zafra 2006-2007 se sembraron 210,000 hectáreas con caña de azúcar, obteniéndose un rendimiento promedio de 96.3 toneladas de caña por hectárea (TCH), 10.5 toneladas de azúcar por hectárea (TAH) y 10.9 por ciento de sacarosa (% Pol.) (CENGICAÑA 2007b). En la zafra 2007-2008 se sembraron 230,000 hectáreas obteniéndose un rendimiento promedio de 89.0 toneladas de caña por hectárea (TCH), 9.4 toneladas de azúcar por hectárea (TAH) y 10.6 por ciento de sacarosa (% Pol.). (CENGICAÑA 2008)

En la zona cañera a partir del año 2004 se han encontrado áreas que al realizarles análisis químico de suelos se han observado valores superiores a 15 por ciento de sodio intercambiable (PSI), lo cual indica que son suelos con posibles problemas de sodicidad. Ante esta situación preliminarmente se evaluaron variedades promisorias de caña de azúcar con respecto a su tolerancia a la sodicidad.

El suelo analizado se extrajo de la finca Rancho Texas de la Corporación Pantaleón-Concepción (Latitud 14°00'33.17" N y Longitud 91°05'46.41" O) a una altura de 12 msnm.; la fase de campo se desarrolló en las instalaciones de CENGICAÑA (Latitud 14°19'50.53" N y Longitud 91°03'19.51" O) a una altitud de 300 msnm. de enero a junio del año 2,008.

En Rancho Texas se realizó el muestreo de suelos correspondiente para determinar las características físicas y químicas del mismo lo que sirvió de base para utilizar este suelo (0.39 PSI); se realizó una prueba para obtener la sodicidad del suelo en macetas con valores similares a los que ocurren en campo; en base a los resultados de la misma se determinó utilizar cloruro de sodio en una solución con agua para alcanzar los niveles de 9, 15, 20, 25 y 35 PSI (utilizando el PSI natural del suelo como testigo).

El diseño de tratamientos utilizado fué el factorial 6 x 8, compuesto por los factores A=Niveles de Sodio (6 niveles) y B=Variedades (8 variedades) evaluados bajo un diseño experimental completamente al azar. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 1 maceta con capacidad de 12.5 Kg. de suelo seco; las variables de respuesta analizadas fueron biomasa fresca; biomasa seca; altura y número de tallos; análisis en la hoja TVD (Top Visible Dewlap o primer cuello visible) donde se obtuvieron las concentraciones de Na, N, Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe y Mn al momento de

la cosecha; extracción total de nutrientes de los elementos N, Ca, Mg, K y P; peso de raíces fresco y seco.

El análisis de los datos se realizó con un Análisis de Varianza y cuando existía diferencia significativa se utilizó la prueba de medias de Tukey utilizando como comparador la Diferencia Significativa Honesta (DHS) con 0.05 de nivel de significancia.

A los 140 días después de la siembra (momento del corte) al analizar el rendimiento de biomasa fresca; en promedio se observaron disminuciones del 10% para la variedad CP73-1547, 25% para la variedad CP88-1165 y de 34% para la variedad CP72-2086 (testigo comercial). Al analizar las concentraciones de elementos en la hoja TVD el sodio en las variedades evaluadas en forma general aumentó su concentración conforme aumentó el sodio en el suelo, la variedad que tenía menor contenido de sodio en la hoja fue la variedad CP88-1165. En el caso del calcio las variedades CP88-1165 y CP73-1547 presentaron menor porcentaje de Ca en la hoja que la variedad CP72-2086. En el caso del porcentaje de K la variedad CP88-1165 presentó el mayor contenido. La extracción de nutrientes de las variedades estuvo influenciada por el rendimiento de biomasa seca, en la cual las que extrajeron la mayor cantidad de nutrientes fueron las variedades CP73-1547 y CP88-1165. Por lo cual se recomienda establecer un ensayo en campo definitivo con las variedades CP73-1547 y CP88-1165 en condiciones de suelos sódicos.

2. Planteamiento del problema

Debido a la necesidad de los ingenios de aumentar las áreas de cultivo de caña de azúcar en los últimos años, estas se han extendido a zonas que antes eran ganaderas y áreas localizadas en las cercanías del mar, en donde en algunos casos se han observado suelos con alto contenido de sodio. Los tratamientos convencionales utilizados para desplazar el sodio del suelo con el uso de enmiendas (yeso) y lavado es difícil en estas áreas debido a la dificultad de drenar principalmente por la presencia de niveles freáticos superficiales característicos de estas zonas.

En estas áreas se han reportado suelos con altos niveles de sodio con valores de Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) arriba del 15 por ciento. En finca El Reposito de la corporación Pantaleón-Concepción se han encontrado valores de PSI de 28 por ciento en la capa superficial (0-0.30m). En finca Carolina del ingenio Magdalena se han encontrado valores de PSI de 28 a 36 por ciento a diferentes profundidades del suelo y hasta de 61 por ciento en áreas localizadas con materia orgánica dispersada por sodio en la capa superficial a 0.10m de profundidad.

El sodio en altos niveles causa problemas de degradación física de los suelos y toxicidad a las plantas de caña. En 10 cultivares de caña de azúcar evaluadas en Karnal, India (Soltani 2007), el aumento del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 14.4 a 23.5 causó una disminución del rendimiento de caña (9-26 por ciento) y de azúcar (12-29 por ciento).

Actualmente se estima que hay 2,000 hectáreas de caña de azúcar sembradas en suelo con alto sodio, existiendo en la zona aproximadamente 20,000 hectáreas bajo estas condiciones.

En estas áreas se ha estado utilizando la variedad CP72-2086 por ser la de mejor rendimiento a nivel general (TCH, TAH y % de pol), además se encuentra sembrada en el 60% del área de la zona cañera (CENGICAÑA 2007), pero en estas condiciones ha presentado síntomas de achaparramiento, hojas necróticas con puntas y márgenes corchosos, escaso ahijamiento y crecimiento de raíces, reducción del largo de los entrenudos y del grosor de la caña, así como mala calidad de la caña, con baja pureza del jugo.

En CENGICAÑA no se ha estudiado el comportamiento de diferentes variedades promisorias bajo estas condiciones que puedan servir de alternativa a la CP72-2086, es necesario realizar una evaluación preliminar para determinar que variedades se pueden trasladar a campo definitivo para que se desarrollen bajo estas condiciones.

3. Marco teórico

3.1. Marco conceptual

3.1.1 Caña de azúcar

3.1.1.1 Origen

La caña de azúcar (*Saccharum spp.* L.) es una gramínea de la India, cuya distribución a los países del continente asiático se pierde en la historia de la época antigua. En China apareció 800 años antes de Cristo y se utilizaba en el pago de tributos y contribuciones. Cristóbal Colón, en su segundo viaje, llevó esquejes de caña de las islas Canarias a la isla llamada actualmente República Dominicana. Este cultivo se desarrolló entre 1500 y 1600 en la mayoría de los países tropicales de América (Antillas, México, Brasil, Perú, etc.) y durante mucho tiempo ha sido su principal riqueza agrícola. Para el caso de Guatemala es a Pedro de Alvarado al que se le atribuye la introducción, siendo cerca de San Jerónimo Verapaz en donde se establecieron los primeros trapiches y luego se extendió hacia el sur desde Antigua Guatemala hasta Escuintla y Santa Rosa. (Subirós 1995)

3.1.1.2 Clasificación taxonómica

DIVISION:	Embryophita siphonogama
SUBDIVISION:	Angiospermae
CLASE:	Monocotyledoneae
ORDEN:	Glumiflorae
FAMILIA:	Gramineae
TRIBU:	Andropogonae
SUBTRIBU:	Saccharae
GENERO:	Saccharum
ESPECIE:	spp
NOMBRE TECNICO:	<i>Saccharum spp.</i> L. (Subirós 1995)

3.1.1.3 Morfología y fisiología

A Morfología

a. La raíz

El sistema radical constituye el anclaje de la planta y el medio para la absorción de nutrimentos y de agua del suelo. (Subirós 1995) Está formado por dos tipos de raíces.

- Raíces de la estaca original o primordial

Se originan a partir de la banda de primordios radical, localizada en el anillo de crecimiento del trozo original (estaca) que se planta o siembra. Son delgadas, muy ramificadas y su período de vida llega hasta el momento en que aparecen las raíces en los nuevos brotes, lo cual ocurre entre los 2 y 3 meses de edad. (Cassalett 1995)

- Raíces permanentes

Brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes. Son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta. La cantidad, la longitud y la edad de las raíces permanentes dependen de las variedades; sin embargo, existen factores ambientales como el tipo de suelo y la humedad que influyen en estas características. Por ejemplo, los suelos arcillosos pueden reducir la longitud de las raíces, y las variedades con sistema radical más profundo y denso pueden sufrir menos daño en los períodos de sequía. Por otra parte, la distribución de las raíces es importante para el anclaje de la planta y para la absorción de agua y nutrimentos. En la caña de azúcar, esta distribución puede ser de los tipos: Absorbentes o superficiales; Anclaje o sostén; y Profundas. Las raíces superficiales predominan en los primeros 60 cm de profundidad y su distribución horizontal en el suelo alcanza hasta 2m. (Cassalett 1995)

En la caña de azúcar es difícil distinguir entre las raíces superficiales y las de sostén; además, las raíces profundas son relativamente escasas. Paz-Vergara *et. al.* 1980 citado por Cassalett 1995 al evaluar el desarrollo radical de dos variedades en sitios y en cortes diferentes a edades que variaron desde 4 hasta 19 meses, encontraron el 85% de las raíces en los primeros 60 cms de profundidad, independiente de la edad, la variedad y el corte.

En general una mayor cantidad de raíces (entre 80% y 92%) se encuentran en los primeros 40 cm de profundidad, lo cual sugiere concentrar las prácticas de preparación del suelo y de cultivo hasta esta profundidad. (Cassalett 1995)

b. El tallo

Subiros 1995 y Cassalet 1995, afirman que el tallo es el órgano de mayor importancia (desde el punto de vista económico), debido a que en él se almacenan los carbohidratos, producto de la fotosíntesis de la planta. Posteriormente, por medio del proceso industrial se obtienen la sacarosa y otros derivados como la melaza, bagazo y cachaza. Los tallos están formados por nudos y entrenudos, generalmente son de color verde; sin embargo, pueden apreciarse otras coloraciones: amarillas, rojizas, moradas o combinaciones dependiendo de la variedad.

El tamaño o longitud de los tallos depende, en gran parte, de las condiciones agroecológicas de la zona donde crece y del manejo que se le brinde a la variedad. El tallo se denomina primario, secundario, terciario, etc., si se origina de las yemas del material vegetativo original, del tallo primario o de los tallos secundarios, respectivamente. Existen variedades en las cuales el desarrollo vegetativo no es uniforme y presentan una alta frecuencia de tallos con edades muy diferentes. También ocurre, a veces, que cuando éstos alcanzan un avanzado desarrollo brotan numerosos tallos débiles sin valor para la molienda. A estos tallos se les llama "mamones o chupones". (Cassalett 1995)

Los tallos de la caña de azúcar están formados por nudos, que se encuentran separados por entrenudos en los que se desarrollan las yemas y las hojas.

- Nudo

Es la porción dura y más fibrosa del tallo de la caña que separa dos entrenudos vecinos. Está formado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, el nudo propiamente dicho, la yema y el anillo ceroso (Cassalett 1995). El anillo de crecimiento posee una coloración diferente, generalmente más clara, y a partir de él se origina el entrenudo. La banda de raíces es una zona pequeña que sobresale del nudo en donde se originan las primeras raíces (primordiales). La cicatriz foliar, o de la vaina, rodea al nudo después de que la hoja se cae. La yema es la parte más importante ya que da origen a los nuevos tallos. Cada nudo presenta una yema en forma alterna protegida por una vaina foliar. La forma de la yema y su pubescencia son diferentes en las variedades y ambos caracteres se usan para la identificación de éstas. En la parte superior de la yema y sobre el entrenudo se proyecta una hendidura llamada canal de la yema. El anillo ceroso es una capa que recubre la parte superior del nudo, y su intensidad varía de acuerdo a las

variedades. Las partes más importantes de la yema son las alas, localizadas en forma lateral; el poro germinativo, que se encuentra en la parte superior; el apéndice, que es la prolongación del margen de la región donde se encuentra el poro germinativo y de los lados de la yema propiamente dicha. El anillo ceroso es una capa que recubre la parte superior del nudo, y su intensidad varía de acuerdo a las variedades (Cassalett 1995).

- El entrenudo

Es la porción del tallo localizada entre dos nudos. En la parte apical del tallo, los entrenudos miden unos pocos milímetros y en ellos ocurre la división celular que, a su vez, determina la elongación y la longitud final. En la parte terminal del tallo se encuentra el meristemo apical, rodeado por los primordios foliares. (Cassalett 1995). Una vez que se cosechan los tallos de la plantilla, sus raíces mueren; al mismo tiempo, las yemas y los primordios radicales de la cepa rebrotan para dar origen a la soca, siempre y cuando las condiciones ambientales sean favorables. El número de cortes del cultivo (plantilla y socas) depende de la variedad, de las prácticas culturales y de las condiciones ambientales en el momento de la cosecha. En forma general, existe una tendencia a disminuir la producción, a medida que avanza el número de cortes.

La germinación y el desarrollo de las raíces de la caña dependen de factores genéticos y ambientales. En las variedades que tienen baja germinación, es posible incrementar ésta por medio de prácticas culturales, o controlando el balance hormonal que regula tal proceso. La germinación puede mejorarse tratando las estacas durante un tiempo corto en agua caliente a 50 °C, o sumergiéndolas en soluciones que contengan productos alcalinos como el bicarbonato de sodio.

c. La hoja

Subiros 1,995 y Cassalett 1,995, describen la hoja como un órgano especializado cuya función principal es realizar la fotosíntesis, proceso mediante el cual los cloroplastos convierten la energía lumínica en energía química. También las hojas cumplen un papel importante en el proceso de la respiración celular, en la transpiración y en el intercambio gaseoso. Las hojas de la caña de azúcar se originan en los nudos y se distribuyen en posiciones alternas a lo largo del tallo a medida que éste crece. Cada hoja está formada por la lámina foliar y por la vaina o yagua. La unión entre estas dos partes se denomina lígula y en cada extremo de ésta existe una aurícula con

pubescencia variable. La forma y el color de la lígula, así como la forma de la aurícula, son características importantes en la diferenciación de las variedades de la caña de azúcar (Cassalett 1995).

- Lámina foliar

Es la parte más importante para el proceso de la fotosíntesis, y su disposición en la planta difiere con las variedades, siendo las más comunes la pendulosa y la erecta. La disposición de la lámina no determina los rendimientos en sacarosa ni la producción de caña; por lo tanto, es posible encontrar variedades con altos o bajos rendimientos que tienen distintas formas de disposición de las hojas en cualquier densidad de siembra. La lámina foliar tiene una nervadura central que la recorre en toda su longitud, y paralela a ella se encuentran las nervaduras secundarias. Los bordes presentan prominencias continuas en forma aserrada, cuyo número y longitud cambian con las variedades (Cassalett 1995).

- Yagua o vaina

Tiene forma tubular, envuelve el tallo y es ancha en la base. Puede ser glabra o recubierta de pelos urticantes en cantidad y longitud que cambian con las variedades. Su color es, generalmente, verde cuando joven, pero cambia a rojo-púrpura cuando la hoja logra su completo desarrollo. La intensidad con que se adhieren las yaguas al tallo difiere con las variedades, siendo preferible que se desprendan fácilmente una vez que éste se desarrolla, ya que se facilita la quema y el corte de la planta y disminuye las impurezas al momento de la molienda. (Cassalett 1995).

d. La flor

La caña de azúcar presenta dos fases de desarrollo. La vegetativa, originada por la división celular en los puntos de crecimiento; y la reproductiva o de floración, que es una continuación de la anterior y ocurre cuando las condiciones ambientales de fotoperíodo, temperatura, disponibilidad de agua y nivel de nutrimentos en el suelo son favorables. (Cassalett 1995)

La inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula sedosa en forma de espiga. Está constituida por un eje principal con articulaciones en las cuales se insertan las espiguillas, una

frente de la otra; éstas contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas. Cada flor está rodeada de pubescencias largas que le dan a la inflorescencia un aspecto sedoso. En cada ovario hay un óvulo el cual, una vez fertilizado, da origen al fruto o cariósida. Por lo tanto, lo que comúnmente se conoce como semilla es una cariósida. El fruto es de forma ovalada de 0.5 mm de ancho y 1.5 mm de largo, aproximadamente. (Cassalett 1995)

B Fisiología

Según Amaya citado por Cassalett 1995, el estudio de la fisiología incluye las fases de: crecimiento, procesos internos de la planta y factores que afectan su desarrollo. El crecimiento está determinado por la multiplicación y desarrollo de las células en un proceso continuo denominado mitosis el cual da origen a los nuevos órganos por un proceso de diferenciación como son las raíces, tallos, hojas, flores y frutos. Los procesos internos principales están definidos por la fotosíntesis, translocación de los productos de esta a través de la planta, transporte de agua y solutos y la respiración; por último los factores que afectan el desarrollo corresponden a todos los factores ambientales como son suelo, agua temperatura, luz, etc..

a. Fotosíntesis

Según Subirós (1995) en la fotosíntesis de la caña ocurre primero una formación de azúcares simples llamados glucosa y fructosa o también azúcares invertidos. La condensación posterior de estas dos moléculas produce una molécula de sacarosa. La caña de azúcar junto al maíz y el girasol son de los cultivos más eficientes en términos de fotosíntesis.

b. Luz

Según Subirós (1995), la luz es uno de los factores básicos para que se realice la fotosíntesis y en ella es importante su intensidad. La intensidad de la luz en la cual la fotosíntesis es igual a la respiración de la planta se denomina punto de compensación. En días nublados la planta está por debajo del punto de compensación y pierde peso porque la velocidad de respiración excede a la de la fotosíntesis. Comparándola con otros cultivos la caña de azúcar ha mostrado ser de las más eficientes en responder a la alta intensidad de luz.

c. Temperatura

Según Subirós (1995) en estudios realizados en caña de azúcar indican que la fotosíntesis es prácticamente constante a temperaturas de 30 – 40 °C. Sin embargo, existe mayor eficiencia fotosintética a temperaturas de 18 – 34 °C.

d. Constituyentes de la caña

El tronco de la caña de azúcar está compuesto por una parte sólida llamada fibra (11-16%) y una parte líquida, el jugo, que contiene agua (73-76%) y sacarosa (8-15%). En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas. Las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. (Subiros 1995)

La sacarosa del jugo es cristalizada en el proceso como azúcar y la fibra constituye el bagazo una vez molida la caña. Los constituyentes del jugo de caña son: Glucosa (0.2-0.6%). Fructosa (0.2-0.6%), Sales (0.3-0.8%), ácidos orgánicos (0.1-0.8%) y otros (0.3-0.8%). (Subiros 1995)

e. Fertilización y nutrición

Según Subirós (1995) en estudios realizados en plantas jóvenes de caña (2 meses) indican que la deficiencia de fósforo disminuye más la fotosíntesis que la deficiencia de nitrógeno o potasio. Sin embargo, esta no mostró efecto negativo en plantas adultas, La deficiencia de fósforo incide en una mayor formación de almidones y carbohidratos totales, afecta la formación de hojas, engrosamiento del tallo y disminución de la clorofila. En relación al nitrógeno la fotosíntesis a los 6 meses de edad está directamente relacionada con el suministro de nitrógeno aplicado, pero a partir de los 9 meses la fotosíntesis disminuye aún con suministros altos de nitrógeno. Niveles adecuados de potasio favorecen la fotosíntesis y su efecto mayor esta en el proceso de traslocación de los azúcares. Así mismo se ha encontrado que la deficiencia de potasio afecta la fotosíntesis más en las hojas bajas que en la superiores.

Los resultados de investigación han permitido generar las guías preliminares de recomendaciones de NPK para el cultivo de caña de azúcar en la región cañera de Guatemala. Estas guías requieren tomar en cuenta la edad del cultivo (plantía o soca) el tipo de suelo, el análisis de

laboratorio y factores de manejo que determinan una fertilización variable en vez de fertilizaciones generalizadas. En los cuadros 1 y 2 se presentan las guías de nitrógeno y fósforo respectivamente.

Cuadro 1. Dosis de N recomendadas en kg/ha

Nivel de MO del suelo (%)	Plantía	Soca ¹
< 3.0	80	100-170
3.0 – 5.0	60-80	90-140
> 5.0	60	80-110

¹/La dosis de N dependerá de la época de corte, variedad y la presencia de riego.

Cuadro 2. Dosis de P recomendadas en kg P₂O₅/ha (Primera aproximación).

Categoría P (ppm)	Andisoles				Mollisoles	
	Sup y mod profundos		Profundos		Plantía	Soca
	Plantía	Soca	Plantía	Soca		
P < 10	85	50/0	100	50/0	-	-
P 10 – 30	-	-	-	-	50	40/0
P > 30	-	-	-	-	0/40	0

El uso de las recomendaciones de nitrógeno ha permitido a los ingenios dependiendo del suelo, la reducción de la dosis de N en las plantías entre 50 – 100 kgs. de urea/ha menos de lo que venían utilizando sin sacrificar los rendimientos de caña y azúcar significando ahorros en el uso de fertilizantes de al menos 1,800,000 kgs. de fertilizante (urea) por año para la agroindustria azucarera al generalizarse esta recomendación. Por otro lado los ajustes de las dosis de nitrógeno en la soca ha permitido aumento en los rendimientos de caña y azúcar especialmente en aquellas áreas que estaban siendo sub-fertilizadas con la fertilización tradicional y generalizada de 225 kgs de Urea/ha. En este sentido se han tenido en promedio incrementos de 4-6 Tm de caña/ha más, con la aplicación de 45 – 90 kgs. de Urea por hectárea.

Las recomendaciones de fósforo han permitido optimizar de una mejor manera el uso de los fertilizantes fosforados en los diferentes suelos de la región con su aplicación acorde a los niveles de fósforo en el suelo en vez de la aplicación generalizada en la plantía. Esto ha significado reducciones del uso de fertilizantes en aquellas áreas con medios (10-30 ppm) y altos niveles de fósforo (>30 ppm) y asegurando y priorizando su aplicación en suelos deficientes como es el caso de los suelos andisoles ($P < 10$ ppm).

En cuanto a potasio se han establecido las categorías preliminares de interpretación de los análisis de laboratorio para las recomendaciones de este elemento de la manera siguiente: bajo (< 102 ppm), medio (102-140 ppm) y adecuado (> 140), indicando que las mayores probabilidades de respuesta económica a la aplicación de potasio es cuando el potasio en el suelo sea menor de 102 ppm.

3.1.1.4 Importancia de la caña de azúcar en Guatemala y su distribución geográfica.

La caña de azúcar juega un papel relevante en la economía nacional. La Agroindustria Azucarera de Guatemala se ha desarrollado en la planicie costera del océano Pacífico entre las coordenadas 13° 55' - 14° 40' latitud norte y 90° 30' - 91 ° 45' longitud oeste, en donde -con un área sembrada de 230,000 hectáreas (zafra 2007 / 2008) de un potencial de 342,000 hectáreas- se produce el 99.7 por ciento del total del azúcar de Guatemala. En esta zona se ubican 11 de los 14 ingenios que funcionan en la actualidad.

La agroindustria creció en número de ingenios y área cultivada a partir del siglo XIX cuando tres ingenios de los actuales fueron fundados (Santa Teresa, 1863; Pantaleón, 1870 y San Diego, 1883); Tululá se fundó en 1911. En la década del 60 se fundaron seis (Los Tarros, 1960; Concepción, 1961; Palo Gordo, 1962; Madre Tierra, 1963; Santa Ana 1967 y La Unión, 1969), época en la cual Guatemala empezó a exportar azúcar. Entre 1974 y 1981, período en el cual los precios del azúcar por quintal a nivel internacional alcanzó los US\$ 29.66 en el año 1974, que es el precio más alto por quintal de azúcar en el mercado mundial desde 1955 a la fecha se fundaron tres (El Pilar, 1975; Magdalena, 1976; y Guadalupe, 1981); y finalmente en 1989 se fundó Trinidad. (CENGICAÑA 2007c)

La agroindustria contribuye sustancialmente dentro de la economía del país; según el Banco de Guatemala, en el año 2006 la exportación de azúcar representó el 4.9 por ciento del producto interno bruto (PIB), y el 23 por ciento del total de las divisas generadas por los principales

productos; así mismo es una fuente importante de la generación de 65,000 empleos directos con salarios superiores a los mínimos.

La zafra se inicia en la primera quincena de noviembre y finaliza en el mes de abril o mayo dependiendo del ingenio. La capacidad de molienda instalada promedio en la zafra 2006/07 fue de 123,240 Toneladas métricas (Tm) por día. La Agroindustria Azucarera genera el 24 por ciento de la energía eléctrica privada generada en el país. En el Cuadro 3 se presentan las principales características de los ingenios que conforman la Agroindustria Azucarera guatemalteca.

Cuadro 3. Principales características de los ingenios de Guatemala

Ingenio	Año de Fundación	Molienda diaria (Tm/día)	Días efectivos de molienda	Caña molida (Tm)	Producción de azúcar (Tm)	Contenido comercial de sacarosa (%)	Rendimiento de caña (Tm/ha) Área administrada
Concepción	1961	7,716	162	1,249,951	135,152	10.8	97.79
Pantaleón	1870	21,541	188	4,049,686	446,808	11	93.62
Palo Gordo	1962	5,719	148	846,358	85,149	10	76.68
Los Tarros	1960	2,255	139	313,449	36,837	11.7	88.85
Madre Tierra	1963	8,340	177	1,476,202	167,012	11.3	107.76
Tululá	1914	4,813	142	683,430	80,419	11.7	91.59
San Diego	1890	3,610	134	483,797	51,235	10.5	82.42
Santa Teresa	1863	558	64	35,739	3,400	9.5	73.88
La Sonrisa	1958	351	69	24,241	2,205	9.1	
La Unión	1969	10,960	181	1,983,712	222,542	11.2	111.85
Santa Ana	1967	13,183	156	2,056,474	225,879	10.9	104.85
Guadalupe	1981	5,480	113	679,185	69,324	11.2	89.00
Magdalena	1975	25,832	155	4,003,916	443,618	10.8	97.44
El Pilar	1975	14,364	145	2,082,775	224,082	10.7	
Trinidad	1990	3,998	131	523,725	55,552	10.6	104.75

Fuente: ASAZGUA. Comparativo de Producción, Zafra 2,006 – 2,007 y XI simposio de Análisis de la zafra 2005/06, área de campo y CENGICAÑA, Comparativo de productividad, área administrada, zafra 2006-2007.

La ubicación de la zona cañera de la costa sur de Guatemala se presenta en la figura 18A.

3.1.2 Salinidad de los suelos como agente contaminante

De acuerdo con Dorronsoro (2008) se distinguen dos casos de salinidad, según el tipo de catión predominante en el complejo de cambio sea el Na^+ o el Ca^{++} .

- a) Si el catión predominante es el Ca^{++} , las sales solubles son muy abundantes en el suelo. El perfil se encuentra muy poco diferenciado, pero su estructura tiende a ser estable, como resultado de la acción floculante del Ca^{++} . La alta presión osmótica de la solución del suelo es la responsable de la baja productividad. A estos suelos se les denomina suelos salinos (o suelos alomorfos). El suelo representativo es el Solonchak.

Según García Navarro (2005) el término Solonchak deriva de los vocablos rusos "sol" que significa sal y "chak" que significa área salina, haciendo alusión a su carácter salino. En áreas costeras pueden aparecer bajo cualquier clima. Los Solonchaks presentan una capacidad de utilización muy reducida, en agricultura son recomendables solo para plantas tolerantes a la sal. Dentro de este tipo de suelos, se distingue el Solonchak sódico, que presenta una saturación en sodio del 15% o superior, o la suma de sodio más magnesio es como mínimo del 50%, todo ello en los primeros 50 cm.

- b) Cuando es el Na^+ el catión dominante, se produce la dispersión de las arcillas, lo que lleva a una destrucción de la estructura. Por otra parte, la hidrólisis de las arcillas sódicas conduce a la alcalinización del perfil, y ésta provoca intensa alteración mineral. El perfil queda bien diferenciado desde el punto de vista morfológico. A estos suelos se les llama suelos sódicos (en ocasiones alcalinos) y su clase representativa es el Solonetz (Dorronsoro 2008 e Ibáñez 2008)

Según García Navarro (2005) el término Solonetz deriva de los vocablos rusos "sol" que significa sal y "etz" que es un sufijo indicador del superlativo, haciendo alusión a su carácter salino con alto contenido en sodio, magnesio o ambos, en el complejo de cambio. Estos suelos se asocian a terrenos llanos de climas con veranos secos y cálidos o a viejos depósitos costeros con elevado contenido en sodio. Es frecuente que el pH supere el valor de 8.5 lo que indica la presencia de carbonato sódico. Los altos niveles de sodio cambiante pueden afectar a la capa arable del suelo, directamente con la toxicidad del elemento o de

forma indirecta, generando una estructura muy deteriorada que se expresa más con el suelo húmedo.

Según Ibáñez (2008b) los suelos sódicos no debieran considerarse suelos salinos. El problema reside en que el complejo de cambio de estos taxones de suelo posee niveles altos de sodio. Como resultado, puede decirse que su estructura es inestable en términos físicos.

3.1.3 Naturaleza de las sales solubles

Las sales pueden encontrarse en el suelo de varias formas:

- a) Precipitadas bajo la forma de cristales,
- b) disueltas en la solución, o
- c) retenidas, adsorbidas, en el complejo de cambio. De esta última forma se pretende agregar el Na al suelo a través de agregarle sal al mismo (NaCl) y por eso la forma de medirlo que se utilizó en el experimento es el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI).

Según SIA-Huaral (2007) y Dorronsoro (2008) las sales frecuentemente encontradas en los suelos son:

- Cloruros: NaCl, CaCl₂, MgCl₂, KCl
- Sulfatos: MgSO₄, Na₂SO₄,
- Nitratos: NaNO₃, KNO₃
- Carbonatos: Na₂CO₃
- Bicarbonatos: NaCO₃H

Los cloruros junto con los sulfatos son las principales sales formadas en este proceso. El calcio, el magnesio y el sodio son los cationes que mayoritariamente se unen a los cloruros y a los sulfatos para formar las sales, con menor frecuencia se encuentra el potasio y los bicarbonatos, carbonatos y nitratos.

3.1.4 Causas de la salinidad

Según Ronen (2007) y Dorronsoro (2008) el proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio del Ca y el Mg se le denomina salinización. Cuando es el Na el que predomina

netamente el suelo evoluciona de muy distinta manera, desarrollándose un proceso, con resultados completamente distintos, que es el llamado alcalinización o sodicidad.

3.1.4.1 Origen de las sales

Según SIA-Huaral (2007) Ronen (2007) y Dorronsoro (2008) las sales, tanto las de Ca, Mg, K como las de Na, proceden de muy diferentes orígenes. En líneas generales, pueden ser de origen natural o proceder de contaminaciones antrópicas.

A Causas naturales

La salinidad del suelo puede proceder directamente del material original. Algunas rocas, fundamentalmente las sedimentarias, contienen sales como minerales constituyentes. Por otra parte, en otros casos ocurre que si bien el material original no contiene estas sales, se pueden producir en el suelo por alteración de los minerales originales de la roca madre. También las sales disueltas en las aguas de escorrentía, se acumulan en las depresiones y al evaporarse la solución se forman acumulaciones salinas. Muchos de los suelos salinos deben su salinidad a esta causa.

Otra causa natural, es debida a que los suelos toman las sales a partir de mantos freáticos suficientemente superficiales (normalmente a menos de 3 metros). Los mantos freáticos siempre contienen sales disueltas en mayor o menor proporción y en las regiones áridas estas sales ascienden a través del suelo por capilaridad. En general, la existencia de mantos freáticos superficiales ocurre en las depresiones y tierras bajas, y de aquí la relación entre la salinidad y la topografía. (Sánchez y Curetti s.f.)

La salinidad natural de los suelos, también puede ser ocasionada por:

- a) El enriquecimiento de sales en un suelo se puede producir, en las zonas costeras, por contaminación directa del mar, a partir del nivel freático salino y por la contribución del viento. Este caso es el que sucede en las regiones afectadas por el sodio en la zona cañera de la costa sur de Guatemala.
- b) La descomposición de los residuos de las plantas, que liberan sales que estaban incluidas en sus tejidos y contribuyen de esta manera a aumentar la salinidad del suelo; otras veces

las plantas contribuyen a la descomposición de minerales relativamente insolubles y a partir de ellos se forman sales. De cualquier manera, aunque este efecto ha sido mostrado por varios autores (examinando la salinidad de suelos sin vegetación y suelos con un determinado tipo de vegetación) globalmente este efecto carece de importancia.

B Contaminación antrópica

La salinidad del suelo también puede producirse como resultado de un manejo inadecuado por parte del hombre. La agricultura, desde su comienzo, ha provocado situaciones de salinización, cuando las técnicas aplicadas no han sido las correctas. Por ejemplo:

- a) La actividad agraria y especialmente el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad. Cuando se han empleado aguas conteniendo sales sin el debido control (acumulándose directamente en los suelos o contaminando los niveles freáticos).
- b) El empleo de elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles, más allá de las necesidades de los cultivos, es otra de las causas que provocan situaciones de altas concentraciones de sales, que contaminan los acuíferos y como consecuencia los suelos que reciben estas aguas.

3.1.5 Efectos del exceso de sodio sobre el suelo y las plantas

Según Dorronsoro (2008) la sodicidad o alcalinización se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Junto a estas sales de base fuerte NaOH y ácido débil (H_2CO_3), existen importantes cantidades de sales sódicas neutras carentes de propiedades alcalinizantes (principalmente cloruros y sulfatos) y sales de calcio y magnesio.

La toxicidad del Na puede ser directa, como en el caso de especies sensibles al exceso de este ión o indirecta, cuando se deteriora la estructura del suelo por su presencia. En este último caso, se origina un descenso en el crecimiento de la planta como consecuencia de la disminución de los contenidos de oxígeno necesarios para la respiración de las raíces, así como por el descenso de la conductividad hidráulica del suelo. (Ibáñez 2007b)

3.1.5.1 Efectos del exceso de sodio sobre el suelo

En general un exceso de sodio intercambiable no perjudica el desarrollo de las plantas por sus efectos químicos, sino por la degradación física que le causa, especialmente cuando los suelos tienen una estructura fina. La dispersión de las arcillas y la consiguiente destrucción de los agregados alteran su estructura de tal modo que los hace muy compactos y poco porosos, por lo que terminan siendo altamente impermeables al agua, entorpeciendo a su vez la penetración en profundidad de los sistemas radiculares de las plantas. No resulta posible rehabilitar estos suelos sin apelar a un drenaje artificial. (Ibáñez 2008b)

En consecuencia tienden a desmenuzarse y agrietarse rápidamente cuando se secan. Por el contrario, si están húmedos se hunden al colapsarse su estructura (compactación). Cuando se endurecen comienzan a impermeabilizarse, aumentando la escorrentía superficial. Esta última arrastrará en suspensión arcillas, materia orgánica y nutrientes, reduciendo más aún su aptitud para las producciones agrarias. (Ibáñez 2008b)

Un elevado contenido de Na^+ en la solución del suelo, en relación con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provocaría, dada su baja densidad de carga (elevado radio de hidratación y baja carga), el aumento del espesor de la doble capa difusa, los efectos de repulsión entre los coloides y, con ellos, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica.

La concentración de Na^+ frente al Ca^{++} y Mg^{++} en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70% para que el Na^+ pueda desplazar al Ca^{++} y Mg^{++} en el complejo de cambio, dada la menor energía de adsorción del sodio. Es generalmente admitido que para que el sodio juegue un importante papel en la evolución del suelo, es decir, para que se produzca la alcalinización, la concentración de sodio adsorbido frente a los otros cationes ha de superar el valor crítico del 15%. (Dorrnsoro 2008)

3.1.5.2 Efectos del exceso de sodio del suelo sobre la planta

En los suelos sódicos, es el sodio el que causa la toxicidad, provocando en las plantas:

- Efecto nocivo para el metabolismo y nutrición de las plantas. (Dorrnsoro 2008)

- Toxicidad debida a los bicarbonatos y otros iones, principalmente Cl^- y Na^+ . Ronen (2007) y Dorronsoro (2008)
- Elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos (Simón citado por Dorronsoro 2008).
- Deficiencia de agua – conocida también como "estrés de sequía". Resultado de la mayor presión negativa en la zona radicular. (Ronen 2007)
- Desequilibrio entre nutrientes. Resultado de una defectuosa absorción, transporte y/o distribución, principalmente de Ca^{2+} . (Ronen 2007)
- Aumento en la presión osmótica de la solución del suelo. La salinidad del sustrato disminuye la disponibilidad de agua debido a la alta presión osmótica negativa, que reducen la absorción de agua y la presión radicular que maneja el transporte de agua.

3.1.6 Tolerancia de las plantas al exceso de sodio del suelo

Los mecanismos que inducen a que unas especies vegetales sean más tolerantes que otros a la salinidad, aun no se conocen con la precisión deseada. También se desconoce, en cierta medida, cómo las especies más tolerantes a la salinidad se defienden del efecto perjudicial del exceso de sales en el suelo. De este modo, se han propuesto diversas hipótesis como la alteración de los balances idóneos del agua en las plantas, del intercambio de gases con la atmósfera (transpiración, fotosíntesis y respiración), de la absorción de iones, de la anatomía de la planta, de la regulación hormonal, etc. Por estas razones, resulta muy difícil cuantificar la respuesta a la salinidad, y más aún de extrapolar los resultados de una especie a otra, o de una condición a otra. (Ibáñez 2007b)

Obviamente, diferentes especies de cultivo poseen distintos niveles de tolerancia frente a la salinidad del suelo y estas diferencias son bien conocidas por los expertos (aunque no tanto sus mecanismos). Del mismo modo, la edad de los vegetales tiene una gran importancia. Las plantas maduras disponen de sistemas radiculares más densos, profusos y profundos, tolerando mejor la presencia de sales que las jóvenes en los que son más incipientes y frágiles, es decir, con menor capacidad de exploración del medio edáfico. Por último, los ambientes iónicos muy salinos pueden dañar las semillas al comenzar a germinar, secuestrándoles el agua de su interior hasta matarlas. (Ibáñez 2007b)

3.1.7 Medidas de la salinidad y de la sodicidad

3.1.7.1 Medida de la salinidad: conductividad eléctrica (CEs)

La conductividad eléctrica ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm, hoy día las medidas se expresan en dS/m (dS=deciSimens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmhos/cm = 1 dS/m). Por tanto la CEs refleja la concentración de sales solubles en la disolución. SIA-Huaral (2007) y Dorronsoro (2008) Para distinguir suelos salinos de no salinos, se han sugerido varios límites arbitrarios de salinidad. Se acepta que las plantas empiezan a ser afectadas de manera adversa cuando el contenido en sales excede del 1%. La clasificación americana de suelos, Soil Taxonomy citada por Dorronsoro (2008) adopta el valor de 2 dS/m; el Laboratorio de Salinidad de los EE.UU. citado por Dorronsoro (2008) ha establecido el límite de 4 dS/m para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas.

3.1.7.2 Medida de la sodicidad: PSI y RAS

La concentración de Na^+ se puede medir bien en la solución del suelo o bien en el complejo de cambio. En el primer caso se denomina Razón de Adsorción de Sodio (RAS) y en el segundo es el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) (SIA-Huaral 2007 y Dorronsoro 2008); la cual es la utilizada en este estudio porque el Na que se le agregó al suelo se esperaba que formara parte del complejo de cambio.

A Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

En los suelos es muy importante determinar qué tipo de cationes predominan en el complejo adsorbente (si es el Ca^{++} o por el contrario el Na^+). El porcentaje de Na^+ respecto a los demás cationes adsorbidos se denomina porcentaje de sodio intercambiable (PSI). (Sánchez y Curetti s.f., Balcaza 2001 y Dorronsoro 2008)

$$\text{PSI} = (\text{Na}^+ / \text{CIC}) * 100$$

Se considera que un suelo puede empezar a sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el PSI > 15%.

B Razón de adsorción de sodio (RAS)

Otra manera de determinar la sodicidad de un suelo es evaluar la concentración de Na^+ en la solución del suelo en vez de medir su concentración en el complejo adsorbente como hace el PSI. Para estimar así el grado de sodificación, Sánchez y Curetti (s.f.) y Richards citado por Dorronsoro (2008) propone la razón de adsorción de sodio (RAS), calculada a partir de las concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en mmol/dm^3 de las soluciones salinas:

$$RAS = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}}$$

A partir del RAS se puede calcular el porcentaje de sodio intercambiable (PSI):

$$PSI = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 RAS)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 RAS)}$$

3.1.8 Clasificación de suelos según salinidad y sodicidad

Según Malpartida citado por Ibáñez (2008c), Dorronsoro (2008) y Richards citado por Ibáñez (2008c), quedan establecidas las siguientes categorías de suelos:

- Suelos Normales: CEs < 4 dSm-1 a 25°C PSI < 15%
- Suelos Salinos: CEs > 4 dSm-1 a 25°C PSI < 15%
- Suelos Salino-Sódicos: CEs > 4 dSm-1 a 25°C PSI > 15%
- **Suelos Sódicos: CEs < 4 dSm-1 a 25°C PSI > 15%.**

Es importante mencionar que los suelos de la zona cañera de la costa sur de Guatemala con problemas de Sodio que presentan características de suelos Sódicos, fueron el objeto de este estudio.

3.1.9 Descripción de algunos tipos de suelos según su salinidad y sodicidad

3.1.9.1 Suelos salinos

Estos suelos son conocidos como “álcali blanco”. Son aquellos cuya conductividad en el extracto saturado es mayor a 4 dS/m a 25° C., con un porcentaje de sodio intercambiable inferior al 15 por ciento y un pH generalmente menor de 8.5. La concentración de sales puede llegar en estos suelos incluso al 1 por ciento de su peso. Su formación se debe generalmente a falta de drenaje y elevado porcentaje de evaporación, lo cual origina la mencionada acumulación de sales. Principalmente contienen cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de sodio y calcio, magnesio y potasio, y también pueden proceder de las sales contenidas en aguas que han atravesado capas geológicas ricas en ellas. (SIA-Huaral 2007)

3.1.9.2 Suelos salinos-sódicos

Tienen una conductividad del extracto saturado superior a 4 dS/m. a 25° C., con un porcentaje de sodio intercambiable superior al 15 por ciento. Estos suelos suelen originarse por un proceso de salinización y acumulación de sodio y en ellos, si el contenido en sales es elevado, el pH raramente es superior a 8.5. Los suelos salino sódicos son similares a los salinos y presentan problemas similares hasta que se elimina el exceso de sales y de sodio de cambio en la zona donde se desarrollan las raíces del cultivo; para esto, el lavado hay que efectuarlo con mucha precaución, ya que si las sales solubles son lixiviadas pueden originar un cambio de las propiedades del suelo convirtiéndolo en alcalino. Cuando este suelo contiene yeso, al lavarlo, el calcio sustituye al sodio de cambio creando la zona antes mencionada apta para el cultivo. (SIA-Huaral 2007)

3.1.9.3 Suelos sódicos

En estos suelos la conductividad del extracto saturado es menor de 4 dS/m. a 25° C., el sodio intercambiable supera el 15 por ciento y el pH es superior a 8.5, debido a una presencia predominante en ellos de carbonato sódico (que puede originar pH de hasta 10). Entre sus sales se provoca una dispersión de la materia orgánica, dando lugar a una apariencia oscura, por lo que se denomina también a este tipo de suelos “álcali negro”. Cuando se une a esto una ausencia de caliza y debido a la presencia de hidrogeniones de cambio en la zona superficial (donde también el pH es alto), se denominan “suelos álcali degradados”. (SIA-Huaral 2007)

Por tener este tipo de suelos su estructura destruida y por tanto disminuida su porosidad, el lavado, para su corrección, no es muy aconsejable por la mencionada falta de drenaje. La recuperación, por tanto, tiene que ser mediante la eliminación de sodio de cambio (rebajar el pH) aplicando yeso, entre otros productos, como aportar azufre que independientemente de rebajar el pH que reaccionarían con el carbonato sódico, formando carbonato cálcico y sulfato sódico (álcali blanco) sal soluble y por tanto lavable. (SIA-Huaral 2007) Es necesario implantar cultivos, a ser posible, de regadío y resistentes a las sales así como la incorporación de materia orgánica.

Este es el tipo de suelo que está causando problemas en la zona cañera guatemalteca según los análisis efectuados en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA, por lo cual fueron la base para este estudio.

3.1.10 Antecedentes de estudios realizados sobre sodicidad en caña de azúcar

Zérega M, L. Hernández, T. y Valladares, J. (1991) en el trabajo “Evaluación de 14 variedades de caña de azúcar en dos suelos afectados por sales bajo condiciones de umbráculo”; con la finalidad de seleccionar aquellos genotipos de caña de azúcar tolerantes a suelos afectados por sales emplearon un suelo salino, con conductividad eléctrica en el extracto saturado (CEes) de 5,4 dS/m a 25°C y otro salino-sódico con CEes de 27 dS/m, con relación de adsorción de sodio de 25.

Se evaluó porcentaje de germinación y altura de planta, medida desde el ras del suelo hasta la primera hoja con labio abierto o visible, a los 30 y 90 días después de la siembra. La cosecha se realizó a los 110 días después de la siembra. Al finalizar determinaron que el número de brotes en total obtenidos por variedad en aquellos cultivares que alcanzaron los mayores valores no guardan una relación directa con sus valores de peso fresco y peso seco.

Dappo citado por Zérega (1991) reporta que el cultivo de la caña de azúcar comienza a ser afectado por sales, cuando la conductividad eléctrica (CE) en el extracto saturado del suelo sobrepasa los 6 dS/m, sin considerar los efectos detrimentales que puedan ocasionar al suelo y al cultivo altos niveles de sodio acumulados, lo cual puede ocurrir, inclusive, con bajos valores de CE; como es el caso de los suelos sódicos.

Villafañe (1996) estudió en campo la tolerancia a la salinidad y al sodio de 6 variedades de caña de azúcar, los materiales más afectados por la relación de adsorción alta de sodio resultaron ser

los que tenían mayor contenido de calcio en la lámina de la hoja en el tratamiento de salinidad intermedio, lo que hace presumir que la tolerancia al sodio puede estar relacionada con los requerimientos de calcio de las variedades. Las variedades con mayor contenido de Ca en la lámina de la hoja son las que mostraron menor tolerancia al Na. Los otros iones involucrados en las sales aplicadas (Na y Cl) aumentan en la lámina de la hoja con el incremento de los mismos en el suelo.

El Ca en la lámina aumenta con el incremento de la salinidad del suelo por las deficiencias de este ión, debidas a la baja fertilidad natural del suelo y a la no consideración de aporte de Ca como fertilizante; pero en el nivel de salinidad alto disminuye su contenido y también el de K. Esto concuerda con lo señalado por Clements (1959) sobre el antagonismo entre Ca y K. (Villafañe 1996).

El peso seco de la caña disminuyó linealmente a medida que el potencial osmótico (OP) de la solución nutriente disminuyó. En comparación con el testigo esta reducción en el peso seco fue de 29,4 % y 51,9 %. El tipo de sal usado en el experimento de invernadero influyó también en la acumulación de materia seca. El peso seco fue significativamente mayor con NaCl que con SO_4Na_2 . Los pesos obtenidos con NaCl, fueron 78,1 y 59,0 % de los del testigo, respectivamente; mientras que con SO_4Na_2 los pesos secos fueron solamente 64 y 36 % del testigo, respectivamente. (Segovia 1987).

La V74-7 estuvo casi en los últimos lugares de altura de planta, pero ocupó el segundo puesto en valores de peso fresco y peso seco, lo cual indica que ésta es una variedad con un alto potencial de producción de material vegetal en esos suelos. Así mismo, se observa muy poca relación entre altura de planta y valores de peso fresco y peso seco entre genotipos.

En el suelo salino-sódico las variedades se separaron en cuatro y cinco grupos para peso fresco y seco, respectivamente. Dentro del grupo superior se ubicaron un total de siete variedades. Estas relaciones entre las variables de plantas discutidas, evidencian que estos genotipos disponen de mecanismos diferenciales para defenderse de las altas concentraciones salinas del suelo que producen estrés hídrico y/o toxicidad. Se tiene que, la PR692176 y B64129 incrementan su altura, quizás mediante una mayor profundidad radical en suelos con altas concentraciones salinas; la V74-7 y la B49119 aunque con menor altura de planta que las variedades mencionadas, se defienden de las sales mediante la emisión de un mayor número de brotes. (Zérega 1991)

3.2. Marco referencial

3.2.1 Descripción general del área experimental

La fase de campo se realizó en la Estación Experimental “Camantulul” de CENGICAÑA, que se ubica en el km. 92.5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, en las coordenadas geográficas: latitud 14°19'50.53” norte y longitud 91°03'19.51” oeste, a una altitud de 300 msnm. La Estación Experimental ocupa un área de 61.46 has., distribuidos en 29 lotes con áreas que varían de 1.24 ha a 3.90 ha. Figuras 21A y 22A Las condiciones climáticas promedio anuales se presentan en el cuadro 32A del anexo, estos datos fueron obtenidos de la estación meteorológica automática ubicada en CENGICAÑA.

3.2.2 Descripción general del área de donde fue extraído el suelo para el experimento

3.2.2.1 Ubicación del área

Los suelos se obtuvieron de la finca Rancho Texas, perteneciente a la Corporación Pantaleón-Concepción. La finca se encuentra ubicada en el kilómetro 123 carretera a Sipacate, Escuintla en la zona Litoral Centro de la estratificación de la zona cañera del sur de la República de Guatemala, en las coordenadas geográficas: latitud 14°00'33.17” norte y longitud 91°05'46.41” oeste, a una altura de 12 msnm. La finca tiene una extensión de 208.28 has, divididas en 11 lotes, cuyos tamaños varían de 5.44 has a 27.33 has. El lote donde se obtuvo el suelo está identificado con el código 1070401, y tiene una área de 22.61 has, y está dividido en 6 pantes. La ubicación se presenta en las figuras 19A y 20A.

3.2.2.2 Características del suelo utilizado

El tipo de suelo que se utilizó pertenece al Complejo Pacífico-Caulote (PD-CA)p según el estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala (CENGICAÑA 1996), este Complejo está compuesto por los conjuntos Pacífico (*Fluventic Hapludolls* –franca gruesa MOLLISOL) y el conjunto Caulote (*Typic Ustifluvents* – arenosa ENTISOL). Son suelos de relieve plano, con pendiente menor del 1%, profundos, bien drenados y sin erosión.

Se realizó un análisis de suelos (20 sub-muestras/muestra) a una profundidad de 0.30m. por cada pante de los seleccionados y se realizó el análisis químico y físico de las mismas en el Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA. Los resultados del análisis se presentan en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Resultados análisis químico de 2 muestras del lote 1070401 de finca Rancho Texas

Fecha	Identificación	Finca	Ingenio	No. Lab	pH Agua	% M.O.	Ca	Mg	K	Na	CIC
							Meq/100g Intercambiables				
06/01/2007	Muestra 1	Rancho Texas	Pantaleón	1443	7.08	3.51	31.39	7.20	2.55	0.21	53.20
06/01/2007	Muestra 2	Rancho Texas	Pantaleón	1442	8.69	1.96	23.52	10.98	2.82	3.17	40.75

Fecha	Identificación	Finca	Ingenio	No. Lab	P	Cu	Zn	Fe	Mn
					(ppm)				
06/01/2007	Muestra 1	Rancho Texas	Pantaleón	1443	67.32	0.65	2.60	4.35	9.85
06/01/2007	Muestra 2	Rancho Texas	Pantaleón	1442	58.28	0.00	1.90	1.50	12.35

Fuente: Laboratorio de CENGICAÑA. 2007

Cuadro 5. Resultados análisis físico de 2 muestras del lote 1070401 de finca Rancho Texas.

Fecha	Identificación	Finca	No. Lab	% Arcilla	% Limo	% Arena	TEXTURA	%H 15 ATM	% H 1/3 ATM	D.AP g/cc
06/01/2007	Muestra 1	Rancho Texas	1443	15.55	43.33	41.12	Franco	20.28	40.36	1.07
06/01/2007	Muestra 2	Rancho Texas	1442	17.45	61.40	21.15	franco limoso	16.68	41.95	0.91

Fuente: Laboratorio de CENGICAÑA. 2007

3.2.3 Descripción de las variedades evaluadas

Se utilizaron 8 variedades de caña, 6 de las cuales son promisorias (CG96-135, CG97-97, CP72-1312, CP73-1547, CP88-1165 y PR75-2002) para la Agroindustria Azucarera de Guatemala; lo cual indica que se pasarán a sembrar en áreas comerciales mayores a 1 hectárea por haber superado en pruebas regionales a la CP72-2086 en cantidad de caña, de azúcar y resistencia a enfermedades. Estas variedades fueron seleccionadas por recomendaciones del personal del Programa de Variedades de CENGICAÑA y se encuentran en las últimas etapas de pruebas comerciales; también se utilizó la variedad Co-419 (Coimbatore, India), la selección de esta variedad se basó en la revisión de literatura que indica que las variedades de caña de la India son tolerantes a la salinidad. Como testigo se incluyó la variedad CP72-2086 la cual ocupa un 66.24%

de las 230,000 hectáreas sembradas con caña en la costa sur de Guatemala en la zafra 2007-2008.

Las variedades utilizadas tienen diferente origen; la CG96-135 y CG97-97 son de CENGICAÑA, Guatemala; la CP72-1312, CP72-2086, CP73-1547 y CP88-1165 son de Canal Point, Florida, USA; PR75-2002 de Puerto Rico y Co-419 de Coimbatore, India.

3.2.3.1 Co-419 Cruza: POJ2878 X Co290

Variedad introducida de la India, en el año 1933 era excepcional en el contenido de sacarosa y una alta producción. Este cultivar pronto ocupó el total de la zona tropical de la India y dominó la escena durante más de tres décadas. Varios cultivares con alta productividad y satisfacción fueron obtenidas posteriormente al utilizarla como padre. (Thuljaram Rao citado por Selvi *et al* 2005)

3.2.3.2 CP72-1312 Cruza: CP65-357 X CP56-63

Se empezó a sembrar en la zafra 87-88 ocupando el 2.65% del área (97,000 has.), posteriormente cada zafra aumento su porcentaje de área cultivada hasta alcanzar el punto más alto de expansión durante la zafra 91-92 ocupando el 6.99% del área (130,000 has.) posterior a esto empezó a decrecer hasta la zafra 98-99 donde se sembró el 1.24% del área (180,000 has.), se dejó de sembrar por causas desconocidas hasta que reapareció en la zafra 05-06 con el 1.82% (190,000); por esto a pesar de que ya se sembraba se está evaluando como promisorio. (CENGICAÑA 2007). Es una variedad para cosecha temprana (noviembre y diciembre), con tratamiento térmico se contrarresta el daño que padece por ser susceptible al raquitismo, se ha mostrado buena para suelos con talpetate, se adapta muy bien a la zona alta, en la zona baja se adapta bien a suelos arenosos, tiene buena habilidad de soqueo y buen rendimiento en el 4to corte, alcanzando hasta 98.54 TCH (comentarios sobre la variedad en una reunión del comité de variedades)

3.2.3.3 CG96-135

Cruza: L68-40 X CP57-603

Varietal recomendada para la zona media (100-300 msnm) y para la zona baja (0-100 msnm), donde se han obtenido los resultados expresados en el cuadro 6.

Cuadro 6. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad CG96-135

Variable	Zona media	Zona baja
TCH	133	156
Pol %	16.4	15.6
TAH	21.5	24.2

Fuente: Orozco, H. et al 2004. Catalogo de Variedades de CENGICAÑA

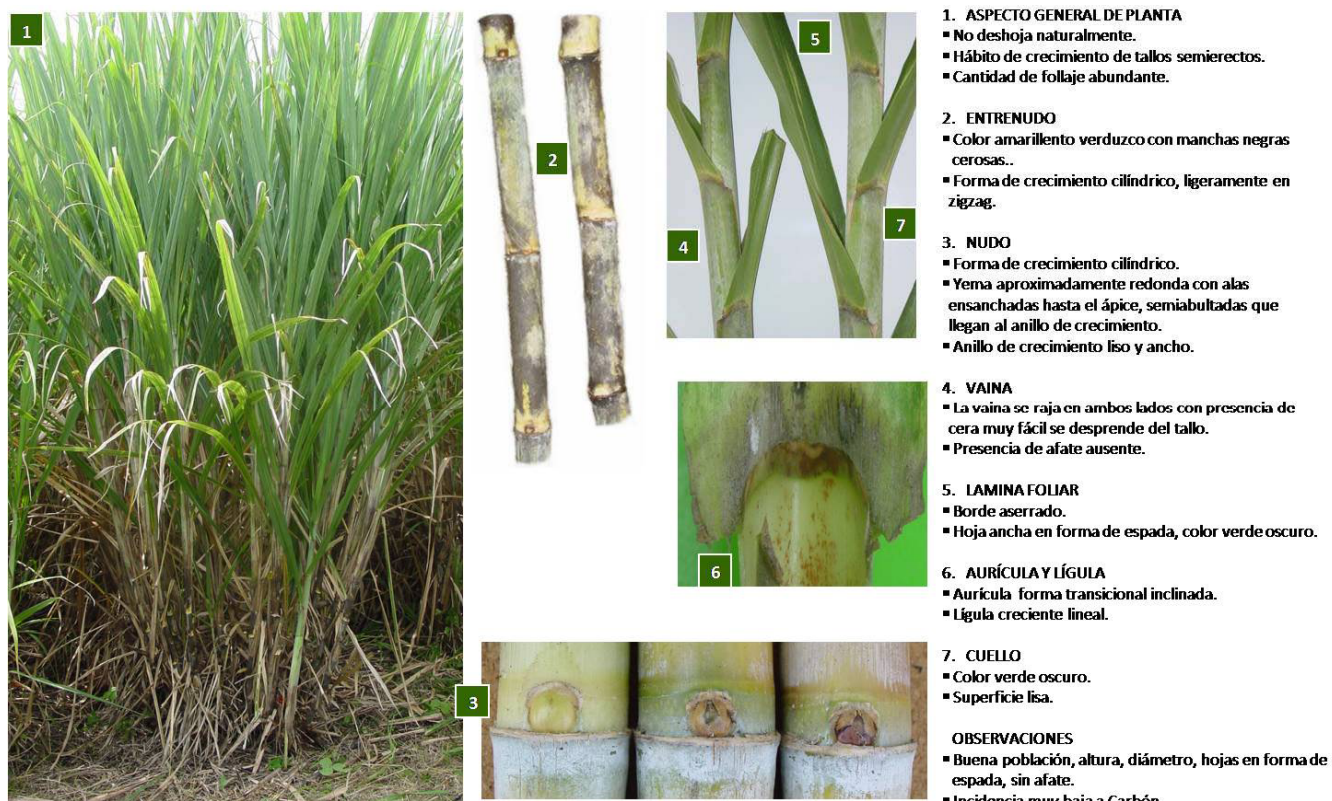


Figura 3. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CG96-135

Fuente: Catálogo de Variedades de CENGICAÑA. 2004.

3.2.3.4 CP73-1547

Cruza: CP66-1043 X CP56-63

Variedad recomendada para la zona media (100-300 msnm) y para la zona baja (0-100 msnm), donde se han obtenido los resultados expresados en el cuadro 7.

Cuadro 7. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad CP73-1547

Variable	Zona media	Zona baja
TCH	133	162
Pol %	16.9	15.8
TAH	21.3	25.4

Fuente: Orozco, H. et al 2004. Catalogo de Variedades de CENGICAÑA

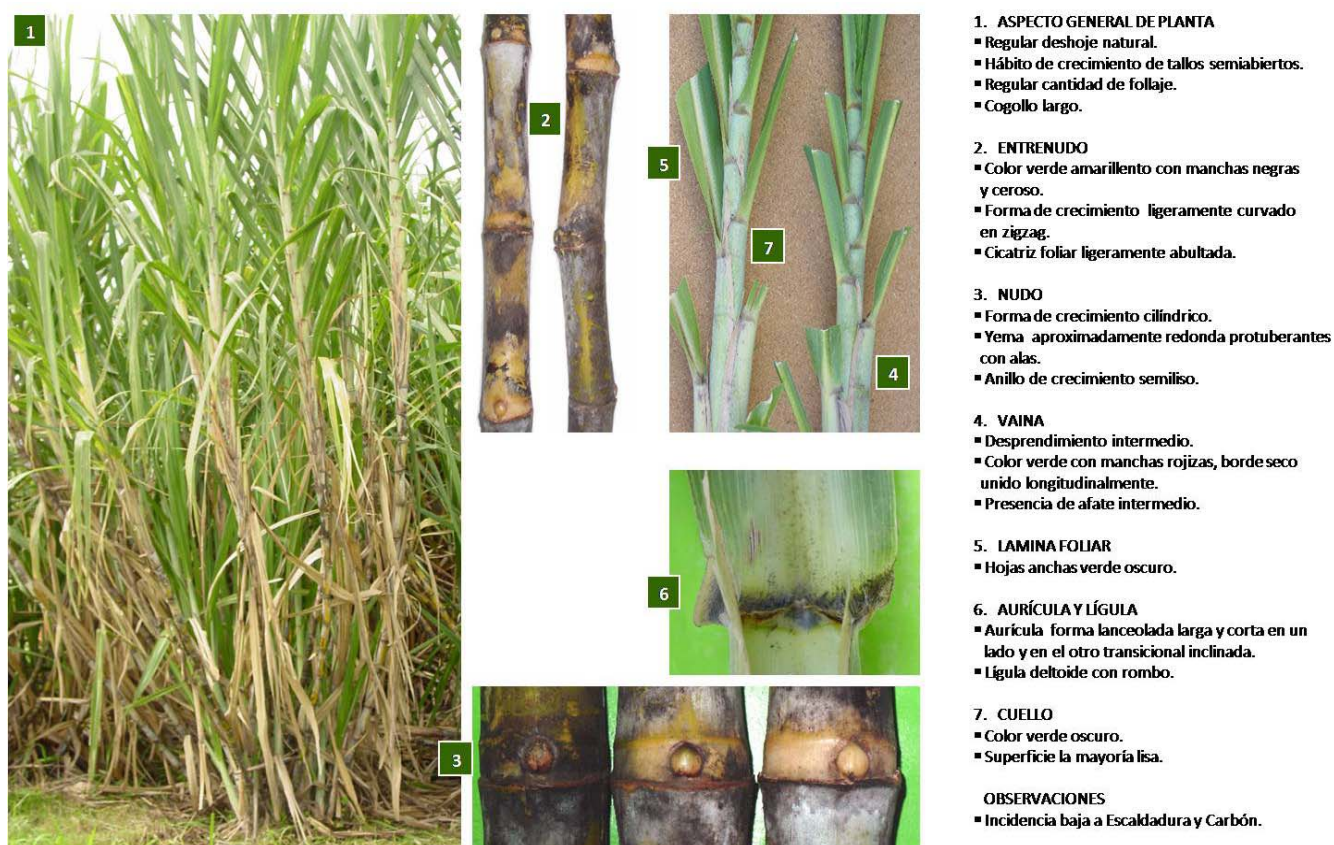


Figura 4. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CP73-1547.

Fuente: Catálogo de Variedades de CENGICAÑA. 2004.

3.2.3.5 CP72-2086 Cruza: CP62-374 X CP63-588

Varietal recomendada para la zona media (100-300 msnm) y para la zona baja (0-100 msnm), donde se han obtenido los resultados expresados en el cuadro 8.

Cuadro 8. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad CP72-2086

Variable	Zona media	Zona baja
TCH	130	151.75
Pol %	16.6	16.2
TAH	21.4	24.4

Fuente: Orozco, H. et al 2004. Catalogo de Variedades de CENGICAÑA

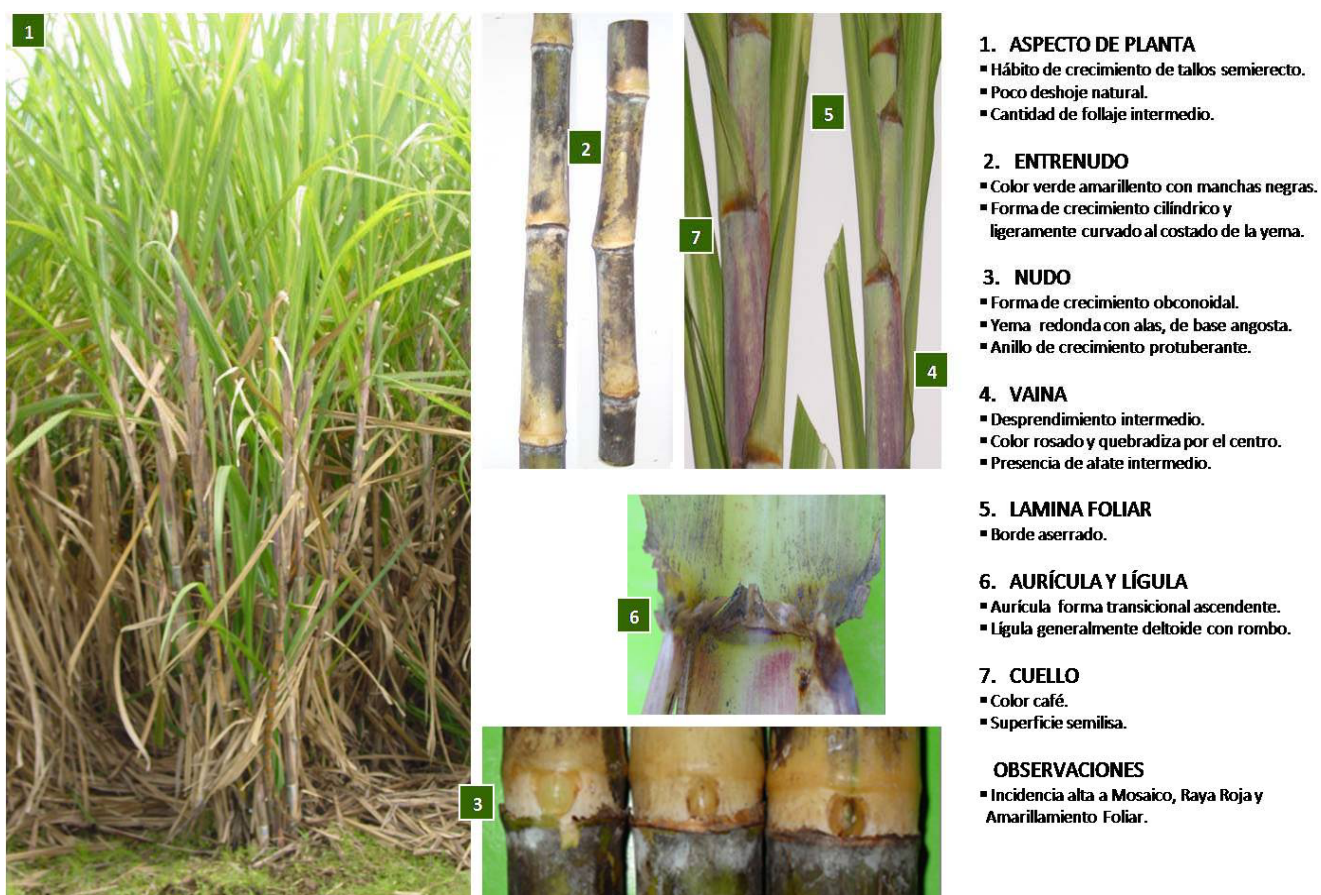


Figura 5. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CP72-2086.

Fuente: Catálogo de Variedades de CENGICAÑA. 2004.

3.2.3.6 CP88-1165 Cruza: CL61-620 X CP81-1302

Variedad recomendada para la zona media (100-300 msnm) y para la zona baja (0-100 msnm), donde se han obtenido los resultados expresados en el cuadro 9.

Cuadro 9. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad CP88-1165

Variable	Zona media	Zona baja
TCH	132	178
Pol %	16.2	15.9
TAH	21.4	28.3

Fuente: Orozco, H. et al 2004. Catalogo de Variedades de CENGICAÑA

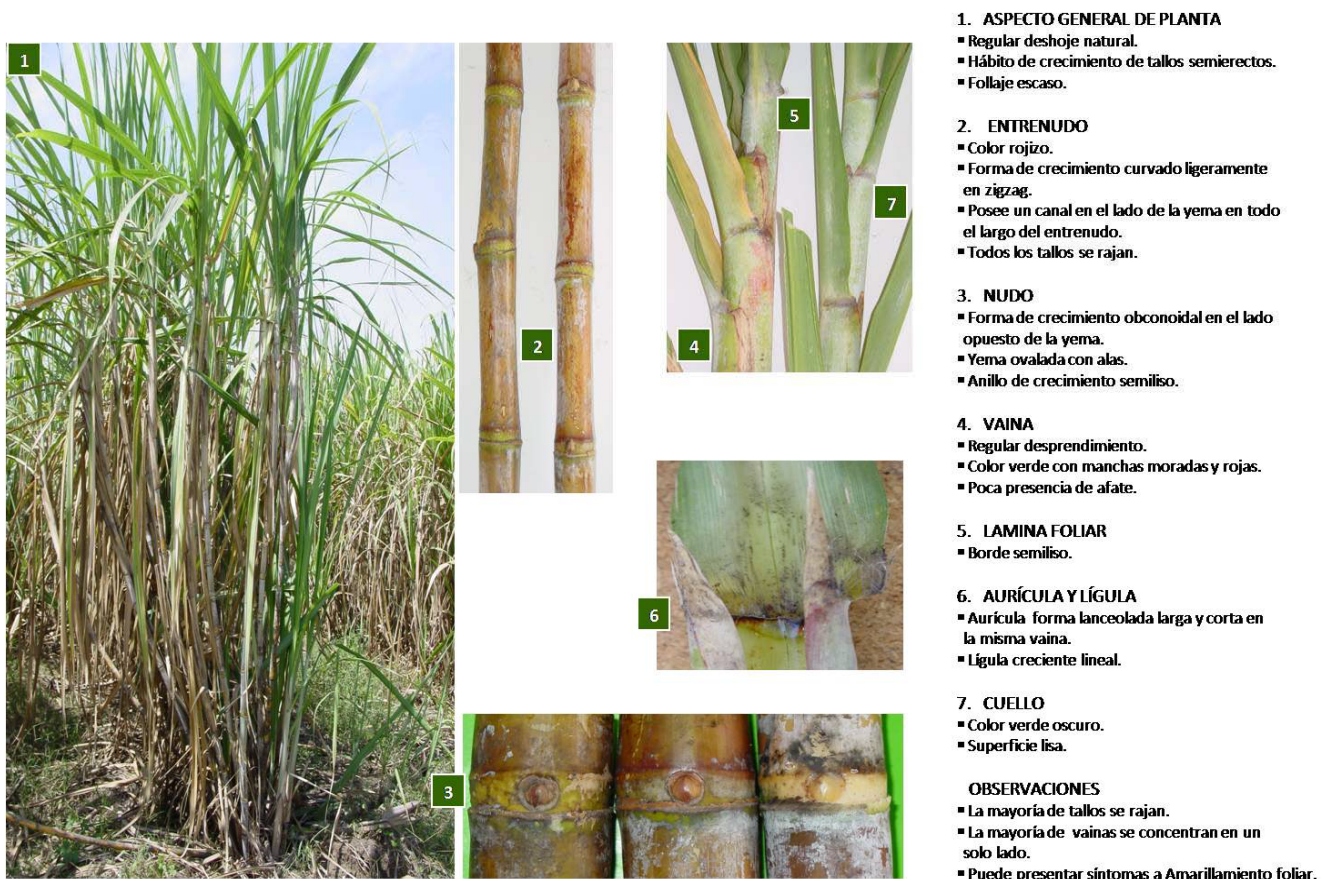


Figura 6. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CP88-1165.

Fuente: Catálogo de Variedades de CENGICAÑA. 2004.

3.2.3.7 PR75-2002 Cruza: PR65-2638 X PR66-2314

Variedad recomendada para la zona media (100-300 msnm) y para la zona baja (0-100 msnm), donde se han obtenido los resultados expresados en el cuadro 10.

Cuadro 10. Resultados en la zona media y zona baja de la variedad PR75-2002

Variable	Zona media	Zona baja
TCH	133	162
Pol %	16.9	15.8
TAH	21.3	25.4

Fuente: Orozco, H. et al 2004. Catalogo de Variedades de CENGICAÑA

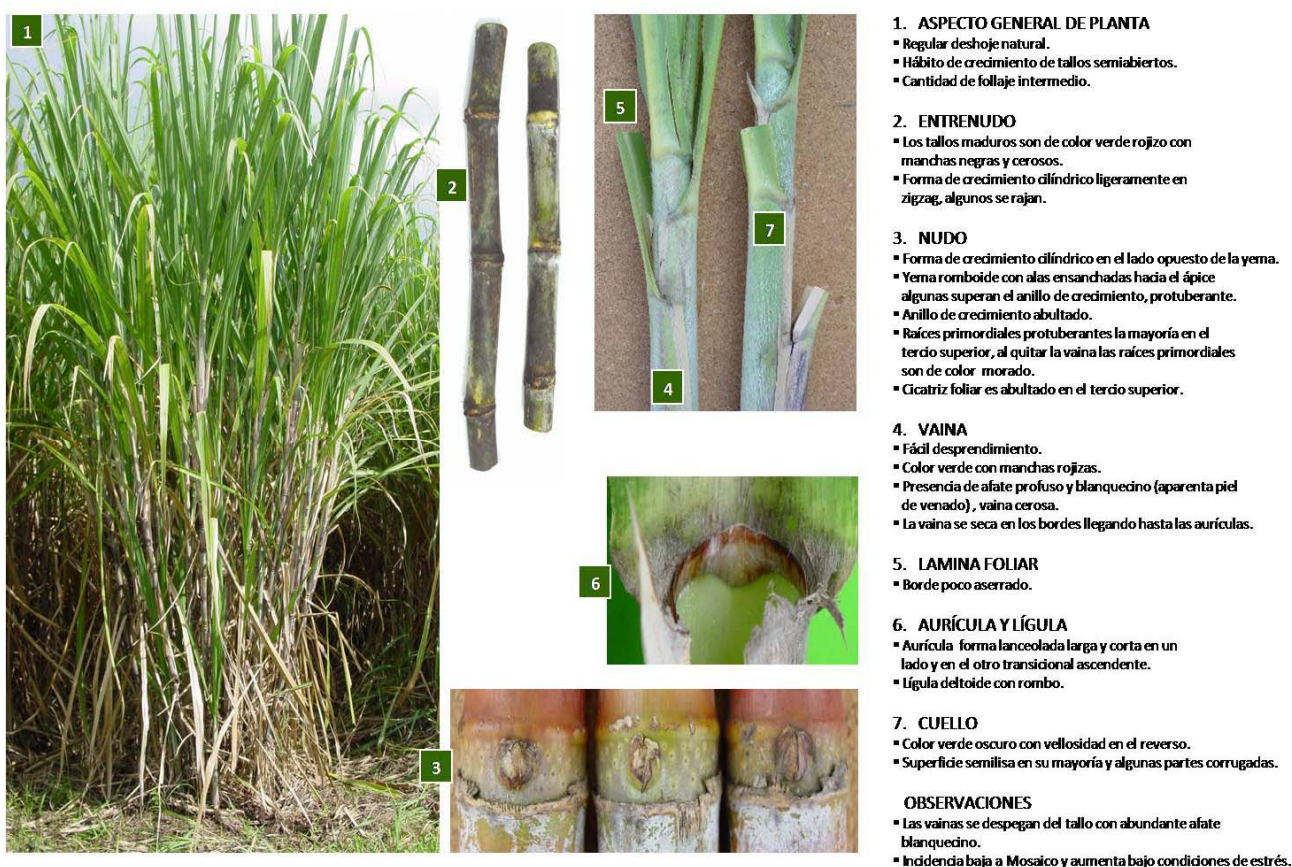


Figura 7. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad PR75-2002

Fuente: Catálogo de Variedades de CENGICAÑA. 2004.

3.2.3.8 CG97-97

Cruza: CB46-47 X CP57-603

Varietal recomendada para la zona baja (0-100 msnm), donde se han obtenido los resultados expresados en el cuadro 11.

Cuadro 11. Resultados en la zona baja de la variedad CG97-97

Variable	Zona baja
TCH	154
Pol %	16.6
TAH	25.2

Fuente: Orozco, H. et al 2004. Catalogo de Variedades de CENGICAÑA

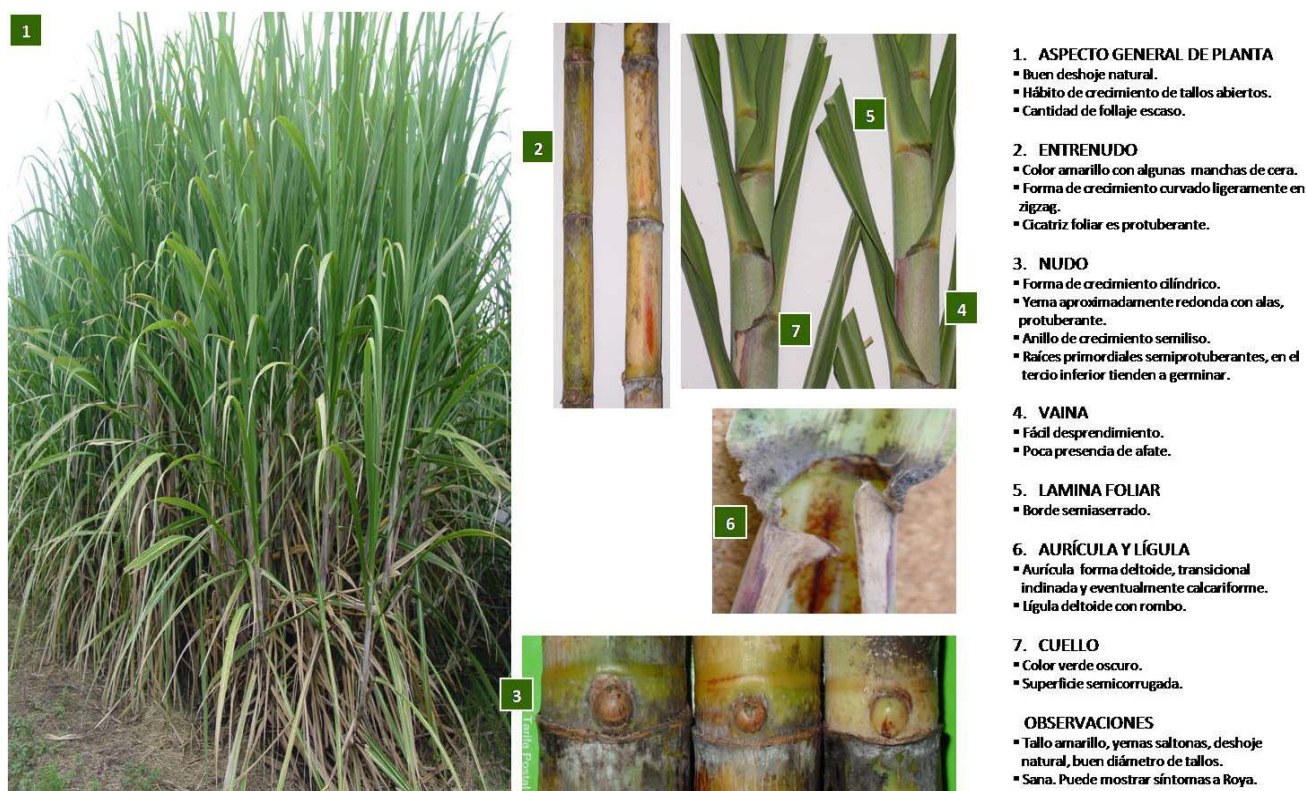


Figura 8. Características morfológicas de una planta de caña de azúcar de la variedad CG97-97

Fuente: Catálogo de Variedades de CENGICAÑA. 2004.

4. Objetivos

General:

Evaluar preliminarmente en macetas la tolerancia a la sodicidad de siete variedades promisorias de Caña de Azúcar.

Específicos:

- Evaluar el rendimiento de biomasa fresca de siete variedades de caña de azúcar en seis niveles de Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del suelo.
- Determinar la concentración de los nutrientes sodio, nitrógeno, calcio, magnesio, potasio, fósforo, zinc, cobre, hierro y manganeso en la hoja TVD (Top Visible Dewlap u hoja con primer labio abierto o visible) de las variedades evaluadas.
- Cuantificar la extracción total de los elementos nitrógeno, calcio, magnesio, potasio y fósforo de las variedades evaluadas.

5. Hipótesis

- Al menos una de las variedades evaluadas resultará menos afectada por la sodicidad con respecto a la variedad CP72-2086.
- Al menos una de las variedades evaluadas tendrá mayor rendimiento de biomasa fresca con respecto a la variedad CP72-2086.
- Al menos una de las variedades evaluadas resultará con mayor concentración de nutrientes en la hoja TVD con respecto a la variedad CP72-2086.
- Al menos una de las variedades evaluadas extraerá una mayor cantidad de elementos con respecto a la variedad CP72-2086.

6. Metodología

6.1. Selección del suelo utilizado

Se determinó utilizar el suelo de un área sin problemas de sodio (un PSI entre 0.01 y 1), con rendimientos entre 90-120 TCH y con características climáticas y edáficas similares a las áreas que presentan el problema de sodio. El área que presentó estas características fué la finca Rancho Texas de la corporación Pantaleón-Concepción

6.2. Muestreo de suelos con fines de fertilidad

Para conocer las características químicas y físicas del suelo a utilizar se realizó un muestro en los pantes seleccionados, se obtuvieron 20 sub-muestras por pante.

6.2.1 Colecta del suelo para el experimento en campo

Se colectó el suelo que se utilizó en los pantes seleccionados; se hicieron agujeros en el entre-surco de 1m. de ancho por 0.20m de profundidad por 10m. de largo, el suelo se depositó en costales y se trasladó hacia CENGICAÑA.

6.3. Preparación del suelo para análisis químico y físico y el experimento en campo

6.3.1 Tamizado

El suelo se tamizó utilizando un mesh 10 (2 mm) para obtener una muestra homogénea, la cual sirvió para sus respectivas determinaciones físicas y químicas. Para el caso del suelo utilizado en el experimento en campo se tamizó utilizando una malla de 3 x 3 mm. para eliminar las partículas de arcilla (lodo) que se encontraban a la hora del muestreo y para eliminar residuos vegetales presentes en el mismo.

6.3.2 Secado del suelo

El suelo se seco en horno durante 48 horas a 70 °C, luego se realizaron las correspondientes determinaciones físicas y químicas.

Para el caso del suelo en el experimento en campo se secó al aire libre durante un lapso de 96 horas hasta que alcanzó peso constante.

Para los análisis químicos y físicos se utilizaron las metodologías indicadas en el cuadro 12.

Cuadro 12. Metodologías utilizadas para el análisis químico y físico de suelos evaluados

Parámetro	Metodología
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductivímetro en extracto de saturación
pH	Potenciómetro relación 1:2.5
Materia Orgánica	Método de Walkley-Black
Bases Intercambiables (Ca, Mg, K y Na)	Acetato de Amonio normal y neutro (Absorción atómica)
CIC	
CICe	
Fósforo disponible	Metodología descrita por Mehlich I.
Elementos menores (Mn, Fe, Zn y Cu)	Extracción con HCl 0.5N y H ₂ SO ₄ 0.025N
Textura	Metodología de Bouyucus
CC y PMP	Metodología de ollas a presión

Fuente: Manual de Métodos de Laboratorio editado por Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA.

6.4. Sodificación del suelo utilizado en el experimento de campo

Para calcular que cantidad y fuente de sodio a utilizar se adoptó la fórmula utilizada por Balcaza (2001) para la corrección de suelos sódicos a través de la aplicación de yeso. La misma consiste en calcular la cantidad de Na en miliequivalentes por 100g. de suelo a reemplazar en el complejo de intercambio catiónico para hacer que el PSI baje. Para que esto se logre es necesario conocer la CIC (meq./100g. de suelo), el nivel de Sodio (meq./100g. de suelo), el PSI (%), la densidad aparente (g/L) y el volumen de suelo a someter a tratamiento (g). En este experimento se calculó la cantidad de Na en meq/100g. de suelo que se tenían que agregar para que el PSI alcanzara los tratamientos planteados. Por los resultados alcanzados en la prueba (cuadros 33A y 34A del anexo) se determinó utilizar el cloruro de sodio en una solución con agua para lograr la sodificación del suelo.

6.4.1 Cálculo de cloruro de sodio aplicado en las macetas

Con los resultados del laboratorio de la muestra de Rancho Texas se hizo el cálculo de la cantidad de cloruro de sodio utilizada en cada tratamiento. El cálculo se presenta en el cuadro 13.

Cuadro 13. Cálculo de la cantidad de cloruro de sodio utilizado por maceta en g.

CC	40.36				
PMP	20.28				
dApa.	1.07				
Na	0.21				
CIC	53.2				
PSI actual	0.39				
PSI objetivo	10	20	30	40	60
Δ PSI esperado	9.61	19.61	29.61	39.61	59.61
Na agregar meq/100g. Suelo	5.11	10.43	15.75	21.07	31.71
Sal agregar mg.sal/100g. Suelo	298.68	609.63	920.59	1231.54	1853.45
Sal agregar (g.) / maceta	36.65	74.80	112.96	151.11	227.42
Sal agregar g /maceta	40.31	82.28	124.25	166.22	250.16
Las macetas tenían un peso de suelo seco aproximado de 27 Lbs. c/u (12.27 Kgs.)					

La cantidad de agua a utilizar para la solución se obtuvo a través de la lámina volumétrica de agua que eran capaz de retener las macetas, los cálculos se presentan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Cálculo de cantidad de agua para hacer la solución para aplicación del cloruro de sodio.

CC	40.36	%
PMP	20.28	%
Densidad Aparente	1.07	g/cc
Cantidad de suelo/maceta	12.27	Kgs.
CC vol.	43.19	%
PMP vol.	21.70	%
Lámina de agua	21.49	mL de agua/100g de suelo
Lámina de agua/maceta	2.64	L de agua / maceta

6.4.2 PSI y conductividad eléctrica de los tratamientos

Después de la aplicación de cloruro de sodio se realizó un muestreo de suelo en las cubetas para saber que niveles de PSI y Conductividad Eléctrica se habían obtenido. Los resultados se presentan en el cuadro 15.

Cuadro 15. PSI y conductividad eléctrica alcanzado en las macetas después de la aplicación de cloruro de sodio

PSI calculado Rancho Texas			Conductividad eléctrica	
PSI esperado	PSI alcanzado	PSI promedio	Nivel de PSI	CE (dS m-1)
10 PSI	12.60	9.39	9	0.00
	6.81		15	0.01
	8.76		20	1.80
20 PSI	17.57	15.70	20	0.00
	15.82		25	0.00
	13.71		25	0.00
30 PSI	25.51	20.74	25	0.01
	17.26		25	0.06
	19.43		35	0.02
40 PSI	22.82	24.34	35	0.00
	23.62		35	0.01
	26.58		35	0.02
60 PSI	32.14	34.52	35	0.01
	36.37		35	0.04
	35.06		35	0.01

Los niveles de PSI obtenidos después de la aplicación del cloruro de sodio se convirtieron en los tratamientos a evaluar, siendo los siguientes:

- 9 PSI, 15 PSI, 20 PSI, 25 PSI y 35 PSI; tomando como testigo el PSI del suelo que de acuerdo al cuadro 13 es de 0.39.

6.5. Preparación de las macetas para la siembra de la caña

Las macetas fueron perforadas en el fondo para facilitar el drenaje de las mismas. Con el objetivo de evitar el contacto directo de las macetas con el suelo, se separaron del mismo, utilizando reglas de madera con medidas 1" de ancho x 2" de alto x 12" de largo; de esta manera se evitó que el

agua drenada se quedara reposada debajo de la maceta y que las raíces estuvieran en contacto con el suelo.

6.6. Siembra de las variedades

Las variedades se sembraron utilizando toletes (1 yema en medio de 2 entrenudos) en cada una de las macetas y se distribuyeron según el diseño experimental en campo.

6.7. Manejo agronómico del cultivo

6.7.1 Fertilización

Se fertilizó con Urea (46%) aplicando una dosis de 5 ppm/maceta cada 30 días después de la siembra.

6.7.2 Riego

Para regar se utilizó el agua de CENGICAÑA la cual presenta una conductividad eléctrica a 25 °C de 1.2 dS/m. El método utilizado fue con mangueras de plástico; se regó cuando el 50% de la lámina de humedad se había agotado (10.72 mm, según el cuadro 14), se verificaba utilizando los datos de la estación meteorológica de CENGICAÑA, básicamente se regó cada 3 días en época seca y por balance hídrico en época lluviosa.

6.7.3 Control de plagas y enfermedades

Se realizó con la colaboración de las áreas de MIP y Fitopatología de CENGICAÑA. El único producto que se aplicó durante el ciclo de cultivo fue Diazinon (Diasol) en dosis de 400 cc/solución/maceta para el control de termitas, 5 unidades experimentales presentaron daño ocasionado por termitas por lo cual se determinó aplicar el producto como prevención.

6.7.4 Cosecha

La cosecha se realizó a los 140 días después de la siembra.

6.8. Metodología experimental

6.8.1 Unidad experimental

La unidad experimental consistió en una maceta donde se sembró 1 tolete de caña de azúcar de cada una de las variedades evaluadas (al final se tenía una macolla/maceta), fueron 48 los tratamientos evaluados con 3 repeticiones siendo en total 144 unidades experimentales.

6.8.2 Diseño de tratamientos

Se utilizó un diseño factorial 6 x 8 evaluando dos factores:

Factor A = Niveles de sodio en el suelo expresados en Porcentaje de Sodio Intercambiable PSI con 6 niveles.

Factor B = Variedades de caña de azúcar con 8 niveles.

6.8.3 Diseño experimental

Para este ensayo se utilizó el diseño completamente al azar con arreglo combinatorio. El modelo estadístico-matemático es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo:

i	=	1, . . . , a (número de niveles del factor niveles de sodio en el suelo)
j	=	1, . . . , b (número de niveles del factor variedades de caña de azúcar)
k	=	1, . . . , r (número de repeticiones)

Y_{ijk}	=	Valor observado del nivel i del factor A con el nivel j del factor B en la repetición k.
μ	=	media general de la variable de respuesta
α_i	=	efecto del nivel i del factor A (niveles de sodio en el suelo)
τ_j	=	efecto del nivel j del factor B (variedades de caña de azúcar)
$(\alpha\tau)_{ij}$	=	efecto de la interacción entre el nivel i del factor A con el nivel j del factor B;
ε_{ijk}	=	error experimental asociado a la ijk – ésima unidad experimental.

6.8.4 Croquis de la fase de campo

A ₅ B ₆	A ₄ B ₂	A ₆ B ₃	A ₁ B ₄	A ₂ B ₆	A ₃ B ₆	A ₃ B ₃	A ₆ B ₃	A ₂ B ₈	A ₆ B ₈	A ₁ B ₅	A ₃ B ₈
A ₄ B ₆	A ₂ B ₄	A ₅ B ₁	A ₂ B ₇	A ₂ B ₃	A ₃ B ₁	A ₁ B ₄	A ₂ B ₃	A ₃ B ₆	A ₃ B ₄	A ₆ B ₈	A ₃ B ₄
A ₁ B ₈	A ₆ B ₃	A ₄ B ₃	A ₄ B ₈	A ₅ B ₁	A ₁ B ₅	A ₁ B ₁	A ₃ B ₇	A ₁ B ₄	A ₂ B ₆	A ₃ B ₄	A ₁ B ₇
A ₁ B ₂	A ₂ B ₂	A ₃ B ₆	A ₆ B ₄	A ₅ B ₄	A ₄ B ₁	A ₆ B ₅	A ₅ B ₃	A ₂ B ₄	A ₅ B ₅	A ₆ B ₈	A ₁ B ₈
A ₆ B ₇	A ₁ B ₁	A ₂ B ₁	A ₄ B ₅	A ₁ B ₆	A ₃ B ₂	A ₃ B ₅	A ₄ B ₄	A ₄ B ₇	A ₅ B ₂	A ₅ B ₇	A ₆ B ₁
A ₅ B ₈	A ₆ B ₂	A ₆ B ₆	A ₁ B ₈	A ₂ B ₈	A ₆ B ₇	A ₃ B ₁	A ₃ B ₅	A ₆ B ₂	A ₁ B ₆	A ₂ B ₁	A ₅ B ₆
A ₁ B ₇	A ₄ B ₃	A ₁ B ₃	A ₁ B ₂	A ₅ B ₅	A ₁ B ₃	A ₂ B ₂	A ₆ B ₁	A ₄ B ₄	A ₆ B ₅	A ₄ B ₇	A ₂ B ₇
A ₂ B ₅	A ₃ B ₂	A ₅ B ₃	A ₆ B ₄	A ₄ B ₆	A ₃ B ₇	A ₅ B ₂	A ₄ B ₁	A ₄ B ₈	A ₅ B ₇	A ₃ B ₈	A ₅ B ₄
A ₃ B ₃	A ₂ B ₅	A ₄ B ₂	A ₄ B ₅	A ₅ B ₈	A ₁ B ₁	A ₆ B ₁	A ₁ B ₇	A ₃ B ₅	A ₆ B ₆	A ₄ B ₁	A ₄ B ₇
A ₅ B ₈	A ₅ B ₄	A ₁ B ₆	A ₆ B ₇	A ₃ B ₂	A ₆ B ₅	A ₄ B ₆	A ₆ B ₆	A ₂ B ₃	A ₁ B ₂	A ₅ B ₅	A ₁ B ₃
A ₄ B ₃	A ₅ B ₂	A ₅ B ₁	A ₃ B ₇	A ₆ B ₄	A ₅ B ₆	A ₂ B ₂	A ₄ B ₈	A ₅ B ₃	A ₃ B ₈	A ₂ B ₆	A ₃ B ₁
A ₂ B ₇	A ₆ B ₆	A ₄ B ₂	A ₂ B ₅	A ₃ B ₃	A ₄ B ₅	A ₂ B ₄	A ₁ B ₅	A ₂ B ₁	A ₄ B ₄	A ₃ B ₇	A ₂ B ₈

6.8.5 Variables de respuesta

6.8.5.1 Biomasa fresca

Cada maceta al momento de la cosecha la macolla se dividió en 3 partes:

- Hojas secas
- Tallos
- Hojas verdes (cogollo ó material verde)

Se procedió a pesar cada segmento por separado en el momento del corte, la sumatoria de estos factores es la biomasa fresca que se expresó en g/maceta.

6.8.5.2 Biomasa seca

Las plantas se llevaron al laboratorio agronómico de CENGICAÑA, donde una repetición de cada componente de biomasa fresca se secó en el horno durante 36 horas a una temperatura de 70 °C, al salir del horno se pesaron las bolsas y se obtuvo el porcentaje de humedad de cada factor, el cual se utilizó como factor para el cálculo de la biomasa seca de las otras dos repeticiones. Se expresó en g/maceta.

6.8.5.3 Altura y número de tallos

A Altura

Se midió la altura del tallo principal de la macolla de cada maceta desde el ras del suelo hasta la primera hoja con labio abierto o visible (figura 9), estas mediciones se hicieron a los 21, 42, 63, 84, 105 y 140 días después de la siembra (d.d.s.). Se expresó en cm/tallo principal

B Tallos

Al momento de la cosecha se contabilizó el número de tallos que tenía cada maceta.

6.8.5.4 Análisis de tejido foliar en hoja TVD con fines de diagnóstico nutricional

Para conocer el diagnóstico nutricional de las plantas al momento de la cosecha se realizó un análisis de tejido foliar en la hoja TVD (Top Visible Dewlap o primer cuello visible) (figura 9)

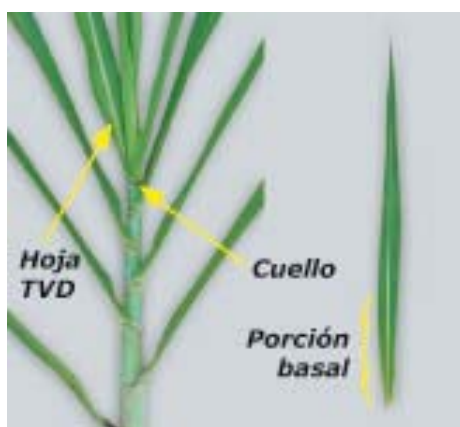


Figura 9. Ubicación del cuello, hoja TVD y porción basal de las hojas

A Preparación de la muestra

La preparación de la muestra se realizó de la siguiente manera:

- Se cortaron las hojas TVD de los tallos de cada maceta
- Se cortó el área basal y el área distal de la hoja para que la muestra fuera la parte media de la hoja.
- Se quitó la nervadura central a las hojas

La muestra se trasladó al laboratorio agronómico de CENGICAÑA para el análisis respectivo siguiendo las metodologías del manual del laboratorio editado por CENGICAÑA (cuadro 16). Se analizaron 2 repeticiones completas para hacer un total de 96 muestras.

B Análisis realizados

Se obtuvo la concentración Na, N, Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe y Mn al momento de la cosecha.

Cuadro 16. Metodologías utilizadas para el análisis foliar

Parámetro	Metodología
Nitrógeno	Digestión con H ₂ SO ₄ Micro Kjeldhal
Macronutrientes (Na, Ca, Mg, K) Micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn)	Incineración de cenizas Dilución ácida Lectura con espectrofotómetro AA
Fósforo	Incineración de cenizas Extracción HCl Lectura con espectrofotómetro UV/VIS

Fuente: Manual de Métodos de Laboratorio editado por laboratorio agronómico de CENGICAÑA

6.8.5.5 Análisis foliar con fines de extracción total de nutrientes

La misma repetición que se utilizó para la obtención del porcentaje de humedad para el cálculo de la biomasa seca se analizó en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA, los análisis efectuados fueron de los elementos N, Ca, Mg, K y P; de acuerdo a las metodologías del manual de laboratorio editado por CENGICAÑA. El dato expresado en porcentaje de cada elemento se multiplicó por el dato de biomasa seca para obtener la cantidad extraída de cada componente de la planta (hojas secas, tallos y hojas verdes) se sumaron las cantidades extraídas por cada unidad, experimental y se obtuvo la cantidad total extraída expresada en g/maceta.

6.8.5.6 Raíces

Al momento de la cosecha se obtuvieron los pesos frescos de las raíces de cada maceta, después de lavarlas y secarlas al aire libre para eliminar los restos de agua de lavado. Se trasladaron al

laboratorio donde se secaron en horno durante 72 horas a una temperatura de 70 °C, se procedió a pesarlas y se obtuvo el peso seco de raíces.

6.8.6 Análisis de la información

6.8.6.1 Análisis de varianza

Se realizó para un diseño bi-factorial completamente al azar, para evaluar el efecto de las variedades independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo; el efecto de los niveles de PSI del suelo independientemente del efecto de las variedades y la interacción del efecto de las variedades en combinación con el efecto del PSI del suelo, para las variables:

- Biomasa fresca y biomasa seca (g/maceta)
- Altura del tallo principal a los 140 días después de la siembra (d.d.s.) (cm/tallo principal)
- Número de tallos por maceta
- Análisis foliar de la hoja TVD con fines de diagnóstico nutricional
 - Porcentaje de Sodio (Na)
 - Porcentaje de Nitrógeno (N)
 - Porcentaje de Calcio(Ca)
 - Porcentaje de Magnesio (Mg)
 - Porcentaje de Potasio (K)
 - Porcentaje de Fósforo (P)
- Análisis foliar con fines de extracción total de nutrientes
 - g de Nitrógeno/maceta
 - g de Calcio/maceta
 - g de Magnesio/maceta
 - g de Potasio/maceta
 - g de Fósforo/maceta
- Raíces peso fresco y raíces peso seco (g/maceta)

6.8.6.2 Prueba de medias

Para las variables que demostraron diferencia significativa en alguno de los factores evaluados se realizó la prueba de medias por el método de Tukey utilizando como comparador la Diferencia Significativa Honesta (DHS) con 0.05 de nivel de significancia.

7. Resultados y discusión

7.1. Biomasa fresca

Las medias de rendimiento de biomasa fresca (g/maceta) determinados a los 140 días después de la siembra se presentan en el cuadro 17.

Cuadro 17. Medias de rendimiento de biomasa fresca (g/maceta) de los tratamientos evaluados

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	988.7	999.3	908.7	761.7	881.3	829.0
CP72-2086	1154.0	1367.7	1351.0	1271.3	1136.0	902.3
CP73-1547	1742.7	1537.7	1527.3	1529.7	1428.0	1394.7
CP88-1165	1860.7	1871.3	1736.3	1484.0	1404.3	1420.0
CG96-135	1064.3	1195.7	1136.7	1069.0	1068.3	808.0
CG97-97	1363.7	1054.3	952.3	949.0	1053.0	948.0
PR75-2002	1052.0	1225.3	1004.3	909.3	1013.3	997.3
Co-419	710.7	713.3	738.0	632.0	586.0	422.5

En el cuadro 17 se observa que la variedad Co-419 mostró los más bajos rendimientos de biomasa fresca (g/maceta), mientras que en 4 niveles de PSI del suelo la variedad con más alta producción de biomasa fresca (g/maceta) fue la CP88-1165.

El análisis de varianza de los datos de biomasa fresca (g/maceta) se presenta en el cuadro 18.

Cuadro 18. Análisis de varianza de la variable biomasa fresca (g/maceta) a la cosecha

F.V.	G.L.	S.C.	Pr > F
Variedad	7	11939814.74	0.0001 (**)
PSI	5	1322798.51	0.0167 (*)
Variedad * PSI	35	1018938.44	0.9998 (ns)
Error	87	7815171.17	
Total	134	22180647.73	
C.V.		26.10	
Media		1148.38 g/maceta	

El análisis de varianza indicó que la variedad y el nivel de PSI tuvieron efectos estadísticamente significativos sobre el rendimiento de la biomasa fresca (g/maceta). Observándose que el efecto de la interacción variedad X PSI no tuvo significancia. Estos resultados permiten analizar el efecto de las variedades y el PSI del suelo en forma separada.

La prueba de medias del efecto de las variedades independientemente del nivel de PSI del suelo se presenta en el cuadro 19.

Cuadro 19. Prueba de medias para el efecto de las variedades sobre el rendimiento de la biomasa fresca (g/maceta) independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo. (Tukey 0.05 α)

Variedad	Media de Biomasa Fresca (g/maceta)
CP88-1165	1629.44 (a)
CP73-1547	1526.67 (a)
CP72-2086	1199.59 (b)
CG97-97	1060.00 (b)
CG96-135	1056.29 (b)
PR75-2002	1033.61 (b)
CP72-1312	898.65 (bc)
Co-419	644.93 (c)

Nota: Las letras diferentes significan efectos estadísticamente diferentes

En el cuadro 19 se observa que las variedades CP88-1165 y CP73-1547 fueron superiores en términos de producción de biomasa fresca (g/maceta) al resto de variedades evaluadas, observándose la variedad Co-419 como la variedad con el rendimiento significativamente más bajo. La variedad CP72-2086 que es la testigo por ser la más sembrada en la Agroindustria Azucarera de Guatemala (66.2% de área) tuvo un rendimiento intermedio. El efecto promedio del PSI del suelo sobre el rendimiento de biomasa fresca (g/maceta) se presenta en la figura 10.

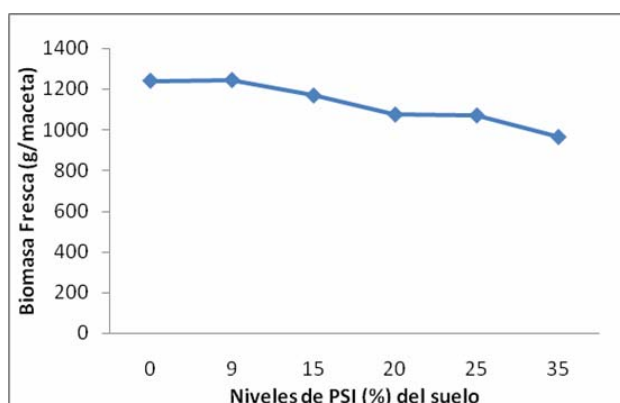


Figura 10. Efecto del PSI del suelo independientemente del efecto de las variedades en la variable biomasa fresca (g/maceta)

En la figura 10 se observa que en promedio el rendimiento de biomasa fresca (g/maceta) disminuyó en la medida que aumentó el nivel de PSI del suelo. Esta disminución es más evidente del nivel 15 de PSI del suelo en adelante. En promedio se observó que el nivel más alto de PSI (35%) rindió el 78% del rendimiento máximo obtenido con el tratamiento sin sodio (0%), equivalente a una disminución de 22% de la biomasa fresca (g/maceta).

Aunque el efecto de la interacción variedad X PSI no fue estadísticamente significativo se observan ciertas diferencias en el comportamiento de las variedades con respecto al PSI del suelo tal como se muestra en la figura 11.

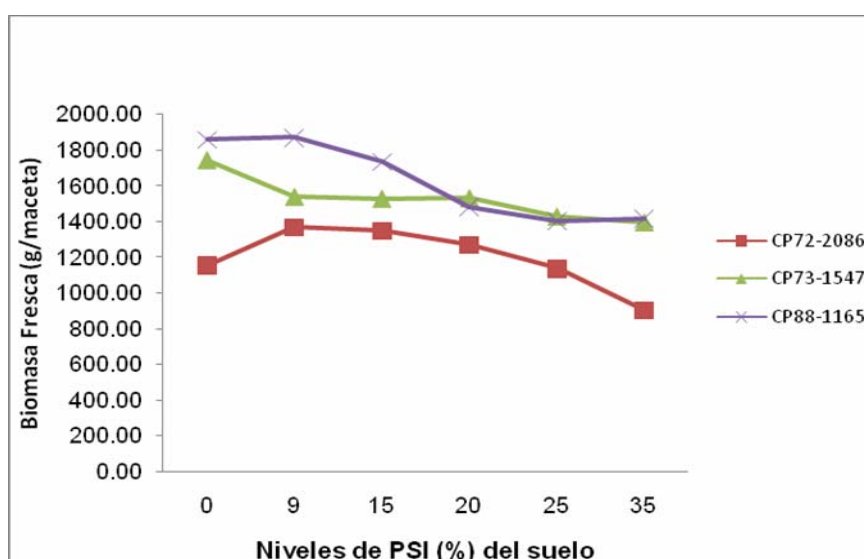


Figura 11. Comparación de la biomasa fresca (g/maceta) obtenida de las variedades CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086.

En la figura 11 se observa que la disminución del rendimiento de la biomasa fresca (g/maceta) en las variedades CP88-1165 y CP73-1547 al aumentar los niveles de PSI del suelo es más leve que la disminución mostrada por la variedad CP72-2086.

En promedio se observaron disminuciones del 10, 25 y 34 por ciento del rendimiento de biomasa fresca con los tratamientos altos en sodio para las variedades CP73-1547, CP88-1165 y CP72-2086, respectivamente, indicando un mayor efecto del PSI del suelo en la variedad CP72-2086.

Se observa que aun con las disminuciones de los rendimientos de biomasa fresca (g/maceta) en los niveles altos de PSI del suelo en las variedades CP88-1165 y CP73-1547, estos fueron mayores que los rendimientos alcanzados en cualquier nivel de PSI del suelo con la CP72-2086.

A nivel de campo se ha observado que las variedades CP88-1165 y CP73-1547 crecen bien en suelos arenosos y en zonas marginales comparadas con la variedad testigo CP72-2086. (Juárez *et.al.* 2007)

En un suelo de la zona litoral (0 – 40 msnm) de la región cañera de Guatemala con un PSI en el suelo de 27 por ciento, la variedad CP88-1165 fue capaz de producir un rendimiento de caña de 140 TM/ha en la zafra 2007-2008, el cual se considera un rendimiento alto (Fernando Barneond¹)

La variedad CP88-1165 se caracteriza por tener un sistema radical con presencia abundante de micro-fibras (raicillas) las cuales pueden penetrar profundamente en el suelo explorando mayor volumen del mismo y acceder a mantos freáticos que otras variedades no pueden. (Héctor Orozco²)

Actualmente estas dos variedades están en expansión en la Agroindustria Azucarera de Guatemala. En la zafra 2006-2007 se reporta que la variedad CP88-1165 ocupó el 6.1 por ciento del área sembrada y sigue en vías de expansión, mientras que la variedad CP73-1547 ocupó un 4.5 por ciento del área.

7.2. Biomasa seca

Las medias de rendimiento de biomasa seca (g/maceta) determinados a los 140 días después de la siembra se presentan en el cuadro 35A.

La biomasa seca se determinó para calcular la extracción total de nutrientes.

7.3. Altura y número de tallos

Las medias de altura (cm/tallo principal) y número de tallos a los 140 días después de la siembra se presentan en los cuadros 41A y 42A. El análisis de varianza de las variables altura (cm/tallo principal) y número de tallos al momento de la cosecha se presenta en el cuadro 20.

¹ Barneond F. Jefe de Zona del Ingenio Concepción. 2008. Finca El Reposito. (comunicación personal con Ovidio Pérez coordinador del Programa de Agronomía de CENGICAÑA). Guatemala

² Orozco, H. 2008. Características de las variedades evaluadas. Coordinador del Programa de Variedades de CENGICAÑA (comunicación personal). Guatemala.

Cuadro 20. Análisis de varianza de las variables altura (cm/tallo principal) y número de tallos al momento de la cosecha.

		Altura (cm/tallo principal)		Número de tallos	
F.V.	G.L.	S.C.	Pr > F	S.C.	Pr > F
Variedad	7	22012.44	0.0001 (**)	380.22	0.0001 (**)
PSI	5	553.12	0.7398 (ns)	18.95	0.0761 (ns)
Variedad * PSI	35	3427.60	0.9914 (ns)	145.66	0.0009 (**)
Error	96	19393.33		176.00	
Total	143	45386.49		720.83	
C.V.		21.17		16.99	
Medias		67.13		7.97	

Según el cuadro 20 las variedades tienen diferencia significativa en la variable altura (cm/tallo principal) y en la variable número de tallos, la prueba de medias para evaluar el efecto de las variedades independientemente del efecto del PSI del suelo se presenta en el cuadro 21. La interacción entre el efecto de las variedades y el efecto de los niveles de PSI en la variable número de tallos tiene diferencia significativa, la cual se presenta en la figura 12.

Cuadro 21. Prueba de medias para el efecto de las variedades en las variables altura (cm/tallo principal) y número de tallos al momento de la cosecha independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo. (Tukey 0.05 α)

Variedad	Media de altura (cms./tallo principal)	Media de número de tallos
CP88-1165	91.22 (a)	6.78 (def)
CP73-1547	83.22 (a)	6.28 (ef)
PR75-2002	67.28 (b)	7.94 (cd)
CP72-1312	63.44 (b)	6.00 (f)
CP72-2086	61.33 (b)	9.56 (b)
CG97-97	60.33 (b)	8.33 (bc)
Co-419	55.89 (b)	7.67 (cde)
CG96-135	54.33 (b)	11.17 (a)

Nota: Las letras diferentes significan efectos estadísticamente diferentes

En el cuadro 21 se observa que las variedades CP88-1165 y CP73-1547 fueron superiores en términos de altura (cm/tallo principal) al resto de las variedades evaluadas, caso contrario en el número de tallos donde fueron de las variedades con menor número. La variedad CG96-135 su poca altura alcanzada en el tallo principal se compensa con el número de tallos formados, variable en la que fue superior significativamente a las variedades evaluadas.

En la figura 12 se observa la interacción del efecto de las variedades con el efecto de los niveles de PSI del suelo, de la variable número de tallos por maceta.

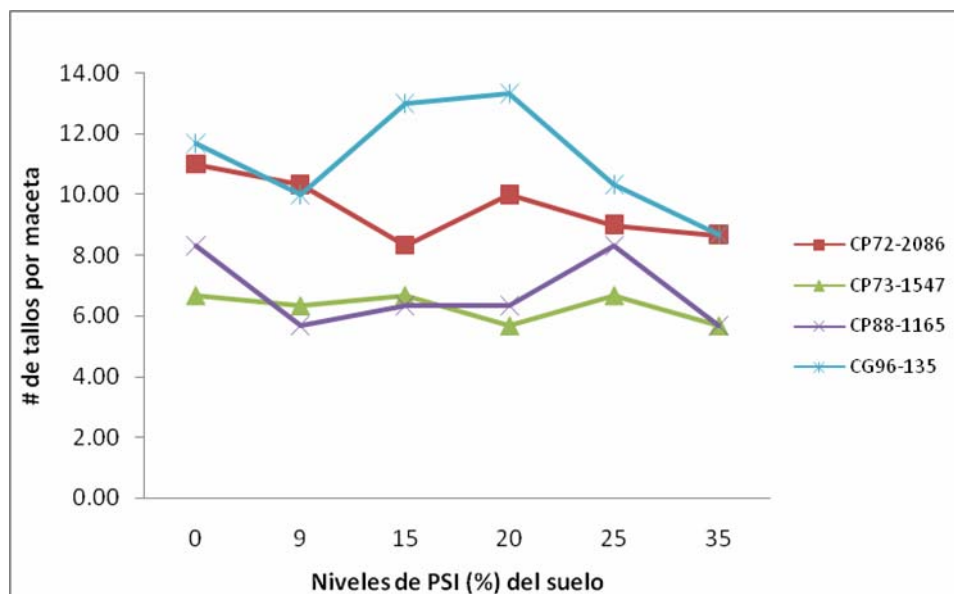


Figura 12. Número de tallos promedio por maceta contabilizados al momento de la cosecha en las variedades CP72-2086, CP73-1547, CP88-1165 y CG96-135

La variedad CG96-135 tuvo su mayor cantidad de tallos en los niveles 15 PSI y 20 PSI, de ahí en adelante conforme aumentó el nivel de PSI del suelo el número de tallos disminuyó; en tanto que la variedad CP72-2086 su disminución de número de tallos fue más leve conforme aumento el PSI del suelo pero fue más consistente la tendencia.

El número de tallos de las variedades no correspondió con el rendimiento de biomasa fresca (g/maceta) en las variedades evaluadas.

7.3.1 Altura

Aunque la interacción variedad * PSI del suelo de la variable altura (cm/tallo principal), no fue estadísticamente significativa se observan ciertas diferencias en el comportamiento de las variedades con respecto al PSI del suelo, como se muestra en la figura 13.

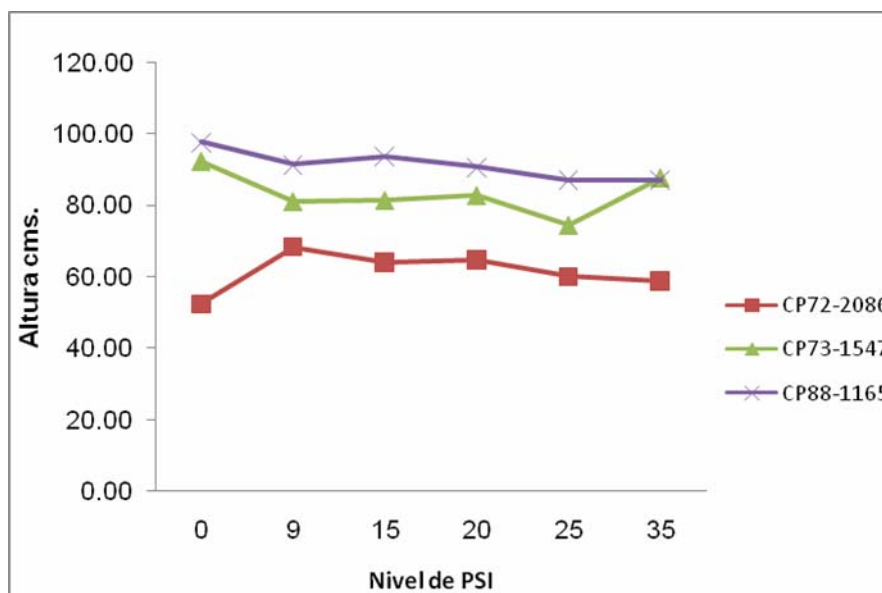


Figura 13. Altura promedio (cm/tallo principal) de las variedades CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086.

En la figura 13 se observa que con los niveles más altos de PSI, las alturas de las variedades CP88-1165 y CP73-1547 fueron mayores que las alturas obtenidas en los niveles más bajos de PSI con la variedad CP72-2086.

Las mayores alturas de tallo promedio de las variedades CP88-1165 y CP73-1547 y la magnitud de la disminución de esta variable al aumentar el PSI del suelo con respecto a la variedad CP72-2086 explican el comportamiento del rendimiento de biomasa fresca de estas variedades discutida anteriormente.

Los datos de altura (cm/tallo principal) de los muestreos realizados a los 21, 42, 63, 84 y 105 días después de la siembra se presentan en los cuadros 36A, 37A, 38A, 39A y 40A respectivamente.

7.4. Análisis de tejido foliar en hoja TVD con fines de diagnóstico nutricional

7.4.1 Porcentaje de sodio (% de Na)

Los resultados del análisis foliar de la hoja TVD de Na expresado en porcentaje se presentan en el cuadro 43A y en la figura 14.

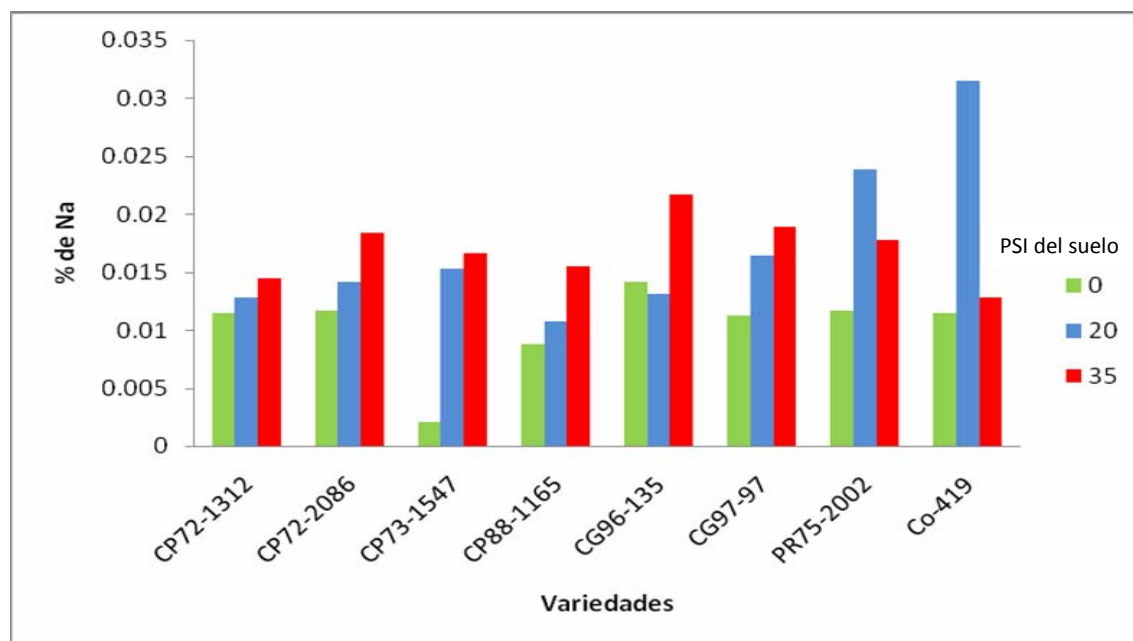


Figura 14. Concentración de Na en la hoja TVD en 8 variedades de caña de azúcar.
Fuente: Laboratorio Agronómico. CERES

En la figura 14 se observa que las concentraciones de Na en la hoja TVD de las diferentes variedades, correspondieron a los niveles de PSI evaluados. El nivel mayor (35 PSI) en todas las variedades presenta mayor concentración de sodio en la hoja que el nivel testigo (0 PSI).

Es interesante observar que la variedad CP88-1165 presentó la concentración más baja de Na entre todas las variedades cuando las mismas fueron evaluadas con un nivel de PSI de 20, fue una de las variedades que presentó bajo Na en la hoja cuando fueron evaluadas con los niveles altos de Na (35 PSI). Con excepción de la Co-419, la variedad PR75-2002 tiene altos niveles de Na en la hoja cuando en el suelo hay niveles de 25 y 35 PSI.

La alta concentración de Na en la hoja de la caña de azúcar puede causar toxicidad y reducir los rendimientos del cultivo (Anderson y Bowen 1994)

7.4.2 Porcentaje de calcio (% de Ca)

Los resultados del análisis foliar de la hoja TVD de Ca expresados en porcentaje se presentan en el cuadro 44A. El análisis de varianza de la variable porcentaje de Ca en la hoja TVD según el diseño experimental utilizado se presenta en el cuadro 22.

Cuadro 22. Análisis de varianza de la variable porcentaje de Ca en la hoja TVD al momento de la cosecha

F.V.	G.L.	S.C.	Pr > F
Variedad	7	0.02596	0.0014 (**)
PSI	5	0.00165	0.8701 (ns)
Variedad X PSI	35	0.04243	0.1740 (ns)
Error	48	0.04355	
Total	95	0.11360	
C. V.		32.82	
Media		0.092	

Según el análisis de varianza del cuadro 22, el efecto de las variedades independientemente de los niveles de PSI del suelo tienen diferencias significativas sobre esta variable. El PSI del suelo y la interacción variedad x PSI fueron no significativas en el análisis.

La prueba de medias realizada para el efecto de las variedades independientemente del efecto del PSI del suelo se presenta en el cuadro 23.

Cuadro 23. Prueba de medias para el efecto de las variedades independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo para el porcentaje de Ca en la hoja TVD (Tukey 0.05 α)

Variedad	Media de % de Ca en la hoja TVD
CG96-135	0.0733 (a)
CP88-1165	0.0792 (ab)
CP72-1312	0.0817 (ab)
Co-419	0.0858 (abc)
CP73-1547	0.0867 (abc)
CP72-2086	0.0900 (abc)
CG97-97	0.1142 (bc)
PR75-2002	0.1233 (c)

Nota: Las letras diferentes significan efectos estadísticamente diferentes

Algunos investigadores señalan que el Calcio está relacionado con la tolerancia de las variedades a la sodicidad. Villafañe (1996) y Arzani (2007) encontraron que las variedades con mayor contenido de Calcio en el tejido son más susceptibles a la sodicidad. De tal manera que en el cuadro 23 se presentan las medias de las concentraciones de Ca en la hoja TVD de las diferentes variedades ordenadas de menor a mayor, siendo los valores menores los de interés según lo sugerido por Villafañe y Arzani.

En el cuadro 23 se observa que la variedad con el menor contenido de Ca en la hoja TVD fue la variedad CG96-135 seguida de la variedad CP88-1165. En tanto que la variedad con mas alto Ca en la hoja fue la variedad PR75-2002. La variedad PR75-2002 fue una de las que quedaron con menor rendimiento de biomasa fresca en este ensayo.

7.4.3 Nitrógeno, magnesio, potasio y fósforo

Los resultados del análisis foliar en la hoja TVD de los elementos N, Mg, K y P se presentan en los cuadros 45A, 46A, 47A y 48A respectivamente del anexo. El análisis de varianza de N, Mg, K y P en la hoja TVD según el diseño experimental utilizado se presenta en el cuadro 24.

Cuadro 24. Análisis de varianza de las variables porcentaje de N, de Mg, de K y de P en la hoja TVD al momento de la cosecha

		% N TVD		% Mg TVD		% K TVD		% P TVD	
F.V.	G.L.	S.C.	Pr > F	S.C.	Pr > F	S.C.	Pr > F	S.C.	Pr > F
Variedad	7	2.43	0.0953 (ns)	0.01562	0.0321 (*)	2.0321	0.0001 (**)	0.0080	0.3087 (ns)
PSI	5	0.60	0.6608 (ns)	0.01295	0.0256 (*)	0.1031	0.7277 (ns)	0.0045	0.4481 (ns)
Variedad * PSI	35	5.37	0.7178 (ns)	0.02550	0.7583 (ns)	1.6449	0.2094 (ns)	0.0337	0.4634 (ns)
Error	48	8.90		0.04395		1.7582		0.0451	
Total	95	17.30		0.09802		5.5383		0.0914	
C.V.		30.14		28.45		30.09		15.37	
Media		1.43		0.106		0.636		0.1994	

Según el análisis de varianza del cuadro 24, en el porcentaje de N y de P en la hoja TVD no existe diferencia significativa entre los factores evaluados; en el porcentaje de Mg la variedad y el nivel de PSI del suelo tuvieron efectos estadísticamente significativos, observándose que el efecto de la

interacción variedad X PSI del suelo fue no significativa para todas las variables. La prueba de medias para las variables significativas se presenta en los cuadros 25 y 26.

Cuadro 25. Prueba de medias para el efecto de las variedades independientemente del efecto de los niveles de PSI en las variables porcentaje de Mg y de K en la hoja TVD (Tukey 0.05 α)

Variedad	Media de % de Mg en la hoja TVD	Media de % de K en la hoja TVD
PR75-2002	0.1325 (a)	0.4833 (c)
CG97-97	0.1133 (ab)	0.5642 (bc)
CP73-1547	0.1083 (ab)	0.7825 (ab)
CP72-1312	0.1075 (ab)	0.5750 (bc)
Co-419	0.1075 (ab)	0.6308 (bc)
CP72-2086	0.1017 (ab)	0.5533 (bc)
CG96-135	0.0917 (b)	0.5458 (bc)
CP88-1165	0.0883 (b)	0.9533 (a)

Como se observa en el cuadro 25 la variedad PR75-2002 presenta la mayor cantidad de porcentaje de Mg en la hoja TVD y las variedades CG96-135 y CP88-1165 tienen el menor porcentaje de Mg en la hoja TVD.

En el caso del porcentaje de K en la hoja TVD, la variedad CP88-1165 presenta estadísticamente el valor mayor. Según Anderson y Bowen (1994) las variedades de caña deficientes en K en la hoja TVD son más susceptibles a enfermedades y sequía. En este ensayo la variedad CP88-1165 fue la única variedad que presentó un contenido de K arriba del nivel crítico de deficiencia (K: 0.90%). La variedad CP73-1547 fue el segundo valor más alto de K en la hoja (0.78 %); sin embargo está por debajo del nivel crítico de deficiencia determinada para este elemento (Anderson y Bowen 1994)

Cuadro 26. Prueba de medias para el efecto de las niveles de PSI independientemente del efecto de la variedad para el % de Mg en la hoja TVD (Tukey 0.05 α)

Nivel de PSI	Media de % de Mg en la hoja TVD
9	0.1231 (a)
20	0.1169 (ab)
0	0.1069 (ab)
15	0.1069 (ab)
25	0.0950 (ab)
35	0.0893 (b)

Nota: Las letras diferentes significan efectos estadísticamente diferentes

Según el cuadro 26, el nivel 9 PSI presentó la mayor cantidad de porcentaje de Mg en la hoja TVD y el nivel 35% fue el que obtuvo la menor cantidad.

7.4.4 Elementos menores

Los resultados del análisis foliar de la hoja TVD en ppm de cobre, ppm de zinc, ppm de hierro y ppm de manganeso se presentan en los cuadros 49A, 50A, 51A y 52A respectivamente.

7.5. Raíces

7.5.1 Raíces peso fresco (g/maceta)

Los resultados del peso fresco de las raíces (g/maceta) al momento de la cosecha se presentan en el cuadro 53A. El análisis de varianza según el diseño experimental utilizado se presenta en el cuadro 27.

Cuadro 27. Análisis de varianza, variable raíces peso fresco (g) al momento de la cosecha.

F.V.	G.L.	S.C.	Pr > F
Variedad	7	9535025.55	0.0001 (**)
PSI	5	872391.58	0.1395 (ns)
Variedad X PSI	35	7130581.19	0.0043 (**)
Error	96	9792164.67	
Total	143	27330163.00	
C.V.		30.96	
Media (g/maceta)		1031.58	

El análisis de varianza indicó que el efecto de la variedad independientemente del efecto del PSI del suelo y la interacción variedad X PSI del suelo tuvieron efectos estadísticamente significativos. La prueba de medias para evaluar el efecto de las variedades independientemente del nivel de PSI se presenta en el cuadro 28 y la interacción variedad X PSI del suelo se observa en la figura 15.

Cuadro 28. Prueba de medias para el efecto de las variedades sobre el rendimiento de raíces peso fresco (g) al momento de la cosecha independientemente del efecto de los niveles de PSI del suelo. (Tukey 0.05^{**})

Variedad	Media de Raíces peso fresco (g)	Diferencia de medias (Tukey 0.05 ^{**})
CG97-97	1393.7 (a)	A
CG96-135	1275.6 (a)	A
CP73-1547	1173.1 (ab)	A B
CP88-1165	1100.2 (ab)	A B
CP72-2086	1092.7 (ab)	A B
PR75-2002	927.3 (bc)	B C
Co-419	668.1 (c)	C
CP72-1312	622.1 (c)	C

Nota: Las letras diferentes significan efectos estadísticamente diferentes

En el cuadro 28 se observa que las variedades CG97-97 y CG96-135 fueron las que obtuvieron la mayor producción de raíces peso fresco con respecto al resto de variedades evaluadas. Las variedades Co-419 y CP72-1312 fueron las que tuvieron el rendimiento más bajo, mientras que las variedades CP73-1547, CP88-1165 y CP72-2086 no tuvieron diferencia significativa entre sí.

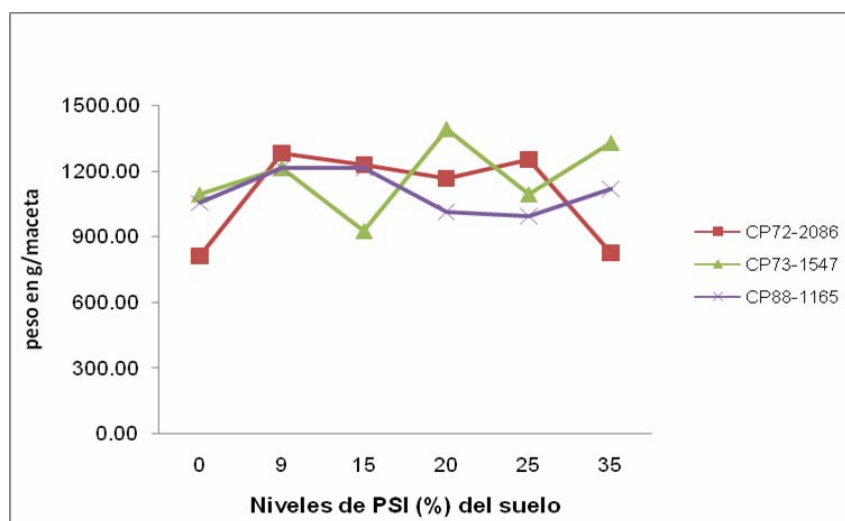


Figura 15. Peso fresco de raíces (g) entre las variedades CG96-135, CG97-97 y CP72-2086.

En la figura 15 se observa que el rendimiento de raíces peso fresco de las variedades fue irregular al aumentar los niveles de PSI del suelo.

7.5.2 Raíces peso seco (g/maceta)

Los resultados de raíces peso seco al momento de la cosecha se presentan en el cuadro 54A.

7.6. Análisis foliar con fines de extracción total de nutrientes

La cantidad extraída de nutrientes al momento de la cosecha está relacionada con la cantidad de Biomasa Seca que produjo cada una de las variedades.

Los resultados de N total extraído (g/maceta), Ca total extraído (g/maceta), Mg total extraído (g/maceta), K total extraído (g/maceta) y P total extraído (g/maceta) se presentan en los cuadros 55A, 56A, 57A, 58A y 59A respectivamente.

El análisis de varianza según el diseño experimental utilizado de las variables N total extraído, Ca total extraído, Mg total extraído y K total extraído (todos en g/maceta) se presenta en el cuadro 29.

Cuadro 29. Análisis de varianza de las variables N total extraído (NTE), Ca total extraído (CaTE), Mg total extraído (MgTE) y K total extraído (KTE) (g/maceta) al momento de la cosecha

		NTE		CaTE		MgTE		KTE	
F.V.	G.L.	S.C.	Pr > F	S.C.	Pr > F	S.C.	Pr > F	S.C.	Pr > F
Variedad	7	345816.2	0.0001 (**)	3741.4	0.0001 (**)	4000.8	0.0001 (**)	2207728.19	0.0001 (**)
PSI	5	40866.7	0.3050 (ns)	630.1	0.0581 (ns)	1331.5	0.0120 (**)	697961.03	0.0001 (**)
Variedad X PSI	35	39292.0	0.0250 (**)	2957.2	0.0657 (ns)	3561.6	0.2517 (ns)	6470427.54	0.0001 (**)
Error	96	642392.8		5440.9		8215.4		420180.71	
Total	143	1422367.7		12769.6		17109.3		9767619.46	
C.V.		29.48		29.69		29.17		24.48	
Media (g/maceta)		277.51		25.36		31.71		273.12	

El efecto de las variedades independientemente del efecto del PSI del suelo tiene diferencia estadísticamente significativa para las variables Nitrógeno total extraído, Calcio total extraído y Magnesio total extraído(g/maceta), la prueba de medias realizada se presenta en el cuadro 30.

El efecto del PSI del suelo independientemente del efecto de las variedades tiene diferencia estadísticamente significativa para la variable Magnesio total extraído (g/maceta), la prueba de medias realizada se presenta en el cuadro 31.

La interacción de las variedades en combinación con los niveles de PSI del suelo tiene diferencia estadísticamente significativa para la variable Nitrógeno total extraído (g/maceta) los resultados se presentan en la figura 16. La variable K total extraído (g/maceta) presenta diferencia significativa para los 3 factores evaluados por lo que el análisis de la interacción del efecto de las variedades en combinación del efecto de los niveles de PSI del suelo se presenta en la figura 17.

Cuadro 30. Prueba de medias para el efecto de las variedades independientemente del efecto de los niveles de PSI de las variables N total extraído, Ca total extraído, Mg total extraído y K total extraído g/maceta). (Tukey 0.05 α)

Variedad	N total extraído (g/maceta)	Ca total extraído (g/maceta)	Mg total extraído (g/maceta)
CP73-1547	358.34 (a)	32.64 (a)	40.21 (a)
CP88-1165	352.36 (ab)	31.20 (ab)	33.11 (abc)
PR75-2002	271.45 (bc)	25.18 (abcd)	29.96 (bc)
CP72-2086	269.95 (bc)	27.89 (ab)	36.13 (ab)
CG97-97	263.52 (c)	25.81 (abc)	36.30 (ab)
CP72-1312	254.26 (c)	17.60 (d)	25.42 (c)
CG96-135	244.57 (c)	24.46 (bcd)	28.03 (bc)
Co-419	205.66 (c)	18.07 (cd)	24.55 (c)

Nota: Las letras diferentes significan efectos estadísticamente diferentes

La variedad CP73-1547 presenta diferencia significativa en las variables N total extraído, Ca total extraído y Mg total extraído (g/maceta) con respecto a las demás variedades evaluadas, lo cual concuerda con los resultados de biomasa seca (g/maceta) obtenidos. Las variedades CP72-1312 y Co-419 fueron las que menor cantidad de N, Ca y Mg extrajeron (g/maceta)

Cuadro 31. Prueba de medias para el efecto de las niveles de PSI independientemente del efecto de la variedad para la extracción total de Mg (g) (Tukey 0.05 α)

Nivel de PSI del suelo	Mg total extraído (g/maceta)
9	36.66 (a)
0	33.30 (ab)
20	32.08 (ab)
15	32.06 (ab)
25	29.10 (ab)
35	27.09 (b)

Nota: Las letras diferentes significan efectos estadísticamente diferentes

En el nivel 9 de PSI del suelo se encuentra la mayor cantidad de Mg total extraído (g/maceta); en el nivel 35 de PSI del suelo fue donde se extrajo la menor cantidad de Mg (g/maceta)

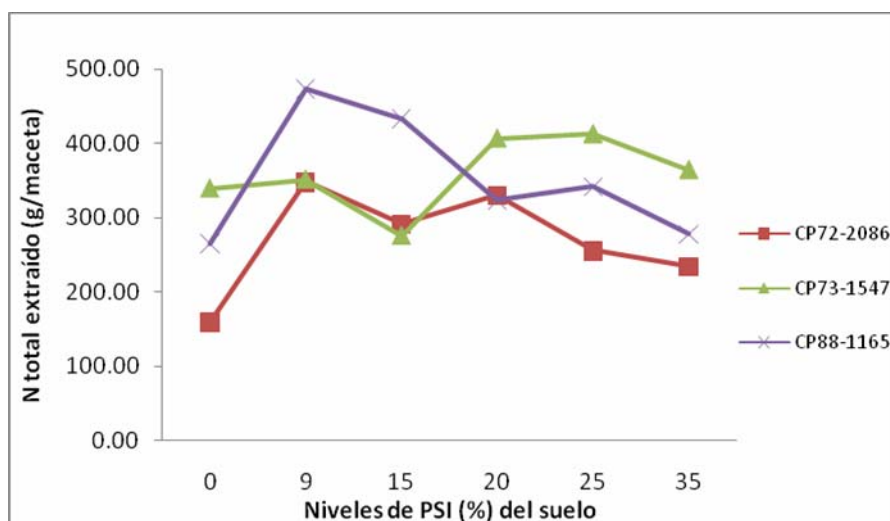


Figura 16. N total extraído (g/maceta) de las variedades CP73-1547, CP88-1165 y CP72-2086.

En la figura 16 se observa la tendencia de disminuir la cantidad extraída de N de la variedad CP88-1165 y CP72-2086 a partir del nivel 9 de PSI del suelo; la variedad CP73-1547 disminuye a partir del nivel 20 de PSI del suelo.

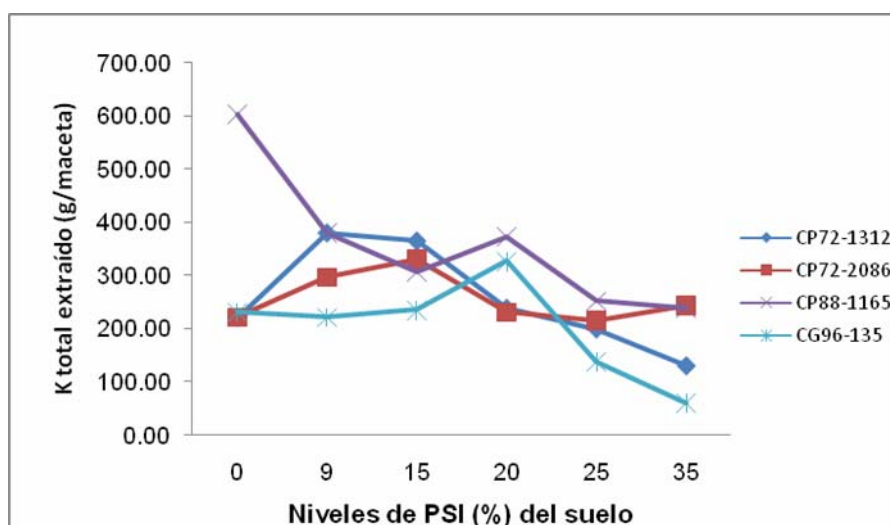


Figura 17. Extracción total de K (g/maceta) de las variedades CP88-1165, CP72-2086, CP72-1312 y CG96-135.

En la figura 17 se observa la disminución del K total extraído g/maceta de la CP88-1165 desde el nivel 0 de PSI del suelo; la CP72-1312 a partir del nivel 9 de PSI del suelo; la variedad CP72-2086 a partir del nivel 15 de PSI del suelo y la CG96-135 a partir del nivel 20 de PSI; lo cual demuestra que dependiendo de la variedad los distintos niveles de PSI del suelo afectan la extracción de K.

8. Conclusiones

El rendimiento de biomasa fresca (g/maceta) disminuyó en forma significativa en todas las variedades en la medida que el nivel de PSI del suelo fue aumentando. En promedio las variedades disminuyeron 22 por ciento de su rendimiento de biomasa con el nivel más alto de sodio evaluado (35 PSI). En promedio se observaron disminuciones del 10 por ciento para la variedad CP73-1547, 25 por ciento para la variedad CP88-1165 y 34 por ciento para la variedad CP72-2086.

Las concentraciones de nutrientes en la hoja TVD variaron de acuerdo al tipo de elemento. La cantidad de sodio en las variedades evaluadas aumentó su concentración en la hoja TVD conforme aumentó el nivel de sodio en el suelo, la variedad que tuvo menor contenido de sodio en la hoja fue la variedad CP88-1165. En el caso del calcio las variedades CP88-1165 y CP73-1547 presentaron menores porcentajes de Ca en la hoja con relación a la variedad CP72-2086. En el caso del K en la hoja TVD, la variedad CP88-1165 fue la que presentó el valor más alto y fue estadísticamente superior al resto de variedades.

La extracción de nutrientes de las variedades estuvo influenciada por el rendimiento de biomasa seca, las variedades CP73-1547 y CP88-1165 extrajeron mayor cantidad de nutrientes con respecto a la variedad CP72-2086

9. Recomendaciones

Evaluar las variedades CP88-1165 y CP73-1547 a nivel de campo a través de todas las fases fenológicas del cultivo de caña de azúcar –siembra, macollamiento, elongación y maduración- para obtener datos de rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH) y rendimiento de azúcar en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) en zonas en las que se encuentran suelos sódicos para que en base a los resultados se determine utilizarlas como alternativa de la variedad CP72-2086. Basado en los resultados obtenidos en este estudio.

Evaluar las variedades promisorias de las pruebas regionales que han demostrado cierta adaptabilidad a zonas con vetas arenosas y zonas con sequía, para tener un mayor número de alternativas a la variedad CP72-2086 en áreas con problemas de sodicidad.

10. Bibliografía

1. Anderson, DL; Bowen, JE. 1994. Nutrición de la caña de azúcar. Perú, INPOFOS. 45 p.
2. Balcaza, LF. 2001. Aplicación de yeso en suelos cultivados con hortalizas en invernaderos (en línea). Argentina. Extracto Boletín Hortícola 9(30). Consultado 15 mar 2007. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/concepcion/info/hie/02/66.htm>
3. Cassalet, DC; Torres, AJ; Isaacs, EC. 1995. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Colombia, CENICAÑA. p. 31-62.
4. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 1996. Anexo I del libro: estudio semi-detallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala, Ingeniería del Campo. p. 15-16.
5. _____. 1996b. Estudio semi-detallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 2 ed. Guatemala, Ingeniería del Campo. 216 p.
6. _____. 2002. Informe anual 2001-2002. Guatemala. p 37-39.
7. _____. 2007. Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2006-2007. Guatemala. 232 p.
8. _____. 2007b. Base de datos meteorológicos de datos históricos (en línea). Guatemala. Consultado 15 jul. 2007. Disponible en <http://www/Portal/Home.aspx?tabid=29>
9. _____. 2007c. Estadísticas de zafra. Guatemala. Boletín Estadístico 8(1):1-8.
10. _____. 2008. Estadísticas de zafra. Guatemala. Boletín Estadístico 9(1):1-8.
11. Colacelli, N. 1997. Suelos: corrección de suelos alcalinos (enyesado) (en línea). Argentina, Producción Agrícola del Noa, Julio 1997. Consultado 2 mayo 2008. Disponible en http://www.produccion.com.ar/1997/97jul_14.htm
12. Dorronsoro, C. 2008. Contaminación por sales solubles (en línea). España. Consultado 25 jun. 2008. Disponible en <http://edafologia.net/conta/tema12/medida.htm>
13. Duran, QR. 1995. Fertilización y nutrición. In CENICAÑA (Centro de Investigación de la caña, CO). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Colombia. p. 153-177.
14. Elwali, AM; Gascho, GJ. 1983. Sugarcane response to P, K and DRIS corrective treatments on Florida Histosols. Agronomy Journal 75:79-83.
15. Feuchter A, FR. 2000. Recuperación de suelos salinos agrícolas, mediante el establecimiento de praderas bajo riego y cultivos alternativos: diez acciones propuestas de bioingeniería sostenible (en línea). Consultado 15 mar. 2007. Disponible en <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/recuperacion/recuperacion01.htm#indice>
16. García Navarro, A. 2005. Base mundial de referencia de los recursos edáficos: el suelo es un solonchak (en línea). España, Universidad de Extremadura, Departamento de Biología y

- Producción de los Vegetales, Área de Edafología y Química Agrícola. Consultado 25 jun. 2008. Disponible en <http://www.unex.es/edafo/FAOInicio.htm>
17. _____. 2005. Base mundial de referencia de los recursos edáficos: el suelo es un solonetz (en línea). España, Universidad de Extremadura, Departamento de Biología y Producción de los Vegetales, Área de Edafología y Química Agrícola. Consultado 25 jun. 2008. Disponible en <http://www.unex.es/edafo/FAOInicio.htm>
 18. Ibáñez, JJ. 2007. Biodisponibilidad de los nutrientes por las plantas, pH del suelo y el complejo de cambio o absorbente (en línea). Madrid, España, Weblogs MADRI+D. Consultado 15 jun. 2008. Disponible en <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2007/05/09/65262.aspx>
 19. _____. 2007b. Salinidad de los suelos, estrés hídrico y producción vegetal (en línea). Madrid, España, Weblogs MADRI+D. Consultado 15 jun. 2008. Disponible en <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2007/12/27/81385.aspx>
 20. _____. 2008a. Ácidez, salinidad y sodicidad de los suelos: distribución mundial (en línea). Madrid, España, Weblogs MADRI+D. Consultado 15 jun. 2008. Disponible en <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2008/04/26/90137.aspx>
 21. _____. 2008b. Sodicidad y suelos sódicos versus acidez y suelos ácidos (en línea). Madrid, España, Weblogs MADRI+D. Consultado 15 jun. 2008. Disponible en <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2008/04/26/90137.aspx>
 22. _____. 2008c. Tipos de suelos salinos (en línea). Madrid, España, Weblogs MADRI+D. Consultado 15 jun. 2008. Disponible en <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2008/01/04/81822.aspx>
 23. Infoagro.com. 2008. Concepto de pH e importancia en fertirrigación (en línea). España. Consultado 12 ago. 2007. Disponible en http://www.infoagro.com/abonos/pH_suelo.htm
 24. Juárez, JL; Miller, JD; Orozco, H; Solares, E; Tai, PYP; Comstock, JC; Glaz, B; Quemé, JL; Ovalle, W; Edmé, SJ; Glynn, NC; Deren, CW. 2007. Registration of 'CP88-1165' Sugarcane (en línea). Journal of Plant Registrations 2:102-109. Consultado 22 jul. 2008. Disponible en <http://jpr.scijournals.org/cqi/content/full/2/2/102>
 25. Orozco, H; Catalán, M; Castro, O; Quemé, J. 2004. Catálogo de variedades promisorias de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala, CENGICAÑA. 40 p.
 26. Quintero, DR. 1995. Fertilización y nutrición. *In* El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 153-177.
 27. Ronen, E. 2007. Nitrato de potasio: una solución posible para los problemas de salinidad (en línea). Haifa, Israel, Haifa Chemicals. Consultado 25 jun. 2008. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/Nitrato%20de%20Potasio%20Multik.asp>
 28. Sánchez, E; Curetti, M. s.f. Los suelos salinos y sódicos: características y diferenciación (en línea). Argentina, Fruticultura y Diversificación no. 49. Consultado 10 jun. 2008. Disponible en http://www.inta.gov.ar/altovalle/info/biblio/rompecabezas/pdfs/fyd49_suelos.pdf

29. Segovia, A. 1987. Efectos del potencial osmótico y la concentración de P en el agua de riego sobre el crecimiento de la caña de azúcar (en línea). *Caña de Azúcar* 5(01):5-16. Consultado 25 nov. 2007. Disponible en <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/cana/cana0501/texto/efectodelpotencial.htm>
30. Selvi, A; Nair, NV; Noyer, JL; Singh, NK; Balasundaram, N; Bansal, KC; Koundal, KR; Mohapatra T. 2005. Genomic constitution and genetic relationship among the tropical and subtropical indian sugarcane cultivars revealed by AFLP (en línea). *Crop Sci.* 45:1450-1457. Disponible en <http://crop.scijournal.org/cgi/content/full/45/5/1750#TBL1>
31. SIA-Huaral (Sistema de Información Agronómica, valle del Huaral, PE). 2007. Salinidad en los suelos agrícolas (en línea). Perú, Agroinformación. Consultado 5 mar. 2007. Disponible en <http://www.agroinformacion.com/leer-contenidos.aspx?articulo=132>
32. Soltani Huwyzeh, M; Mirmohammady, SAM; Arzani, A. 2007. Evaluation of salt tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) genotypes based on the ability to regulate ion uptake and transport at early stage of growth (en línea). *Journal Science & Technology; Agricultural & Natural Resource* 11(42A). Consultado 10 jul 2008. Disponible en <http://journals.iut.ac.ir/jstnar/eabsv11n42y2008p67.pdf>
33. Subirós, RF. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, EUNED. 443 p.
34. Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Área de Edafología y Química Agrícola, ES. 2005. Programa de edafología, primer curso de ciencias ambientales: propiedades del suelo; propiedades químicas; salinidad (en línea). España. Consultado 25 jun. 2008. Disponible en <http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PQSalinidad.htm>
35. Vered, E; Praveen, V. 2003. Requerimientos de suelo (en línea). Israel, Netafim. Consultado 28 abr 2007. Disponible en pagina web: http://www.sugarcane crops.com/s/soil_requirement/
36. Villafañe, R. 1996. Tolerancia a la salinidad y al sodio de seis variedades de caña de azúcar en Venezuela (en línea). *Agronomía Tropical* 46(1):85-99. Disponible en http://www.redpav.avepagro.org.ve/agrotrop/v46_1/v461a006.html
37. Zérega M, L; Hernández, T; Valladares, J. 1991. Evaluación de 14 variedades de caña de azúcar en dos suelos afectados por sales bajo condiciones de umbráculo (en línea). *Caña de Azúcar* 9(2):81-98. Consultado 25 nov. 2007. Disponible en <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/canadeazucar/cana0902/texto/evaluacion.htm>

11. Anexos

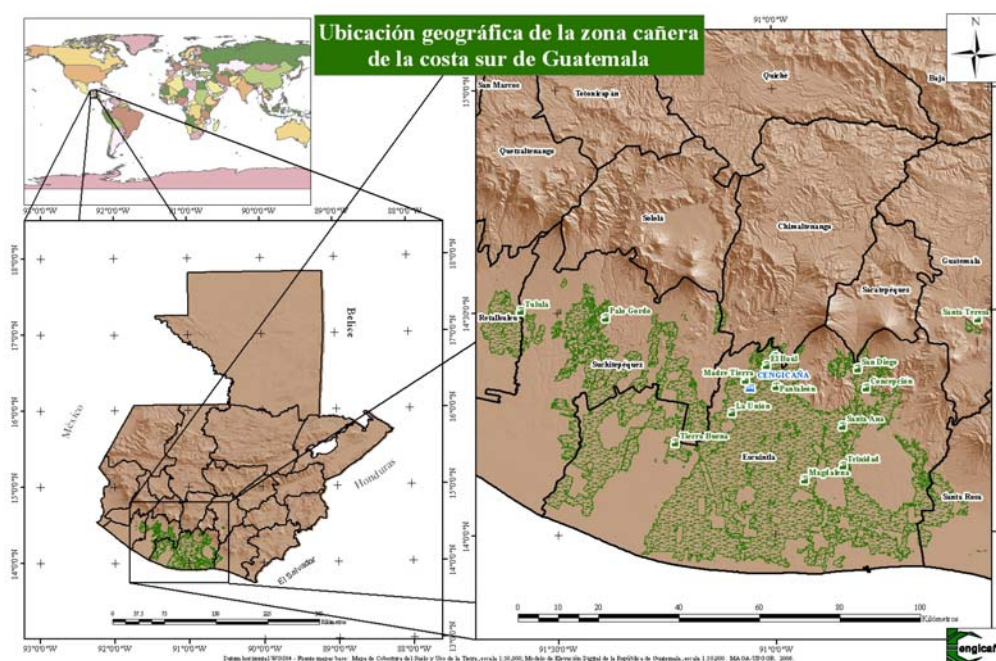


Figura 18A. Ubicación geográfica de la zona cañera Guatemalteca

Fuente: Portal web de CENGICAÑA en la dirección <http://www.cengicana.org/Portal/Home.aspx?secid=5>

Cuadro 32A. Condiciones climáticas de CENGICAÑA

Variable climática	Dato
Precipitación pluvial	4,239.01 mm. (promedio años 1999-2006)
T° máxima	32.3 °C (promedio años 1999-2006)
T° media	25.4 °C (promedio años 1999-2006)
T° mínima	20.6 °C (promedio años 1999-2006)
Humedad relativa	82.9% (promedio años 1999-2006)
Evaporación	4.49 mm (promedio años 1999-2006)
Evapotranspiración	1,636.4 mm. (año 2006)
Brillo Solar	2594.58 horas (promedio años 1985-2006 estación Mangalito.)
Radiación Solar	6196.5 W/m ² (promedio años 1999-2006)

Fuente: página web de CENGICAÑA, área de Agrometeorología, Programa de Agronomía.

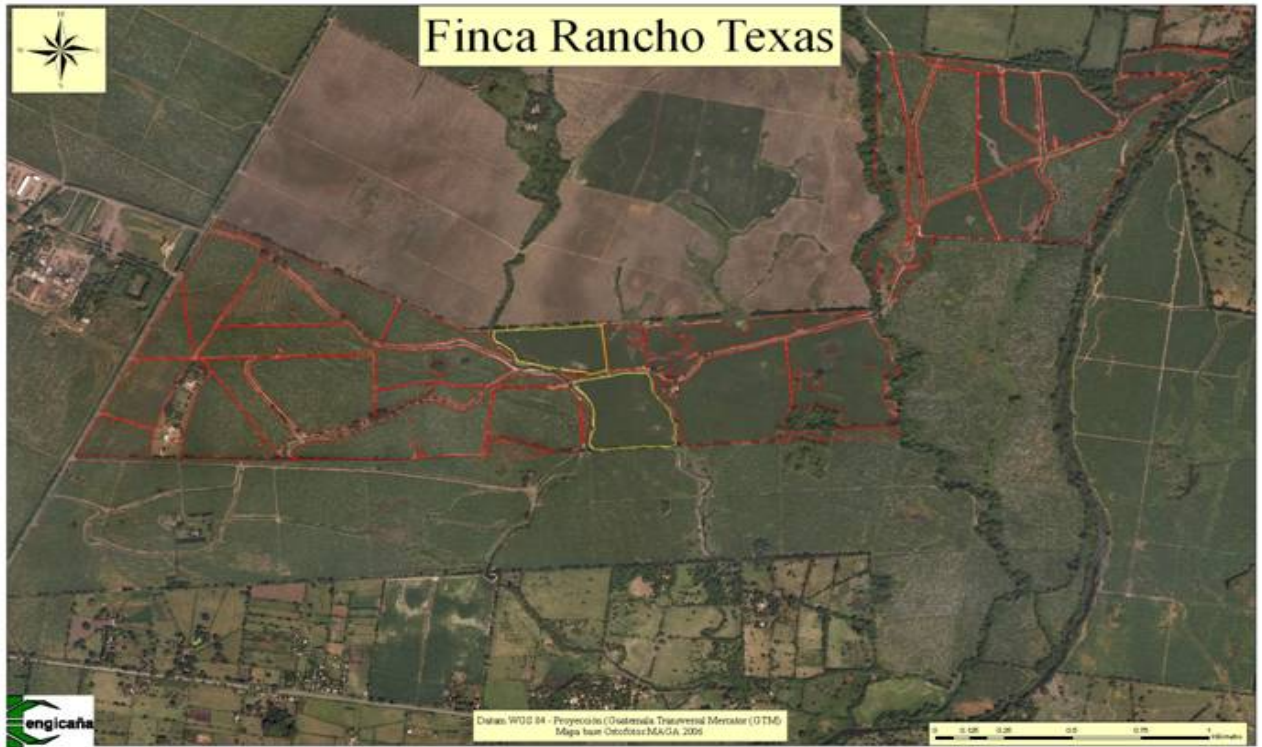


Figura 19A. Finca Rancho Texas



Figura 20A. Pantes muestreados del lote 1471001 de la finca Rancho Texas



Figura 21A. Estación experimental CENGICAÑA



Figura 22A. Ubicación del proyecto dentro de CENGICAÑA

Cuadro 33A. Cálculo de sal a agregar utilizando como fuente de sodio NaCl (sal común)

Usando NaCl			
CC	40.36		
PMP	20.28		
d.apa.	1.07		
Na	0.12		
CIC	26.2		
peso equivalente NaCl	58.45		
PSI actual	0.46	0.46	0.46
PSI objetivo	10	20	30
Δ PSI esperado	9.54	19.54	29.54
Na agregar meq/100g. Suelo	2.5	5.12	7.74
Sal agregar mg.sal/100g. Suelo	146.13	299.26	452.40
g. sal/100g. Suelo	0.15	0.30	0.45

Cuadro 34A. Resultados de PSI alcanzado utilizando NaCl y NaOH como fuentes de sodio.

Fecha	Identificación	Finca	Meq./100 g de suelo		PSI OBJETIVO	PSI ALCANZADO
			Na	CIC		
05/30/2007	Muestra 01	Camantulul	2.26	26.68	sal 10 PSI seco	8.48
05/30/2007	Muestra 02	Camantulul	3.22	26.68	sal 20 PSI seco	12.06
05/30/2007	Muestra 03	Camantulul	3.96	26.68	sal 30 PSI seco	14.84
05/30/2007	Muestra 04	Camantulul	2.31	26.68	sal 10 PSI mojado	8.65
05/30/2007	Muestra 05	Camantulul	4.09	26.68	sal 20 PSI mojado	15.32
05/30/2007	Muestra 06	Camantulul	6.32	26.68	sal 30 PSI mojado	23.68
05/30/2007	Muestra 07	Camantulul	0.64	26.68	soda 10 PSI seco	2.40
05/30/2007	Muestra 08	Camantulul	1.38	26.68	soda 20 PSI seco	5.16
05/30/2007	Muestra 09	Camantulul	3.78	26.68	soda 30 PSI seco	14.16
05/30/2007	Muestra 10	Camantulul	6.83	26.68	soda 10 PSI mojado	25.59
05/30/2007	Muestra 11	Camantulul	7.24	26.68	soda 20 PSI mojado	27.13
05/30/2007	Muestra 12	Camantulul	12.61	26.68	soda 30 PSI mojado	47.26

Fuente: Laboratorio de CENGICANA. 2007

Cuadro 35A. Medias de rendimiento de biomasa seca (g/maceta) de los tratamientos evaluados

VARIETADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	251.11	274.34	274.31	194.09	238.76	201.12
CP72-2086	325.29	347.23	350.68	355.85	295.77	229.24
CP73-1547	480.95	398.80	377.85	411.38	410.07	376.31
CP88-1165	448.44	484.40	436.32	381.20	348.75	389.67
CG96-135	279.54	279.10	297.40	274.42	276.69	210.41
CG97-97	344.62	266.93	246.43	278.81	285.71	246.62
PR75-2002	273.75	307.03	251.24	235.88	290.92	303.10
Co-419	192.54	197.91	205.39	178.41	164.93	118.99

Cuadro 36A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 21 días después de la siembra

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	17.63	20.00	19.83	12.73	18.80	6.77
CP72-2086	12.80	16.60	14.70	15.00	15.47	7.10
CP73-1547	18.73	22.43	18.93	18.80	18.23	8.77
CP88-1165	21.23	19.07	21.83	22.50	19.86	7.47
CG96-135	14.00	17.60	15.17	14.00	13.57	11.20
CG97-97	18.53	15.83	18.27	18.07	17.20	10.67
PR75-2002	19.37	20.33	19.07	18.43	15.83	11.23
Co-419	10.07	20.33	19.07	14.23	17.10	10.83

Cuadro 37A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 42 días después de la siembra

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	22.33	26.67	26.73	18.50	25.67	18.67
CP72-2086	19.43	19.33	18.07	26.10	19.83	11.73
CP73-1547	22.60	28.57	26.27	23.43	21.60	13.17
CP88-1165	35.70	25.90	27.30	26.90	27.17	17.17
CG96-135	19.90	19.40	18.30	18.43	16.87	16.73
CG97-97	23.53	24.20	23.27	21.93	22.63	16.93
PR75-2002	26.53	26.33	24.73	22.57	22.37	18.43
Co-419	16.10	21.23	25.87	20.10	23.93	17.27

Cuadro 38A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 63 días después de la siembra

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	27.67	33.57	34.70	23.07	33.67	31.00
CP72-2086	26.53	27.07	23.33	36.07	27.03	16.47
CP73-1547	36.70	35.57	34.80	29.90	25.03	22.93
CP88-1165	44.33	33.97	31.93	31.37	32.57	30.33
CG96-135	24.67	22.30	23.73	24.87	24.67	22.63
CG97-97	30.47	29.67	27.50	27.87	29.60	24.40
PR75-2002	32.30	31.83	31.43	29.30	27.53	26.53
Co-419	21.97	28.43	33.13	28.33	30.23	23.73

Cuadro 39A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 84 días después de la siembra

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	43.00	46.33	47.50	31.33	47.17	44.53
CP72-2086	33.90	34.50	29.57	44.77	35.23	22.23
CP73-1547	56.23	48.73	44.00	40.00	36.57	33.90
CP88-1165	60.67	47.43	46.17	43.50	43.60	50.83
CG96-135	31.00	29.50	34.10	33.10	31.60	26.93
CG97-97	39.00	34.80	35.73	36.16	36.57	31.37
PR75-2002	44.40	40.50	39.57	41.07	37.70	35.40
Co-419	29.16	39.40	44.97	37.10	37.57	33.33

Cuadro 40A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 105 días después de la siembra

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	54.65	54.80	54.00	38.33	56.33	55.17
CP72-2086	43.73	50.93	47.73	55.40	47.17	43.73
CP73-1547	74.10	61.23	66.90	62.67	55.00	58.00
CP88-1165	77.33	67.33	71.00	60.83	70.83	68.67
CG96-135	41.40	37.33	43.97	45.00	43.80	38.40
CG97-97	53.33	48.67	47.37	46.33	44.47	40.53
PR75-2002	56.33	57.33	52.17	53.63	53.47	51.63
Co-419	42.87	49.80	57.03	44.80	42.53	43.87

Cuadro 41A. Altura media (cm/tallo principal) de los tratamientos evaluados a los 140 días después de la siembra

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	68.33	65.33	64.67	47.00	66.00	69.33
CP72-2086	52.33	68.33	64.00	64.67	60.00	58.67
CP73-1547	92.33	81.00	81.33	82.67	74.33	87.67
CP88-1165	97.67	91.33	93.67	90.67	87.00	87.00
CG96-135	51.67	58.67	53.33	58.33	58.00	46.00
CG97-97	71.33	60.67	57.00	55.67	55.00	62.33
PR75-2002	68.00	68.67	65.33	66.67	67.00	68.00
Co-419	50.67	60.67	64.67	52.33	47.00	60.00

Cuadro 42A. Número de tallos por maceta de los tratamientos evaluados al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	6.33	8.00	6.33	4.00	5.00	6.33
CP72-2086	11.00	10.33	8.33	10.00	9.00	8.67
CP73-1547	6.67	6.33	6.67	5.67	6.67	5.67
CP88-1165	8.33	5.67	6.33	6.33	8.33	5.67
CG96-135	11.67	10.00	13.00	13.33	10.33	8.67
CG97-97	7.00	7.67	8.67	10.67	8.00	8.00
PR75-2002	7.00	9.00	8.33	8.67	7.33	7.33
Co-419	7.33	8.33	8.67	7.00	6.67	8.00

Cuadro 43A. Análisis foliar de % de Na en la hoja TVD al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)		
	0	20	35
CP72-1312	0.0115	0.0128	0.0145
CP72-2086	0.0117	0.0141	0.0184
CP73-1547	0.0021	0.0153	0.0166
CP88-1165	0.0088	0.0107	0.0155
CG96-135	0.0141	0.0131	0.0217
CG97-97	0.0113	0.0164	0.0189
PR75-2002	0.0117	0.0238	0.0178
Co-419	0.0115	0.0315	0.0128

Fuente: Laboratorio Agronómico. CERES

Cuadro 44A. Análisis foliar de % de Ca en la hoja TVD al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	0.070	0.050	0.091	0.135	0.085	0.067
CP72-2086	0.087	0.071	0.095	0.093	0.114	0.077
CP73-1547	0.092	0.110	0.069	0.077	0.091	0.079
CP88-1165	0.076	0.098	0.077	0.065	0.069	0.089
CG96-135	0.070	0.082	0.075	0.062	0.077	0.074
CG97-97	0.157	0.111	0.071	0.104	0.146	0.098
PR75-2002	0.090	0.168	0.172	0.120	0.075	0.114
Co-419	0.087	0.086	0.084	0.116	0.067	0.071

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 45A. Análisis foliar de % de N en la hoja TVD al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	1.57	1.00	1.49	1.63	1.98	1.45
CP72-2086	1.40	1.62	0.63	1.26	1.41	1.93
CP73-1547	1.32	1.54	1.72	1.18	1.59	1.92
CP88-1165	1.45	1.10	1.35	1.71	1.19	1.44
CG96-135	0.90	1.41	0.85	0.89	1.34	1.23
CG97-97	1.70	1.37	1.57	1.75	1.69	1.61
PR75-2002	1.57	1.30	1.60	1.30	0.82	1.39
Co-419	1.56	1.50	1.77	1.29	1.66	1.74

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 46A. Análisis foliar de % de Mg en la hoja TVD al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	0.118	0.097	0.091	0.139	0.108	0.091
CP72-2086	0.113	0.098	0.113	0.104	0.091	0.087
CP73-1547	0.089	0.135	0.102	0.111	0.103	0.104
CP88-1165	0.085	0.108	0.094	0.092	0.069	0.077
CG96-135	0.085	0.109	0.106	0.087	0.085	0.079
CG97-97	0.138	0.160	0.072	0.106	0.115	0.088
PR75-2002	0.110	0.171	0.177	0.132	0.100	0.102
Co-419	0.112	0.101	0.097	0.149	0.089	0.090

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 47A. Análisis foliar de % de K en la hoja TVD al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	0.565	0.516	0.354	0.772	0.555	0.692
CP72-2086	0.502	0.791	0.491	0.467	0.584	0.493
CP73-1547	0.715	0.514	0.969	0.731	0.875	0.887
CP88-1165	1.263	0.639	1.138	1.070	0.768	0.847
CG96-135	0.549	0.610	0.592	0.560	0.549	0.417
CG97-97	0.517	0.640	0.518	0.435	0.718	0.560
PR75-2002	0.648	0.485	0.374	0.438	0.483	0.463
Co-419	0.692	0.500	0.480	0.907	0.473	0.730

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 48A. Análisis foliar de % de P en la hoja TVD al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	0.225	0.190	0.185	0.265	0.235	0.195
CP72-2086	0.235	0.225	0.205	0.180	0.165	0.180
CP73-1547	0.175	0.210	0.210	0.190	0.185	0.195
CP88-1165	0.195	0.235	0.220	0.180	0.195	0.190
CG96-135	0.180	0.190	0.175	0.175	0.185	0.200
CG97-97	0.175	0.260	0.200	0.180	0.175	0.175
PR75-2002	0.190	0.200	0.205	0.210	0.185	0.190
Co-419	0.220	0.190	0.215	0.205	0.215	0.210

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 49A. Análisis foliar de Cu en la hoja TVD (ppm) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	1.221	1.238	0.936	0.738	0.248	0.466
CP72-2086	0.733	0.746	0.726	0.731	0.727	2.500
CP73-1547	0.250	1.731	0.481	1.732	1.162	0.968
CP88-1165	2.739	1.950	0.750	8.656	0.961	1.690
CG96-135	0.745	0.000	0.000	0.249	1.725	1.205
CG97-97	0.731	0.985	0.000	0.498	0.494	0.000
PR75-2002	0.747	1.718	0.989	1.677	1.051	0.000
Co-419	0.493	0.499	1.221	0.248	1.237	0.707

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 50A. Análisis foliar de Zn en la hoja TVD (ppm) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	5.37	6.44	5.78	14.09	5.72	5.88
CP72-2086	6.15	5.72	5.83	6.10	7.84	6.85
CP73-1547	10.94	6.42	6.24	4.69	7.25	6.74
CP88-1165	5.98	7.32	5.74	5.98	6.25	6.53
CG96-135	4.97	6.17	3.64	4.49	5.90	4.33
CG97-97	6.60	6.37	5.37	5.73	9.94	7.10
PR75-2002	4.71	9.05	8.66	5.27	7.48	5.64
Co-419	8.39	3.72	5.38	10.20	5.95	7.08

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 51A. Análisis foliar de Fe en la hoja TVD (ppm) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	49.05	112.23	42.08	47.55	32.79	31.63
CP72-2086	33.39	114.61	49.30	40.23	23.83	23.83
CP73-1547	31.95	34.88	21.14	33.04	103.35	29.43
CP88-1165	32.35	52.30	16.46	18.85	55.06	41.28
CG96-135	29.06	19.98	23.23	39.86	39.80	33.49
CG97-97	32.56	78.69	27.17	169.18	37.74	50.58
PR75-2002	38.42	25.19	36.10	40.34	131.56	22.94
Co-419	56.29	32.53	29.88	31.84	45.35	36.34

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 52A. Análisis foliar de Mn en la hoja TVD (ppm) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	43.49	40.11	35.09	59.79	49.96	38.15
CP72-2086	41.01	28.59	23.87	19.26	15.88	30.91
CP73-1547	28.51	49.31	42.19	27.95	50.89	26.95
CP88-1165	24.14	45.71	34.70	34.48	27.37	33.20
CG96-135	34.31	39.21	28.93	28.16	30.66	28.44
CG97-97	45.12	60.23	29.85	49.05	34.23	33.80
PR75-2002	30.26	35.02	48.02	54.18	51.31	42.74
Co-419	20.70	27.94	31.99	30.35	28.29	29.96

Fuente: Laboratorio Agronómico. CENGICANA

Cuadro 53A. Peso fresco de Raíces (g) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	921.67	747.33	715.67	180.33	535.67	632.00
CP72-2086	811.33	1280.00	1226.33	1163.33	1249.33	825.67
CP73-1547	1090.67	1212.33	924.00	1391.33	1093.00	1327.00
CP88-1165	1052.67	1213.00	1212.33	1013.00	992.67	1117.33
CG96-135	1227.00	985.00	1449.33	1716.33	1380.33	895.00
CG97-97	1824.33	1320.33	1366.67	1242.33	1381.00	1227.33
PR75-2002	903.33	1347.33	752.67	790.67	915.00	855.00
Co-419	231.00	1279.33	1113.67	354.33	323.33	707.00

Cuadro 54A. Peso seco de Raíces (g) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	346.33	243.33	272.67	45.00	176.00	327.33
CP72-2086	233.00	478.33	415.67	445.00	398.67	330.00
CP73-1547	379.00	411.67	423.33	541.67	506.33	499.67
CP88-1165	451.00	458.67	481.67	400.67	407.67	426.00
CG96-135	498.67	394.67	480.67	631.33	487.00	310.00
CG97-97	691.00	553.33	615.67	563.00	491.67	456.00
PR75-2002	352.67	398.67	273.00	361.00	309.67	313.33
Co-419	113.00	538.00	406.67	115.67	155.67	261.00

Cuadro 55A. Nitrógeno total extraído (g) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	257.22	229.04	354.85	152.87	254.50	277.08
CP72-2086	159.02	348.48	291.95	330.39	255.70	234.16
CP73-1547	339.30	351.47	275.97	406.41	412.47	364.39
CP88-1165	264.87	473.37	433.14	323.54	341.50	277.72
CG96-135	277.55	245.12	298.42	263.30	237.45	145.60
CG97-97	281.47	198.71	213.65	283.01	298.22	306.08
PR75-2002	280.89	243.26	237.36	238.33	388.17	240.67
Co-419	176.14	153.08	274.93	208.11	195.88	225.85

Cuadro 56A. Calcio total extraído (g) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	16.37	22.47	20.60	11.36	17.29	17.51
CP72-2086	26.22	35.01	30.23	32.69	26.87	16.33
CP73-1547	28.97	44.72	26.09	31.84	35.22	29.02
CP88-1165	38.05	32.20	27.77	22.51	26.30	40.34
CG96-135	22.80	23.31	29.86	26.69	24.04	20.06
CG97-97	31.08	27.17	21.51	27.68	26.19	21.22
PR75-2002	28.27	24.54	19.47	20.97	27.76	30.09
Co-419	14.79	27.76	24.59	11.42	12.96	16.91

Cuadro 57A. Magnesio total extraído (g) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	28.05	32.82	28.25	14.04	26.09	23.27
CP72-2086	35.86	40.70	42.65	46.66	27.49	23.40
CP73-1547	35.48	46.86	33.23	50.22	37.32	38.15
CP88-1165	41.14	35.20	34.25	28.46	28.60	30.99
CG96-135	26.84	34.00	33.69	33.99	23.24	16.39
CG97-97	42.06	42.58	34.33	36.41	32.61	29.82
PR75-2002	30.14	28.75	24.93	23.82	39.24	32.90
Co-419	26.83	32.33	25.15	23.05	18.17	21.76

Cuadro 58A. Potasio total extraído (g) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	221.90	379.96	364.88	239.58	200.56	132.01
CP72-2086	222.13	297.69	332.09	231.55	215.67	244.75
CP73-1547	347.17	166.85	455.40	208.44	1796.05	231.11
CP88-1165	603.35	380.58	308.00	372.60	252.85	239.21
CG96-135	232.06	222.24	235.55	327.90	139.04	61.12
CG97-97	217.31	169.08	724.10	170.64	250.19	238.33
PR75-2002	163.61	0.00	146.23	134.34	124.87	181.69
Co-419	125.83	79.35	122.85	161.13	79.85	84.94

Cuadro 59A. Fósforo total extraído (g) al momento de la cosecha.

VARIEDADES	Niveles de PSI (%)					
	0	9	15	20	25	35
CP72-1312	35.38	39.26	35.33	23.66	33.43	27.83
CP72-2086	20.80	37.98	46.14	41.60	24.15	32.28
CP73-1547	43.80	64.52	39.13	47.58	38.41	42.89
CP88-1165	41.87	54.93	50.14	40.32	36.05	39.59
CG96-135	25.33	31.36	31.45	26.99	23.71	25.45
CG97-97	31.61	34.72	28.26	30.29	35.07	31.73
PR75-2002	29.37	48.04	33.66	33.31	32.41	26.36
Co-419	27.16	23.04	27.08	18.11	22.26	20.15

CAPITULO III

**INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS EN EL
PROGRAMA DE AGRONOMIA DEL CENTRO
GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y
CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR
-CENGICAÑA-**

1. SERVICIO No. 1

MAPAS TEMÁTICOS DE FERTILIDAD Y
TEXTURAS DE LOS SUELOS DE LA
ZONA CAÑERA DE LA COSTA SUR DE
LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

1.1. Antecedentes

El 98% de la zona cañera guatemalteca se encuentra asentada en la planicie costera del Pacífico, región caracterizada por poseer suelos muy fértiles que favorecen grandemente la agricultura intensiva. Una de las características principales de esta zona es la predominancia de áreas con depósitos aluviales que arrastran los cauces de los ríos de la parte más alta de la zona, específicamente de la cordillera volcánica de nuestro país. Esta característica junto al relieve y el clima –entre otras características- influyen en la distribución de los suelos, como lo constató el Estudio Semi-detallado de Suelos realizado por CENGICAÑA en 1996, el cual indicó la presencia de 37 familias en la región, pertenecientes a seis órdenes según la clasificación americana (Soil Taxonomy).

La diversidad de familias de suelos dentro de la zona cañera incide directamente en la fertilización de los mismos, ya que las propiedades físicas y químicas de cada una de ellas difieren considerablemente entre sí. Para poder elaborar planes específicos de fertilización que cumplan estos objetivos, es necesario ubicar y delimitar geográficamente los parámetros que definen la fertilidad de los suelos de acuerdo a los rangos de variación que tienen relación con las probables respuestas del cultivo. Así se pueden establecer medidas para cada una de las zonas con cada una de sus particulares características de fertilidad.

El área de Sistemas de Información Geográfica (SIG) tiene entre sus proyectos generar mapas de fertilidad y texturas con la finalidad de que esta información proporcione las herramientas necesarias para la toma de decisiones de parte de los ingenios en cuanto a la planificación de programas de fertilidad y el manejo del cultivo. En base a esto el área de SIG en Abril de 2,006 hizo entrega de la “Primera aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas: Herramientas para la planificación” (CENGICAÑA 2006) obteniéndose un avance del 81.0 por ciento en parámetros de fertilidad y un 64.5 por ciento en parámetros de texturas de lo proyectado al inicio (1 muestra por cada 60 hectáreas). Con las muestras analizadas desde marzo 2006 hasta la fecha y la georeferenciación de algunas que ya se tiene resultados desde el año 2002 se va a elaborar la “Segunda aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas: Herramientas para la planificación” durante el año 2007 donde se espera acercarse a la densidad de muestreo planeada por el Comité de Zonificación Agro-Ecológica.

1.2. Marco referencial

1.2.1 Ubicación:

Este servicio se realizó en el área de Sistemas de Información Geográfica del Programa de Agronomía de CENGICAÑA, ubicado el Km. 92.5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. con coordenadas 14°19'30'' latitud norte y 91°03'03'' longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 300 metros con temperatura promedio de 23.5 °C y humedad relativa de 65.5 %

1.3. Objetivos

1.3.1 General:

Proveer información para la toma de decisiones en el proceso de producción de la caña de azúcar a través de la elaboración de mapas temáticos de fertilidad y texturas de los suelos de la zona cañera de la costa sur de Guatemala.

1.3.2 Específicos:

- Obtener información de los lugares donde se evidenció vacíos de información y la georeferenciación de las muestras de las que se tiene resultados pero no se tomaron en cuenta en la primera aproximación de los mapas.
- Generar mapas temáticos de los siguientes parámetros para fertilidad: pH, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio; y de texturas de la zona cañera a partir de la información de los análisis químicos y físicos de las muestras de suelos.
- Identificar la distribución por zona altitudinal de los principales parámetros de fertilidad basándose en la información de los mapas.

1.4. Metodología

El proceso de la elaboración de los mapas temáticos de fertilidad y texturas se planteó en cuatro etapas que abarcaban la determinación del número de muestras, toma de las muestras, análisis de laboratorio y edición de mapas.

1.4.1 Determinación del número de muestras

En el comité de Zonificación Agroecológica se acordó que el número de muestras de suelo a tomar para el proyecto fuera de 1 por cada 60 hectáreas. El número de muestras a tomar por ingenio fue determinado en base al total de la superficie administrada por cada uno de ellos dando como resultado el cuadro 60, que se presenta a continuación:

Cuadro 60. Total de muestras a analizar por ingenio.

Ingenio	Número de muestras
Pantaleón/Concepción	721
Magdalena	379
La Unión/Los Tarros	327
Santa Ana	256
Madre Tierra	206
Palo Gordo	200
El Baúl	169
Tierra Buena	156
San Diego/Trinidad	155
Tululá	123
Guadalupe	94
Santa Teresa	19
Total	2,805

1.4.1.1 Georeferenciación de muestras

Existen muestras de las cuales ya se tienen los resultados pero hace falta la georeferenciación de las mismas por lo cual se elaboraron los listados de las fincas de cada ingenio y en una reunión del

comité de fertilidad (27 de junio 2007) se les hizo llegar en formato electrónico para que ubicaran los puntos y proporcionaran las coordenadas para la edición de la segunda aproximación de los mapas.

1.4.2 Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de parte de los ingenios con base a la metodología descrita por Osorio (sin fecha de publicación) en el documento Muestreo de Suelos, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Profundidad de toma de la muestra: 0.20 metros
- Cantidad de suelo por muestra: 1 – 1.5 Kg (aproximadamente 2.5 libras).

Una vez tomada la muestra, se identificaba con la siguiente información:

- Número o código de lote.
- Fecha de toma de la muestra.
- Nombre de la finca.
- Nombre de ingenio.
- Coordenadas de la ubicación geográfica de la muestra tomadas con GPS (sistema geográfico WGS84 y sistema de coordenadas UTM Z15 N).

1.4.3 Análisis químico y físico de las muestras de suelo

Luego de la toma de las muestras en el campo, se llevaron al laboratorio agronómico de CENGICAÑA en donde se analizaron de acuerdo a la metodología de análisis descrita en el protocolo P_11_1.1_05, titulado Análisis Químico y Físico de Suelos.

Los resultados del laboratorio analizados y tabulados en formato electrónico, se entregaron al área de zonificación para el análisis y procesamiento de la información por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.4.4 Elaboración de mapas

La información de los resultados de laboratorio se convirtieron a un formato de archivos electrónicos de base de datos que incluye la información de campo; esto con el fin de identificar espacialmente, por medio de las coordenadas geográficas, las ubicaciones de cada una de las muestras. Se procedió a revisar si la ubicación de las muestras coincide con el mapa de polígonos y lotes de las fincas administradas por ingenio., para verificar la ubicación de las mismas.

Una vez ubicadas geográficamente las muestras dentro del SIG, se procesó la información para cada uno de los parámetros de fertilidad por medio de procesos de interpolación y extrapolación³, que darán como resultados los mapas preliminares que se someterán a discusión entre el personal del Programa de Agronomía y el comité de fertilidad de la agroindustria azucarera.

Los parámetros para la elaboración de los mapas se reclasificarán de acuerdo a los siguientes valores:

Cuadro 61. Parámetros de clasificación del mapa pH.

Categoría	Valor de pH
1	< 5.5
2	5.5 – 6.5
3	6.5 – 7.2
4	7.2 – 8.0
5	> 8.0

Cuadro 62. Parámetros de clasificación del mapa de materia orgánica.

Categoría	Porcentaje de M.O.
1	< 3.00
2	3.01 – 5.00
3	> 5.01

³ Para llevar a cabo estos procesos, se utilizó la herramienta "Interpolate to Raster" del Spatial Analyst de ArcGIS. Manual de Spatial Analyst. Velásquez (2004).

Cuadro 63. Parámetros de clasificación del mapa de potasio.

Categoría	Ppm
1	< 50
2	50 – 100
3	100 – 150
4	150 – 200
5	200 – 350
6	> 350

Cuadro 64. Parámetros de clasificación del mapa de fósforo.

Categoría	Ppm
1	< 5
2	5 – 10
3	10 – 30
4	> 30

Cuadro 65. Parámetros de clasificación del mapa de calcio.

Categoría	Meq/100g
1	< 4
2	4 – 8
3	8 – 12
4	> 12

Cuadro 66. Parámetros de clasificación del mapa de magnesio.

Categoría	Meq/100g
1	< 1
2	1 – 2
3	2 – 4
4	> 4

Para el caso específico del mapa de texturas, se clasificará la información con códigos numéricos, de la siguiente manera:

Cuadro 67. Reclasificación de la información para el mapa de texturas

Categoría	Tipo de textura
1	Arena franca
2	Franco arenosa
3	Franca
4	Franco limosa
5	Franco arcillosa
6	Arcillosa

1.5. Resultados

1.5.1 Determinación del número de muestras:

En la primera aproximación de los mapas de fertilidad y texturas para el caso de análisis químico se utilizaron 2,272 muestras, que representan el 81.0 por ciento (Figura 23) y para el caso de análisis físico se utilizaron 1,809 muestras, que son el 64.4 por ciento (Figura 24).

Tomando en cuenta la propuesta de continuar el muestreo de suelos con su información espacial respectiva (coordenadas geográficas) para la elaboración de mapas en su segunda aproximación, considerando vacíos de información, avance actual y nuevas áreas de expansión de caña de azúcar se planificó realizar un muestreo de suelos básicamente en los ingenios Palo Gordo y Tululá por los vacíos de información que se observan en las figuras 23 y 24. (CENGICAÑA. 2006).

Se revisó la información existente del 27 de Abril 2,006 para inicios de Junio 2,007, se obtuvieron las muestras de las cuales ya se tenían los resultados pero no la georeferenciación de las mismas, se elaboró un listado por cada ingenio de las muestras bajo su administración y se les hizo entrega del mismo en el día de campo del área de fertilidad realizado el 27 de Junio 2,007 siendo el listado el reportado en el cuadro 68.

Cuadro 68. Muestras a georeferenciar por cada ingenio

Ingenio	Número de muestras
La Unión	454
Madre Tierra	8
Magdalena	74
Tululá	28
Palo gordo	52
Pantaleón	191
Baúl	63
San Diego	1
Santa Ana	22
TOTAL	893

Se les pidió a los ingenios entregar la georeferenciación de las fincas lo más pronto posible para la generación de los mapas en su segunda aproximación teniendo que al día 5 de Noviembre 2,007 únicamente se han recibido datos del ingenio La Unión un total de 314 muestras georeferenciadas. También se agregarán muestras proporcionadas por el laboratorio agronómico de CENGICAÑA de los ingenios Santa Ana 186 muestras y San Diego 94 muestras. (Figura 25)

Teniéndose en total 594 muestras para agregar a la base de datos anterior y elaborar la segunda aproximación de los mapas de fertilidad.

1.5.2 Elaboración de mapas:

El área de SIG de CENGICAÑA determinó ya no elaborar la segunda aproximación de los mapas de fertilidad y texturas para el presente año por los siguientes motivos:

- De las muestras enviadas para la georeferenciación de parte de los ingenios se recibió únicamente el 35% lo cual no es suficiente para elaborar otra aproximación.
- Para los mapas físicos el principal vacío de información existe en la zona oeste (ingenios Tululá y Palo Gordo), los cuales no han enviado ninguna información por lo que la interpolación de los mismos sería muy parecida a los mapas de la primera aproximación. (Figura 24)

- Ya empezó la zafra 2007-2008 y elaborar mapas de fertilidad ya no serían de utilidad para la toma de decisiones en la elaboración de los planes de fertilidad de los ingenios.

Por estas razones el área de SIG determinó elaborar la segunda aproximación para el mes de agosto del año 2,008 esperando que se tengan las muestras georeferenciadas y que a la vez sean de utilidad para la elaboración de los planes de fertilidad de la zafra 2008-2009.

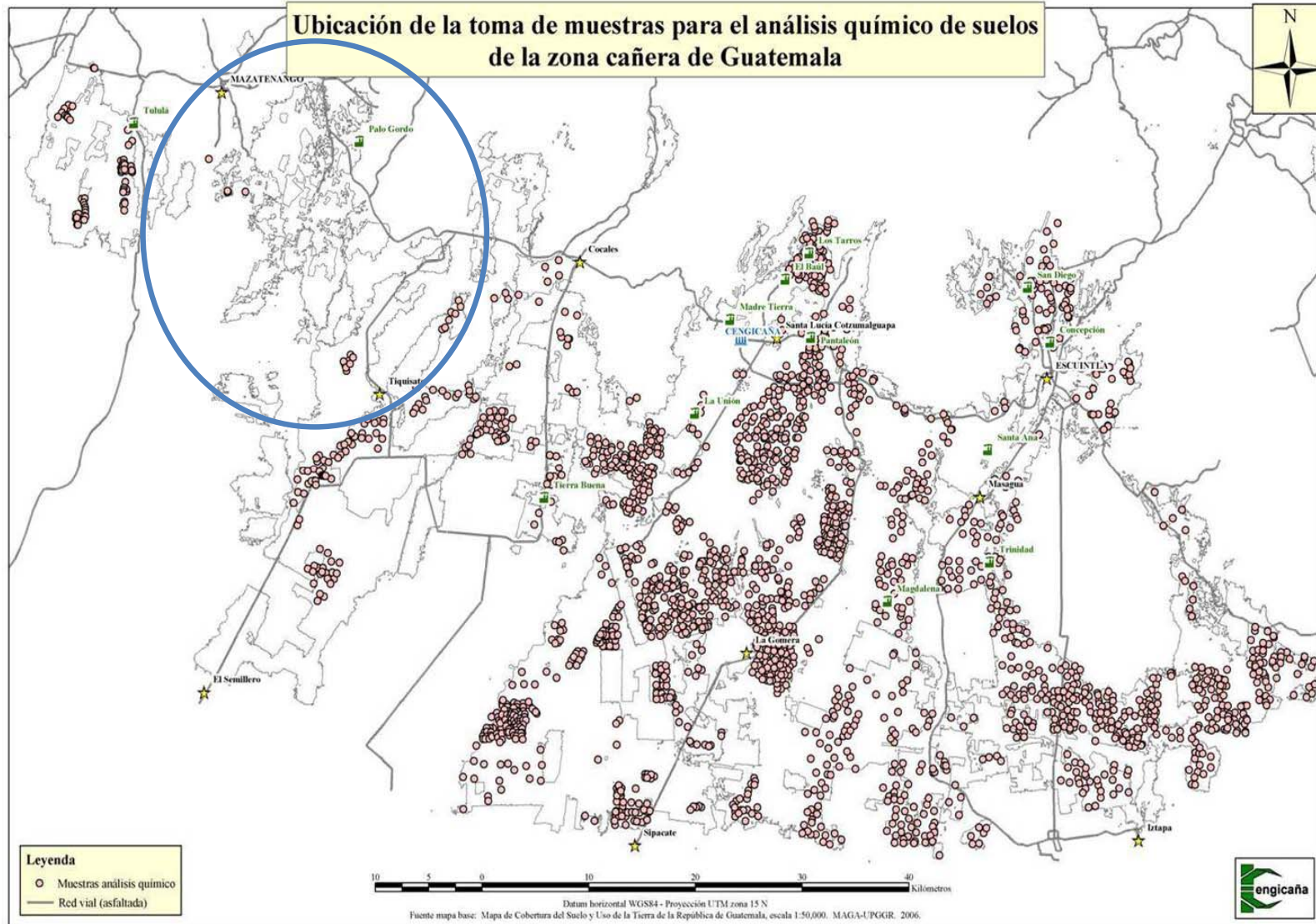


Figura 23. Ubicación de muestras. Primera Aproximación Mapas de Fertilidad
Fuente: CENGICAÑA 2006

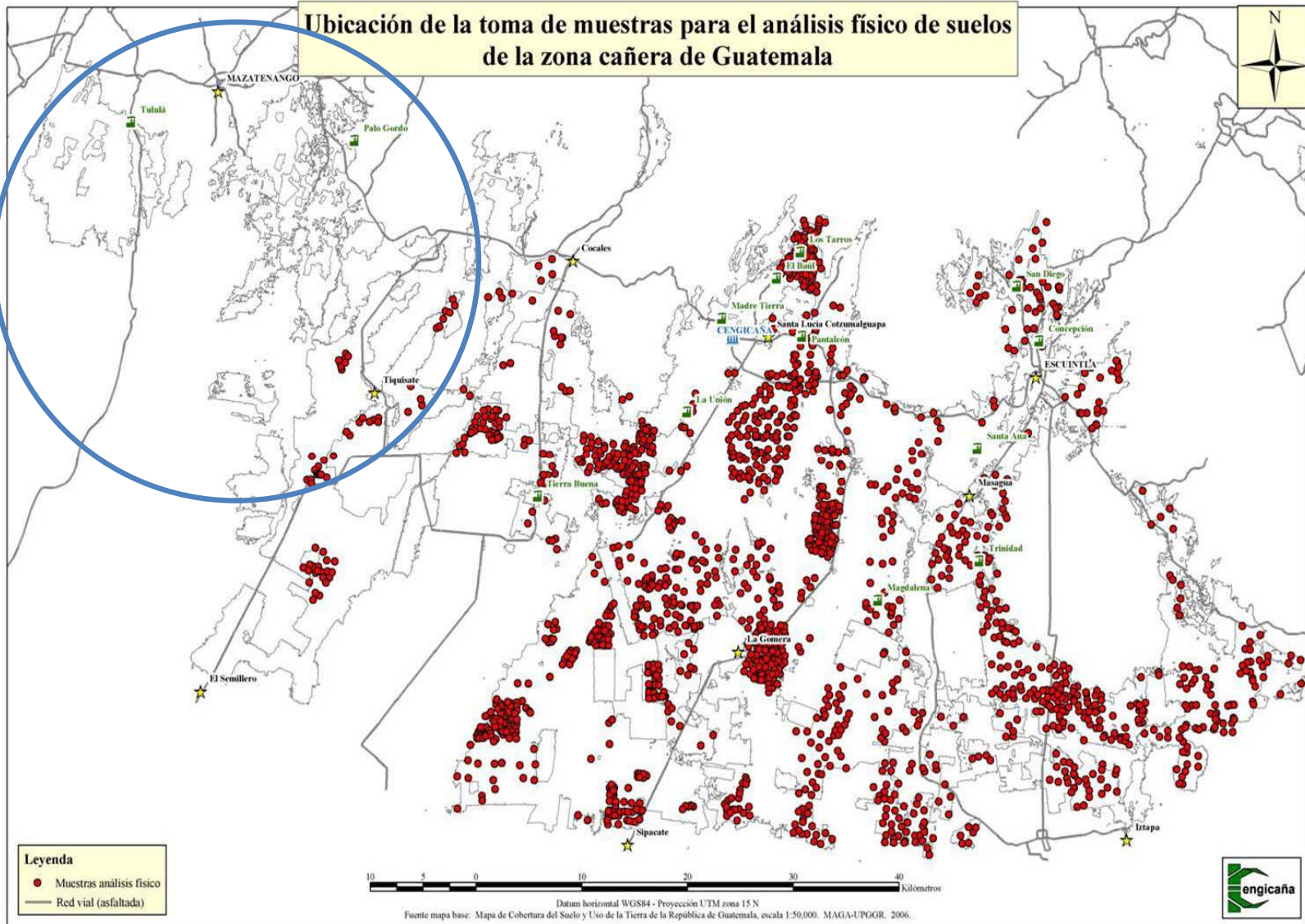


Figura 24. Ubicación de muestras. Primera Aproximación Mapas de Texturas
Fuente: CENGICAÑA 2006

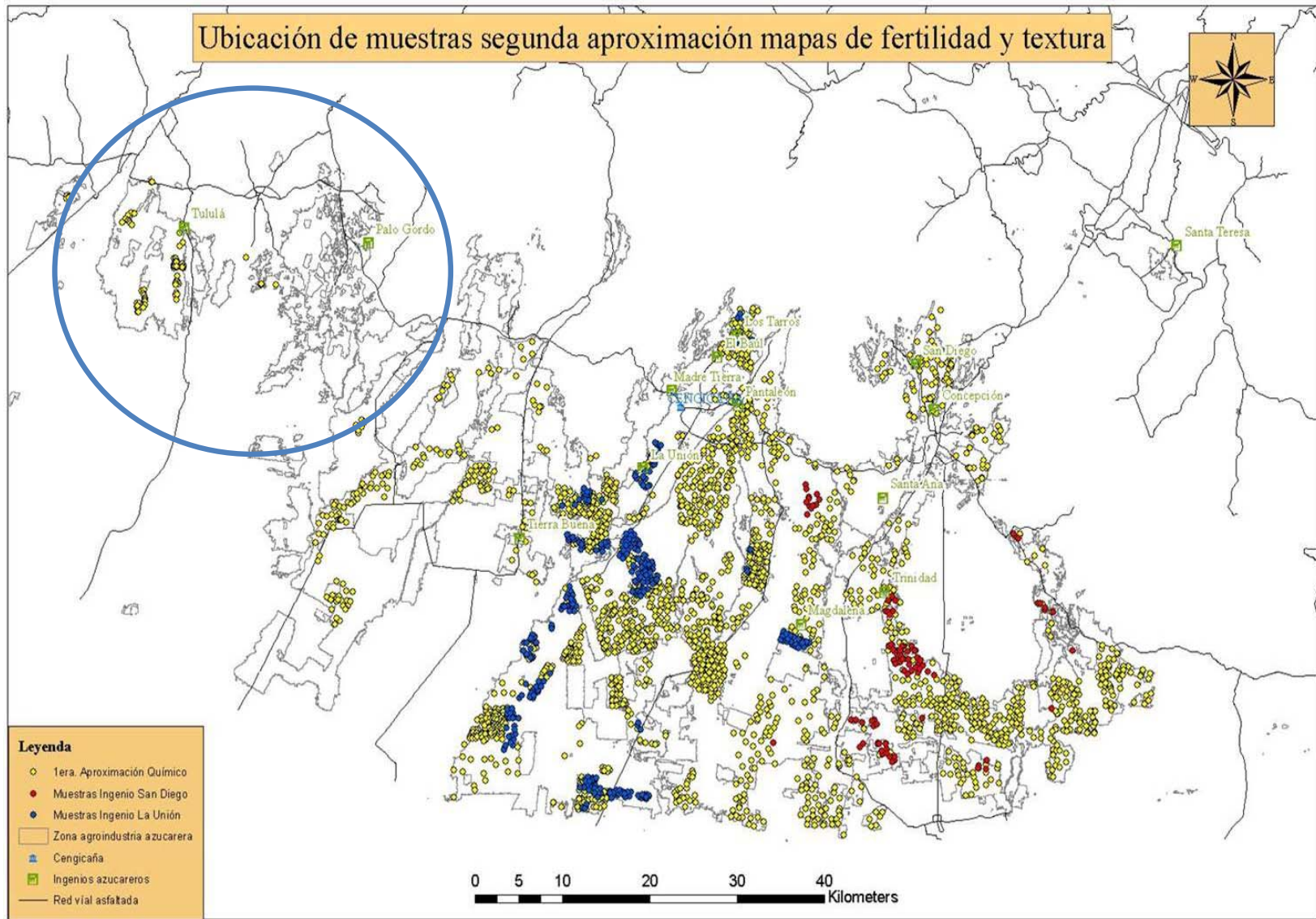


Figura 25. Ubicación de muestras. Segunda Aproximación mapas de Fertilidad y Textura. Actualizado 05/nov/07

1.6. Conclusiones

Para que los mapas de fertilidad y texturas sirvan para la toma de decisiones en el proceso de producción de la caña de azúcar sería importante que las aproximaciones de los mismos fueran entregados a los usuarios de la Agro-Industria Azucarera de Guatemala en el mes de Agosto cada 3 años ó según lo determine el área de SIG de CENGICAÑA.

Los lugares donde se evidencian vacíos de información en los mapas de fertilidad y texturas en su primera aproximación son las zonas de influencia de los ingenios Tululá y Palo Gordo principalmente, además de la zona de la Nueva Concepción y la zona de Tiquisate que es ocupada por el ingenio El Pilar.

Los mapas temáticos de los parámetros de fertilidad: pH, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio; y de texturas de la zona cañera a partir de la información de los análisis químicos y físicos de las muestras de suelos que no se tomaron en cuenta en la primera aproximación y los nuevos muestreos que se realicen serán elaborados y entregados en el mes de Agosto del año 2,008 de parte del área de SIG.

1.7. Recomendaciones

Las muestras para análisis químico y físico que ingresen al Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA deberían de venir georeferenciadas de campo de una vez, para evitar después tener que estar determinando las coordenadas de las mismas.

1.8. Bibliografía

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT) 1996. Estudio semi-detallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala, Ingeniería del campo. 216 p.
2. _____. 2006. Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2005-2006. Guatemala. p. 224-229.
3. Osorio, NW. (SRT). Muestreo de suelos. Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 4 p.
4. Velásquez, S. 2004. Tutorial de spatial analyst. Costa Rica, CATIE / CENGICAÑA / INTECAP. 80 p.

2. SERVICIO No. 2

MAPAS DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL
DEL AÑO 2,006 DE LA ZONA CAÑERA DE
LA COSTA SUR DE LA REPÚBLICA DE
GUATEMALA

2.1. Antecedentes

En el país y por ende en la zona cañera el clima desde el punto de vista de la lluvia se encuentra influenciado por dos temporadas: la temporada lluviosa (equivocadamente llamada invierno; que dura entre mayo - octubre) y la temporada seca (verano; que dura entre noviembre – abril), lo cual influye directamente en la época de cosecha de la caña de azúcar; siendo la zafra en época seca y la no zafra en época lluviosa.

La necesidad de contar con información que permita una mejor comprensión de fenómenos climáticos como la lluvia, sumada a la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas informáticas, ha impulsado la elaboración de un proyecto a nivel gremial que permita la recopilación y análisis de información climática para la elaboración de mapas temáticos. Estos mapas tienen como objetivo ser herramientas que colaboren en la planificación de estrategias del manejo del cultivo de la caña de azúcar a nivel de la agroindustria azucarera de Guatemala.

Específicamente, los mapas temáticos de precipitación, son herramientas que permiten tener un panorama general del comportamiento de lluvias a lo largo del tiempo para que sirven como herramientas para la planificación de programas de riego, inicio de zafra, desarrollo de variedades, entre otras actividades.

Anteriormente el área de sistemas de información geográfica de CENGICAÑA generó mapas de precipitación histórica (CENGICAÑA 2007) utilizando la información de un total de 170 estaciones meteorológicas distribuidas en la zona cañera del sur del país, al tener la información de precipitación correspondiente al año 2,006 del 76.5 por ciento (129) de las estaciones utilizadas para los mapas de precipitación histórica se generarán los mapas de “Precipitación pluvial del año 2,006 de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala”.

Se generarán 15 mapas distribuidos de la siguiente manera: 1 mensual (12 en total), 1 período de zafra (Noviembre – Abril), 1 período de no zafra (Mayo – Octubre) y 1 anual.

2.2. Marco referencial

2.2.1 Ubicación:

Este servicio se realizará en el área de Sistemas de Información Geográfica del Programa de Agronomía de CENGICAÑA, ubicado en el Km. 92.5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. con coordenadas geográficas 14°19'30'' de latitud norte y 91°03'03'' de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 300 metros con temperatura promedio de 23.5 °C y humedad relativa de 65.5 %.

2.3. Objetivos

2.3.1 General:

Elaborar mapas temáticos de precipitación pluvial del año 2006 para la Agroindustria Azucarera de Guatemala.

2.3.2 Específicos:

- Recopilar información de precipitación de estaciones meteorológicas de la costa sur de Guatemala.
- Establecer una metodología de análisis y procesamiento de información para la elaboración de mapas temáticos de precipitación.
- Elaborar 15 mapas de precipitación del año 2,006, distribuidos de la siguiente forma:
 - 1 por cada mes del año (12 en total).
 - 1 anual.
 - 1 del período de zafra (noviembre – abril).
 - 1 del período de no zafra (mayo – octubre).

2.4. Metodología

2.4.1 Recopilación y análisis de la información

Se obtuvo del área de agrometeorología de CENGICAÑA la información de precipitación pluvial 2,006 disponible para la costa sur de Guatemala. De cada estación reportada se tenía el total de lluvia de la estación para cada uno de los 12 meses del año, durante el año 2,006.

La información recopilada se ordenó y clasificó en hojas electrónicas de acuerdo a la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas, de forma que facilitara el análisis posterior. Para el análisis de los datos, se consideraron los criterios de selección de las estaciones para el análisis de datos de lluvia recomendados por Villalobos, R. (2002):

- Representatividad de la zona (que pueda servir como base de otras estaciones).
- Calidad del registro.
- Extensión del registro (la Organización Mundial de Meteorología, OMM, recomienda 30 años como mínimo para obtener estadísticas confiables).
- Actualización (que sea una estación que se pueda actualizar con facilidad).
- Permanencia (que sea una estación que se mantenga funcionando en el futuro).

Debido a la variabilidad de la información de estaciones meteorológicas en Guatemala (algunas reportan periódicamente, otras reportan datos incorrectos, inconsistencia de datos, falta de datos) del total de estaciones disponibles (195), se utilizarán las estaciones que cumplen los requisitos anteriores y que posean información del año 2,006.

Una vez analizada la información y determinadas las estaciones que se tomarían en cuenta para la elaboración de los mapas, se procedió a analizar la calidad de la información de lluvias, así como la consistencia y distribución de las estaciones meteorológicas dentro de la zona cañera.

2.4.2 Determinación de la metodología de interpolación para la generación de los mapas

En la generación de los mapas de precipitación histórica del año 2006, se evaluaron los tres métodos de interpolación del módulo *Spatial Analyst* de ArcGIS (*Inverse Distance Weighted -IDW-⁴*, *Kriging⁵* y *Spline⁶*). Para generar los mapas de evaluación de los tres métodos de interpolación, se tomaron como base los datos de precipitación histórica anual -debido a que éstos son los valores más estables en el tiempo-.

Posteriormente al análisis se determinó utilizar el método de interpolación *Kriging* por ser el que interpreta de mejor manera el comportamiento de la lluvia a lo ancho de la agroindustria azucarera a nivel de la costa sur de Guatemala.

Para la elaboración de los mapas del año 2,006 se realizó nuevamente este estudio para ver si se sigue utilizando el método *Kriging* o es necesario cambiarlo por el comportamiento de los datos. (datos históricos se vuelven consistentes a lo largo del tiempo mientras que anual cambia este comportamiento)

Los mapas generados fueron evaluados para determinar el método de interpolación que presentó mejores valores estimados.

2.4.3 Elaboración de los mapas

Se generaron 15 mapas de precipitación histórica (1 por cada mes del año, 1 anual, 1 para el período de zafra y 1 para el período de no zafra) en base al mejor método de interpolación para datos de lluvia.

⁴ Método de interpolación que asume que cada punto de entrada tiene una influencia local, la cual disminuye a medida que se aleja de dicho punto.

⁵ Método de interpolación especializado que, para estimar las superficies de interpolación, calcula las correlaciones existentes entre las distancias o direcciones de un determinado número de puntos de entrada.

⁶ Método de interpolación general que ajusta un radio de influencia de varios puntos sobre un punto de entrada. Conceptualmente, equivale a tomar una hoja elástica y ajustarla a los puntos de entrada tratando de minimizar la curvatura de la superficie.

2.5. Resultados

2.5.1 Información recopilada

Se recopiló información de las estaciones meteorológicas que operaron en la región durante el año 2,006; a estos datos se les realizó un análisis de la consistencia de los datos de lluvia y certeza de ubicación geográfica, dando como resultado una base de datos con la información de 129 estaciones meteorológicas útiles para la generación de los mapas de precipitación.

Estas estaciones se encuentran distribuidas a lo largo de la costa sur de Guatemala, desde el río Suchiate hasta el río Paz, en alturas comprendidas desde el nivel del mar (estación Puerto de San José, Escuintla) hasta los 1,293 msnm (estación Santa Teresa, Guatemala); (Figura 26). De las 129 estaciones meteorológicas seleccionadas, 122 pertenecen a las áreas administradas por los ingenios de la Agroindustria Azucareras, mientras que el resto pertenece (o perteneció) al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-.

Es importante mencionar que un alto porcentaje de las estaciones meteorológicas se encuentran dentro de la zona cañera, existen lugares con vacíos de información que necesitan ser monitoreados para mapas futuros para darle peso a los análisis y predicciones de los mapas, principalmente en aquellas zonas hacia las cuales el cultivo de la caña se está expandiendo (municipios de Nueva Concepción, Escuintla; Taxisco y Chiquimulilla, Santa Rosa).

2.5.2 Metodología para la elaboración de los mapas

En la elaboración de los mapas de precipitación histórica (marzo 2,007) se generaron los tres mapas de evaluación de los métodos de interpolación del *Spatial Analyst* del ArcGIS. Los resultados se presentan en las figuras 27, 28 y 29 para *IDW*, *Kriging* y *Spline*, respectivamente.

En la Figura 27, se muestra un mapa con valores de alta precipitación (rojizos y rosados) que concuerdan con el relieve y características climáticas del pie de monte de la zona cañera del sur de Guatemala; mientras que los valores de baja precipitación (verdes) se localizan en las áreas usualmente más secas como las zonas costeras y el oriente de la región. Esto nos indica que el método predice adecuadamente los datos de precipitación. Es importante también mencionar, que la misma naturaleza del método de interpolación provoca la generación de pequeños círculos o

“manchas” que producen discontinuidad en las diferentes áreas de precipitación; estos círculos corresponden directamente a los valores de precipitación de las estaciones meteorológicas utilizadas para generar el mapa.

La Figura 28, muestra los valores de alta precipitación en la parte alta de la zona cañera del sur de Guatemala -al igual que el mapa del método *IDW*-; mientras que los valores de baja precipitación se localizan en las zonas costeras y el oriente de la región. El método *Kriging* tiene como ventaja, el hecho de que no presenta los valores discontinuos a lo largo del mapa -los círculos que si presenta el *IDW*-, pues analiza y correlaciona los datos de las estaciones de una manera más amplia acorde a la naturaleza y características de los datos de entrada; razón por la cual los resultados nos muestran un mapa con regiones más uniformes.

En la Figura 29, se presenta un mapa generado por el método de interpolación *Spline*, el cual -por su misma naturaleza matemática-, difiere totalmente con las características climáticas de la zona cañera del sur de Guatemala. Este método ha sido descartado para su análisis pues a simple vista se puede establecer que los valores estimados son totalmente alejados de la realidad.

Como se puede observar, el *IDW* y el *Kriging*, son los dos métodos que mejor representan el comportamiento de lluvias de la zona cañera, con valores de altas precipitaciones en las regiones del pie de monte y valores un poco más bajos en las zonas cercanas a la costa y en la parte oriental de la región. Entre estos dos métodos, el *IDW* presenta valores más precisos en las cercanías a las localidades de las estaciones meteorológicas que el *Kriging*, pero a medida que se aleja de las mismas, nos predice el comportamiento en relación directa con la distancia, sin contemplar las interacciones que pueden provocar estaciones cercanas; factor que si contempla este último método uniformizando la información de precipitación.

De acuerdo a esto, se evaluaron los datos de precipitación mediante la elaboración de un diagrama de dispersión entre altura y valor de precipitación esperado para cada método -de todas las estaciones meteorológicas por debajo de los 850 msnm-, al cual se le realizó un análisis de regresión y con éste se generó un modelo de estimación.

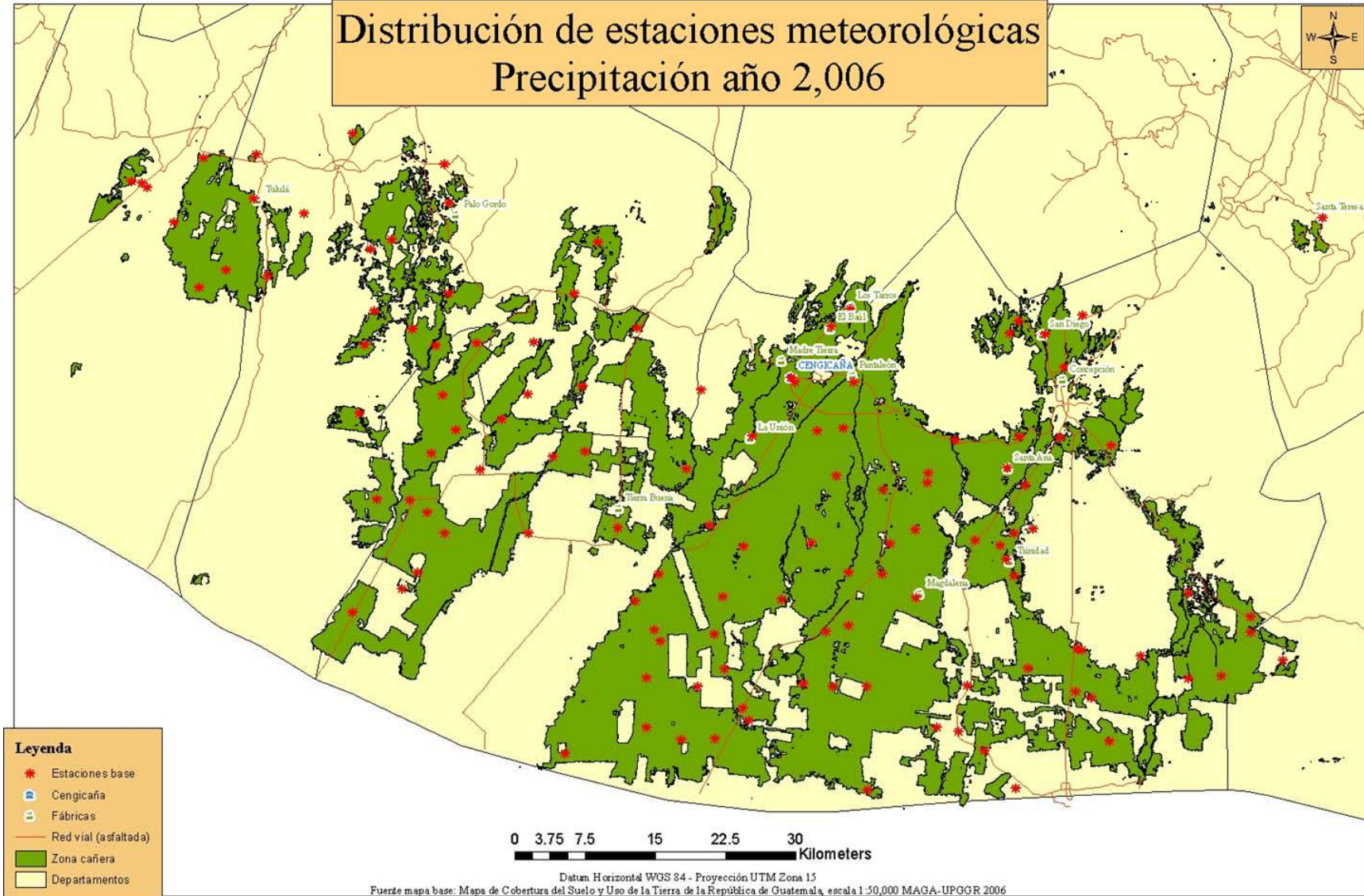


Figura 26. Distribución de estaciones meteorológicas. Precipitación año 2,006

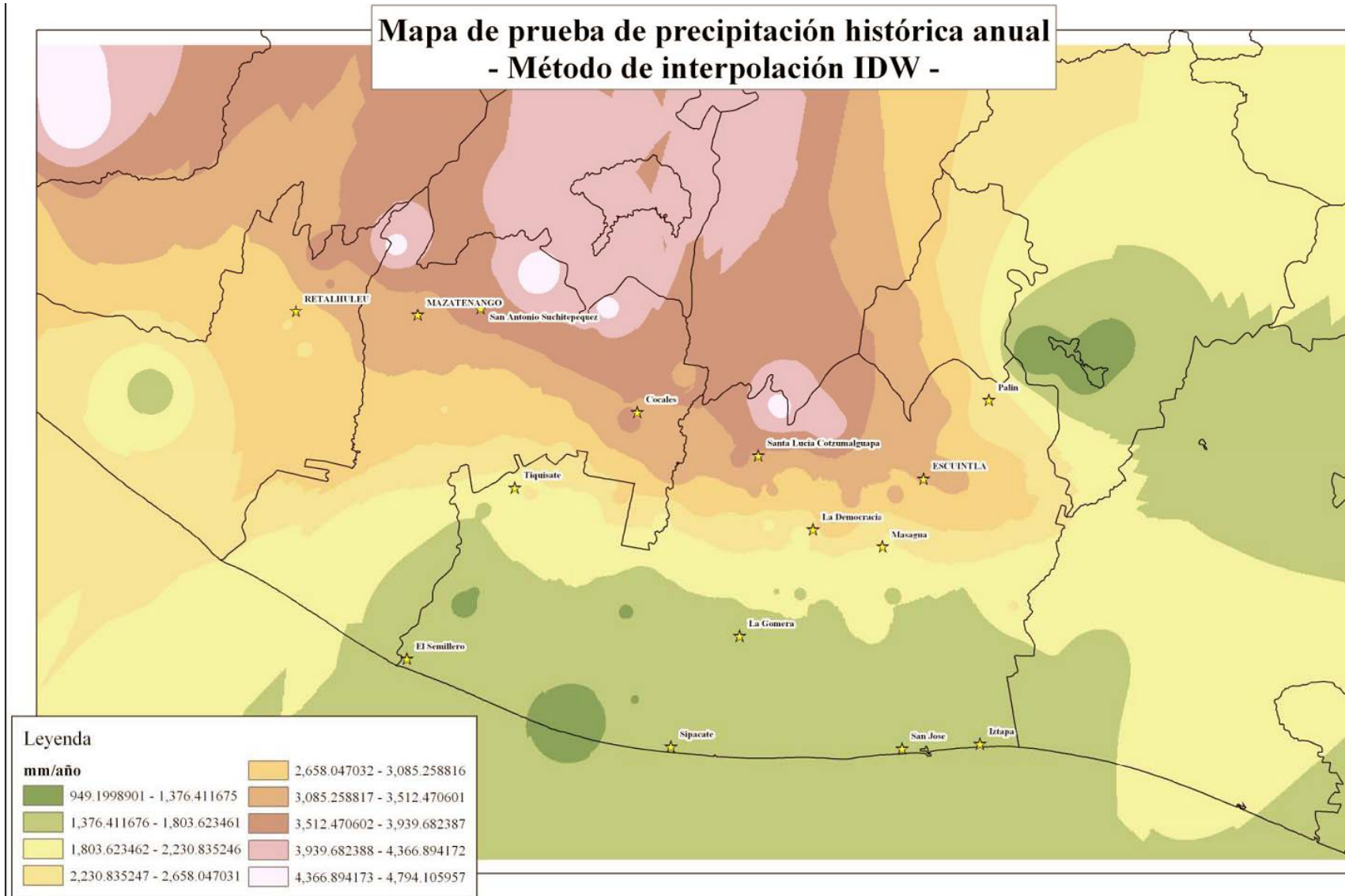


Figura 27. Mapa de prueba de precipitación histórica anual. Método de interpolación IDW
Fuente: CENGICAÑA 2007.

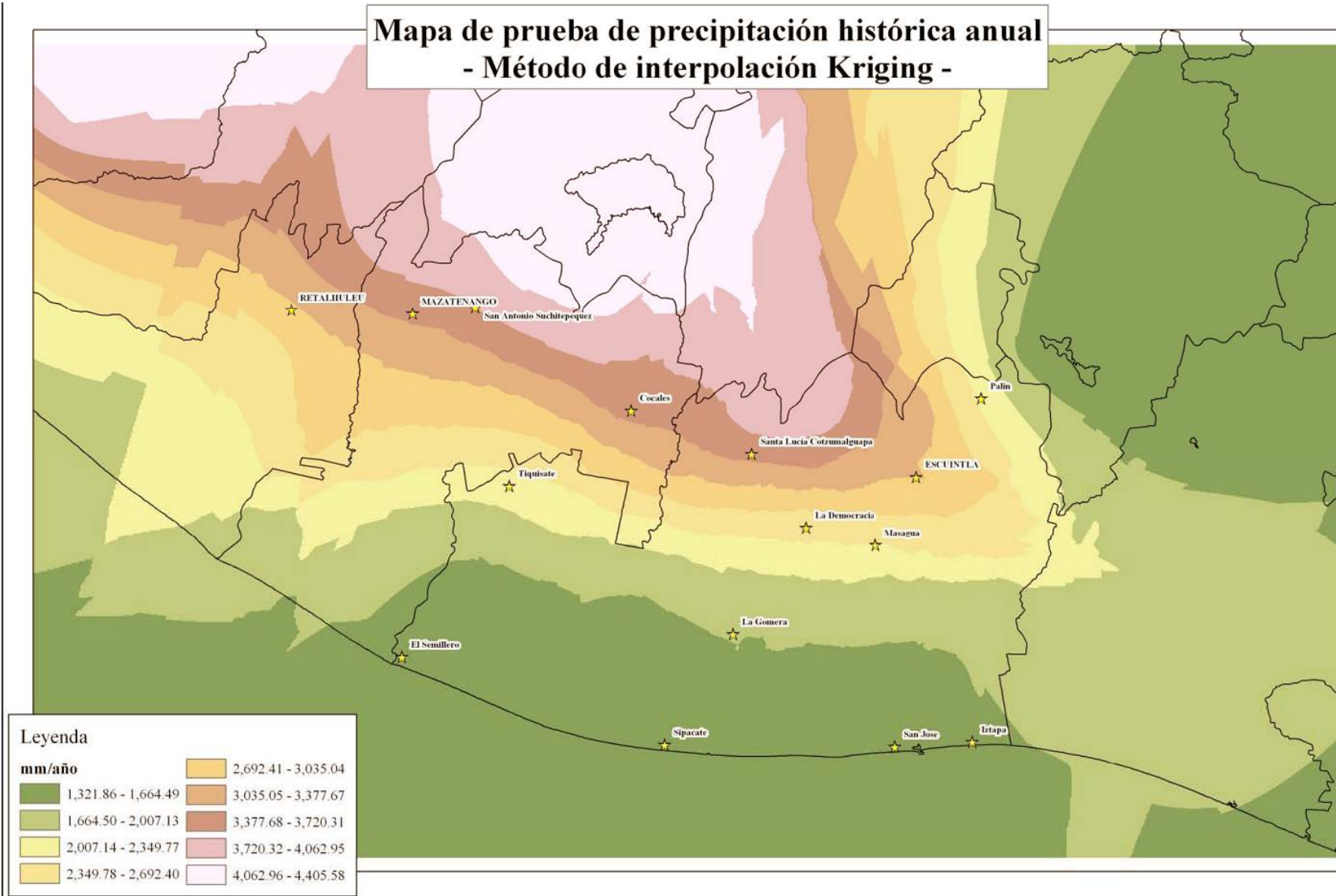


Figura 28. Mapa de prueba de precipitación histórica anual. Método de interpolación Kriging
Fuente: CENGICAÑA 2007.

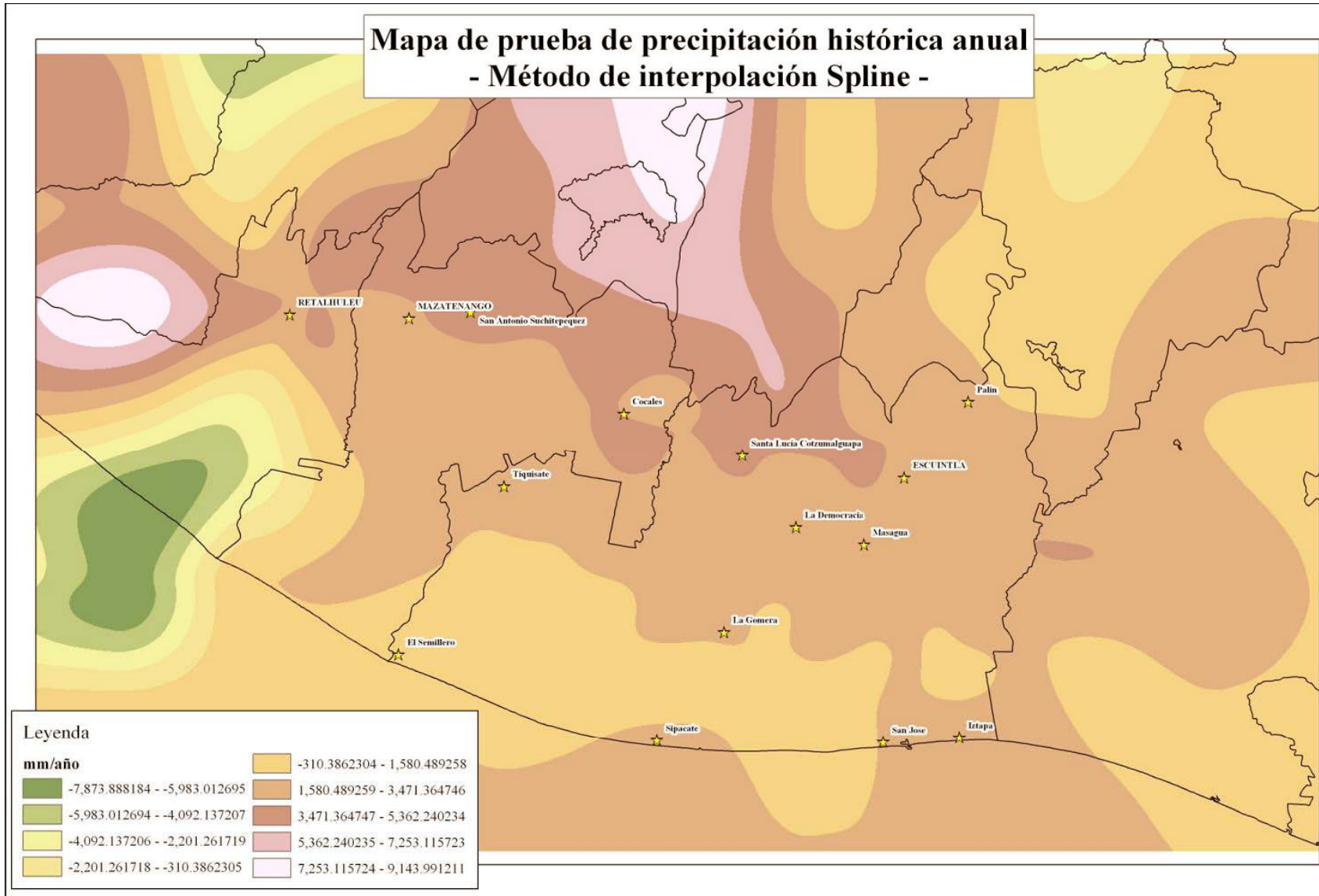


Figura 29. Mapa de prueba de precipitación histórica anual. Método de interpolación Spline
Fuente: CENGICAÑA 2007

En el caso del método del *IDW*, el valor de R^2 fue de 0.7441, mientras que para el *Kriging*, el valor de R^2 fue de 0.7851, razón que soportó la decisión de adoptar este método para la elaboración de mapas de precipitación pluvial año 2,006 de la zona cañera del sur de la República de Guatemala. El 99.5% del área de la agroindustria azucarera del sur de Guatemala se encuentra por debajo de los 700 msnm, por lo cual se restringió el modelo de estimación a valores menores a los 850 msnm para darle un mejor ajuste a los datos.

2.5.3 Análisis efectuados

Al editar los mapas de precipitación del año 2,006 se observó que los datos no eran consistentes para la entrega de los mismos por diversos factores entre los que se encuentran:

- Inestabilidad del comportamiento de las lluvias durante el registro de solamente un año.
- La cantidad de estaciones que aportan datos para la elaboración de los mapas.
- La calidad de los datos a la hora de hacer las lecturas en las fincas o en los lugares donde se encuentran los pluviómetros.

2.5.4 Comparación con mapas de precipitación histórica entregados en el año 2006

Se presenta la comparación de 3 meses de los mapas del año 2006 con respecto a los mapas de precipitación histórica anual entregados en el año 2006, donde se demuestra la poca consistencia visual de parte de los mapas

Los meses analizados fueron enero, mayo y septiembre; Para cada mes se elaboraron los mapas con interpolación *Kriging* y con interpolación *IDW*

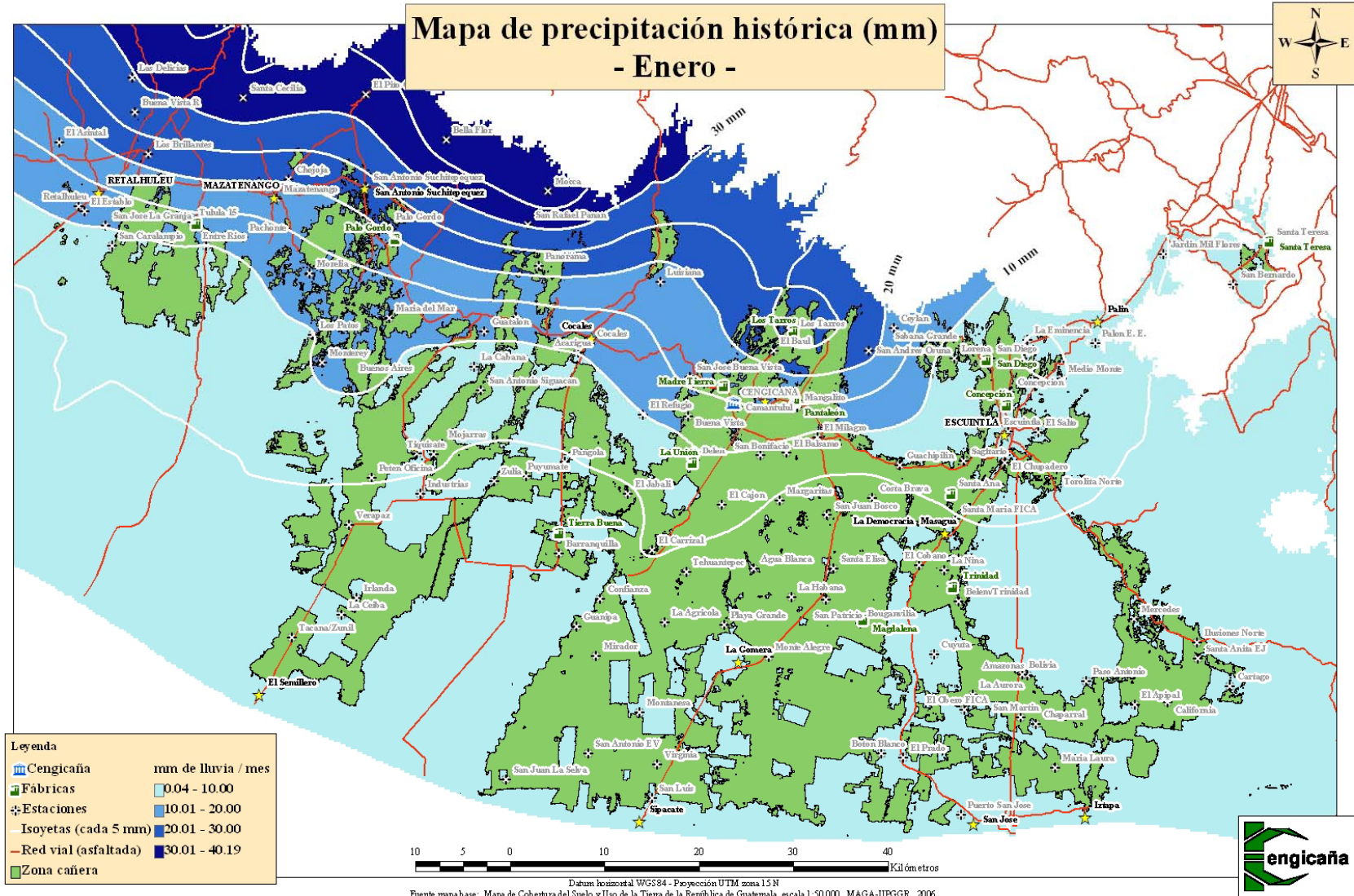


Figura 30. Mapa de precipitación histórica hasta el año 2006 (mm) del mes de Enero
Fuente: CENGICAÑA 2007

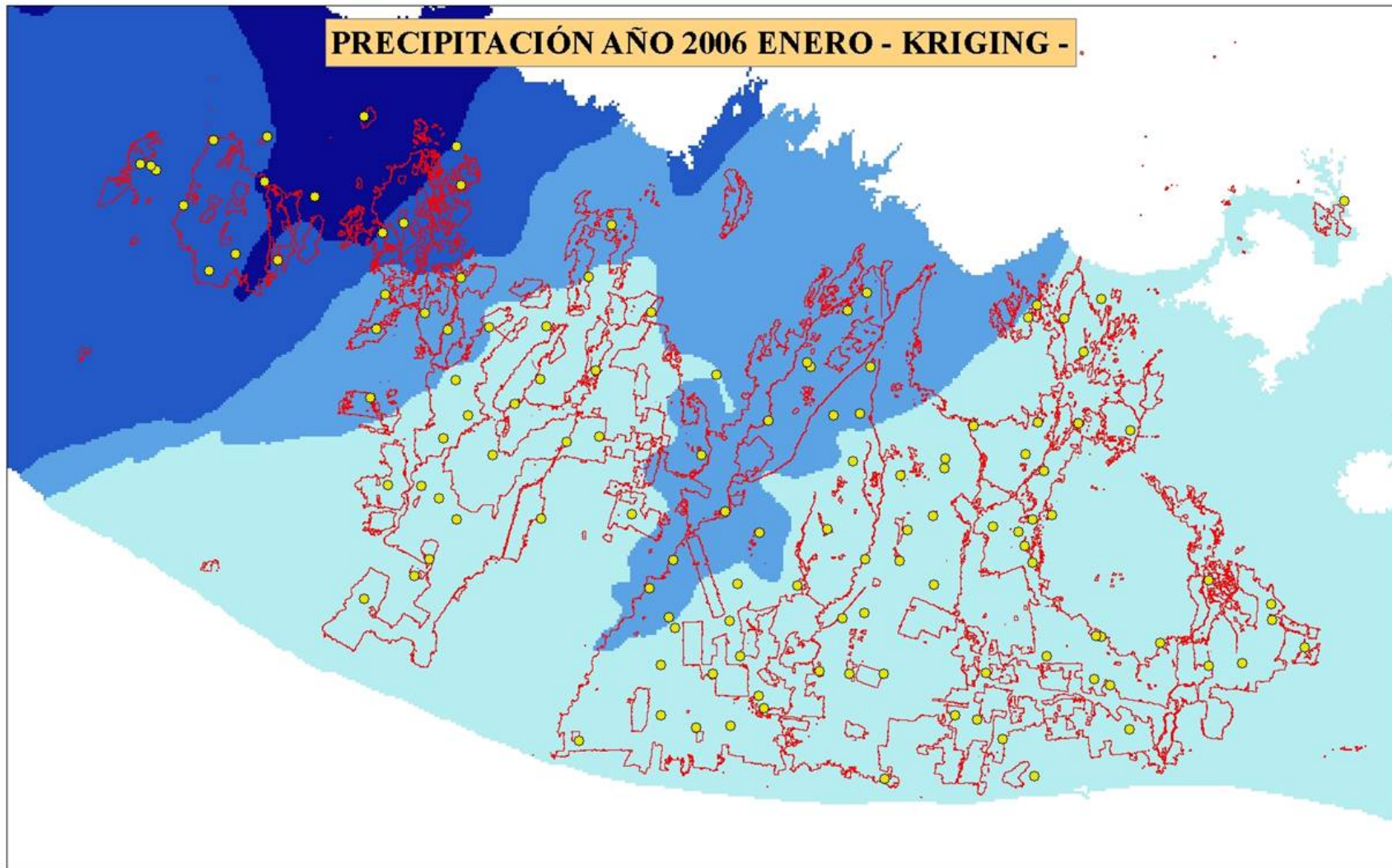


Figura 31. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Enero, utilizando el método *Kriging*

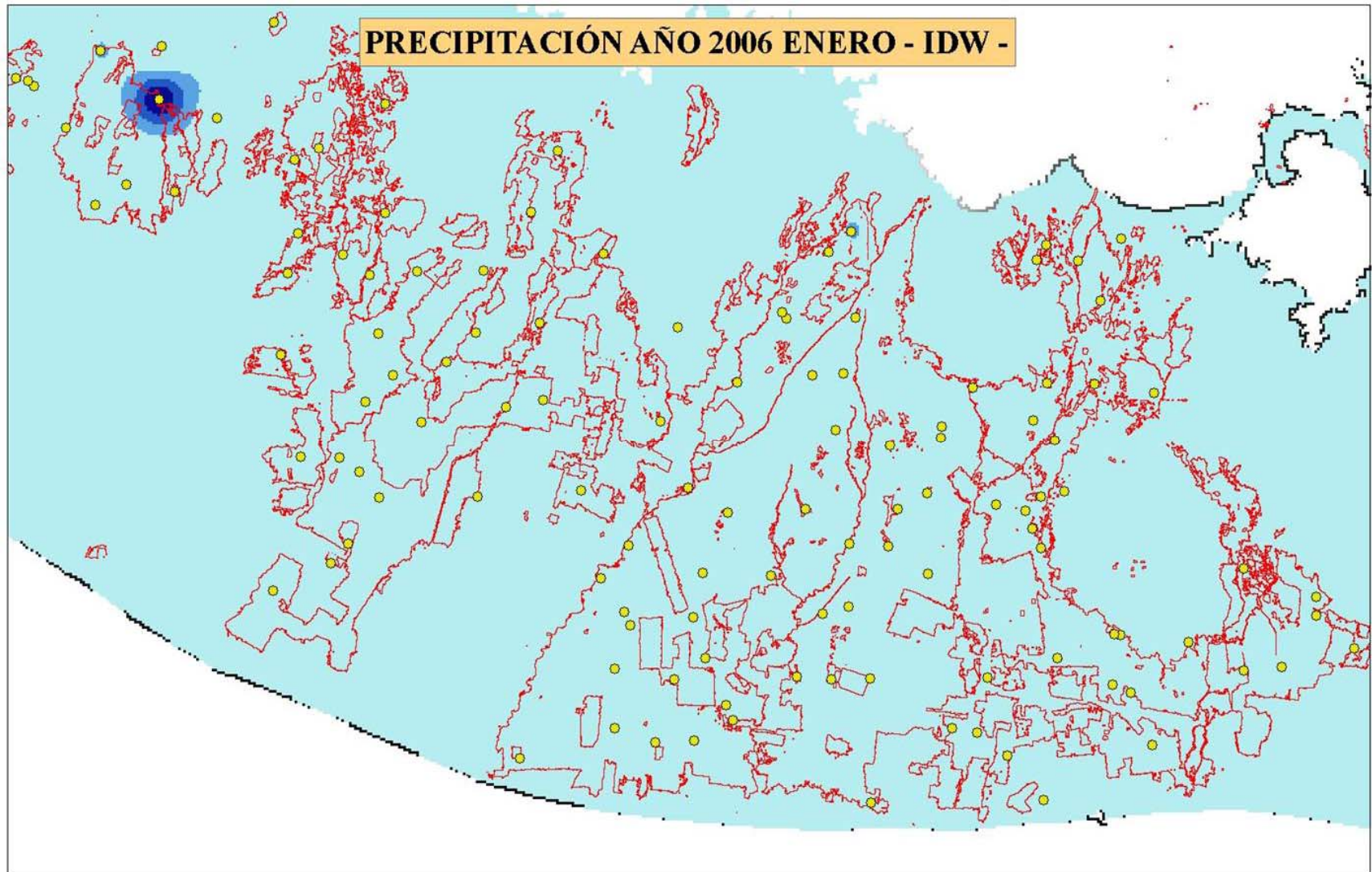


Figura 32. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Enero, utilizando el método *IDW*

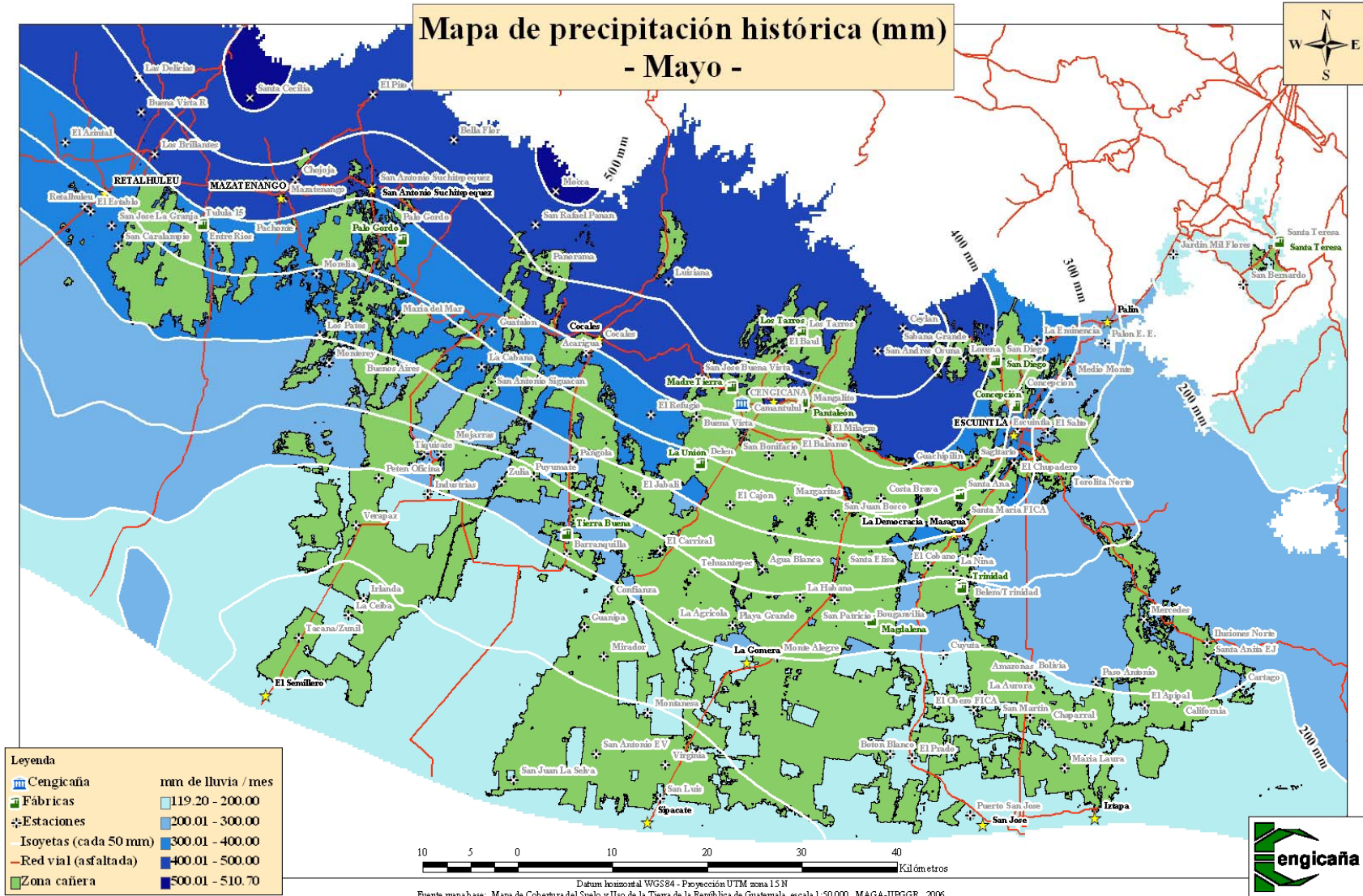


Figura 33. Mapa de precipitación histórica hasta el año 2006 (mm) del mes de Mayo
Fuente: CENGICAÑA 2007

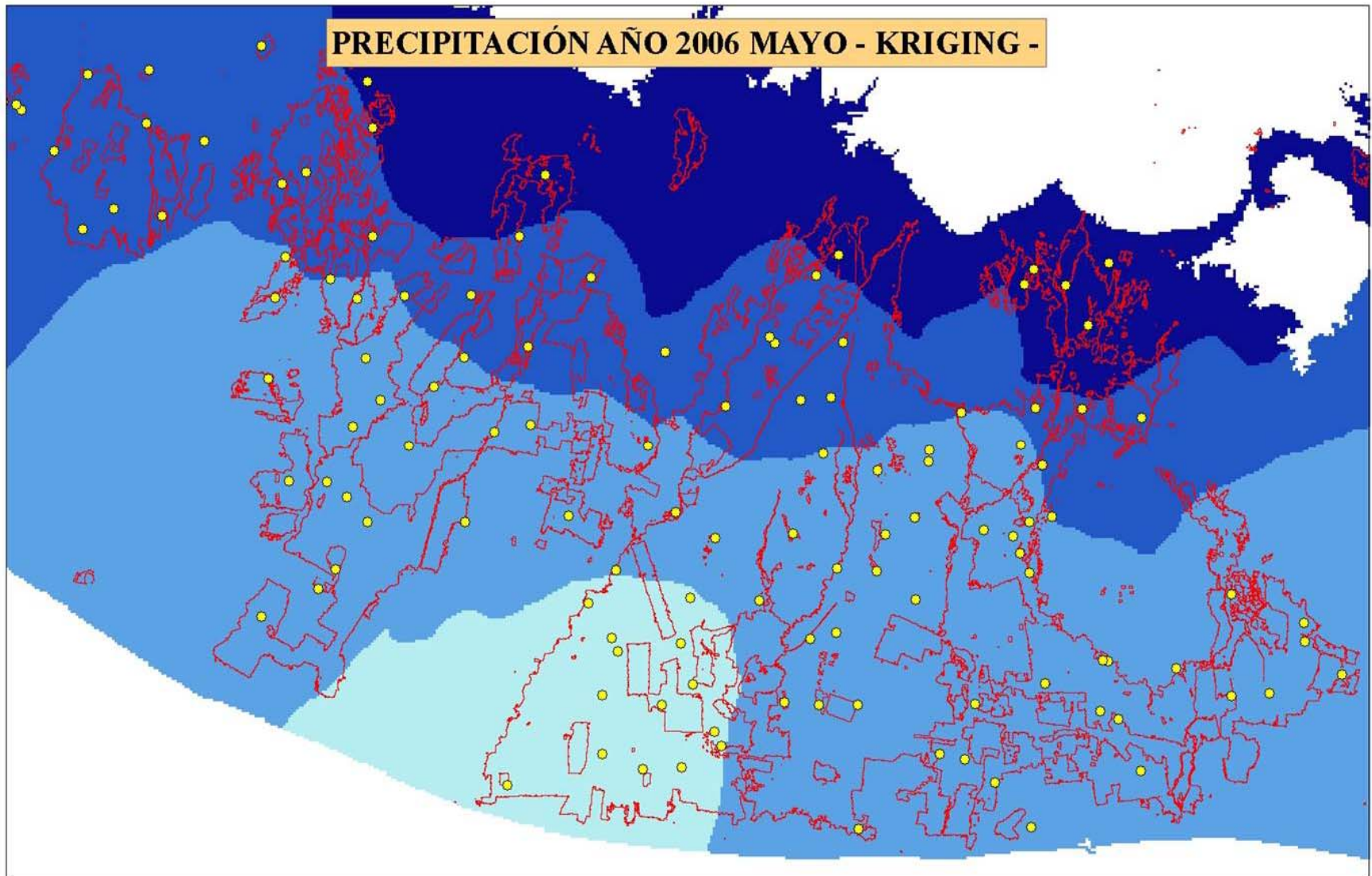


Figura 34. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Mayo, utilizando el método *Kriging*

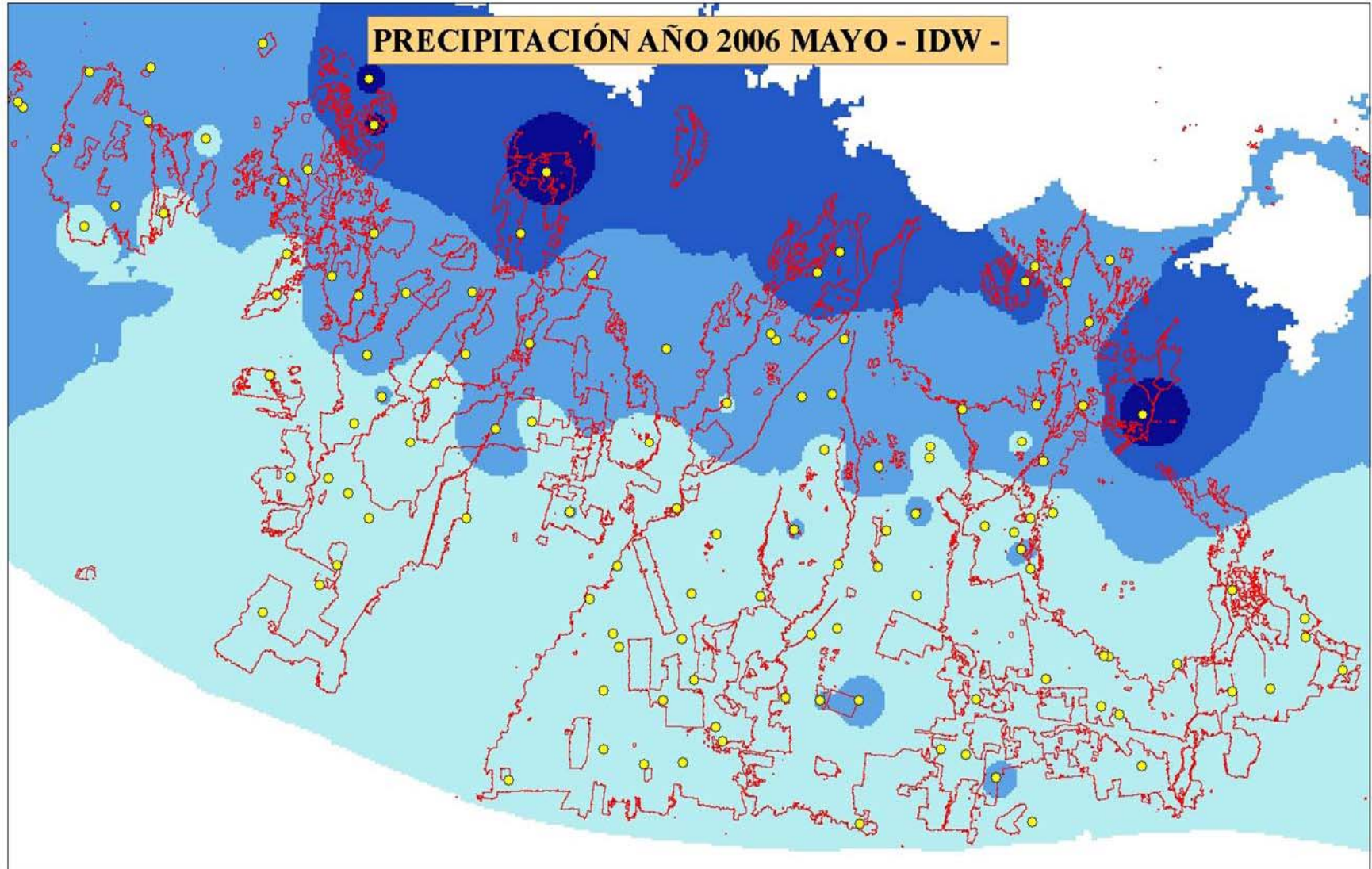


Figura 35. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Mayo, utilizando el método *IDW*

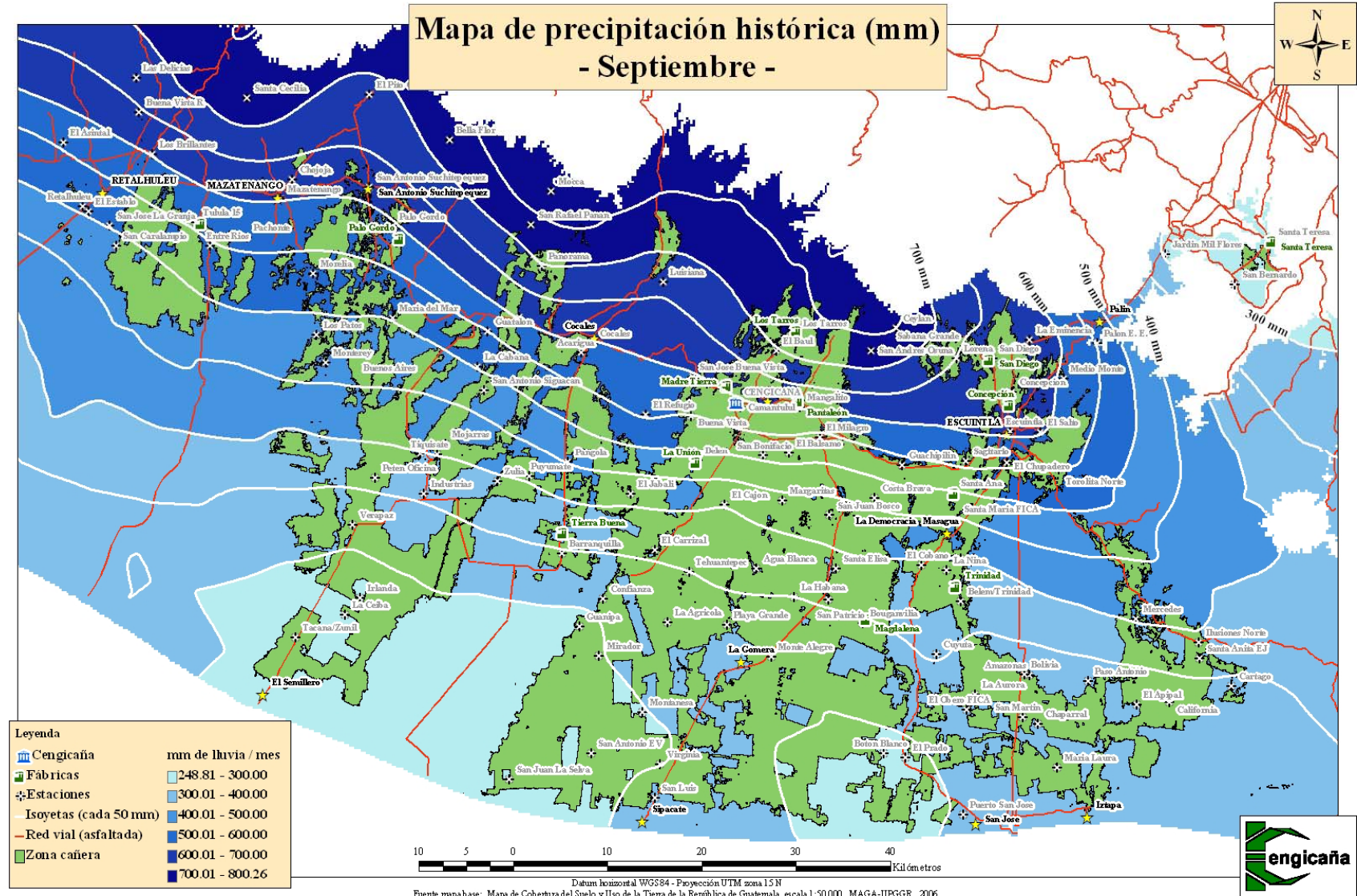


Figura 36. Mapa de precipitación histórica hasta el año 2006 (mm) del mes de Septiembre
Fuente: CENGICAÑA 2007

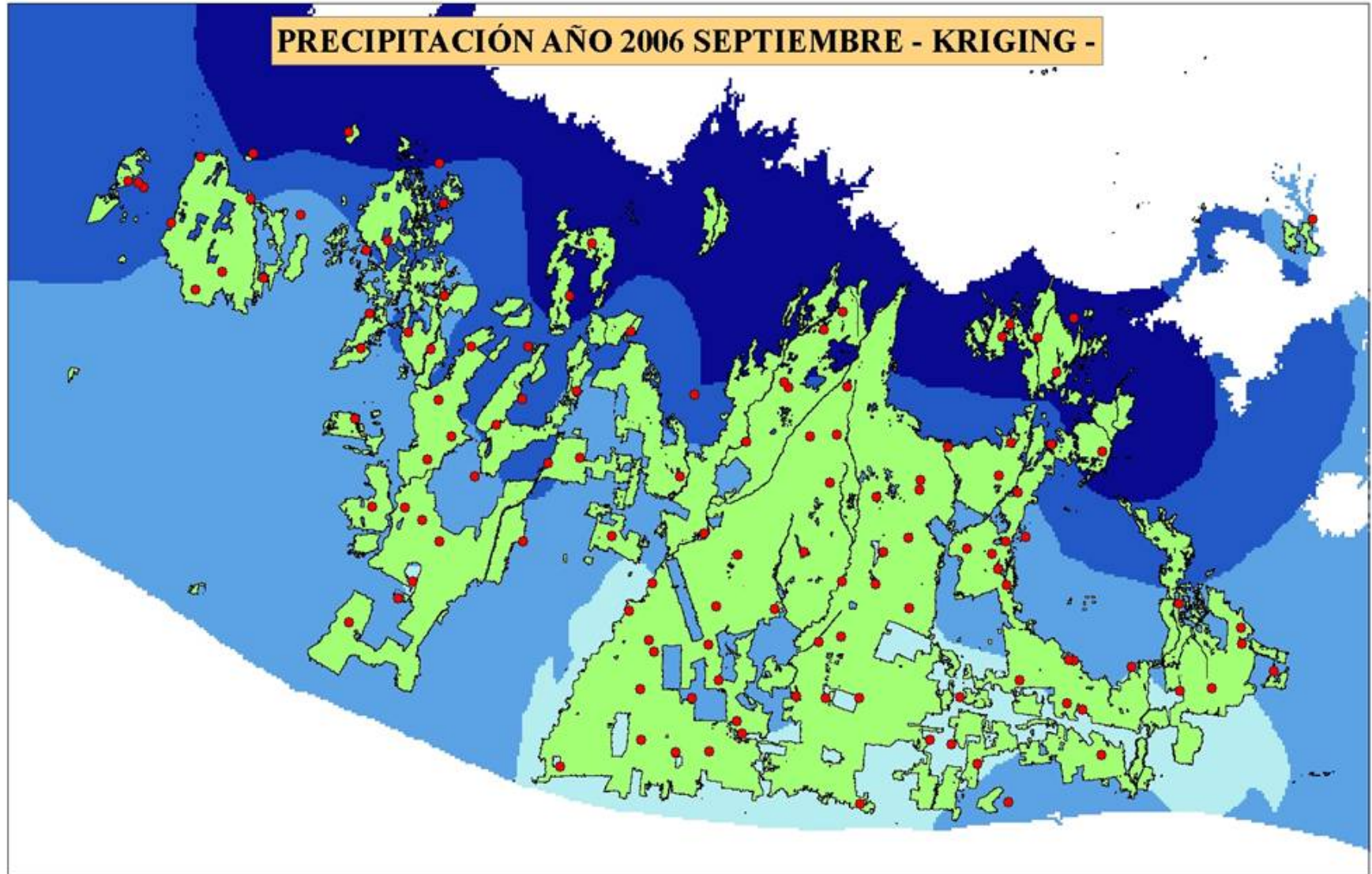


Figura 37. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Septiembre, utilizando el método *Kriging*

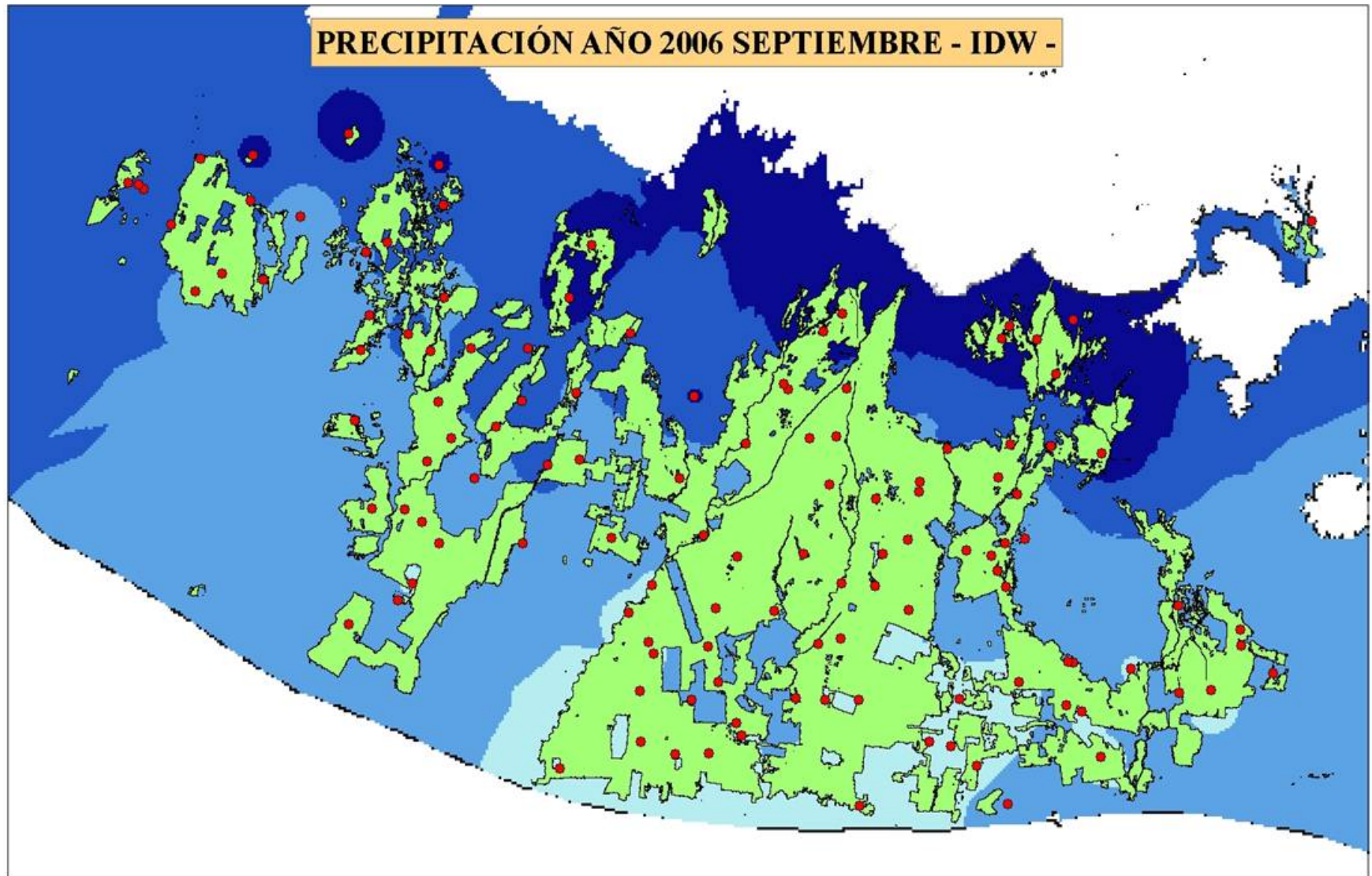


Figura 38. Mapa de precipitación del año 2006 (mm) del mes de Septiembre, utilizando el método *IDW*

2.6. Conclusiones

Se recopiló información de precipitación de estaciones meteorológicas de la costa sur de Guatemala registrada por el área de Agrometeorología de CENGICAÑA durante el año 2,006 obteniéndose un total de 129 datos de precipitación provenientes de estaciones automáticas, semi-automáticas, convencionales y de pluviómetros únicamente. De las 129 estaciones, 122 son administradas por los ingenios de la agroindustria azucarera y 7 por el INSIVUMEH.

Los mapas que se planificó entregar no fue posible realizarlo porque después de análisis de consistencia de los datos y la interpolación de los mismos se obtuvo que eran mapas alejados de la realidad, posiblemente por las siguientes causas: Inestabilidad del comportamiento de las lluvias durante el registro de solamente un año, la cantidad de estaciones que aportan datos para la elaboración de los mapas, la calidad de los datos a la hora de hacer las lecturas en las fincas o en los lugares donde se encuentran los pluviómetros.

En análisis conjuntos entre el área de Agrometeorología y de Sistemas de Información Geográfica de CENGICAÑA se tomó la determinación de no elaborar los mapas de precipitación año 2,006 y los datos se harán acumulativos para que puedan obtener consistencia durante un período de 5 años y de aquí en adelante en lugar de elaborar mapas anuales de precipitación se realizarán mapas pentanales de la misma.

2.7. Recomendaciones

Llevar un registro consistente de los datos de las estaciones que actualmente están bajo la administración de los ingenios para que sea información confiable para posteriores análisis.

Es importante considerar que un alto porcentaje de la información meteorológica utilizada para la generación de los mapas de precipitación histórica, proviene de estaciones meteorológicas de fincas productoras de caña de azúcar; sin embargo, se hace necesario contar también con información de zonas adyacentes que ayuden a hacer más precisos los mapas de lluvia. Además se tendrían otros beneficios, como el contar con información sobre lugares potenciales para la expansión del cultivo.

El método de interpolación *Kriging* posee un modelo de estimación de datos adecuado para datos climáticos, pues contempla las correlaciones existentes entre los datos de una región y los analiza en conjunto, enmascarando aquellos valores que producen resultados diferentes o valores extraños por lo que se recomienda que sea el que se utilice para este tipo de estudios.

Elaborar mapas de precipitación cada cinco años para obtener una mejor calidad de información y que sea una herramienta más útil en la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo de la caña de azúcar.

2.8. Bibliografía

1. CENGICAÑA.(Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT) 2007. Suárez, JA., Sánchez, J. Mapas de Precipitación Histórica de la Zona Cañera del Sur de la República de Guatemala. Memoria Técnica. 14 p.
2. ESRI (Environmental Systems Research Institute, US). 2004. An overview of the interpolation tools. ArcGIS desktop help, spatial analyst.
3. Velásquez, S. 2004. Tutorial de spatial analyst. Costa Rica, CATIE / CENGICAÑA / INTECAP. 80 p.
4. Villalobos, R. 2002. Sistema de pronóstico de lluvias en Costa Rica: agrupación de años con características pluviométricas semejantes para la creación de escenarios climáticos. Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. p. 4-5.

3. SERVICIO No. 3

**BALANCE HÍDRICO 2000-2006 DE LA
ZONA CAÑERA DE LA COSTA SUR DE
LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

3.1. Antecedentes

A partir del año 2,003 el Programa de Agronomía estableció las bases para la planificación del proyecto Zonificación de Áreas Homogéneas de Manejo; en 2,005 el área de Sistemas de Información Geográfica presentó el proyecto de Zonificación Agroecológica. El esquema de trabajo de la zonificación agroecológica contempla 3 componentes principales: a) los grupos de manejo de humedad lo cual es el propósito de este trabajo; b) grupos de manejo de suelos (CENGICAÑA 2002) y c) grupos de producción.

En el 2,002 en el XIV Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica se presentó el trabajo “Definición de Nichos Ecológicos y Unidades de Manejo en las empresas Pantaleón-Concepción”, dentro del mismo se realizó el cálculo del Balance Hídrico como uno de los insumos; el cual se realizó con información de lluvia de 54 pluviómetros e información de temperatura de 12 estaciones (ATACA, 2000) La metodología utilizada en dicho trabajo es la base sobre la cual se elabora esta versión de Balance Hídrico.

En la zona cañera guatemalteca de la costa sur, el clima difiere en el espacio y tiempo, desde el nivel del mar hasta alturas de 700 msnm, lo que genera respuestas diferentes en el tonelaje y rendimiento de caña y de azúcar.

El balance hídrico es base para la zonificación agroecológica –pues- toma en cuenta como entrada, la Precipitación Pluvial y como salida, la Evapotranspiración Potencial. Las diferencias de esta relación indican claramente el déficit y/o exceso de humedad en el periodo de cultivo de la caña de azúcar.

3.2. Marco Referencial

3.2.1 Ubicación:

Este servicio se realizará en el área de Sistemas de Información Geográfica del Programa de Agronomía de CENGICAÑA, ubicado en el Km. 92.5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. con coordenadas geográficas 14°19'30'' de latitud norte y 91°03'03'' de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 300 metros con temperatura promedio de 23.5 °C y humedad relativa de 65.5 %.

3.3. Objetivos

3.3.1 General

Elaborar el Balance Hídrico 2000-2006 de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala

3.3.2 Específicos:

- Validar la metodología de análisis y procesamiento de información para la elaboración de balance hídrico utilizado anteriormente por CENGICAÑA y la corporación Pantaleón-Concepción.
- Obtener 18 modelos de predicción para el cálculo del balance hídrico y mapas del balance hídrico de la zona cañera de la costa sur de Guatemala. Distribuidos de la siguiente manera:
 - 1 por cada mes del año (12 en total)
 - 1 anual
 - 1 del período de zafra (noviembre – abril)
 - 1 del período de no zafra (mayo – octubre)
 - 1 del período de entrada de época lluviosa (abril – mayo)
 - 1 del período de canícula (julio-agosto)
 - 1 del período de salida de época lluviosa (octubre-noviembre)

3.4. Metodología

3.4.1 Recopilación y análisis de la información

Se obtuvo del área de Agrometeorología de CENGICAÑA la información de precipitación y temperatura de estaciones meteorológicas disponible para la zona cañera de la costa sur de Guatemala, para cada uno de los meses del año durante su tiempo de funcionamiento.

La información recopilada se ordenó y clasificó en hojas electrónicas de acuerdo a los años de registro y ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizando un formato de tablas dinámicas que facilitó la utilización de filtros para el manejo de los datos. Para el análisis de los datos, se consideraron los criterios de selección de las estaciones recomendados por Villalobos (2002):

- Representatividad de la zona (que pueda servir como base de otras estaciones).
- Calidad del registro.
- Extensión del registro (para este caso las que tuvieran datos de lluvia del año 2000 para el año 2006 y los de temperatura que tuvieran un registro mínimo de 7 años al igual que la lluvia)
- Actualización (que sea una estación que se pueda actualizar con facilidad).
- Permanencia (que sea una estación que se mantenga funcionando en el futuro).

De las estaciones proporcionadas no todas cumplían con los tiempos de extensión del registro establecidos.

Una vez analizada la información y determinadas las estaciones que se tomaron en cuenta para la elaboración de los modelos y mapas, se procedió a analizar la calidad de la información de lluvias, así como la consistencia y distribución de las estaciones meteorológicas dentro de la zona cañera.

3.4.2 Cálculo del 75 por ciento de probabilidad de lluvia

A los datos de lluvia que reportan las estaciones meteorológicas se les realizó el cálculo del 75 por ciento de probabilidad que este fenómeno se repita en años siguientes; este cálculo se obtiene a través del uso de cuartiles ordenando los datos de mayor a menor. Se utiliza

este dato por varias razones entre ellas: si se utiliza el promedio, en años secos existiría en la realidad un déficit que según la estimación no se tomaría en cuenta. El total de lluvia ocurre en años extremos (muy húmedos), por lo que tampoco sería bueno utilizarlo. Con fines de programación se hace la estimación del balance hídrico para condiciones más o menos secas por lo que en los años húmedos el exceso de agua con respecto a la media sería beneficioso.

3.4.3 Generación de modelos para estimación de temperatura

Las estaciones que contaban con información de temperatura en el período 2000-2006 se utilizaron para generar modelos de estimación de temperatura para las estaciones que no tenían esta información. Estos modelos se realizaron en base a la altitud expresada en metros sobre el nivel del mar (msnm). La temperatura de las estaciones que no tenía este registro se estimó a través de los modelos generados.

3.4.4 Estimación de evapotranspiración potencial (ETP)

La Evapotranspiración Potencial junto con el 75 por ciento de lluvia se utilizó en el cálculo del Balance Hídrico. La ETP se estimó a través de la fórmula propuesta por Blaney & Criddle.

$$ETP = (0.254 * K * P) * ((1.8 * ^\circ\text{C}) + 32).$$

Donde:

K = coeficiente del cultivo; para lo cual se determinó utilizar un valor de 0.90 para todos los meses por la existencia de diferentes tercios de zafra en Guatemala lo cual dificulta utilizar distintos valores que se han obtenido en pruebas en la zona y buscando la uniformización de los datos.

P = porcentaje de horas luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al número total en un año; se utilizó dependiendo de la latitud en que se encuentra la estación; para el caso de la zona de estudio se encuentra entre latitud 13° y 14° norte respectivamente. Los valores utilizados se presentan en el Cuadro 69.

°C = Temperatura expresada en grados Celsius

Cuadro 69. Valores "p" utilizados en el cálculo de ETP

Mes / latitud	13° norte	14° norte
Enero	8.00	7.96
Febrero	7.40	7.38
Marzo	8.43	8.43
Abril	8.41	8.43
Mayo	8.92	8.96
Junio	8.74	8.78
Julio	9.00	9.03
Agosto	8.79	8.82
Septiembre	8.27	8.27
Octubre	8.29	8.27
Noviembre	7.80	7.77
Diciembre	7.95	7.91

3.4.5 Cálculo del balance hídrico

El Balance Hídrico se calculó estableciendo si existía un déficit o un exceso para cada mes del año, con estos datos se obtuvieron los modelos de estimación y se elaboraron los mapas para la zona cañera de la costa sur de Guatemala.

3.4.6 Modelos de predicción de balance hídrico

Se generaron modelos para la predicción del balance hídrico; siendo el área de influencia la zona cañera de la costa sur de Guatemala en altitudes comprendidas entre 0 y 700 msnm.

Después del cálculo de Balance Hídrico; por medio de análisis de regresión múltiple donde la variable dependiente fue el Balance Hídrico (mm.) y las variables independientes fueron altitud (msnm), latitud (°) y longitud (°) se elaboraron los modelos de predicción.

Los modelos que se generaron fueron para los siguientes períodos de tiempo:

- 1 por cada mes del año,
- 1 anual,

- 1 período de zafra,
- 1 periodo de no zafra,
- 1 entrada de la época lluviosa,
- 1 canícula
- 1 salida época lluviosa

3.4.7 Elaboración de los mapas

Se generaron 18 mapas de Balance Hídrico, con la misma distribución que los modelos de predicción. En base a datos de balance hídrico obtenidos entre los años 2,000-2,006 utilizando el método de interpolación *Kriging* del módulo *Spatial Analyst* de ArcGIS. Basado en la metodología obtenida en la elaboración de los mapas de precipitación histórica anual (CENGICAÑA, 2007).

3.5. Resultados

3.5.1 Recopilación y análisis de la información

En total fueron 110 estaciones las que tenían información de precipitación pluvial en el período 2000-2006 y 38 las estaciones que tenían información de temperatura durante un período mínimo de 7 años hasta el 2,006; después del análisis de consistencia de los datos de lluvia, consistencia de datos de temperatura, certeza de ubicación geográfica y tiempo de operación se obtuvo una base de datos con la información de 97 estaciones meteorológicas útiles con datos de precipitación y 33 estaciones para el caso de temperatura.

Estas estaciones se encuentran distribuidas a lo largo de la costa sur de Guatemala, desde la cuenca del río Ocosito hasta la cuenca del río Paz, en alturas comprendidas desde el nivel del mar (estación Puerto de San José, Escuintla-INSIVUMEH) hasta los 683 msnm (estación Lorena, Ingenio San Diego-Trinidad).

De las 97 estaciones meteorológicas seleccionadas, 92 pertenecen a las áreas administradas por los ingenios que conforman la agroindustria azucarera del país, mientras que 5 pertenecen (o

pertenecieron) al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - INSIVUMEH-.

Es importante mencionar que existen lugares con vacíos de información que necesitan ser monitoreados para así, darle peso a los análisis y predicciones de los mapas, principalmente en aquellas zonas hacia las cuales el cultivo de la caña se está expandiendo (Nueva Concepción, Retalhuleu y Santa Rosa).

3.5.2 Cálculo del 75 por ciento de probabilidad de lluvia

Como se puede observar en el Cuadro 70 el dato más repetitivo en este cálculo es el de lluvia 0, esto se debe a que en la zona existen 3 meses dentro de la época seca (enero, febrero y diciembre) donde 257 de 291 datos son 0, conforme avanza el año aumenta la cantidad de lluvia, en el mes de mayo no existe ningún dato 0, volviéndose a encontrar hasta noviembre; estos datos están de acuerdo a la época seca del país (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril); encontrándose los datos más altos entre los meses septiembre y octubre en relación directa con la altitud; menor lluvia a 0 msnm y mayor lluvia conforme aumenta la misma.

Cuadro 70. Medidas de tendencia central obtenidas del cálculo del 75% de lluvia

Estadístico	Valor
Media	142.18
Media (sin tomar en cuenta los datos 0 por ser 310 de 1,164)	193.8
Mínimo	0
Máximo	841
Rango	841
Mediana	105.7
Moda	0
Moda sin 0	1

3.5.3 Generación de modelos para estimación de temperatura

Se utilizó la información de 33 estaciones que cuentan con datos de temperatura para generar modelos de estimación para aquellas estaciones que no reportan esta información, al final del análisis se obtuvieron los siguientes modelos donde se observa que con cada aumento en la altitud ocurre una disminución en la temperatura:

Cuadro 71. Modelos utilizados para la estimación mensual de la temperatura media en función de la altura sobre el nivel del mar

PERIODO	MODELO	R ²
ENERO	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0047(\text{alt}) + 26.5996$	0.7407
FEBRERO	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0050(\text{alt}) + 27.1593$	0.7283
MARZO	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0053(\text{alt}) + 28.2116$	0.8249
ABRIL	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0054(\text{alt}) + 28.8731$	0.8560
MAYO	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0056(\text{alt}) + 28.7010$	0.8428
JUNIO	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0052(\text{alt}) + 27.7921$	0.8434
JULIO	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0051(\text{alt}) + 27.7238$	0.8358
AGOSTO	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0051(\text{alt}) + 27.8020$	0.8704
SEPTIEMBRE	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0049(\text{alt}) + 27.2967$	0.7878
OCTUBRE	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0050(\text{alt}) + 27.1584$	0.8309
NOVIEMBRE	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0053(\text{alt}) + 27.3142$	0.8467
DICIEMBRE	$T\text{ }^{\circ}\text{C media} = -0.0051(\text{alt}) + 26.8419$	0.7770

3.5.4 Estimación de temperatura de estaciones que no cuentan con esta información

El dato mínimo del Cuadro 72 se encuentra en diciembre y el máximo en abril, esto está acorde al comportamiento de la temperatura en la zona cañera siendo la zona más caliente la cercana al mar y la menos caliente la zona alta de la región (superior a 300 msnm); también la temperatura varía a lo largo del año siendo los meses menos calurosos diciembre y enero subiendo la temperatura conforme avanza el año hasta el mes de abril momento en que empieza la época lluviosa y se refresca un poco la zona; se tiene un rango de temperaturas que oscila 5.5 °C.

Cuadro 72. Medidas de tendencia central obtenidas de la estimación de la temperatura utilizando modelos de predicción.

Estadístico	Valor
Media	24.24
Mínimo	23.36
Máximo	28.86
Rango	5.5
Mediana	27.08
Moda	24.26

3.5.5 Cálculo de evapotranspiración potencial (ETP)

Como se observa en el Cuadro 73 la media obtenida concuerda con el dato empírico que se utiliza de la ETP diaria que es de 5 mm/día, los datos de la ETP tienen una distribución similar al dato de temperatura por ser este uno de los que se utiliza para el cálculo, por lo cual se observa una mayor ETP en las cercanías del mar y disminuye conforme aumenta la altitud.

Cuadro 73. Medidas de tendencia central obtenidas de la estimación de la Evapotranspiración Potencial

Estadístico	Valor
Media	152.46
Mínimo	113.34
Máximo	171.17
Rango	57.83
Mediana	152.59
Moda	134.94

3.5.6 Cálculo del balance hídrico

Al tener el dato del 75 por ciento de probabilidad de lluvia y el dato de ETP se hizo el cálculo del balance hídrico, siendo éste el resultado de la resta de estos dos factores. Se marcan 3 escenarios en el balance hídrico a lo largo del año, lo cual está relacionado con la precipitación pluvial de la zona de estudio;

- meses donde en toda la zona se observa déficit hídrico (enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre);
- meses en que la zona baja presenta déficit y la zona alta exceso hídrico (mayo, julio, agosto y octubre);
- meses donde en toda la zona se observa exceso hídrico (junio y septiembre).

Además se hizo el cálculo de combinaciones de meses donde se obtuvo:

- la época de zafra (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril) es déficit en toda la zona

- el balance Anual es déficit / exceso al igual que la época de no Zafra (mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre), la entrada de la época lluviosa (abril y mayo), la época donde es probable que ocurra la canícula (julio y agosto) y la salida de la época lluviosa (octubre y noviembre).

3.5.7 Generación de modelos de predicción de balance hídrico

Se obtuvieron modelos que se puedan utilizar para la predicción del Balance Hídrico de un punto dentro de la zona teniendo los datos de altitud y latitud; y de esta manera obtener una aproximación de dicho dato. Como resultado del análisis se obtuvieron los siguientes modelos para la zona cañera de la costa sur de Guatemala por debajo de los 700 msnm.

Cuadro 74. Modelos de predicción de balance hídrico para la zona cañera de la costa sur de Guatemala por debajo de los 700 msnm

PERÍODO	MODELO	R ²
BH enero =	$-235.5872 + 0.0153 (\text{alt}) + 6.3945 (\text{lat})$	0.7265
BH febrero =	$-144.3905 + 0.0169(\text{alt}) + 0.5582 (\text{lat})$	0.7444
BH marzo =	$-706.2580 + 0.0792 (\text{alt}) + 38.5541 (\text{lat})$	0.4680
BH abril =	$-2068.5262 + 0.1331 (\text{alt}) + 135.6221 (\text{lat})$	0.7131
BH mayo =	$-3406.5796 + 0.4857 (\text{alt}) + 240.8869 (\text{lat})$	0.7427
BH junio =	$-3690.5907 + 0.4418 (\text{alt}) + 263.8145 (\text{lat})$	0.6831
H julio =	$-6895.0210 + 0.2123 (\text{alt}) + 488.7480 (\text{lat})$	0.7192
BH agosto=	$-6002.4721 + 0.1659 (\text{alt}) + 425.7365 (\text{lat})$	0.6987
BH septiembre =	$-4821.1497 + 0.6626 (\text{alt}) + 345.5671 (\text{lat})$	0.7788
BH octubre =	$-6541.7422 + 0.5376 (\text{alt}) + 464.8986 (\text{lat})$	0.7039
BH noviembre =	$-2670.1669 - 0.0084 (\text{alt}) + 180.4360 (\text{lat})$	0.6201
BH diciembre =	$-197.8693 + 0.0171 (\text{alt}) + 3.7222 (\text{lat})$	0.7287
BH anual =	$-37380.3534 + 2.7592 (\text{alt}) + 2594.9387 (\text{lat})$	0.8163
BH zafra =	$-6049.2336 + 0.2354 (\text{alt}) + 367.2595 (\text{lat})$	0.7027
BH no zafra =	$-31331.1198 + 2.5236 (\text{alt}) + 2227.4092 (\text{lat})$	0.7953
BH inicio invierno =	$-5475.1057 + 0.6188 (\text{alt}) + 376.5090 (\text{lat})$	0.8030
BH canícula =	$-12897.4932 + 0.3782 (\text{alt}) + 914.4845 (\text{lat})$	0.7412

3.5.8 Mapas generados

Con el método de interpolación *Kriging*, se elaboraron 18 mapas de balance hídrico en formato raster (ESRI Grid) de celdas de 250 m x 250 m (6.25 ha), abarcando las cuencas del río Ocosito, Samalá, Sis-Icán, Nahualate, Madre Vieja, Coyolate, Acomé, Achiguate, María Linda y Paso Hondo, todas por debajo de los 700 msnm.

Los mapas elaborados se entregaron a la agroindustria azucarera en formato electrónico para Acrobat Reader (PDF) y en formato de ESRI Grid para su utilización y manipulación en ArcGIS.

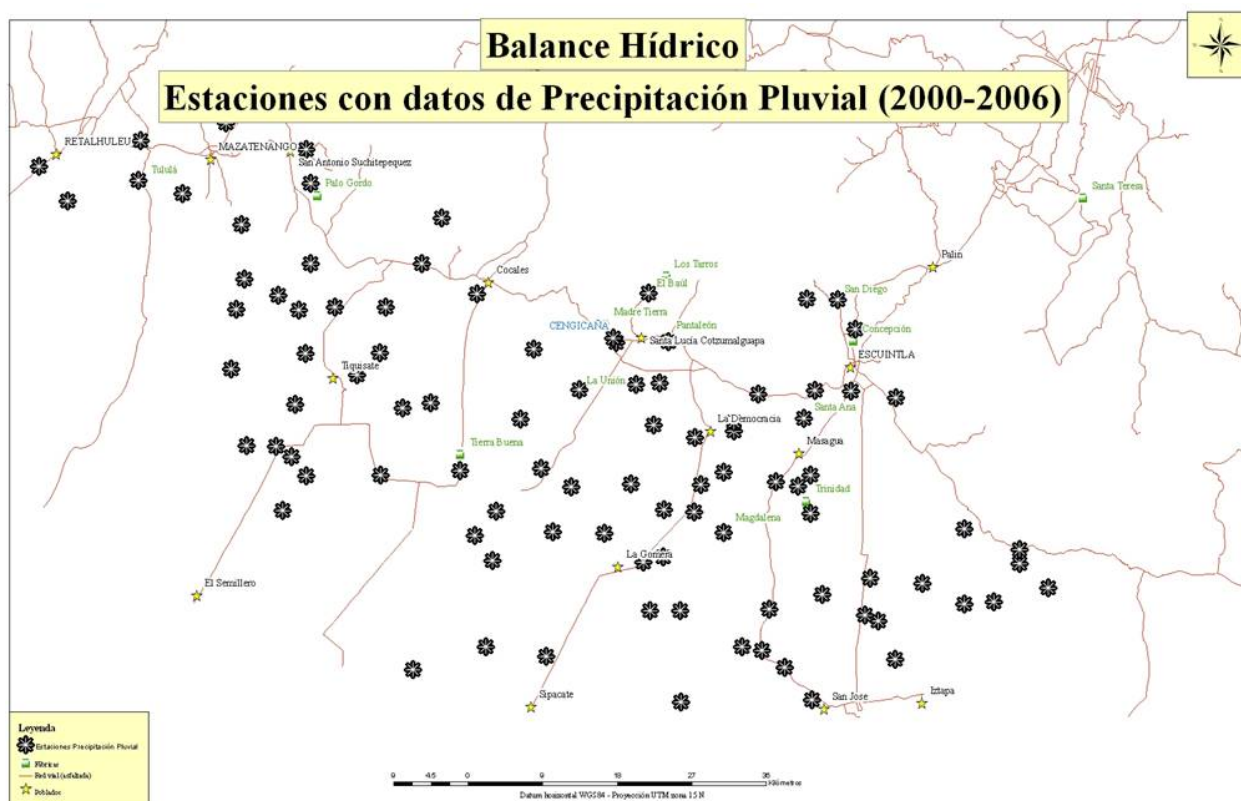


Figura 39. Mapa de ubicación de las estaciones utilizadas en el cálculo de Balance Hídrico (2000-2006)

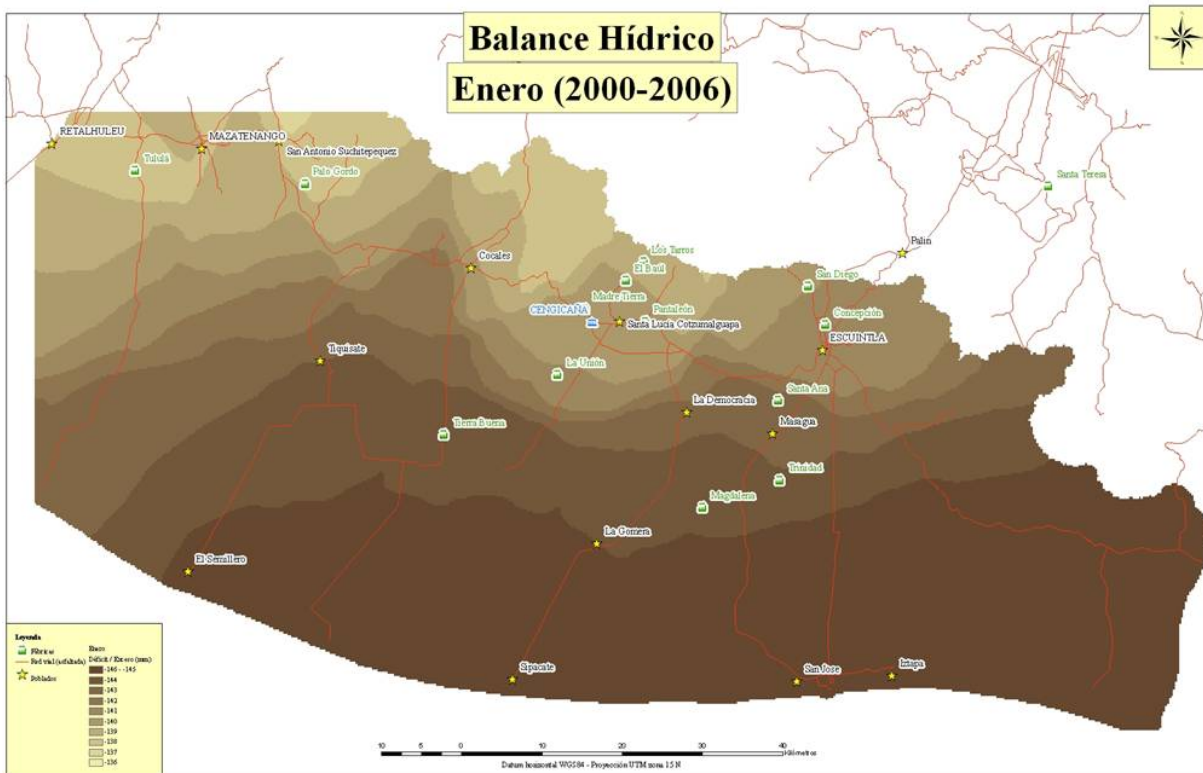


Figura 40. Mapa de Balance Hídrico Enero (2000-2006)

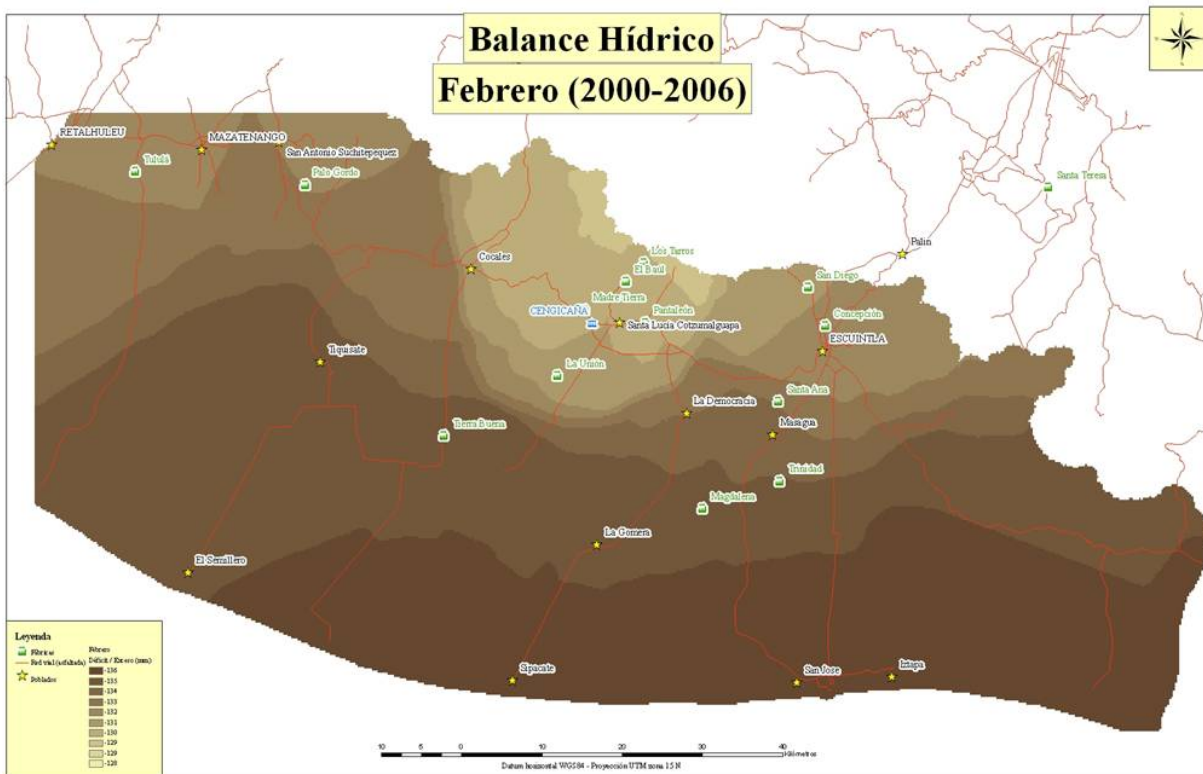


Figura 41. Mapa de Balance Hídrico Febrero (2000-2006)

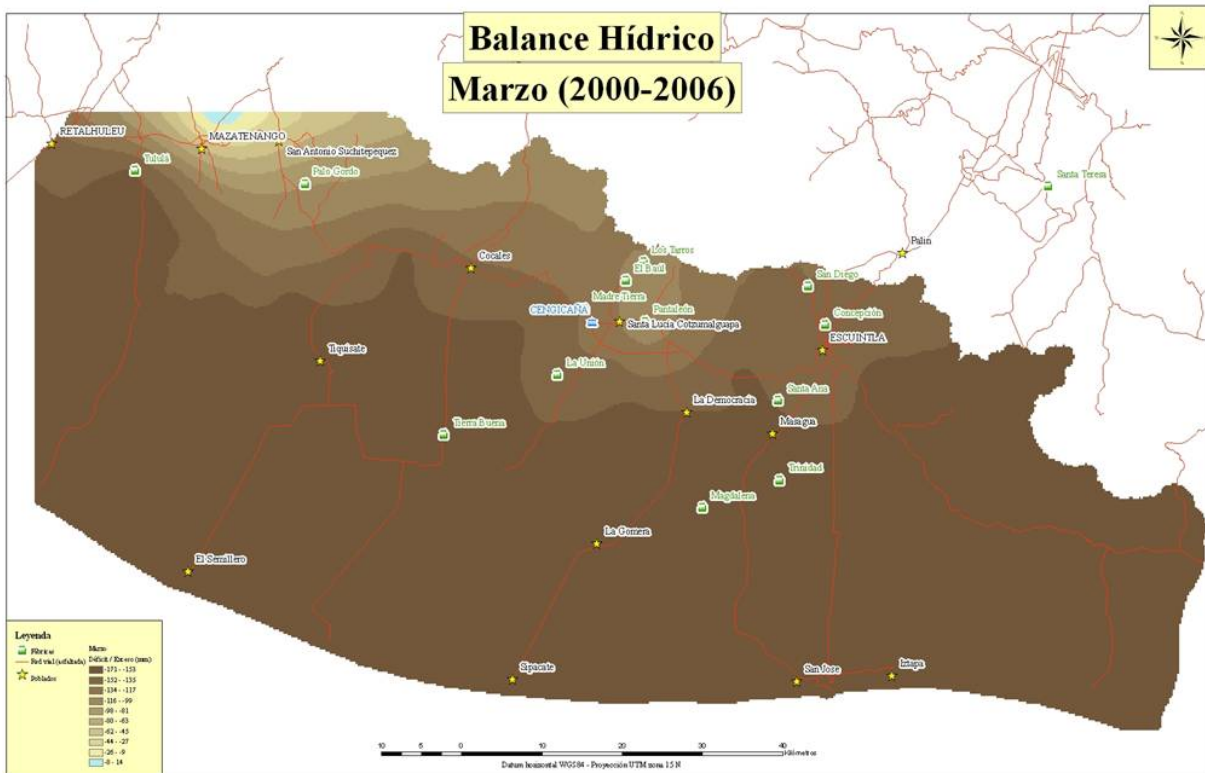


Figura 42. Mapa de Balance Hídrico Marzo (2000-2006)

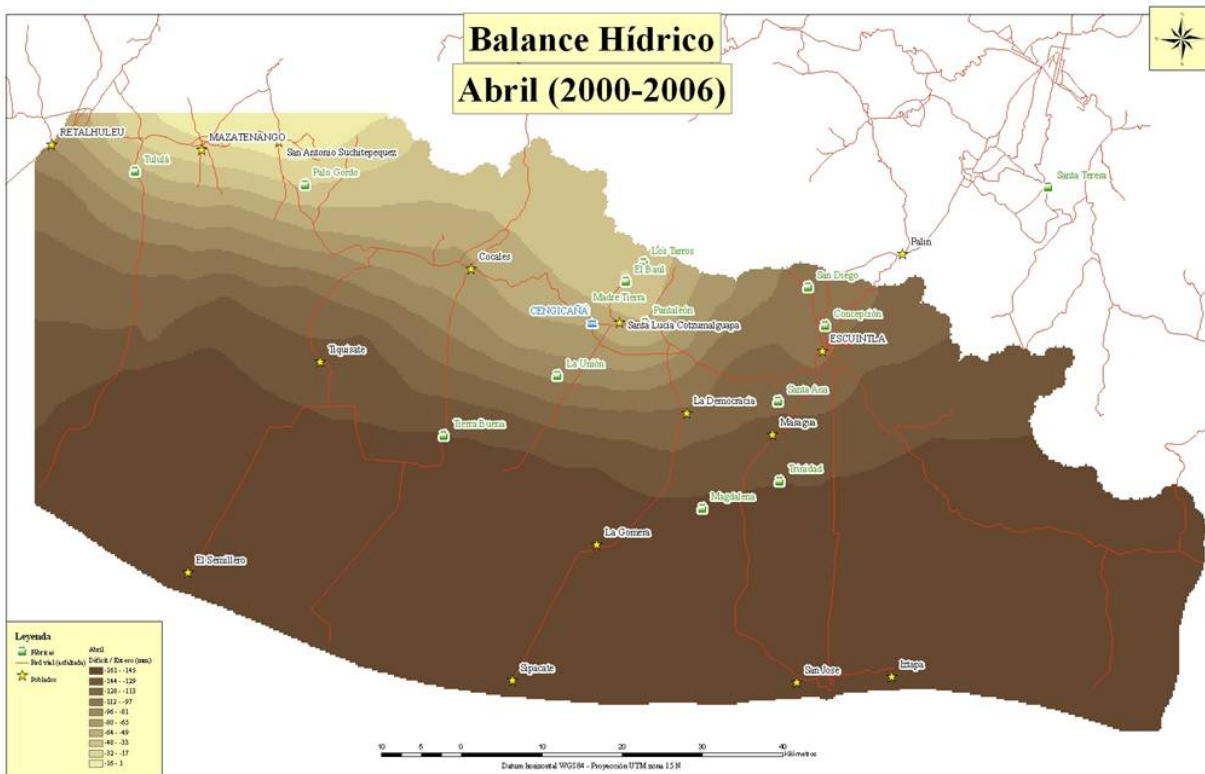


Figura 43. Mapa de Balance Hídrico Abril (2000-2006)

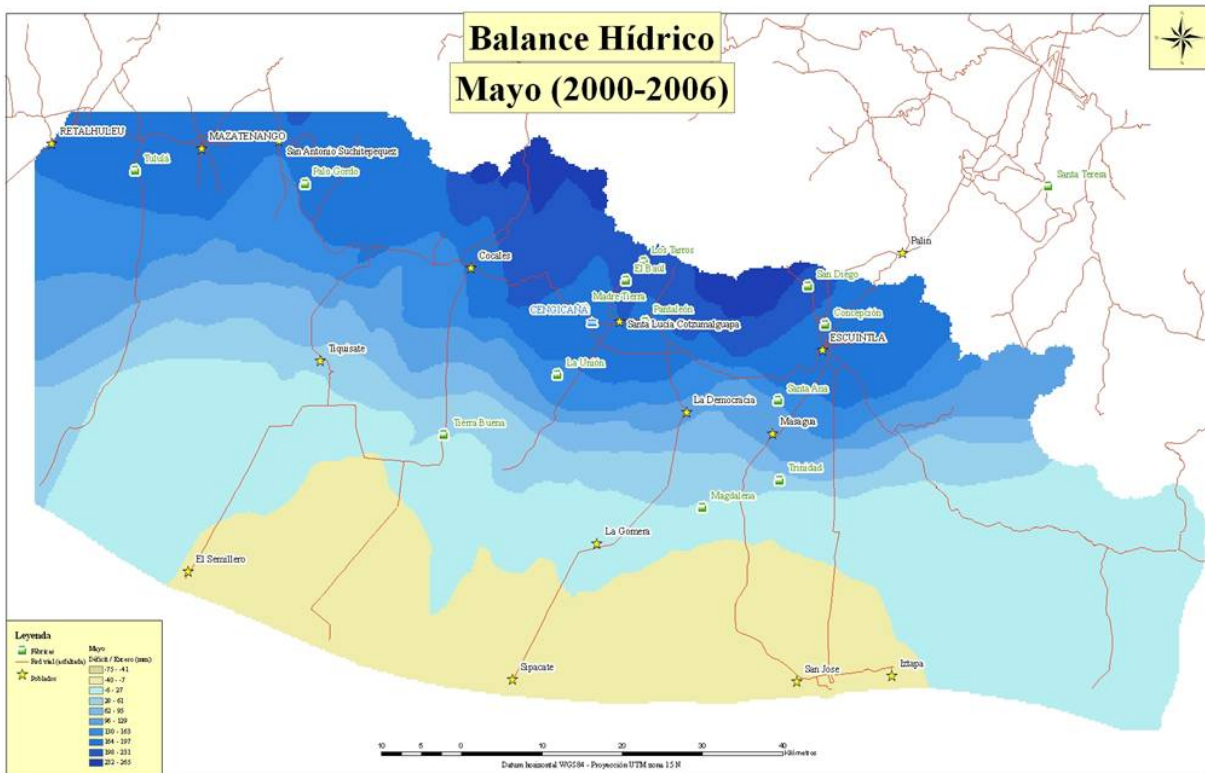


Figura 44. Mapa de Balance Hídrico Mayo (2000-2006)

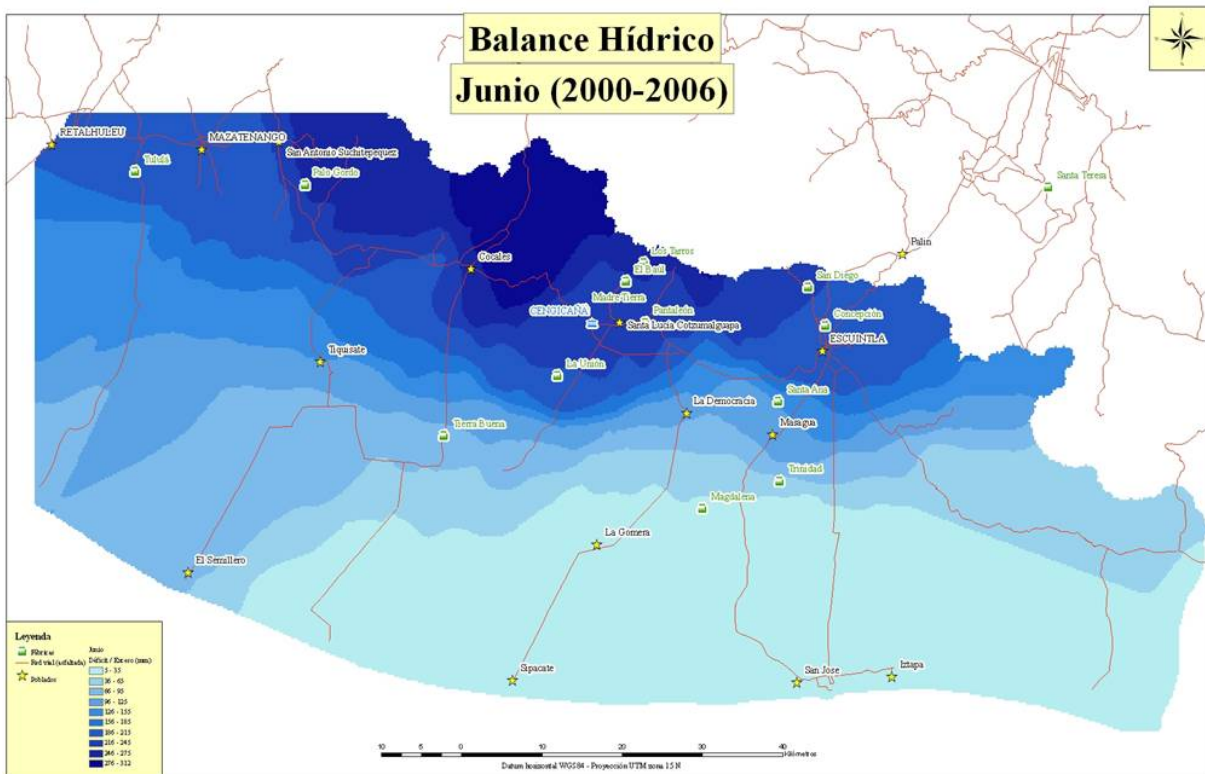


Figura 45. Mapa de Balance Hídrico Junio (2000-2006)

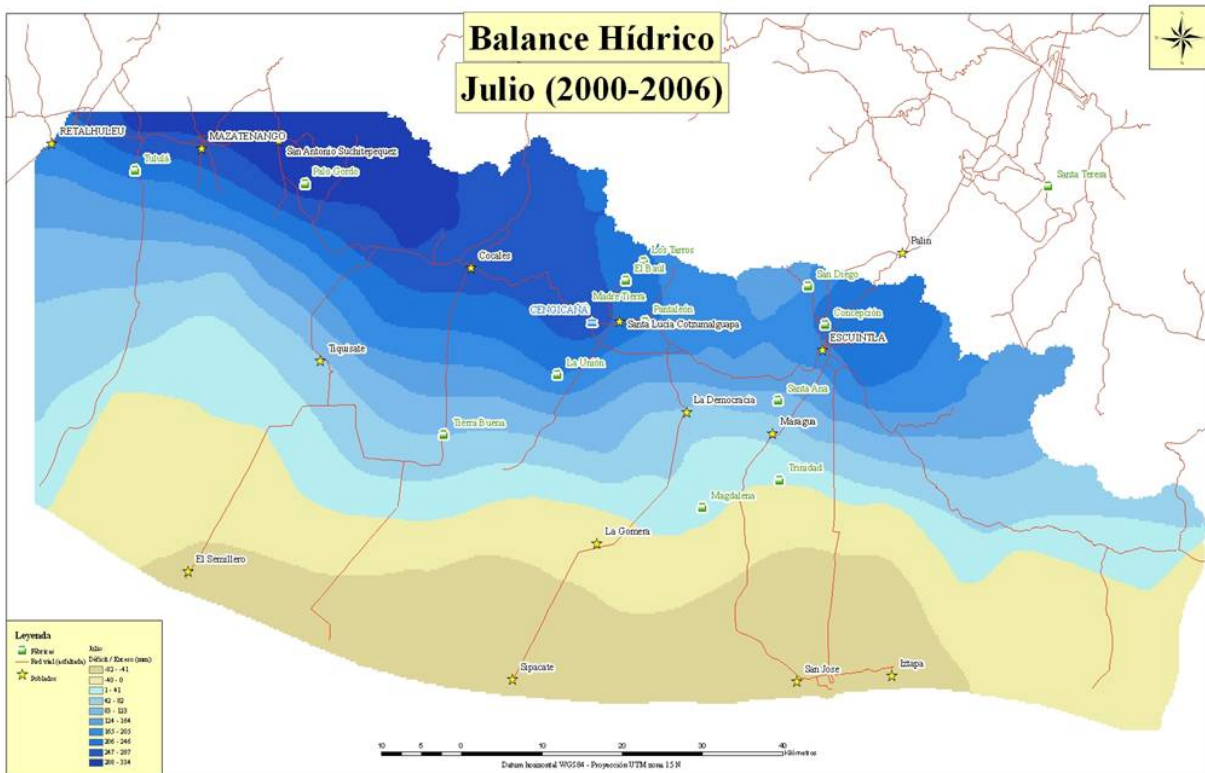


Figura 46. Mapa de Balance Hídrico Julio (2000-2006)

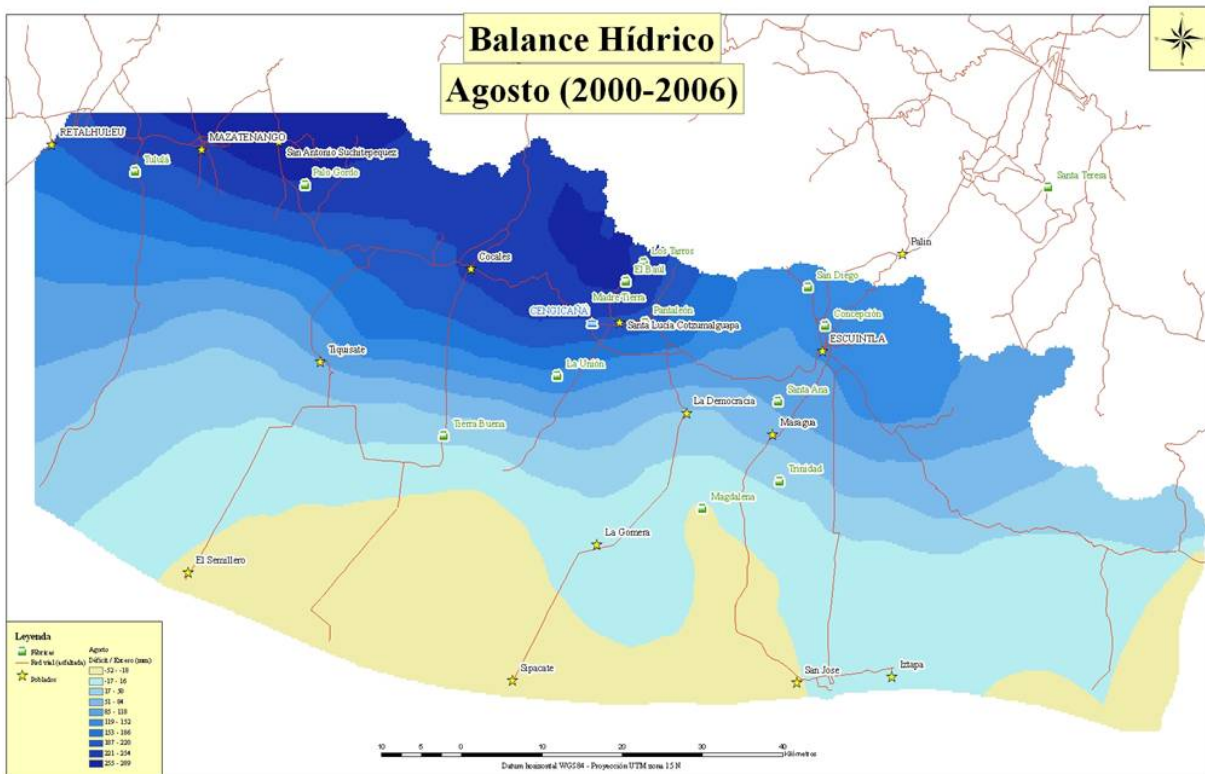


Figura 47. Mapa de Balance Hídrico Agosto (2000-2006)

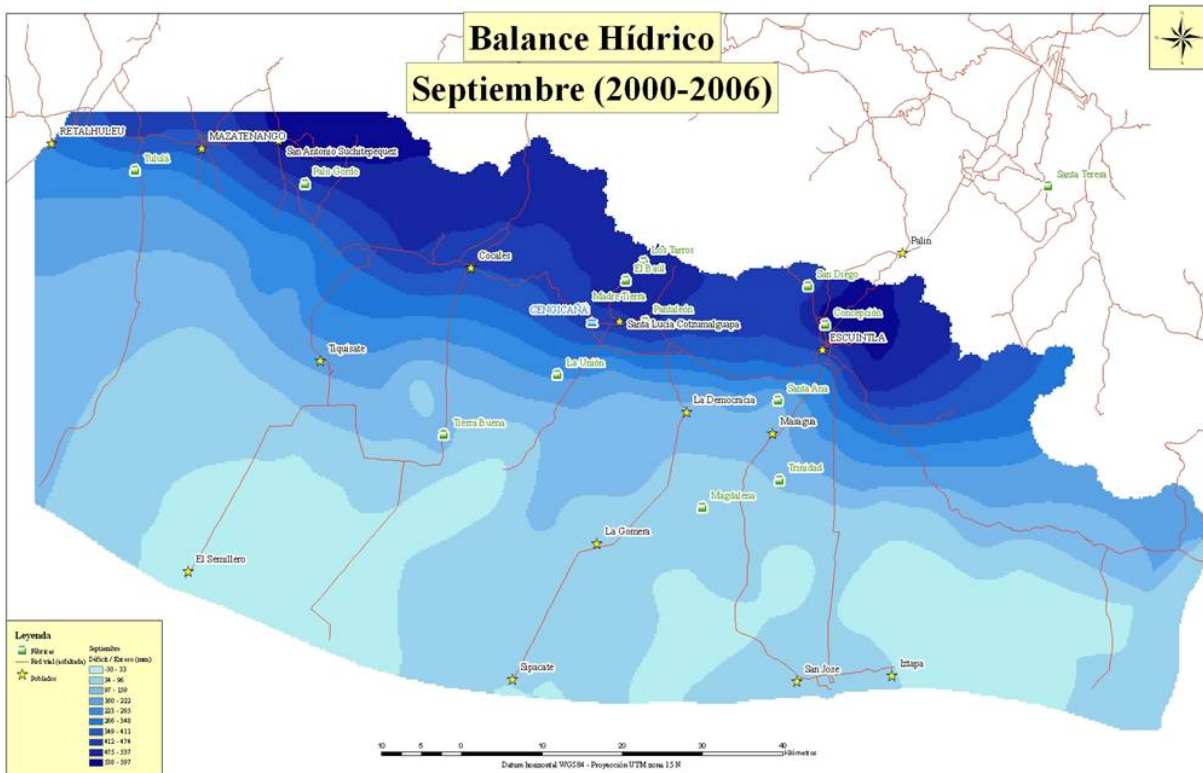


Figura 48. Mapa de Balance Hídrico Septiembre (2000-2006)

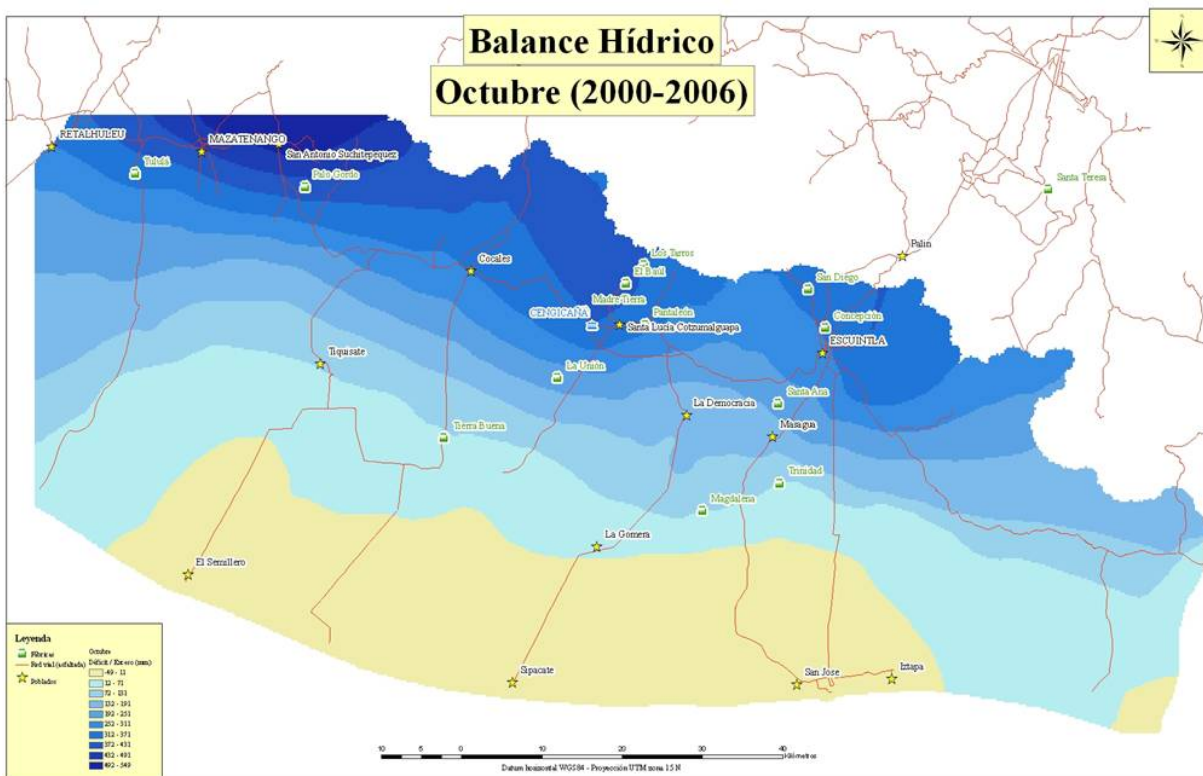


Figura 49. Mapa de Balance Hídrico Octubre (2000-2006)

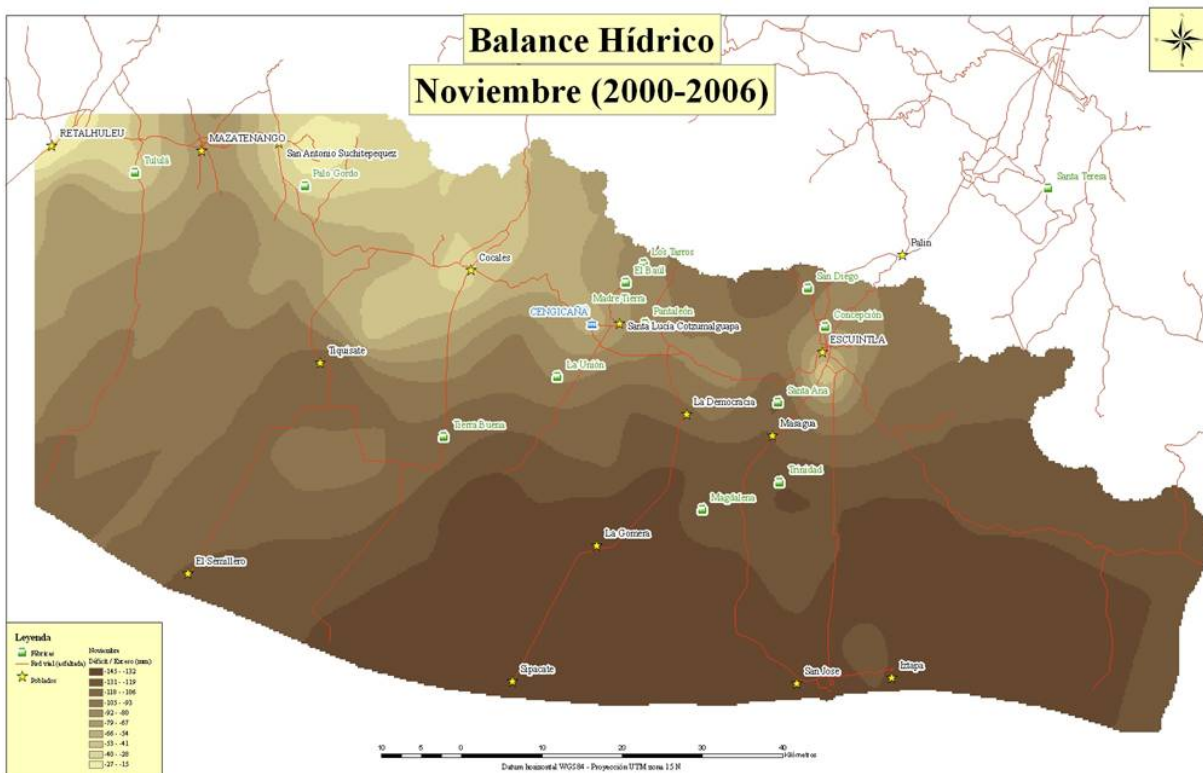


Figura 50. Mapa de Balance Hídrico Noviembre (2000-2006)

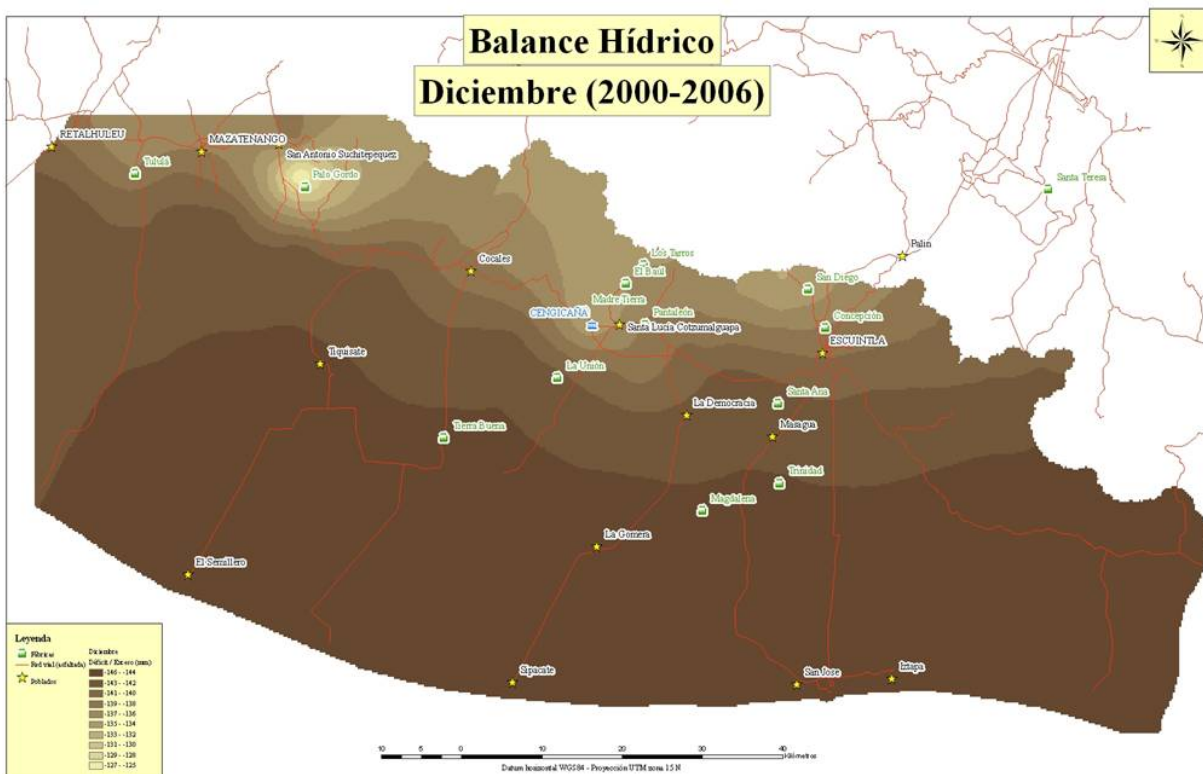


Figura 51. Mapa de Balance Hídrico Diciembre (2000-2006)

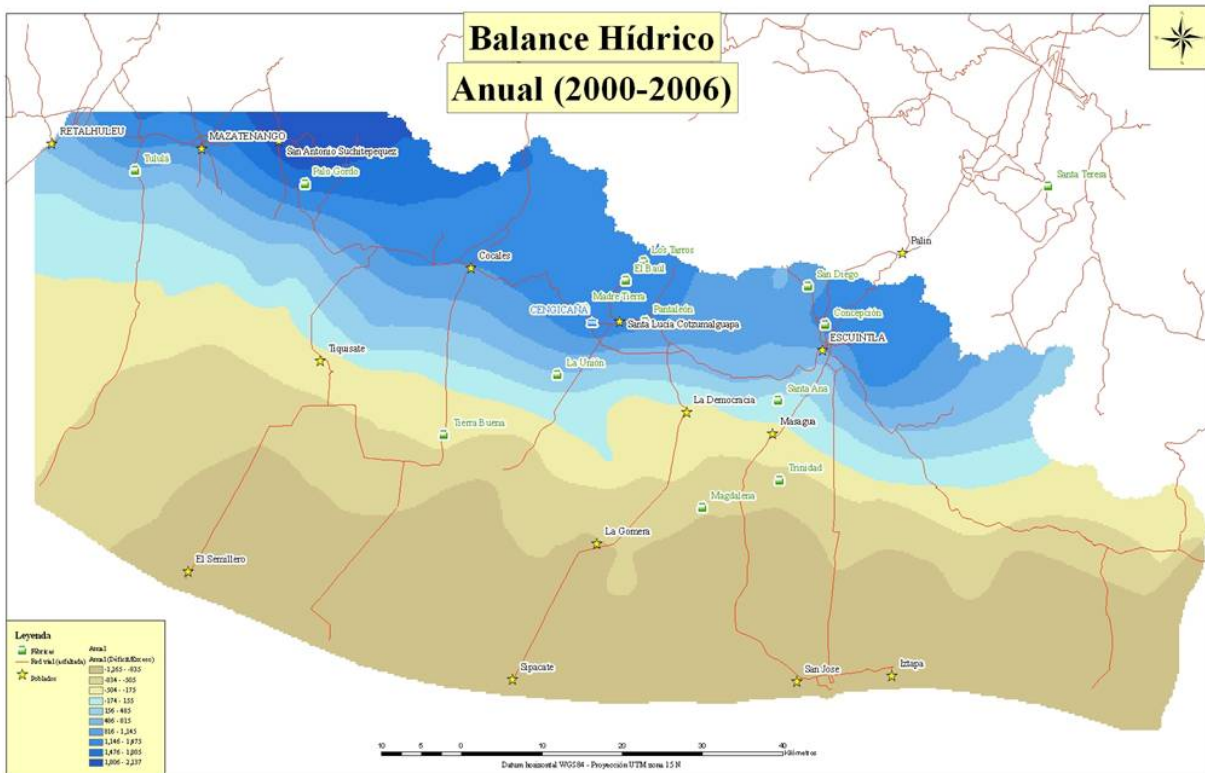


Figura 52. Mapa de Balance Hídrico Anual (2000-2006)

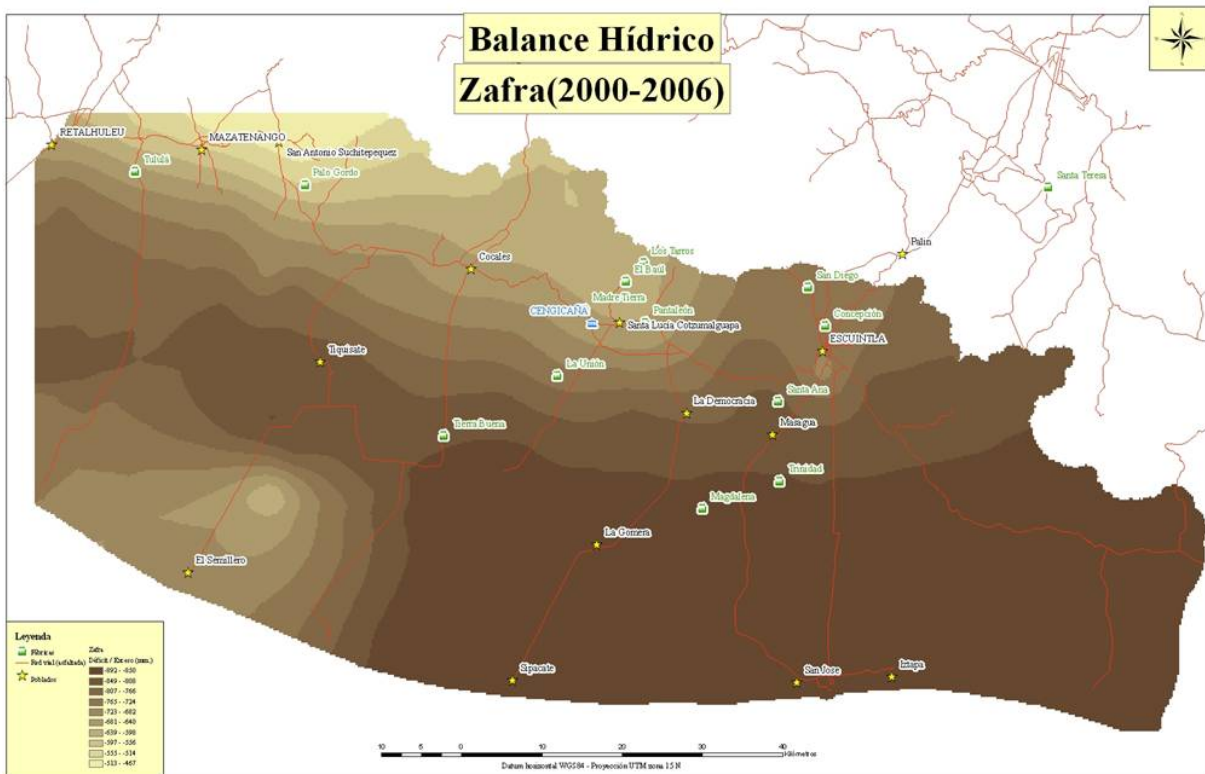


Figura 53. Mapa de Balance Hídrico Zafra (2000-2006)

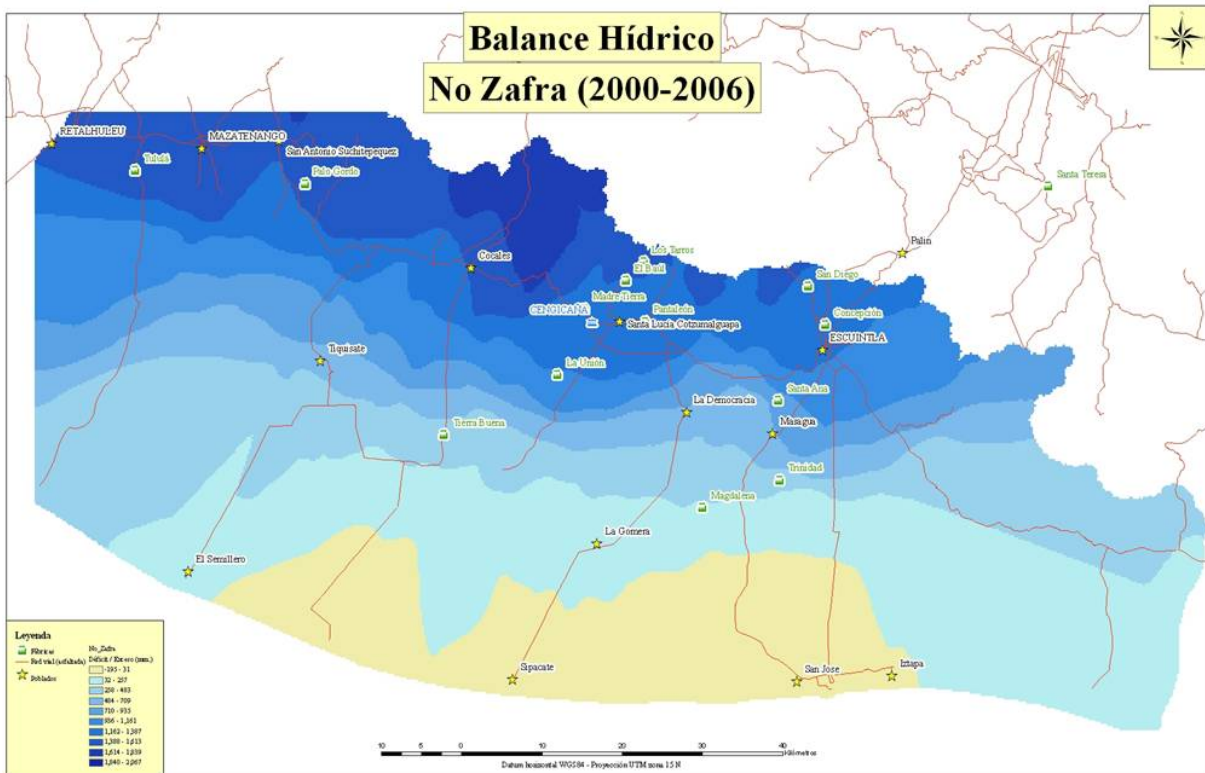


Figura 54. Mapa de Balance Hídrico No Zafra (2000-2006)

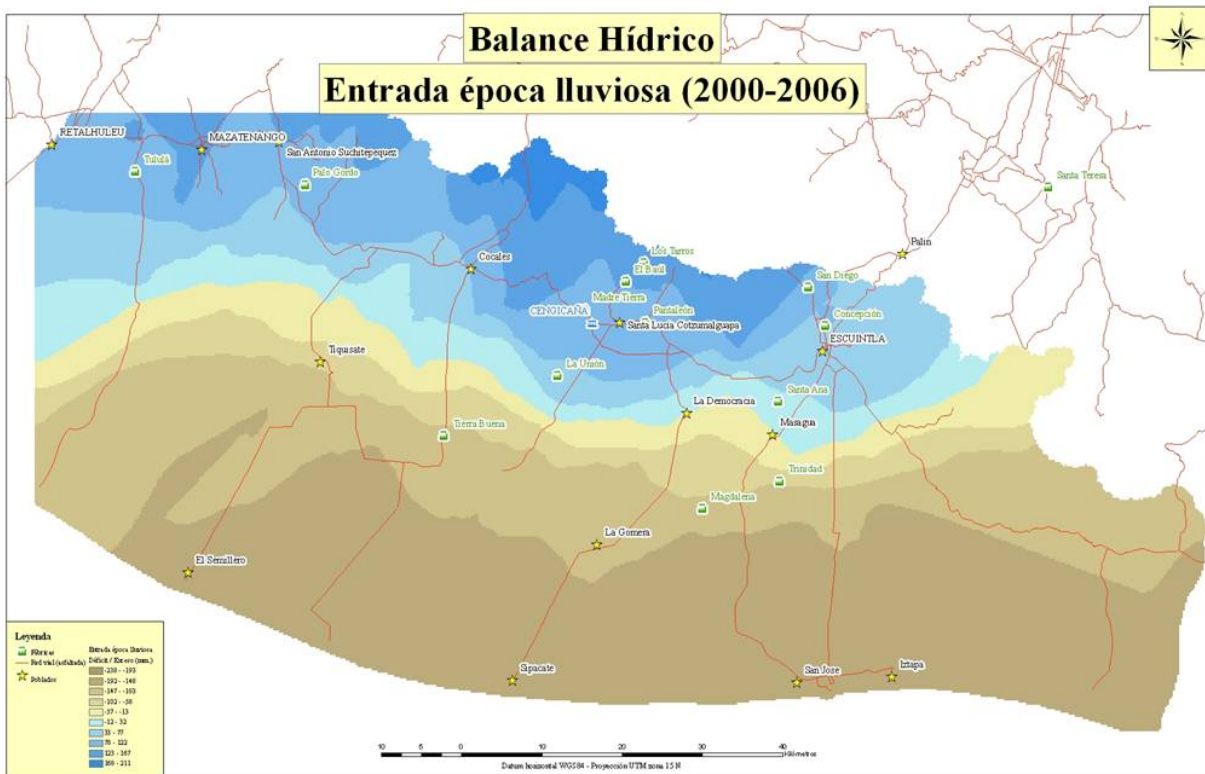


Figura 55. Mapa de Balance Hídrico Entrada de época lluviosa (2000-2006)

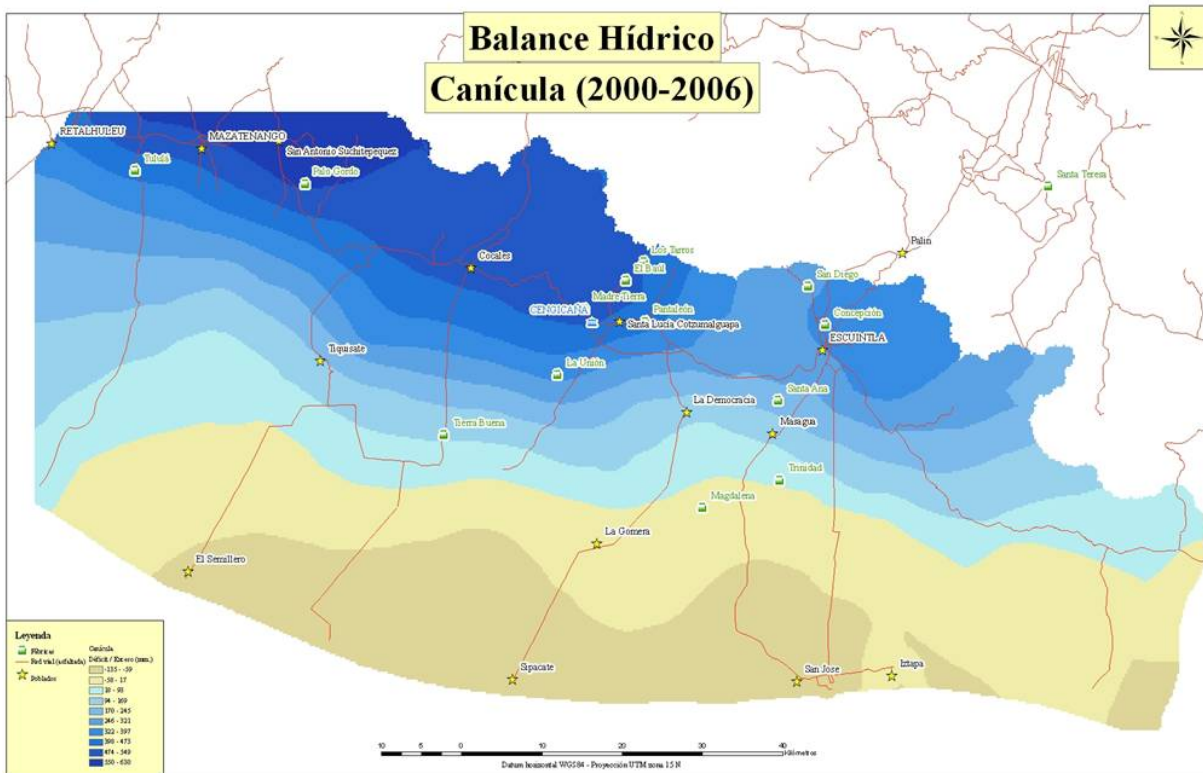


Figura 56. Mapa de Balance Hídrico Canicula (2000-2006)

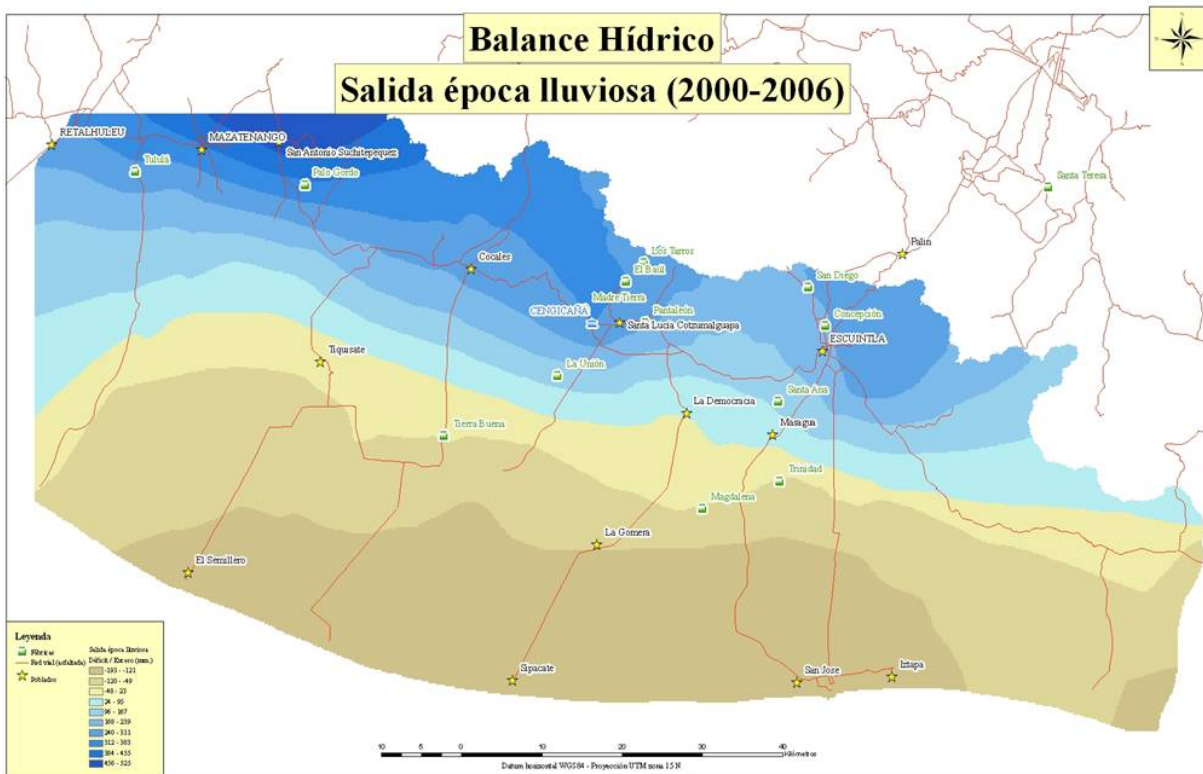


Figura 57. Mapa de Balance Hídrico Salida época lluviosa (2000-2006)

3.6. Recomendaciones

Es importante considerar que un alto porcentaje de la información meteorológica utilizada para el estudio del balance hídrico 2000-2006 proviene de estaciones meteorológicas de fincas productoras de caña de azúcar; sin embargo, se hace necesario contar también con información de las zonas nuevas donde se encuentra actualmente el cultivo de la caña, por lo cual entre los ingenios y CENGICAÑA tienen que coordinar la ubicación de nuevas estaciones en estas zonas (departamento de Retalhuleu; municipio de Nueva Concepción, Escuintla; municipios de Taxisco y Chiquimulilla, Santa Rosa).

Al tener mapas de precipitación histórica y temperatura acumulada, es posible utilizar el álgebra de mapas para la elaboración de nuevas versiones de Balance Hídrico.

3.7. Bibliografía

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar de Guatemala, GT) 2007. Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2006-2007. Guatemala. p. 172-178.
2. Corporación Pantaleón-Concepción, GT. 2002. Definición de nichos agroecológicos. *In* Congreso de técnicos azucareros de Centro América (14, 2002, GT). Memoria. Guatemala, ATACA. p. 118-125.
3. ESRI (Environmental Systems Research Institute, US) 2004. An overview of the interpolation tools. ArcGIS Desktop Help, Spatial Analyst.
4. Villalobos, R. 2002. Sistema de pronóstico de lluvias en Costa Rica: agrupación de años con características pluviométricas semejantes para la creación de escenarios climáticos. Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. p. 4-5.