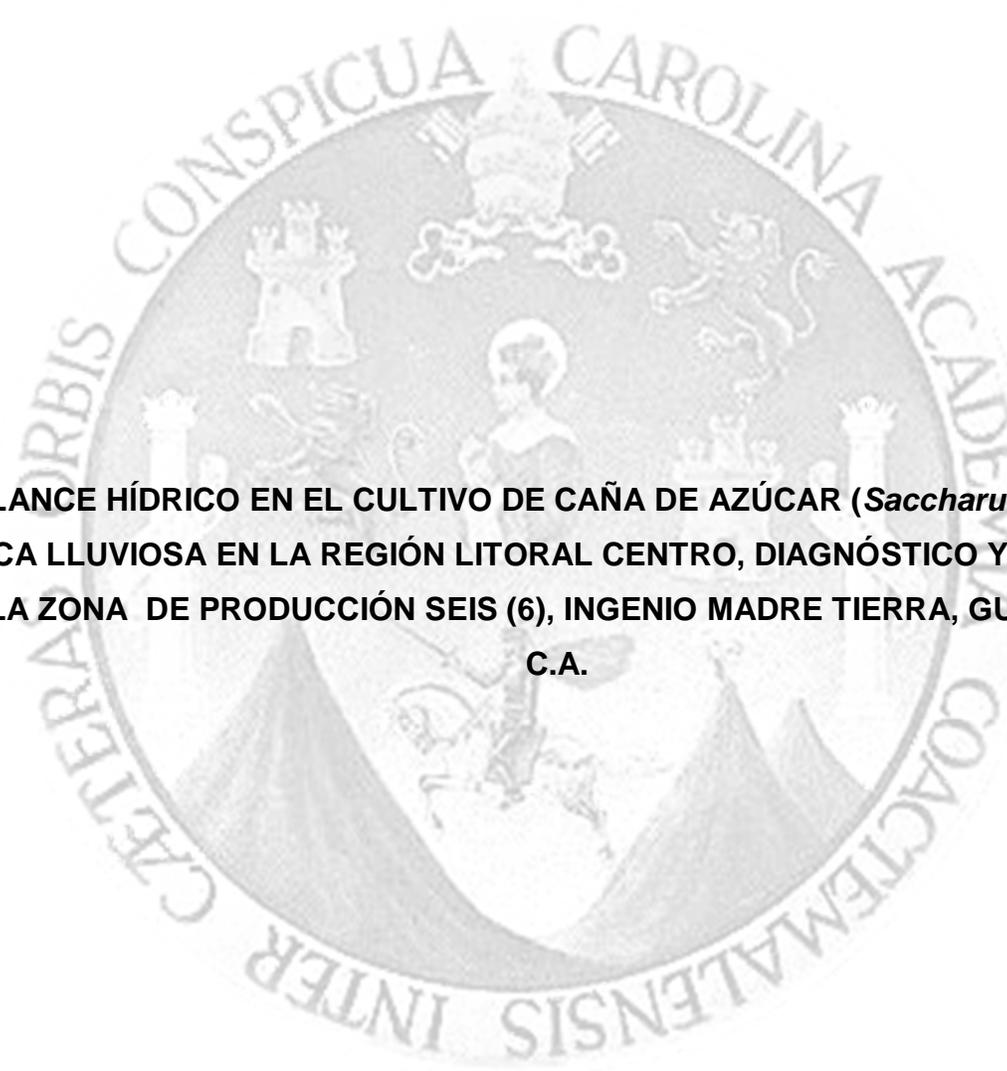


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



**BALANCE HÍDRICO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN
ÉPOCA LLUVIOSA EN LA REGIÓN LITORAL CENTRO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS
EN LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS (6), INGENIO MADRE TIERRA, GUATEMALA,
C.A.**

JUAN JOSUÉ SANTOS PÉREZ

GUATEMALA, JULIO 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**BALANCE HÍDRICO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN
ÉPOCA LLUVIOSA EN LA REGIÓN LITORAL CENTRO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS
EN LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS (6), INGENIO MADRE TIERRA, GUATEMALA,
C.A.**

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

POR

JUAN JOSUÉ SANTOS PÉREZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, JULIO 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNIFICO
Dr. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez
VOCAL PRIMERO	Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. For. Sindi Benita Simón Mendoza
VOCAL QUINTO	Br. Sergio Alexander Soto Estrada
SECRETARIO	Ing. Agr. Mynor Raúl Otzoc Rosales

GUATEMALA, JULIO 2014

Guatemala, julio de 2014

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 "**BALANCE HÍDRICO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN ÉPOCA LLUVIOSA EN LA REGIÓN LITORAL CENTRO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS (6), INGENIO MADRE TIERRA, GUATEMALA, C.A.**", como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistema 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"

Juan Josué Santos Pérez

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO:

A:

DIOS

Por haberme dado la fuerza, la fortaleza y los conocimientos, él es el principio, el fin y de él emana la vida, solamente debemos esforzarnos y ser valientes porque él juro estar todos los días de nuestra vida con nosotros, es más que un creador, un amigo, un padre, un sustentador, él lo es todo.

MI FAMILIA

En un momento donde he alcanzado una meta personal, me detengo a reflexionar sobre la importancia de la familia y el apoyo incondicional que he recibido de ellos.

Mi querida Madre: Mélida Pérez Santos, quien me ha enseñado que la vida está pintada de muchos colores unos más claros que otros, pero al final todos forman parte de la obra de arte que es la vida.

Mis hermanos: Alma Lizeth Santos Pérez y Luis Javier Santos Pérez con los cuales he pasado buenos y malos momentos, pero lo importante es que siempre han estado ahí y aquellos que ya no están siempre los recordare.

MIS AMIGOS

Esas personas con las cuales compartí buenos momentos y malos momentos, si esos momentos de aflicción, tensión. En fin momentos que marcan la vida, momentos que te hacen reflexionar, recordar que un amigo es un ser místico, que en muchas ocasiones se vuelve como un hermano.

AGRADECIMIENTOS

Me es grato redactar una serie de agradecimientos a las instituciones y personal que me apoyo arduamente en la realización de esta investigación en la Zona de producción seis del Ingenio Madre Tierra durante el año 2013, ya que sin su valioso apoyo no sería posible dicho trabajo de investigación.

A MI PAIS

Mi querida Guatemala, por aquellos programas que hacen posible que la educación pueda ser accesible, en especial al programa de BECAS de la SEGEPLAN.

A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Fue un honor estar en esta casa de estudio en la cual no solo he aprendido conocimientos técnico – científicos de la agronomía, sino he pasado cinco excelentes años al lado de compañeros, amigos y catedráticos con los que he compartido conocimientos, experiencias, problemas, felicidades, pero sobre todo que forman parte de mi vida.

AL INGENIO MADRE TIERRA Y CENGICAÑA

Por darme la oportunidad de realizar mi EPS en sus instalaciones y por el gran apoyo otorgado durante este tiempo, así mismo espero que sigan obteniendo frutos del trabajo realizado, agradezco al departamento de riegos de CENGICAÑA por el apoyo para la realización del muestreo de suelos y la validación del proyecto.

Agradezco a los técnicos de ambas instituciones: Ing. Agr. Juan Carlos Pineda, Ing. Agr. MSc. Ivan Aguirre, Ing. Agr. Simri Alejandro Callejas, Ing. Agr. Otto Castro, Héctor Monterroso, Selvin Estrada y a todo el personal a su mando que es un grupo de técnicos capacitados y con alto expertaje en la producción de caña de azúcar.

ÍNDICE GENERAL

	CONTENIDO	PÁGINA
1	CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS A NIVEL DE SEMIDETALLE, ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA, PARA IMPLEMENTAR ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE RENDIMIENTO EN TONELADAS DE CAÑA POR HECTÁREA (TCH) DEBIDO A LA FALTA DE AGUA PLUVIAL EN AÑOS CON EPISODIO ENSO (NIÑO O NIÑA), ESCUINTLA, GUATEMALA C.A.....	1
1.1	PRESENTACIÓN	2
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	GENERAL.	4
1.2.2	ESPECÍFICOS	4
1.3	METODOLOGÍA.....	5
1.4	RESULTADOS	6
1.5	CONCLUSIONES.....	13
1.5.1	RECOMENDACIONES.....	14
1.5.2	BIBLIOGRAFÍA.....	14
2	CAPÍTULO II. BALANCE HÍDRICO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (SACCHARUM SPP.) EN ÉPOCA LLUVIOSA EN LA REGIÓN LITORAL CENTRO, ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA, 2013, GUATEMALA C.A.....	15
2.1	PRESENTACIÓN	16
2.2	MARCO TEORICO	18
2.2.1	LA CAÑA DE AZÚCAR.....	18
2.2.2	ESPECIES DE SACCHARUM.....	18
2.2.3	ESTRUCTURA DE LA PLANTA.....	19
2.2.4	DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN CAÑERA	26
2.2.5	CLIMAS DE LA REGIÓN CAÑERA.....	28
2.2.6	IMPORTANCIA DEL RIEGO EN LA CAÑA DE AZÚCAR	29
2.2.7	SUELOS DE LA ZONA CAÑERA.....	32
2.2.8	FACTORES EDAFOLÓGICOS	33
2.2.9	SUELOS PREDOMINANTES EN LA COSTA SUR.....	33
2.2.10	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON EL RIEGO.....	36
2.2.11	EVAPORACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR	40
2.2.12	REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	41
2.2.13	BALANCE HÍDRICO.....	43
2.2.14	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	44

CONTENIDO	PÁGINA
2.3	MARCO REFERENCIAL 47
2.3.1	ÁREA Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS47
2.3.2	CONDICIONES EDAFOLÓGICAS49
2.3.3	ZONAS DE VIDA.....49
2.3.4	VÍAS DE ACCESO49
2.3.5	RECURSOS52
2.3.6	OBJETIVOS55
2.4	METODOLOGÍA..... 56
2.4.1	ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS DEL AÑO 2005 - 201256
2.4.2	CONDICIONES EDAFOLÓGICAS61
2.4.3	BALANCE HÍDRICO64
2.5	VALIDACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO 66
2.6	RESULTADOS 67
2.6.1	ANÁLISIS DE FACTORES EDAFO – CLIMÁTICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.67
2.6.2	MODELO DE BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL Y VALIDACIÓN MEDIANTE SONDA FDR (DIVINER 2000), ZONA DE PRODUCCIÓN 6, INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.75
2.7	CONCLUSIONES..... 86
2.8	RECOMENDACIONES 87
2.9	BIBLIOGRAFÍA 88
3	CAPITULO III. INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS A LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A. 90
3.1	SERVICIO I. DIGITALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS ÁREAS ARENOSAS (VETAS) UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) 91
3.1.1	PRESENTACIÓN91
3.1.2	OBJETIVOS92
3.1.3	METODOLOGÍA.....93
3.1.4	RESULTADOS95
3.1.5	CONCLUSIONES.....97
3.1.6	RECOMENDACIONES97
3.1.7	ANEXOS98

CONTENIDO	PÁGINA	
3.2	SERVICIO II. PROYECTO POZOS DE OBSERVACIÓN DE NIVEL PIEZOMÉTRICO PARA LAS FINCAS PANGOLA, LAURELES, CANTOIRA Y RÍO LINDO. 99	99
3.2.1	PRESENTACIÓN 99	99
3.2.2	OBJETIVOS 100	100
3.3.1	METODOLOGÍA..... 101	101
3.3.2	RESULTADOS 105	105
3.3.3	CONCLUSIONES..... 111	111
3.3.4	RECOMENDACIONES..... 111	111
3.3.5	ANEXOS..... 112	112
3.4	SERVICIO III. SEGUIMIENTO A LA EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (SACCHARUM SPP.) A LA EDAD DE CINCO MESES COMO UNA HERRAMIENTA AUXILIAR PARA ESTIMACIÓN DE LAS TCH DEL PRIMER TERCIO, SEGUNDO Y TERCER TERCIO. 113	113
3.4.1	PRESENTACIÓN 113	113
3.4.2	OBJETIVOS 114	114
3.4.3	METODOLOGÍA..... 115	115
3.4.4	RESULTADOS 120	120
3.4.5	CONCLUSIONES..... 130	130
3.4.6	RECOMENDACIONES..... 131	131
3.4.7	ANEXOS..... 132	132
3.5	SERVICIO IV: MAPEO DE TCH UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA (SIG) CON FINES DE DELIMITAR ÁREAS HOMOGENEAS PARA APLICACIÓN DE MADURANTE..... 135	135
3.5.1	PRESENTACIÓN 135	135
3.5.2	OBJETIVOS 136	136
3.5.3	METODOLOGÍA..... 137	137
3.5.4	RESULTADOS 139	139
3.5.5	CONCLUSIONES..... 141	141
3.5.6	RECOMENDACIONES..... 141	141
3.5.7	BIBLIOGRAFÍA..... 142	142

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PÁGINA
CUADRO 1. ESCALA DE LA TEXTURA DE SUELO SEGÚN USDA.....	36
CUADRO 2. ESCALA DE LA TEXTURA DE SUELO SEGÚN ISS.	36
CUADRO 3. RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EL RENDIMIENTO DE CAÑA Y SACAROSA	40
CUADRO 4. FINCAS DE LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TERRA, AÑO 2013.	47
CUADRO 5. MÉTODO DE BRANNEY-CRIDDE.....	57
CUADRO 6. RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE, RMD, EXPRESADA EN EVAPORACIÓN EQUIVALENTE EN MM/DÍA.....	60
CUADRO 7. NÚMERO DE SUBMUESTRAS A TOMAR SEGÚN EL ÁREA DE MUESTREO	63
CUADRO 8. BOLETA TOMA DE DATOS.....	104
CUADRO 9. COORDENADAS DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN DE NIVEL FREÁTICO DE LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA, SISTEMA DE COORDENADAS PROYECCION GTM.	112
CUADRO 10. BOLETA PARA LA EVALUACIÓN DE ÍNDICE DE DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, AÑO 2013.....	117
CUADRO 11. PARÁMETROS GLOBALES DE LA MEDICIÓN DE IDD A LOS CINCO MESES DE EDAD.	129

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA CAÑERA DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA.	6
FIGURA 2. CUENCAS QUE PROVEEN AGUA AL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA.	7
FIGURA 3. MAPAS DE PRECIPITACIÓN (MM/AÑO) Y TEMPERATURA (°C), PARA ZONA CAÑERA COSTA SUR DE GUATEMALA.	8
FIGURA 4. PRECIPITACIÓN PLUVIAL ACUMULADA ESTRATO LITORAL.	9
FIGURA 5. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A SEQUIA.	10
FIGURA 6. MAPA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR DE GUATEMALA.	11
FIGURA 7. SISTEMA RADICULAR DE LA CAÑA DE AZÚCAR.	19
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES DE LA CAÑA DE AZÚCAR.	20
FIGURA 9. MACOLLAMIENTO A PARTIR DE LA "SEMILLA" DE LA CAÑA.	22
FIGURA 10. SECCIÓN DEL TALLO MOSTRANDO LOS NUDOS Y ENTRENUDOS.	22
FIGURA 11. MORFOLOGÍA DE LAS YEMAS DEL TALLO.	24
FIGURA 12. FORMAS DE LOS ENTRENUDOS.	25
FIGURA 13. MAPA DE USO DE LA TIERRA DE LA ZONA CAÑERA DE GUATEMALA DEL AÑO 2006.	27
FIGURA 14. MAPA ZONAS DE VIDA Y CLIMA DE LA ZONA CAÑERA DE GUATEMALA, AÑO 2006.	28
FIGURA 15. INFORMACIÓN DÍAS PROMEDIO DE DÉFICIT HÍDRICO, DÍAS PARA RIEGO DESPUÉS Y ANTES DEL CORTE EN CADA UNO DE LOS PERÍODOS DE ZAFRA Y ESTRATOS ALTITUDINALES.	30
FIGURA 16. DIVISIÓN DE CINCO ESTRATOS MSNM CON FINES DE RIEGO.	31
FIGURA 17. ETAPA FENOLÓGICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CONDICIONES DE LA ZONA CAÑERA DE GUATEMALA.	44
FIGURA 18. SONDA DE MONITOREO DE HUMEDAD DIVINER 2000.	46
FIGURA 19. UBICACIÓN DE FINCAS ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS DE PRODUCCIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.	48
FIGURA 20. VÍA DE ACCESO UNO, ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.	50
FIGURA 21. VÍA DE ACCESO DOS, ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.	51
FIGURA 22. MAPA DE USO, RECURSOS NATURALES, AMENAZAS DE SEQUÍA Y EROSIÓN DE LA ZONA DE PRODUCCIÓN SIES, INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.	52
FIGURA 23. ADAPTACIÓN DEL MAPA DE EVENTOS DE INUNDACIÓN 2005-2008 SE CONRED Y FODECYT 2006.	53
FIGURA 24. VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN (MM/AÑO) EN DOS DIFERENTES ESTRATOS DE RIEGO.	67
FIGURA 25. ANÁLISIS DE TENDENCIA ESPACIAL.	68

CONTENIDO	PÁGINA
FIGURA 26. ANÁLISIS DEL ÁREA QUE CUBRE CADA PLUVIÓMETRO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE POLÍGONOS DE THISSEN.....	68
FIGURA 27. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN REGISTRADA POR LA RED PLUVIOMÉTRICA EN LOS PERIODOS 2012 – 2013 Y 2013 – 2014 AMPLIACIÓN DE LA RED PLUVIOMÉTRICA.	69
FIGURA 28. ANÁLISIS DE T°C UTILIZANDO DATOS DE LAS ESTACIONES BONANZA Y SAN ANTONIO EL VALLE, ZONA LITORAL CENTRO DEL PERIODO DEL 2005 – 2013.....	70
FIGURA 29. EFECTO DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA DE LAS ESTACIONES BONANZA Y SN EL VALLE SOBRE LA ETP DEL CULTIVO.	70
FIGURA 30. MAPA DE LA RETENCIÓN DE HUMEDAD (LARA), REALIZADO A TRAVÉS DEL MUESTREO DE SUELOS (CARACTERÍSTICAS FÍSICAS) DE LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.	72
FIGURA 31. CAJUELAS REALIZADAS EN ÁREA DE VETAS FINCA CANTOIRA, RÍO LINDO Y PANGOLA, A UNA PROFUNDIDAD DE 60 CM.	73
FIGURA 32. DESBORDAMIENTO DEL RÍO COYOLATE OCURRIDA SEPTIEMBRE DEL 2013, SOBRE LAS ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, DEL INGENIO MADRE TIERRA.	74
FIGURA 33. ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO PARA LA PENTADA 32, ZONAS QUE SOBREPASAN EL DPM (DÉFICIT PERMITIDO DE MANEJO).	75
FIGURA 34. BALANCE HÍDRICO ESPACIAL, PENTADAS 38, 39, 40 PARA PERIODO DE ÉPOCA LLUVIOSA, JULIO 2013.	76
FIGURA 35. VALIDACIÓN DE BALANCE HÍDRICO ESPACIO – TEMPORAL MEDIANTE SONDA FDR (DIVINER 2000), ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS. INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.....	78
FIGURA 36. VALIDACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO MEDIANTE MEDICIONES REALIZADAS CON EL DIVINER 2000 EN PUNTOS DE CONTROL SITUADOS EN ÁREAS CRÍTICAS DE LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS...	79
FIGURA 37. ÁREA DE EQUIPO MECANIZADO FIJO VRS. ÁREA REGADO CON EQUIPO TIPO CAÑÓN FRECUENCIA DE RIEGO 25 DÍAS.	80
FIGURA 38. MEDICIONES DE HUMEDAD MEDIANTE FDR (DIVINNER 2000), DE LA PENTADA 50, ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS. INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.	81
FIGURA 39. HUMEDAD VOLUMÉTRICA MEDIDA MEDIANTE LA SONDA FDR (DIVINER 2000), EN LAS FINCAS LAURELES, PANGOLA, RÍO LINDO, DURANTE EL PERÍODO DE LLUVIA 2013.	82
FIGURA 40. BALANCE ESPACIO – TEMPORAL PENTADAS 64, SALIDA DEL INVIERNO LITORAL CENTRO. ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA. AÑO 2013.....	83

CONTENIDO	PÁGINA
FIGURA 41. BALANCE ESPACIO – TEMPORAL PENTADAS 65, SALIDA DEL INVIERNO LITORAL CENTRO. ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA. AÑO 2013.....	84
FIGURA 42. CROQUIS DE LOTE Y ÁREA CUBIERTA POR LA VETA	94
FIGURA 43. MAPA DE ÁREAS ARENOSAS (VETAS) ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA 2013	95
FIGURA 44. CAJUELAS REALIZADAS EN ÁREA DE VETA FINCA CANTOIRA, FINCA RIO LINDO Y FINCA PANGOLA, A UNA PROFUNDIDAD DE 60 CM.....	96
FIGURA 45. PROPUESTA PARA LA ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE RIEGO TIPO PIVOTE CENTRAL Y AVANCE FRONTAL, EN LAS ZONAS DEFICITARIAS DE AGUA.....	98
FIGURA 46. HERRAMIENTAS A UTILIZAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE OBSERVACIÓN DE NIVEL PIEZOMÉTRICO.	103
FIGURA 47. PERFORACIÓN DE POZO	103
FIGURA 49. INSERCIÓN DE LA CAMISA Y DEL TUBO RANURADO.	104
FIGURA 50. CAJUELAS REALIZADAS EN LA FINCA PANGOLA, RÍO LINDO, CANTOIRA Y LAURELES, COMO PARTE DEL ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA TOMA DE DECISIÓN DE INSTALACIÓN DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN DE NIVEL FREÁTICO Y ESTUDIO DE SUELOS.	105
FIGURA 51. LOCALIZACIÓN DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN DE NIVEL PIEZOMÉTRICO, EN LAS FINCAS DE ESTUDIO PANGOLA, LAURELES, RÍO LINDO Y CANTOIRA, EN EL AÑO 2013.....	106
FIGURA 52. MAPA DE NIVEL FREÁTICO PARA FECHA 12/07/2013 E ISOYETAS DE TRES FECHAS QUE EXPLICAN LA RECARGA HÍDRICA DE LA ZONA.....	107
FIGURA 53. MAPA DE NIVEL FREÁTICO PARA FECHA 01/08/2013 E ISOYETAS DE TRES FECHAS QUE EXPLICAN LA RECARGA HÍDRICA DE LA ZONA.....	108
FIGURA 54. MAPA DE NIVEL FREÁTICO PARA FECHA 26/09/2013 E ISOYETAS DE TRES FECHAS QUE EXPLICAN LA RECARGA HÍDRICA DE LA ZONA.....	109
FIGURA 55. MAPA DE NIVEL FREÁTICO PARA FECHA 10/10/2013 E ISOYETAS DE TRES FECHAS QUE EXPLICAN LA RECARGA HÍDRICA DE LA ZONA.....	110
FIGURA 56A. INSTALACIÓN DE POZOS PARA MONITOREO DE NIVEL FREÁTICO EN PUNTOS CRÍTICOS DE LA ZONA DE CULTIVO.	112
FIGURA 57. LOTES PARA EL MUESTREO DE IDD DEL PRIMER TERCIO DE COSECHA, PERÍODO DE ZAFRA 2013 - 2014.	120

CONTENIDO	PÁGINA
FIGURA 58. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DEL AÑO 2005 -2012 DE LAS ESTACIONES BONANZA E IRLANDA, Y SU INFLUENCIA EN LAS DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS DEL PRIMER TERCIO DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA. LITORAL CENTRO.	121
FIGURA 59. ALTURA PROMEDIO DE TALLO Y NÚMERO DE ENTRENUDOS/TALLO DE LA CAÑA (SACCHARUM SPP.) A LOS CINCO MESES DE EDAD DEL PRIMER TERCIO DE COSECHA, ZAFRA 2013 - 2014.	122
FIGURA 60. RENDIMIENTO EN TONELADAS DE CAÑA POR HECTÁREA, DE LAS VARIETADES CP72-2086, CP73-1547, CP88-1165, EN EL PRIMER TERCIO A EDAD DE 5 MESES, ZAFRA 2013 - 2014.....	122
FIGURA 61. LOTES PARA EL MUESTREO DE IDD DEL SEGUNDO TERCIO DE COSECHA, PERÍODO DE ZAFRA 2013 – 2014.	123
FIGURA 62. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DEL AÑO 2005 -2012 DE LAS ESTACIONES BONANZA E IRLANDA, Y SU INFLUENCIA EN LAS DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS DEL SEGUNDO TERCIO DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA. LITORAL CENTRO.	124
FIGURA 63. ALTURA PROMEDIO DE TALLO Y NÚMERO DE ENTRENUDOS/TALLO DE LA CAÑA (SACCHARUM SPP.) A LOS 5 MESES DE EDAD DEL SEGUNDO TERCIO DE COSECHA, ZAFRA 2013 - 2014.....	125
FIGURA 64. RENDIMIENTO EN TONELADAS DE CAÑA POR HECTÁREA, DE LAS VARIETADES CP72-2086, CP88-1165, EN EL SEGUNDO TERCIO DE COSECHA A EDAD DE 5 MESES, ZAFRA 2013 - 2014.....	125
FIGURA 65. LOTES PARA EL MUESTREO DE IDD DEL TERCER TERCIO DE COSECHA, ZAFRA 2013.	126
FIGURA 66. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DEL AÑO 2005 -2012 DE LAS ESTACIONES BONANZA E IRLANDA, Y SU INFLUENCIA EN LAS DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS DEL TERCER TERCIO DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA. LITORAL CENTRO.	127
FIGURA 67. PESO PROMEDIO Y ALTURA DE LA CAÑA (SACCHARUM SPP.) A LOS CINCO MESES DE EDAD DEL TERCER TERCIO DE COSECHA, ZAFRA 2013 - 2014.	127
FIGURA 68. RENDIMIENTO EN TONELADAS DE CAÑA POR HECTÁREA, DE LAS VARIETADES CG98-10, CP72-2086, SP79-1287, EN EL TERCER TERCIO DE COSECHA A EDAD DE 5 MESES, ZAFRA 2013 - 2014.	128
FIGURA 69. RENDIMIENTOS GLOBALES DE LAS TCH OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN DE ÍNDICES DE DESARROLLO EN LAS VARIETADES CP73-1547, CP72-2086, CP88-1165 A EDAD DE 5 MESES, EN LOS DIFERENTES TERCIOS DE COSECHA.	128

CONTENIDO	PÁGINA
FIGURA 70A. DISTRIBUCIÓN DE LAS VARIEDADES CP73-2547. CP72-2086, CP88-1165, CG9601, CG98-10, SP791287, VAR-REPROD, PARA EL AÑO 2013 Y LA DISTRIBUCIÓN EN LOS TERCIOS DE COSECHA.....	132
FIGURA 71A. PORCENTAJE DE RESIEMBRA PERÍODO DE ZAFRA 2013 – 2014.....	133
FIGURA 72A. ÁREA PROGRAMADA Y NO PROGRAMADA PARA SER RENOVADA, ZAFRA 2012 - 2013	134
FIGURA 73. ESTRATIFICACIÓN DE ÁREAS CON LOS MISMOS RENDIMIENTOS TCH FINCA LAURELES UTILIZANDO EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN IDW, COMO UNA HERRAMIENTA AUXILIAR PARA LA APLICACIÓN DE MADURANTES UTILIZANDO TASA DE FLUJO VARIADO. AÑO 2013.....	139
FIGURA 74. DELIMITACIÓN ACTUAL DEL BLOQUE PARA APLICACIÓN DE MADURANTE, LOTES 0229 DE LA FINCA LAURELES. AÑO 2013.....	140
FIGURA 75. DELIMITACIÓN DEL BLOQUE 0229 SEGÚN RESULTADOS DE TCH UTILIZANDO EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN IDW (DISTANCIA INVERSA PONDERADA), FINCA LAURELES. AÑO 2013.	140

BALANCE HÍDRICO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN ÉPOCA LLUVIOSA EN LA REGIÓN LITORAL CENTRO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN LA ZONA DE PRODUCCIÓN 6, INGENIO MADRE TIERRA, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA) en el año 2013, en la zona de producción número seis, Ingenio Madre Tierra (MT), ubicado en el municipio de la Gomera, Escuintla, Guatemala, C.A.

En el capítulo I, se presenta el diagnóstico caracterización de las condiciones edafoclimáticas a nivel semidetalle, zona de producción Seis Ingenio Madre Tierra, para implementar estrategias de mitigación en la reducción de rendimiento toneladas de caña por hectárea (TCH) debido a la falta de agua pluvial en años con episodio ENSO (Niño o Niña), Escuintla. Guatemala, C.A. Determinando mediante estudios espaciales realizados por el MAGA (2006) la vulnerabilidad del área a sequías, encontrándose en una zona catalogada de alto a muy alto riesgo, el estudio de suelos a nivel de semidetalle realizado por CENGICANÁ (1996), da a conocer que el área ocupada por la zona de producción seis presenta suelos del orden entisoles, molisoles a lo largo y ancho lo que ocasiona diferente capacidad de retención de humedad, así como bajos rendimientos en períodos prolongados de sequía.

En el capítulo II, se presenta el trabajo de investigación con un análisis temporal y espacial del manejo del recurso hídrico para fines de riego mediante el uso del Balance hídrico como herramienta de cuantificación de los aportes de agua pluvia en el período de época lluviosa en la región Litoral Centro, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su validación por medio de sensores de humedad conocida como DIVINER 2000.

Con esto se determinó el comportamiento de la lámina de agua en el suelo, mediante la instalación de 10 puntos de medición de humedad en áreas críticas (área arenosa) a cada 10 centímetros de profundidad, cuantificando el agua disponible para la planta así como la

absorbida por el sistema radicular mediante el uso del balance hídrico determinando en un 80% la situación hídrica *insitu*.

Los resultados obtenidos relacionaron las variables edafológicas (características físicas) las que determinaron la cantidad de agua que el suelo puede almacenar (LAA), así como la que puede estar disponible para la planta (LARA), las variables climáticas (Temperatura, Precipitación, Riego, etc.) y las variables propias del cultivo (evaporación) que estuvieron dadas por el tercio de cosecha/siembra.

Estos resultados fueron utilizados para la generación del Balance Hídrico a nivel espacial, sirviendo en la toma de decisiones gerenciales durante el año 2013, que según el gerente de la zona permitió el direccionamiento y la activación de equipos de riego hacia áreas concretas y en el momento oportuno, así como la aplicación de la lámina de agua adecuada. El uso del Balance Hídrico a nivel espacial es una herramienta integradora que ha permitido mitigar las reducciones de TCH en los diferentes tipos de suelo existentes en esta área.

El capítulo III, presenta los servicios que fortalecen la investigación, al dar un conocimiento del comportamiento de las variables que repercuten de forma directa o indirecta en los rendimientos de TCH, como lo son: Índices de desarrollo de la caña a edad de cinco meses, como parámetro para hacer recomendaciones o correcciones de cualquier tipo, cuantificación de la variable tabla de agua producto de niveles freáticos elevados con objetivo en la implementación y construcción de canales en áreas críticas, delimitación de áreas arenosas para la implementación de paquetes tecnológicos que ayuden a reducir los riesgos de pérdidas en el cultivo y estratificación de lotes para la aplicación de madurante.

- 1 CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS A NIVEL DE SEMIDETALLE, ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA, PARA IMPLEMENTAR ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE RENDIMIENTO EN TONELADAS DE CAÑA POR HECTÁREA (TCH) DEBIDO A LA FALTA DE AGUA PLUVIAL EN AÑOS CON EPISODIO ENSO (NIÑO O NIÑA), ESCUINTLA, GUATEMALA C.A.**

1.1 PRESENTACIÓN

El cambio climático en Guatemala juega un papel importante en los procesos de producción agrícola. Guatemala ha sufrido en los últimos años los impactos del exceso de precipitaciones pluviales y episodios de sequía en áreas donde no se habían dado dichos fenómenos.

Estos eventos han dado como resultados la pérdida de ecosistemas, la reducción de la calidad, disponibilidad de recursos hídricos y la disminución de los rendimientos en los diferentes cultivos. Sin embargo en CENGICAÑA se han realizado estudios de estrategias técnicas para incrementar el rendimiento de caña y azúcar en los años que se presentan condiciones climáticas adversas (ENSO y Cambio climático).

En este análisis de la “Caracterización de las condiciones edafoclimáticas a nivel de semidetalle de la Zona de producción Seis del Ingenio Madre Tierra, para la implementación de estrategias y mitigación en la reducción de rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH) debido a la falta de agua pluvial en años con episodio ENSO (El Niño y la Niña) Escuintla, Guatemala, C.A., se pretende hacer conciencia de la vulnerabilidad presente de dicha área ante las condiciones edafoclimáticas y mostrar los resultados de instituciones como CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar) y el MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación), en cuanto a la susceptibilidad del área a sequias prolongadas y aquellas áreas deficitarias de agua por su poca capacidad de retención, dadas por las características físicas del suelo.

Lo que hace necesario la implementación de herramientas como el Balance Hídrico, útiles para la planificación de riego, como lo menciona el Director del Programa de Agronomía CENGICAÑA (1997), el clima se ha vuelto inestable en las últimas décadas debido a la presencia de los fenómenos ENSO (El Niño y La Niña). Durante los años secos se han registrado las mejores producciones de caña y de azúcar debido a que la industria ha reconocido el riego de la caña como una práctica esencial para asegurar buenas

producciones. Además CENGICAÑA reconoce: que el balance hídrico constituye una herramienta importante para la toma de decisiones de cuanto y cuando regar. Constituyendo una herramienta integral que deriva del principio general de la conservación del agua caída por precipitaciones naturales o por riego.

Estos esfuerzos son muy importantes y de ahí nace la necesidad de realizar estudios más específicos y detallados sobre la zona cañera ya que nos enfrentamos a un sistema dinámico.

En el análisis realizado a nivel de semidetalle de la zona cañera, se observa una disminución de la precipitación en dirección al mar, caso contrario de la temperatura y la radiación solar como lo reportado por CENGICAÑA (2012), los análisis del MAGA (2006) reportan áreas susceptibles a sequía, que en el caso de la Zona de producción Seis, se encuentra catalogada como alta a muy alta lo que hizo necesario el uso de herramientas de alerta temprana para la activación de sistemas de riego, acuñado a un análisis detallado de las características físicas de suelo puesto que los resultados de CENGICAÑA (1996), mostraron la presencia de suelos con alto contenido de arena a lo largo del área de estudio.

Es por ello que la realización del trabajo de investigación no solo contribuyó con la generación de información de la zona de producción seis, que ayude a la resolución de problemas inmediatos, sino sentó las bases para que se tome en cuenta las diferencias climatológicas y edáficas existentes en áreas pequeñas (pequeños ecosistemas dinámicos), apoyado de técnicas de análisis espaciales que nos ayudaron a comprender de una mejor forma la dinámica del sistema.

Los SIG (Sistemas de Información Geográfica) permitieron evaluar del balance hídrico en un escenario actual de forma integradora de las variables climatológicas (Temperatura, Precipitación, Evaporación y transpiración de la caña), así como las características edafológicas presentes en la zona de estudio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL.

1.2.1.1 Determinar y describir las condiciones edafoclimáticas a nivel de semidetalle de la costa Sur productora de caña de azúcar (*Saccharum spp.*)

1.2.2 ESPECÍFICOS

1.2.2.1 Describir las condiciones climáticas según shapes del año 2006 del MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación).

1.2.2.2 Describir y delimitar a nivel de semidetalle las condiciones edafológicas de la Zona de producción seis según estudios realizados por CENGICAÑA.

1.2.2.3 Determinar las características edafoclimáticas más importantes que propician la susceptibilidad del cultivo de la caña de azúcar a tener mermas (TCH) en el área de producción de la Zona de producción seis, Ingenio Madre Tierra.

1.3 METODOLÓGÍA

- Principales condiciones climáticas y edafológicas de la Costa Sur de Guatemala y su relación con la Zona de producción seis del ingenio Madre Tierra.

Para identificar los principales problemas climáticos prevalecientes en la Costa sur de Guatemala, se revisó literatura elaborada por CENGICAÑA, entre ellos el libro El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala, la tesis Historia de la distribución de malezas en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en la costa sur de Guatemala, donde se abordan temas concernientes a las características climática y edafológicas de la costa sur.

- Evaluación de las condiciones Climática y edáficas a nivel de semidetalle de la costa sur de Guatemala.

Para conocer el impacto que tienen las condiciones edafoclimáticos sobre el sistema productivo de la caña de azúcar se utilizaron mapas representativos de la costa sur, precipitación anual, temperatura promedio, estudio semidetallado de suelos, zona s propensas a inundaciones, etc.

- Definir y priorizar la estrategia utilizada para reducir las pérdidas producidas por la falta de agua pluvial en años con episodio ENSO (NIÑO y NIÑA).

1.4 RESULTADOS

Geográficamente la zona cañera de la costa sur de Guatemala se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 91°50'00" – 90°10'00" Longitud oeste y 14°33'00" – 13°50'00" Latitud norte (CENGICAÑA, 2012).

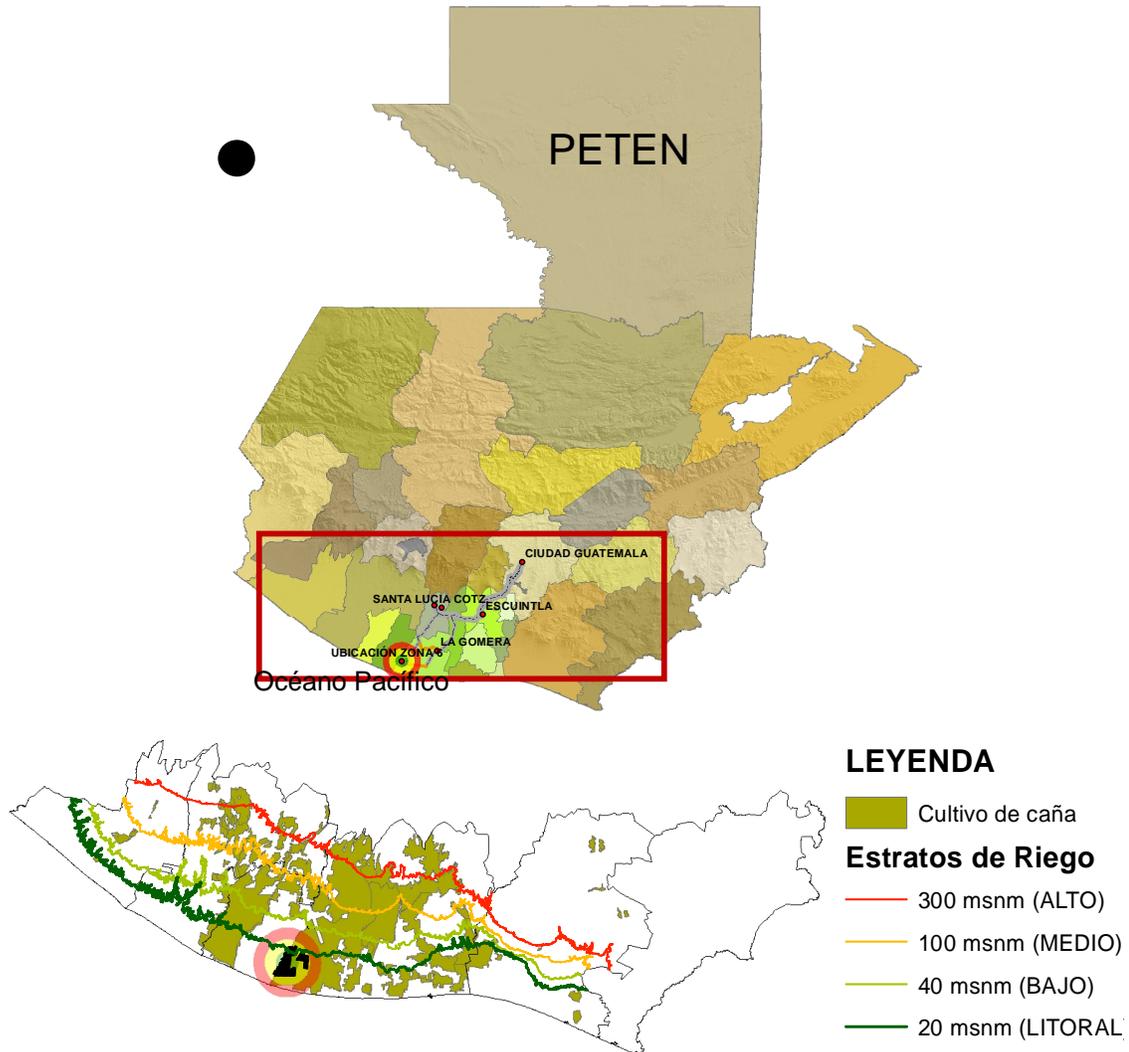


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona cañera de la costa sur de Guatemala.

Fuente: Adaptado de Shapes MAGA (2006).

Geopolíticamente está localizada en los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y actualmente se está expandiendo a los departamentos de Jutiapa (CENGICAÑA, 2012).

La zona cañera se ha dividido en cuatro estratos, con base en su posición altitudinal expresada en metros sobre el nivel del mar (msnm) (Figura 1). La posición altitudinal en la zona cañera de Guatemala está asociada a variaciones climáticas y de suelo, debido a que la fisiografía de la región corresponde a un paisaje natural de planicies de pie de monte y forma un plano inclinado, que inicia con pendiente de 7 a 25 por ciento cerca de la cadena montañosa, con relieve ondulado o de lomerío y va descendiendo suavemente hacia la costa del Pacífico con relieve plano (CENGICAÑA, 1996).

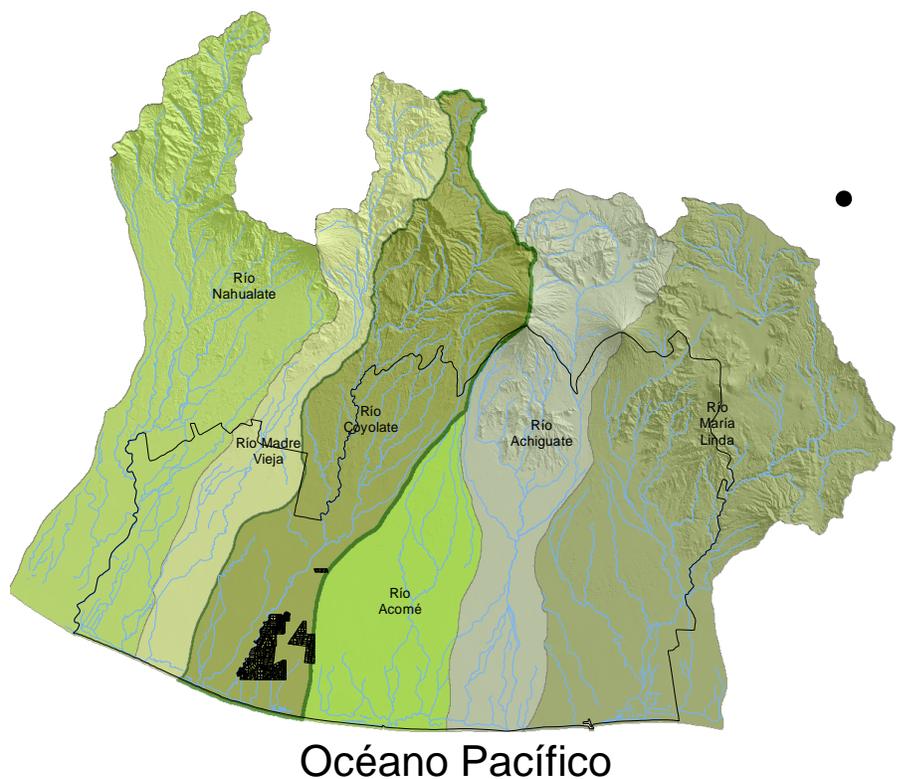


Figura 2. Cuencas que proveen agua al departamento de Escuintla.

Fuente: Adaptado de Shapes MAGA (2006).

Dentro de la zona cañera se encuentra la Zona de producción seis del Ingenio Madre Tierra, localizada en la parte litoral centro del departamento de Escuintla, este departamento esta bañado por las aguas de las Cuencas de los Ríos Nahualate, Madre Vieja, Coyolate, Acomé, Achiguate y María Linda, los cuales desembocan en el Océano Pacífico.

Siendo la de mayor importancia la cuenca del Río Coyolate de la cual desemboca el Río que da su nombre, este pasa a las orillas de la Zona de producción seis de producción del Ingenio Madre Tierra de dónde se obtiene el agua necesaria para la producción de caña de azúcar.

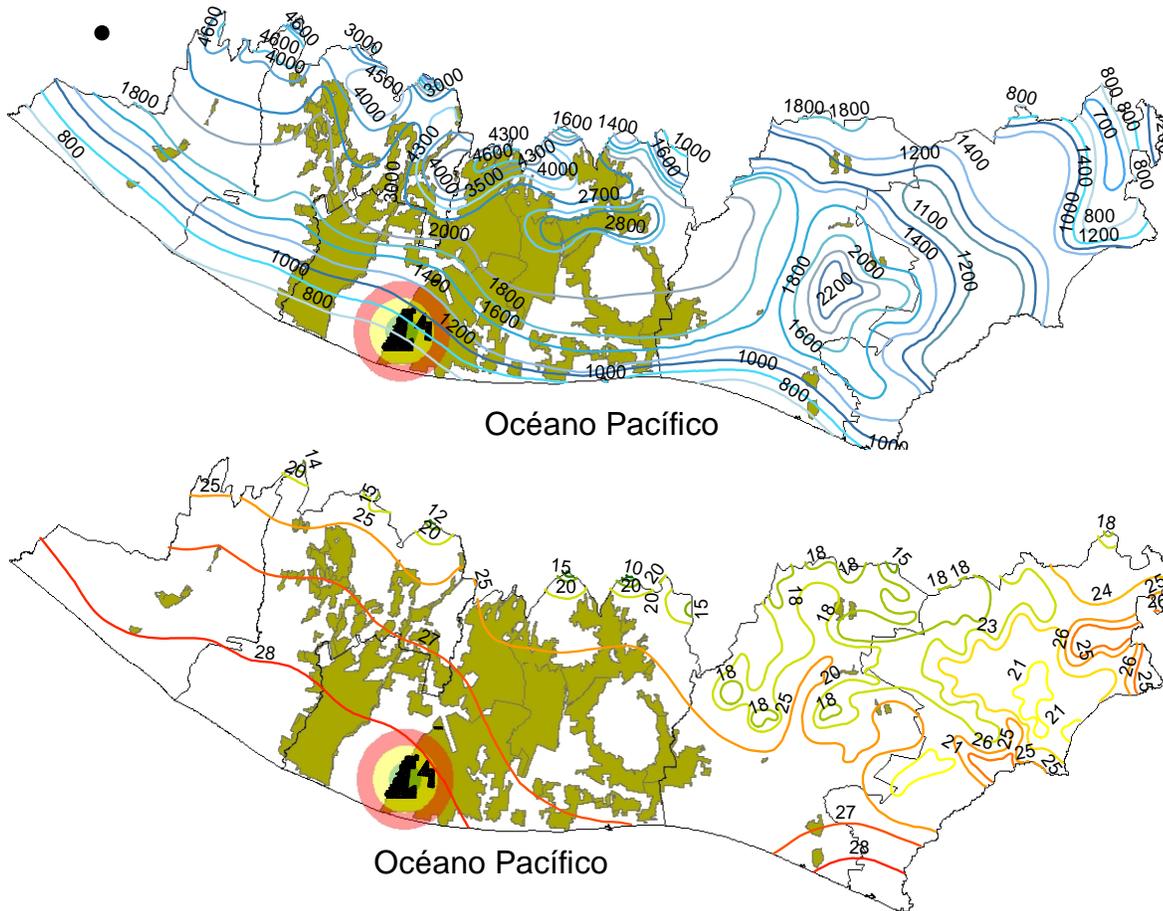


Figura 3. Mapas de Precipitación (mm/año) y Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), para zona cañera costa sur de Guatemala.

Fuente: Adaptado de Shapes MAGA (2006).

El comportamiento de las variables radiación solar y temperatura es mayor en la cercanías de la costa y disminuye conforme se asciende en la zona cañera. Caso contrario, la precipitación pluvial disminuye conforme se desciende a la costa (Figura 3).

Las lluvias en la zona se distribuyen en dos estaciones: época lluviosa (invierno) y época seca (verano), además de un periodo de canícula de 15 días entre julio y agosto (CENGICAÑA, 2012).

En periodos con episodio ENSO (NIÑO) ocurren descenso de precipitación, así como se detalló en la reunión de riegos del Ingenio Madre Tierra celebrada en marzo de 2013, expresándose que las precipitaciones en el año 2012 a nivel longitudinal en el litoral centro ocurrió una disminución del 51%, litoral - este 42% y litoral oeste 34% lo que propicio una disminución en los rendimientos de TCH entregadas a nivel de planta.

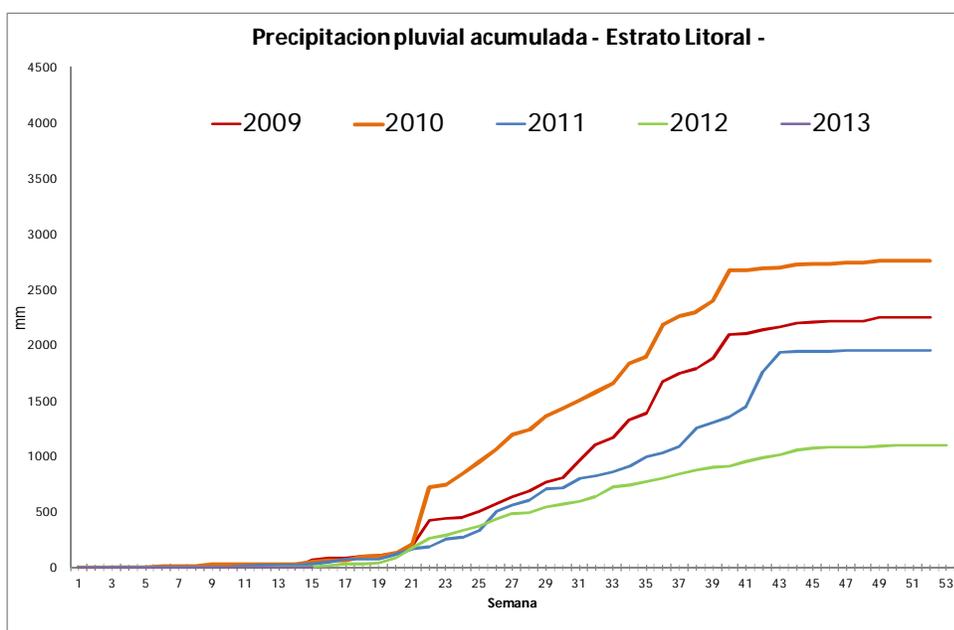


Figura 4. Precipitación pluvial acumulada estrato litoral.

Fuente: Instituto de Cambio Climático (ICC, 2013)

Reportes del Instituto de Cambio Climático (ICC) confirman que durante los últimos cinco años se ha notado una disminución año con año de las precipitaciones en el estrato litoral, posiblemente como consecuencia del cambio Climático afecta a todo el mundo (Figura 4).

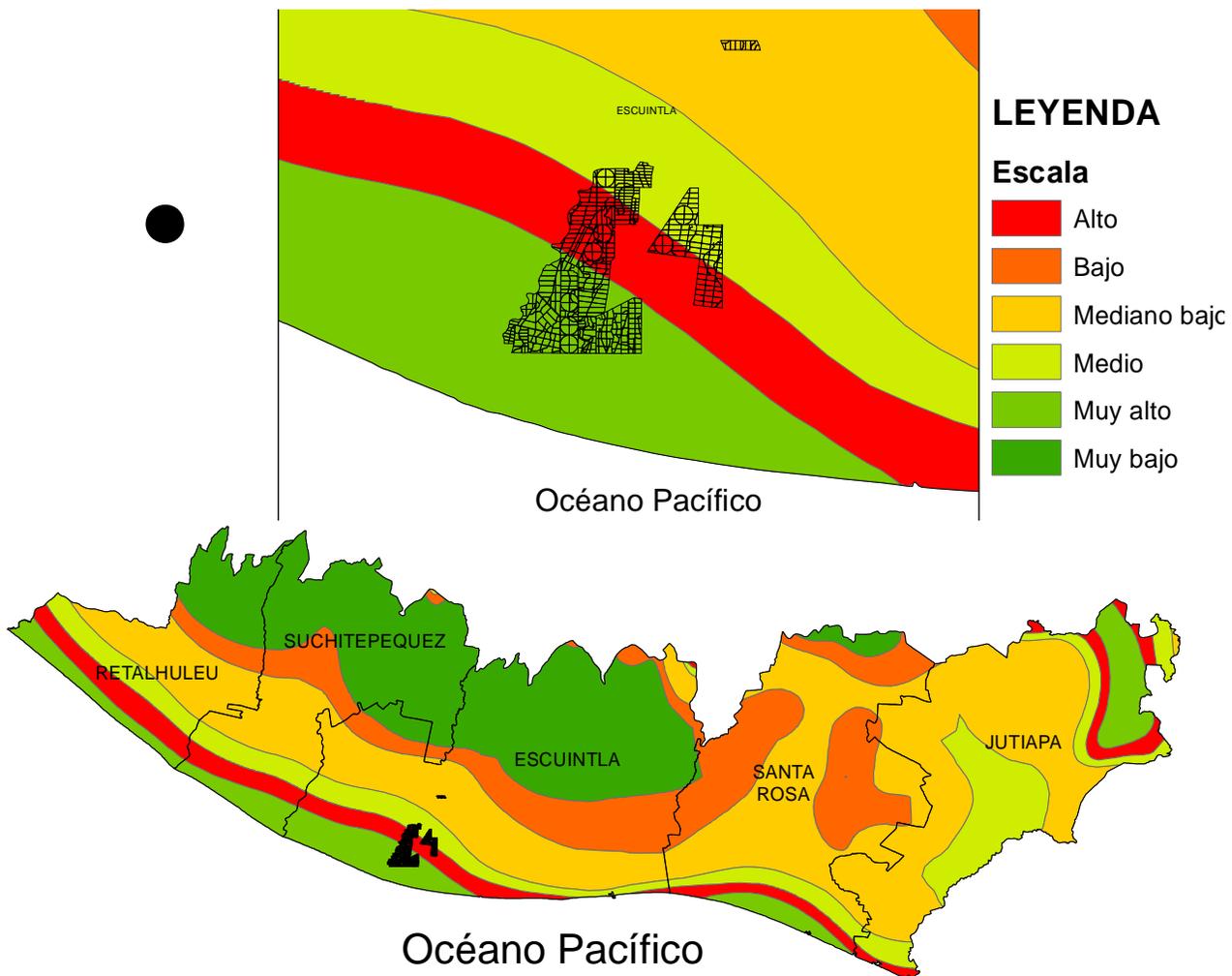
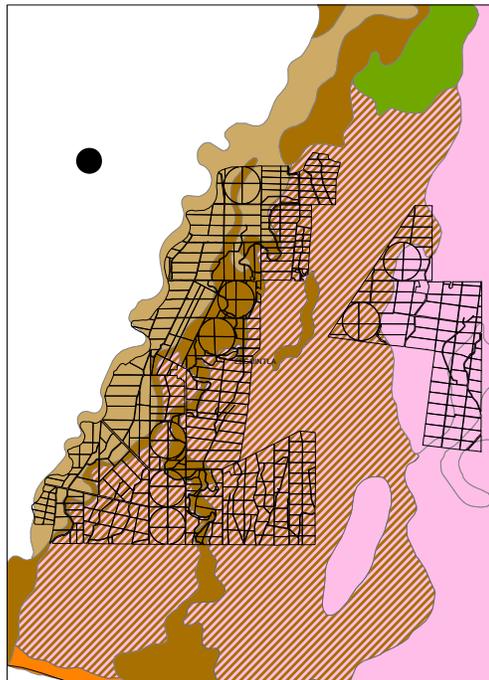
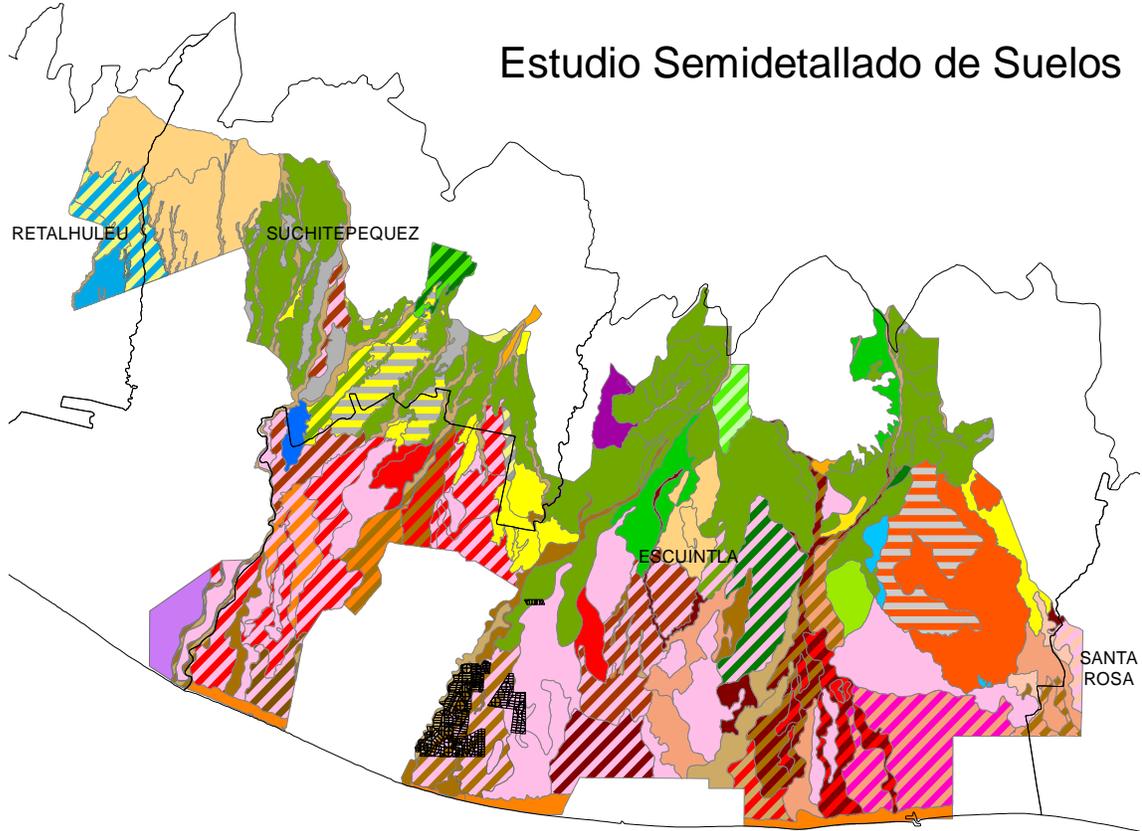


Figura 5. Mapa de Susceptibilidad a Sequia.

Fuente: Adaptado de Shapes de MAGA (2006).

De estos estudios se ha determinado por parte del Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación (MAGA), las áreas propensas a padecer sequias, encontrándose que la zona de producción seis en una zona de alto riesgo a muy alto riesgo en su parte baja.

Estudio Semidetallado de Suelos



LEYENDA

(BA-CA)p	(PR-PD)p	MBa1	TDb2
(BA-CA)p-N	(RB-BA)p	MBb1	TDC2
(BA-RA)p	(RB-RA)p	MCp	TDp
(CA-PM)p	(RB-RD)p	MEa	TEa
(CA-PM)p-N	(RG-RN)p-N	MEb1	TEa1
(EA-BA)p	(RM-BA)p-N	MEb2	TFa1
(LD-YB)a1-M	(RM-PD)p-N	MEd2	TFa1-M
(LD-YB)b1-M	(TC-TM)a1-S	MEpy	TFp
(MG-MK)a1	(TD-ME)a	MHa1-M	TGa
(MK-MG)b1	(TG-TD)a1-M	MKa1	TGa1-M
(PC-PD)p	(TH-TF)p1-M	MKb1	TGb2
(PC-PD)p-N	(TH-VB)b1-M	MKb2-M	TGb2-M
(PC-PM)a1	BAp	Mb1	TGp
(PC-PM)p	BAp-N	Md-Dd2	THa1
(PD-BA)p	BAp1-M	PCp	THa1-M
(PD-CA)p	CAP	PCpy	THa1-S
(PD-PA)p-N	Dc2	PDp	THb2-S
(PD-PC)p	Dd2	PDp-N	THp-M
(PD-PM)p	EaA	PDp1-M	UAa
(PD-PM)p-N	EAp	PLp	UAa1-M
(PD-PR)a1	EAp-y	PMa1	UAa2-M
(PD-PR)p	Fb1	PMp1	VAp
(PD-TE)a1	Fb1-Dc2	RAp-N	VBp
(PD-VB)p1	Ga	RDp	WAb1
(PL-PD)a	Gb1	TBp1-M	WAb2
(PM-BA)p	LDb1	TDa	XAb2-N
(PM-EA)p-N	Laguneta	TDa1	YBa1-M
(PM-PD)p-N	Lb-Db2	TDb1	ZAp-N

Figura 6. Mapa de Clasificación de Suelos de la zona cañera del sur de Guatemala.

Fuente: SIAP-CENGICAÑA

En este estudio se ha descrito en términos generales algunas de las características Edafoclimáticas imperantes en la costa sur de Guatemala, así como aquellas condiciones que afectan la producción de caña en la zona de producción seis del Ingenio Madre Tierra, en ese contexto se pueden citar las siguientes:

- Disminución de la precipitación cuanto más se descienda a la costa.
- Aumento de la radiación solar y la temperatura en dirección al mar.
- La disminución de la precipitación y el aumento de temperatura aumenta la susceptibilidad a sequias en esta área, siendo más evidentes en años con episodio ENSO (NIÑO), donde hay reducciones de la precipitación.
- Según el mapa de suelos de CENGICAÑA hay suelos en la zona de producción seis que tienen problemas con retención de agua por ser muy arenosos, lo que aumenta el riesgo para la producción de caña.

1.5 CONCLUSIONES

- Según se muestra en la Figura 1, 3 y 4, la Zona de producción seis de producción del Ingenio Madre Tierra está localizada en un área cercana a la costa del Océano Pacífico y como ya se mencionó las precipitaciones pluviales disminuyen en dirección a la costa, caso contrario a la temperatura y la radiación solar que aumentan, propiciando un efecto negativo de sequías, lo que pone en riesgo la producción de caña (TCH), aumentando en los años con episodio ENSO (Niño), que es acompañado con disminuciones de precipitación.
- La existencia de suelos del orden Entidoles y Mollisoles, distribuidos a lo largo y ancho del área de cultivo de la Zona de producción seis, como consecuencia del flujo de agua proveniente del río Coyolate distribuidos por la red de quíneles, genera heterogeneidad con respecto a la capacidad de retención de agua por cada clase textural de suelo.
- En términos generales las características edafológicas que propician la susceptibilidad del cultivo de la caña en esta Zona a tener mermas en la producción, son aquellos suelos con clase textural arenoso, arena franca, franco arenoso conocido como vetas, así como la distribución de la precipitación pluvial que disminuye en dirección al mar, propiciando áreas susceptibles a padecer sequía, maximizados en años NIÑO.

1.5.1 RECOMENDACIONES

- Reforzar la red pluviométrica existente en el área de cultivo de la zona de producción seis del ingenio Madre Tierra.
- Hacer un análisis espacio – temporal con la información de las estaciones Bonanza y San Antonio el Valle de las diferentes variables climáticas.
- Realizar un estudio de Suelos para determinar las características físicas y químicas, lo que permitiría conocer la capacidad máxima de almacenamiento de agua por el suelo, así como de las condiciones nutricionales en que se desarrolla el cultivo.
- Realizar un modelo de balance hídrico espacio – temporal en la zona litoral centro, con un enfoque de uso de agua para riego.

1.5.2 BIBLIOGRAFÍA

- Brolo Feltrin, GA. 2004. Historia de la distribución de malezas en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la costa sur de Guatemala (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 30 p. Consultado 14 mar 2013. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2085.pdf
- CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. *In* Meneses, M. Balance hídrico. Guatemala. p. 203-362.

**2 CAPÍTULO II. BALANCE HÍDRICO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR
(*SACCHARUM SPP.*) EN ÉPOCA LLUVIOSA EN LA REGIÓN LITORAL CENTRO,
ZONA DE PRODUCCIÓN 6, INGENIO MADRE TIERRA, 2013, GUATEMALA C.A.**

**SUGAR CANE (*Saccharum spp.*) WATER BALANCE DURING RAINY SEASON IN THE
PRODUCTION AREA NUMBER SIX, SUGAR CANE MILL MADRE TIERRA, CENTRAL
COAST, GUATEMALA C.A., 2013.**

2.1 PRESENTACIÓN

La investigación en la zona de producción seis del ingenio Madre Tierra (MT) atiende a la problemática registrada en el año 2012, por la bajas en los rendimientos de TCH (Toneladas de caña por hectárea) que repercutieron a nivel de planta de procesamiento, de lo cual se aduce que fue resultado de la falta de aplicación de riego en época lluviosa, como lo reporta CENGICAÑA (2013) el año 2012 fue un año con episodio ENSO (NIÑO) lo que propició una disminución del aporte de agua pluvial.

En análisis posteriores realizados por el departamento de riegos de CENGICAÑA y el Ingenio Madre Tierra (MT) utilizando los registros meteorológicos de las estaciones del ICC (Instituto de Cambio Climático) se ha dicho que se registró una disminución del 51% de la precipitación en la zona litoral centro con respecto a los años 2011 ENSO (NIÑA) y 2012 ENSO (NIÑO).

En ese contexto el presente trabajo de investigación ha contribuido en la implementación de un modelo de Balance Hídrico Espacio – Temporal basado en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con una visión y enfoque del uso adecuado del recurso hídrico para fines de riego que a direccionado la aplicación de riego hacia áreas concretas durante el período de época lluviosa del año 2013.

Lo que generó la necesidad de estudiar las características edafoclimáticas del área como lo son: suelo, temperatura, precipitación y su comportamiento en términos espaciales y temporales con el fin de generar modelos que representen cada una de las variables, determinando la fluctuación de temperatura 0.1 °C a 0.6 °C entre las estaciones Bonanza y San Antonio el Valle considerado su cercanía al área de estudio y el efecto que ocasionan sobre la evapotranspiración del cultivo por medio de la metodología de Hargreaves, así como una variabilidad de los suelos (clase textural) producto de diversas inundaciones del río Coyolate.

Con estos análisis se ha realizado el balance en un escenario actual que contempla los datos de la precipitación registrada en el año 2013 de la red pluviométrica de la zona de producción seis, las estaciones Bonanza y San Antonio el Valle, en los meses de mayo a inicios de noviembre, entrada y salida de la época lluviosa en esta región y su validación a través de un sistema de monitoreo de humedad que se conoce como (DIVIER 2000) instalado en 10 puntos críticos (áreas arenosas) distribuidos en el área de estudio que fue producto del trabajo en conjunto de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC), el ingenio Madre Tierra (MT) y el departamento de riego del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

El balance hídrico direccionó la aplicación de riego en áreas concretas y contribuyó en la toma de decisiones gerenciales que llevaron a la anticipación y preparación de equipos necesarios para riego reduciendo de esta manera las pérdidas en TCH.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar está ubicada taxonómicamente de la siguiente manera:

División:	Embryophita siphonogama
Subdivisión:	Angiospermae
Clase:	Monocotyledoneae
Orden:	Glumiflorae
Familia:	Gramineae
Tribu:	Andropogonae
Subtribu:	Saccharae
Género:	Saccharum

2.2.2 ESPECIES DE SACCHARUM

El género *Saccharum* corresponde a un complejo constituido por seis especies; cuatro domesticadas (*S. officinarum*, *S. edule*, *S. barberi* y *S. sinensis*) y dos silvestres (*S. spontaneum*, y *S. robustum*) (Ruiz, 1995).

2.2.2.1 *Saccharum Officinarum*.

Esta especie originaria de Nueva Guinea, de donde se extendió a Indonesia, Indochina, Burma, India y otros lugares. Es conocida como la caña “noble”. Se caracteriza por un alto contenido de sacarosa, tallos gruesos y pesados, con bajo contenido de fibra y altura media, los entrenudos son cortos en forma de barril, generalmente coloreados (rosado, rojo, amarillo, púrpura, verde, entre otros); las hojas son anchas y se desprenden con facilidad. Son exigentes en clima y suelo; también son muy susceptibles a enfermedades. Generalmente los clones de esta especie tienen un número cromosómico $2n = 80$; sin embargo, en clones comerciales se han observado variaciones cromosómicas que oscilan entre $2n = 100 - 140$. Muchas de las características antes mencionadas hacen de esta especie un material ideal desde el punto de vista industrial y agronómico (Ruiz, 1995).

Se supone que esta especie es el resultado de la domesticación de tipos silvestre de **S. robustum**, planta empleada por los primitivos para masticar, por su bajo contenido de fibra y por su sabor bastante dulce. Sobre este aspecto se han propuesto otras teorías. (Ruiz, 1995)

2.2.3 ESTRUCTURA DE LA PLANTA

2.2.3.1 SISTEMA RADICULAR

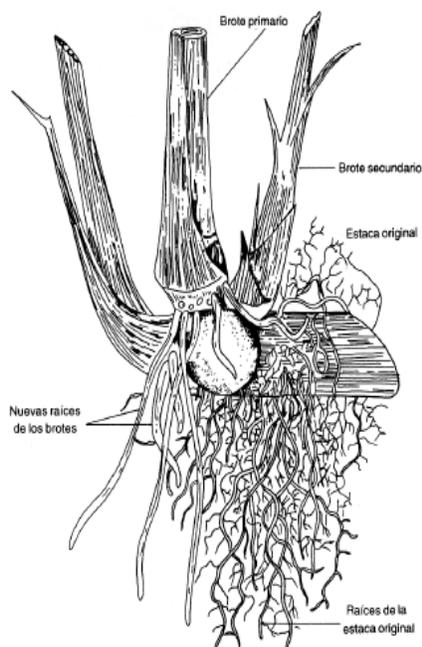


Figura 7. Sistema radicular de la caña de azúcar

Fuente: Humbert (1974) citado por CENICAÑA (1995)

Constituye al anclaje de la planta y el medio para la absorción de nutrientes y de agua del suelo, está formado por dos tipos de raíces (Figura 7). Raíces de las estacas originales o primordiales: se originan a partir de las bandas de primordios radical, localizadas 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 o “chulquines”, lo cual ocurren entre los 2 y 3 meses de edad.

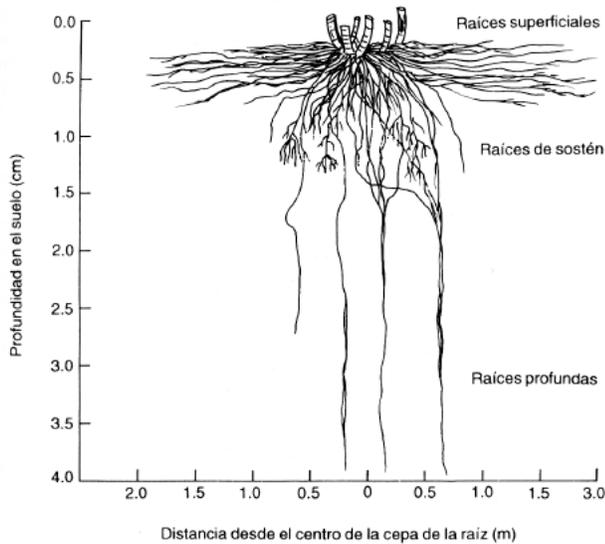
Raíces permanente: Brotan de anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes.

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 depende 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. Pero 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 esta distribución puede ser de dos tipos: (1) absorbentes o superficiales; (2) de anclaje o sostén; y (3) profundas (Figura 8). Las raíces superficiales predominan en los primeros 60 cm de profundidad y su distribución horizontal en el suelo alcanza hasta los 2 metros (Amaya Estévez, H. Cock, del Pilar Hernández, y E. Irvine, 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), 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 cm de profundidad, independientemente de la edad, la variedad y el corte.

Figura 8. Distribución de las raíces de la caña de azúcar

Fuente: Blackbur (1981)
citado por CENICAÑA (1995)

2.2.3.1.1 FACTORES QUE AFECTAN EL DESARROLLO RADICAL

En el desarrollo del sistema radicular influyen varios factores, entre ellos se citan los siguientes:

- a) Variedad
- b) Textura: suelos con porcentaje alto de arcilla reducen el crecimiento por constituir una barrera física para el crecimiento de la raíz.
- c) Compactación de suelo.
- d) Disponibilidad de agua: al someterse a déficit de agua los procesos fisiológicos se alteran; las raíces y, consecuentemente el resto de la planta deja de funcionar de forma adecuada.
- e) Nivel freático alto: la penetración de las raíces esta relaciona con el contenido de humedad en el suelo. Las raíces requieren oxígeno para realizar las funciones metabólicas. Si existen condiciones anaeróbicas por encontrarse el nivel de agua alto, o debido a drenaje deficiente, la densidad de raíces y la penetración de estas es poca. Cuando hay exceso de humedad, la planta no puede desarrollarse y, según sea la altura de la tabla de agua, su efecto podría ser dañino que incluso causaría su muerte. (Ruiz, 1995)

Por lo que un sistema radical bien desarrollado permite una eficiente absorción de agua y de sales minerales, proporciona mejora anclaje y tolerancia a la falta de humedad, especialmente en zonas arenosas (Ruiz, 1995).

2.2.3.2 EL TALLO

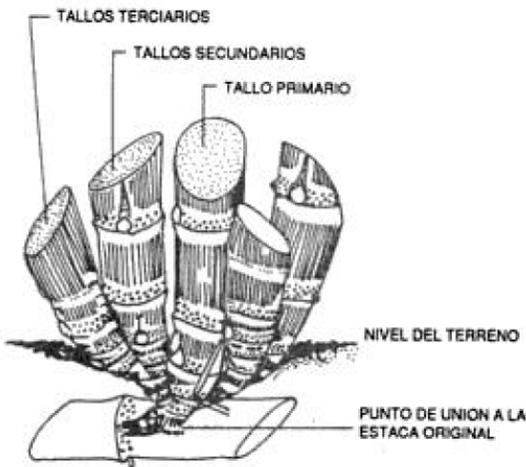


Figura 9. Macollamiento a partir de la "semilla" de la caña.

Fuente: Martín (1961) citado en Ruiz (1995).

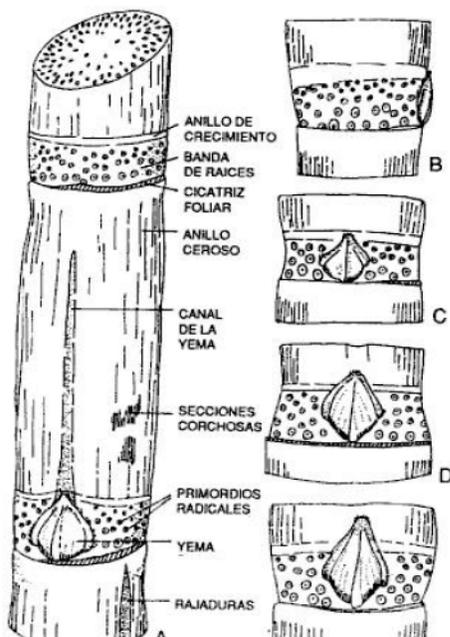


Figura 10. Sección del tallo mostrando los nudos y entrenudos.

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 obtiene la sacarosa y otros derivados como la melaza, bagazo y cachaza.

El tallo se forma en el momento de la germinación de las yemas, entonces se produce un primer eje (tallo primario) con sus respectivos nudos y entrenudos. Del tallo primario, a su vez, germinan yemas que producen nuevos brotes denominados tallos secundarios; de estos brotan yemas y se originan tallos terciarios y, así, sucesivamente, hasta constituir una aglomeración, proceso que se denomina macollamiento (Figura 9).

- A. Diagrama del nudo y entrenudo
- B. Banda de raíces anchas con primordios radicales
- C. Banda de raíces cortas con primordios radicales
- D. Banda de raíces en forma de cono invertido.

Fuente: Artschwager y Brandes (1958) citado por Ruiz (1995)

2.2.3.3 HÁBITOS DE CRECIMIENTO

Durante el crecimiento los tallos tienen diferentes comportamientos para disponerse. Esto es lo que se conoce como hábito de crecimiento. Lo ideal es que crezca en forma erecta, porque se facilita mucho las operaciones de cosecha, etc., Los arreglos son variados; erectos pero inclinados (ángulo abierto), curvados, postrados y en estados intermedios (Ruiz, 1995).

2.2.3.4 PARTES DEL TALLO

Para su estudio se dividen en dos secciones:

2.2.3.4.1 NUDOS

Es la parte del tallo donde nace la hoja (Figura 10.) En él se distinguen las siguientes partes:

- a) Cicatriz Foliar: Es la cicatriz que deja la hoja una vez que se desprende como consecuencia de un fenómeno natural de senescencia.
- b) Zona radical: Esta zona se ubica entre el anillo de crecimiento y la cicatriz foliar, en este punto se encuentran los primordios radicales que técnicamente corresponden a raíces adventicias.
- c) Anillo de crecimiento: Es la zona delgada que se sitúa entre la parte superior de la zona radical y la sección inferior del entre nudo. Corresponde a una sección meristemática (meristemo intercalar) que permite el alargamiento del entrenudo.
- d) Banda Cerosa: Situada en la sección inferior de la cicatriz foliar, la abundancia de esta cera difiere de una variedad a otra, también depende de las condiciones climáticas.

- e) Yema: Se encuentra en la banda radical, en la yema se distingue el prófalo, que es la primera hoja, el poro germinativo, por donde emergerá el tallo en el momento de germinar la yema; el ala, la zona central, punto de separación entre el ala y la zona central y el apéndice (Figura 11). Existe un número variado de formas de yemas, con mayor o menor cantidad de pelos epidérmicos (pubescencia); sus características depende de la variedad y son de gran utilidad taxonómica (Ruiz, 1995).

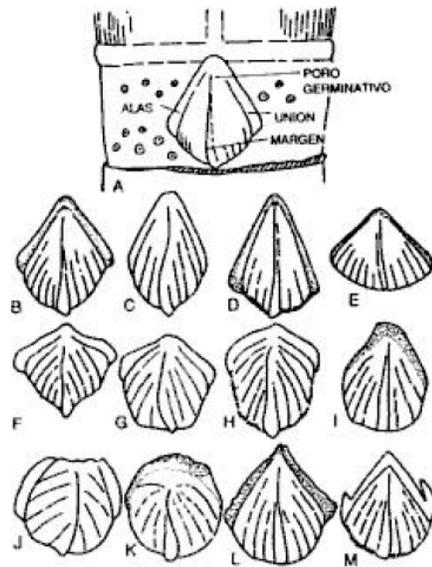


Figura 11. Morfología de las yemas del tallo.

- A. Estructura de la banda de raíces y yema, B. Ovada, C. Ovada angosta, D. Deltoide larga, E. Deltoide corta, F. Romboide, G. Pentagonal, H. Pentagonal, I. Ovada, J. Redondeada, K. Redondeada con foco germinativo en el centro, L. Ovada con alas en la región banal, M. Ovada con alas secundarias.

Fuente: Arschwager y Brandes (1958) citado por Ruiz (1995)

2.2.3.4.2 ENTRENUDOS

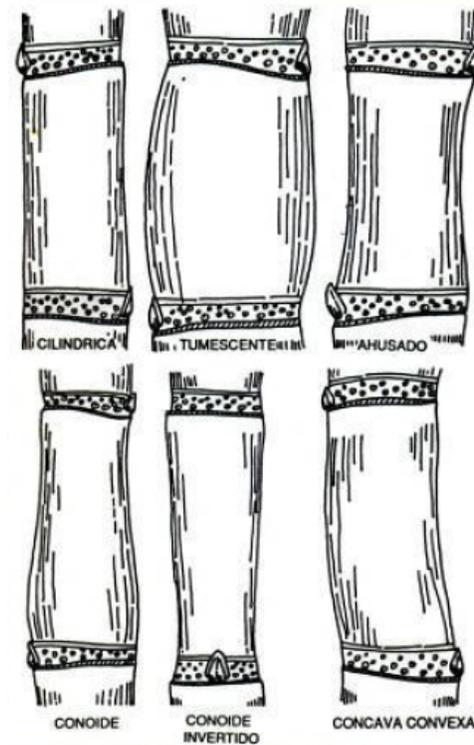


Figura 12. Formas de los Entrenudos

Fuente: Arschwager y Brandes (1958) citado por Ruiz (1995)

Es el espacio comprendido entre dos nudos. Los entrenudos a menudo son cortos en la parte interna del subsuelo, en la zona de inserción con el tallo madre, lo que facilita la formación de tallos secundarios. Por el contrario, en la base (zona cercana a la superficie del suelo) son gruesos y esta característica proporciona resistencia a la caída o ácame de la caña (Figura 10). Tienen formas muy variadas; los hay cilíndricos, en forma de barril, de zigzag, cóncava y convexa; es decir, existe toda una clasificación (Figura 12). El diámetro y la longitud están asociados con la variedad, pero los factores externos pueden tener mucha influencia, especialmente en la longitud (Ruiz, 1995).

2.2.3.4.3 PARTES DEL ENTRENUDO

- a) Canal de la yema: Depresión de longitud variable, observada en algunas variedades, es una adaptación morfológica que permite la salida y la expansión de la yema lateral cuando está cubierta por la vaina.
- b) Secciones corchosas: La superficie del entrenudo es básate lisa; sin embargo algunas veces presenta secciones suberizadas en la superficie del tallo, la abundancia de estas áreas corchosas corresponden a una característica de los clones.
- c) Tricomas: Esto depende de la variedad, hay de tipo epidérmico, de células silíceas (Ruiz, 1995).

2.2.3.4.4 LAS HOJAS

Se originan en los nudos y se distribuyen en posiciones alternas a lo largo el tallo. En la caña, la hoja está formada por lamina foliar y la vaina; la unión de estas dos partes se denomina lígula. El desarrollo y mantenimiento del área foliar verde es importante para asegurar que una mayor proporción de radiación lumínica incidente sea interceptada para realizar fotosíntesis y a partir de ella lograr una mayor producción de biomasa. (García & Toscano, 2007).

2.2.4 DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN CAÑERA

La región cañera productora de azúcar de Guatemala, se localiza en la vertiente del Pacífico, en los departamentos de Guatemala, Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu a lo largo de la planicie Costera; de Norte a Sur, comienza en las estribaciones de la Sierra Madre a unos 1200 msnm y se extiende hasta cerca del litoral a unos 150 msnm (CENGICAÑA, 2012).

La sierra Madre marca la división de las aguas territoriales de manera que las que se derivan hacia el Norte constituyen a Región Hidrográfica del Atlántico, y las que se derivan hacia el Sur, forman la región Hidrográfica del Pacífico. Los ríos principales que forman estas últimas son: Suchiate, Naranjo, Ocosito, Samalá, Nahualate, Madre Vieja, Coyolate, Guacalate, Michatoya y numerosos de sus afluentes que son alrededor de 84. Las aguas de muchos de ellos se usan para generar energía eléctrica, para irrigar terrenos agrícolas y para el sustento de la población y animales (CENGICAÑA, 2012).

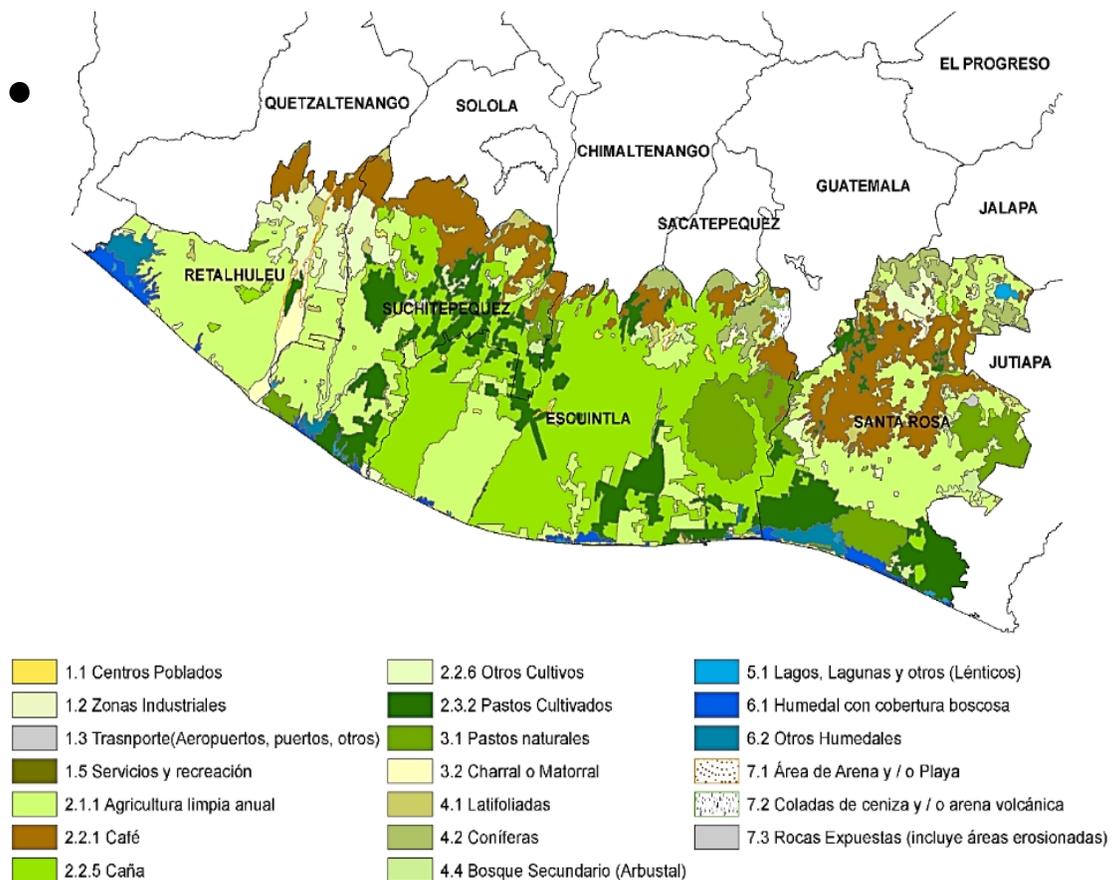


Figura 13. Mapa de Uso de la Tierra de la zona cañera de Guatemala del año 2006.

Fuente: Adaptación de Shape files del MAGA, 2006

2.2.5 CLIMAS DE LA REGIÓN CAÑERA

Guatemala por la posición cercana al ecuador debería ser un país tropical, sin embargo, por la topografía no uniforme posee gran variedad de climas que permiten diversidad de cultivos desde el cálido de las costas donde prosperan las palmeras, hasta el frío de las mesetas elevadas donde predominan los árboles forestales, extendiéndose al intermedio los climas templados de 600 a 1370 msnm propicios para el cultivo de la caña de azúcar y el café (CENGICAÑA, 2012).

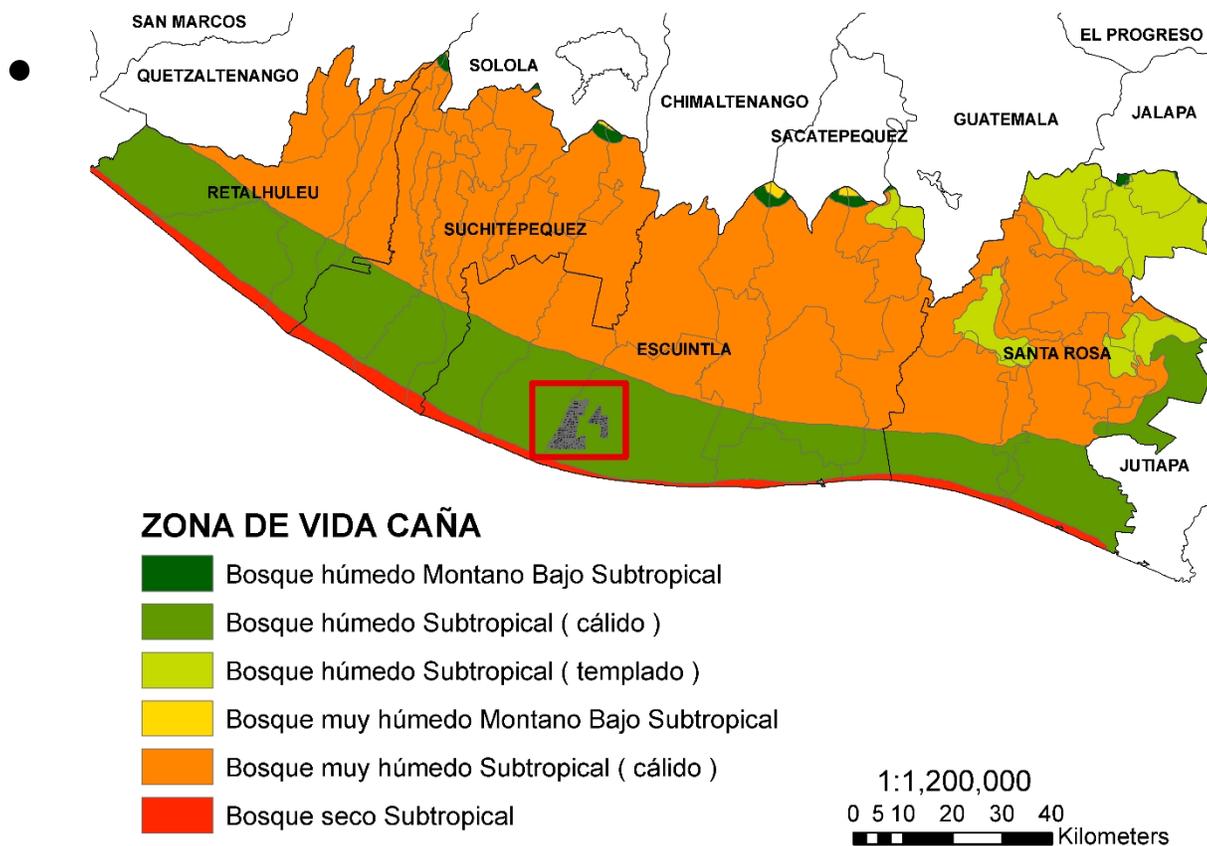


Figura 14. Mapa zonas de vida y clima de la zona cañera de Guatemala, año 2006.

Fuente: Adaptación de Shape files del MAGA, 2006.

El área de dispersión de la caña está limitada por un conjunto de factores que influyen para su buen desarrollo, entre los cuales el clima es uno de los más importantes. La temperatura, la humedad y la insolación, son determinantes para el crecimiento normal de las plantas y para inducir su madurez industrial, elevando al mismo tiempo los rendimientos de campo y mejorando la pureza de los jugos cuando llega la época de zafra.

De los meses de noviembre a febrero la caña retrasa su crecimiento aproximadamente un tercio en relación con el periodo comprendido entre mayo y agosto, y esto, más que el descenso de la temperatura, se debe al descenso de la insolación, ya que durante los meses más fríos los días son más cortos y por lo tanto las horas luz tienden a ser menores (CENGICAÑA, 2012).

Índices de temperatura para mejorar la caña de azúcar:

- a) La óptima germinación de las yemas se obtiene entre 32 y 38 °C.
- b) La temperatura óptima tanto para el crecimiento como para la mejor absorción de nutrimentos es de 27 °C.
- c) El margen de desarrollo normal fluctúa de 21 a 38 °C; las plantas retardan su crecimiento de 10 a 21 °C; las funciones fisiológicas se paralizan a menos de 10 °C y la caña sufre daños a menos de 2 °C por efecto de las bajas temperaturas.

2.2.6 IMPORTANCIA DEL RIEGO EN LA CAÑA DE AZÚCAR

El riego en la zona cañera de Guatemala es una actividad muy importante, se desarrolla junto con la zafra en el período seco, del 15 de noviembre al 15 de mayo. La actividad del riego se incrementa en dirección al mar, debido al aumento del déficit hídrico (CENGICAÑA, 2012).

A lo que según Flores (1984), reflexiona en cuanto al recurso agua como “el agua es la sangre de la agricultura” de tal forma que la planta solo aprovecha aproximadamente el 0.01% para los procesos fisiológicos y el 99% para procesos físicos, en consecuencia la caña de azúcar por ser una planta necesita agua para su desarrollo fisiológico (Madrigales Barrios, 1999).

Las condiciones en que se maneja el cultivo de la caña de azúcar en la costa sur de Guatemala son muy heterogéneas; en los diferentes tipos de suelo se generan diversas capacidades de almacenamiento y/o aporte de agua; el clima, propicia varios comportamientos de déficit hídrico, según la altura sobre el nivel del mar; y la caña, al sembrarse en distintas fechas (tercios) genera que la respuesta de la caña al riego sea diferente (CENGICAÑA, 2012).

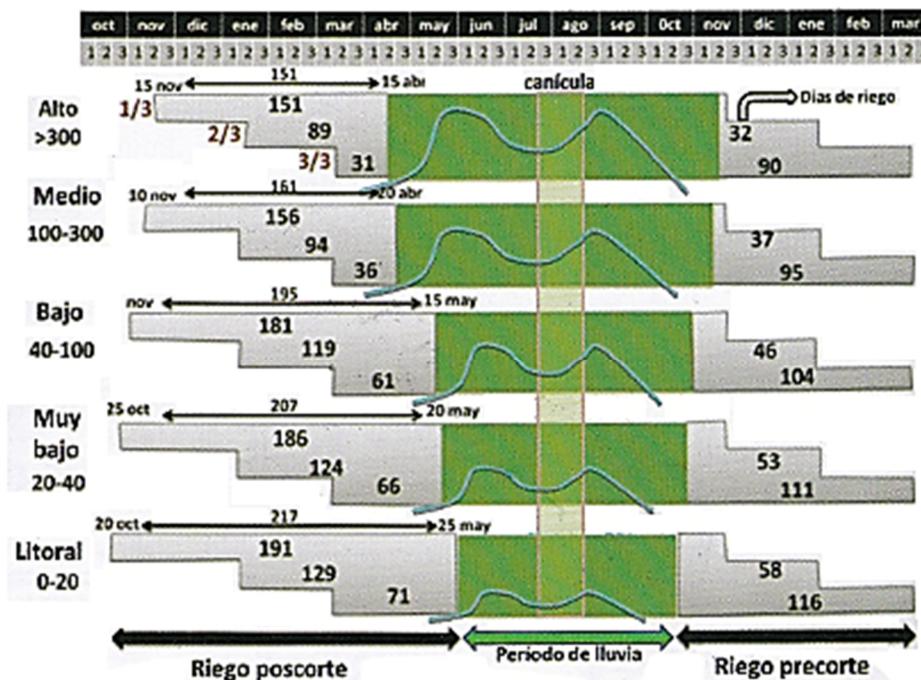


Figura 15. Información días promedio de déficit hídrico, días para riego después y antes del corte en cada uno de los períodos de zafra y estratos altitudinales.

Fuente: (CENGICAÑA, 2012).

Nota: Desde el punto de vista de riego se definen cinco estratos altitudinales.

2.2.6.1 RIEGO EN LA CAÑA DE AZÚCAR

El riego es una operación costosa, por lo que amerita estudios para establecer pautas científicas en cuanto al uso racional del agua. Juárez (1998) define los siguientes beneficios o ventajas del riego en caña de azúcar:

- Incrementa el rendimiento y asegura la producción comercial del cultivo.
- El rebrote es más rápido, especialmente cuando se presenta un período seco después de la cosecha.
- Incrementa el número de socas en el cultivo.
- Mejora la germinación en condiciones de suelos difíciles de cultivar (Madrigales Barrios, 1999).

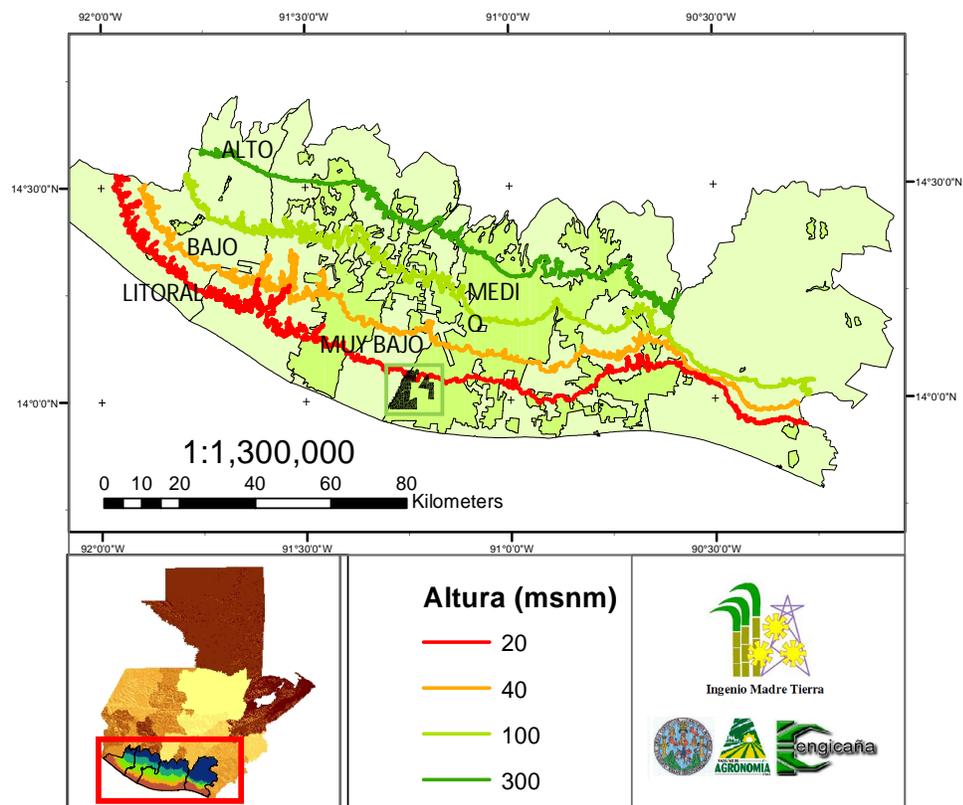


Figura 16. División de cinco estratos msnm con fines de riego.

CENGICAÑA establece cinco estratos altitudinales con fines de riego (Figura 16).

2.2.6.2 ETAPAS DE DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Según Juárez (1998) la caña de azúcar en Guatemala normalmente se cosecha a los 12 meses de edad. Las etapas de desarrollo que se manifiestan en época seca y que son objeto de riego son fundamentalmente la germinación y macollamiento y una gran fracción de la etapa de elongación en variedades tempranas, la germinación y macollamiento e inicios de la elongación en variedades intermedias y riego en etapa de cosecha o finales de la elongación en variedades tardías (riego pre-corte) (Madrigales Barrios, 1999).

Los resultados obtenidos por Juárez (1998) indican respuestas no significativas a aplicaciones de riego en la etapa de macollamiento y una gran respuesta cuando tienen lugar las aplicaciones durante el crecimiento activo o elongación. De acuerdo a los muestreos realizados por Juárez, la variable desarrollo que es generalmente afectada por las aplicaciones de riego es la altura de la planta la cual afecta o correlaciona en gran medida con el tonelaje final (Madrigales Barrios, 1999).

2.2.7 SUELOS DE LA ZONA CAÑERA

El material sobre el cual se han desarrollado los suelos de la región cañera está principalmente constituidos por cenizas, lapilli, pómez y otros materiales piroplásticos, derivados de las erupciones volcánicas ocurridas en diferentes épocas, principalmente durante la cuaternaria (CENGICAÑA, 2012).

Las características mineralógicas y granulométricas de los materiales varían de un lugar a otro, según su localización geográfica, considerada, básicamente en relación con las distancias al cono volcánico. La alófana es el material predominante en los suelos de las partes altas y medias, en cuanto que las partes más bajas hay presencia de haloisita y arcilla tipo 2:1 probablemente esmectita, en estas partes bajas al occidente y oriente de la región (CENGICAÑA, 2012).

2.2.8 FACTORES EDAFOLÓGICOS

- a) Profundidad del suelo: Para que el sistema radicular de la caña de azúcar se pueda desarrollar abundante se requiere un suelo que tenga por lo menos 0.60 metros de capa arable, que permita el uso de implementos mecánicos y formar una buena “cama de siembra” para que las plantas profundicen sus raíces y logren absorber la humedad del subsuelo. De acuerdo con el crecimiento normal de la caña independiente de la variedad, el 85% de las raíces se concentran en los primeros 0.6 metros de profundidad y hay raíces que pueden alcanzar hasta 2 metros de profundidad pero son escasas (CENGICAÑA, 2012).

- b) Drenaje del suelo: El drenaje es básico para la planta y favorece la capacidad para emitir raíces profundas y vigorosas, por lo tanto tiene gran influencia en el desarrollo de la caña, pues en un terreno mal drenado, el agua ocupa la parte de los espacios vacíos en donde circula aire. Cuando el agua se estanca en la parte baja, impermeable de un terreno y su textura se encuentra saturada, se presentan condiciones inadecuadas para el crecimiento de las raíces debido a la falta de oxígeno; esto causa marchitamiento del follaje, las hojas toman un color verde pálido. Cuando el suelo se seca aumenta la concentración de sales en pequeñas áreas del terreno lo cual afecta el sistema radicular y su funcionamiento de absorción de nutrimentos (CENGICAÑA, 2012).

2.2.9 SUELOS PREDOMINANTES EN LA COSTA SUR

Para la clasificación de suelos realizada en 1993 y 1994 para la zona cañera se utilizó el sistema *Soil taxonomy* hasta el nivel de familias (*Soil survey staff*, 1992). De acuerdo con el estudio Semidetallado de Suelos, elaborado por Sánchez et al en 1994, existen en la región 6 órdenes, 26 subgrupos y 37 familias de suelo. Los cuatro órdenes más importantes en el área representan 34 familias y 23 subgrupos de suelos (CENGICAÑA, 2012).

2.2.9.1 MOLLISOLES

Ocupan el 40% del área cañera de Guatemala. Se encuentran en el cuerpo y pie de los abanicos, cerca de la planicie costera en relieve ligeramente plano a plano. Presenta un horizonte superficial grueso de color oscuro, rico en materia orgánica, saturación de bases mayor de 50% en todos sus horizontes y un grado de estructura de moderado a fuerte. Predominan las estructuras franco arenoso, franca y franco arcilloso arenosa, y de subsuelo frecuentemente arenoso. El pH varía de ligeramente ácido a neutro (FELTRIN, 2004).

2.2.9.2 ANDISOLES

Ocupan el 26% del área y se encuentran en el cuerpo y ápice de los abanicos al pie de la cadena montañosa, su origen son cenizas volcánicas. El relieve es ligero a fuertemente ondulado en las partes altas y ligeramente inclinado en el cuerpo de los abanicos. Son suelos poco evolucionados de color muy oscuro, con alto contenidos de materia orgánica, de baja densidad aparente, consistencia friable a suelta, desarrollados principalmente sobre materiales amorfos. Reacción ácida a ligeramente ácida y de alta calidad de retención de fósforo. Textura franca a franco arenoso (FELTRIN, 2004).

2.2.9.3 ENTISOLES

Son los suelos menos evolucionados presentes en el área de estudio y ocupan un 16% de la misma. Se encuentra en los valles y expláyatenos aluviales en forma de fajas angostas y largas con aplicaciones en el cuerpo y pie de los abanicos cercanos a la costa. Tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos. Son suelos permeables de textura gruesa y arenosa. El subsuelo es generalmente arenoso y gravilloso incluidas las vetas arenosas. Presenta déficit de agua durante la estación seca (FELTRIN, 2004).

2.2.9.4 INCEPTISOLES

Se encuentran en un 11% del área en el ápice y cuerpo de los abanicos. Presentan un relieve plano a ligeramente inclinado, desarrollados principalmente sobre materiales arcillosos, mezclados con cenizas volcánicas y fragmentos de roca. Son suelos medianamente evolucionados y presentan horizontes de alteración con estructuras bien desarrolladas que han perdido bases o hierro y aluminio, pero aún retienen ciertos minerales fácilmente alterables lo que los hace tener capacidades medias a altas de intercambio catiónico. Su textura es franca y arcillosa sobre un subsuelo arcilloso (FELTRIN, 2004).

2.2.9.5 ALFISOLES

Ocupan solamente el 1.6% de los suelos del área, y se localizan en el cuerpo de los abanicos antiguos, en relieve ondulado a ligeramente ondulado. Estos suelos se caracterizan por tener un horizonte B argílico, en donde parte de la arcilla de los horizontes superiores del perfil migró hacia el subsuelo. La textura predominante es arcillosa, los horizontes masivos y compactos son frecuentes, lo mismo que la presencia de sales o sodio. Las características químicas y físicas de estos suelos, exigen prácticas de manejo especiales para evitar su degradación total (FELTRIN, 2004).

2.2.9.6 VERTISOLES

Los suelos vertisoles ocupan una mínima extensión (0.5%) y se caracterizan por su alto contenido de arcilla especialmente montmorillonita, la cual hace que los suelos se agrieten fuertemente en la época seca y se hinchen en la estación lluviosa (FELTRIN, 2004).

2.2.10 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON EL RIEGO

2.2.10.1 TEXTURA

La textura del suelo hace referencia a las proporciones de limo, arcilla, arena, de diversos tamaños en los que se presentan sus partículas minerales con independencia de su composición química.

La descripción de la textura de un suelo se realiza especificando los porcentajes de partículas totales cuyo tamaño está comprendido entre límites determinados, según diversas escalas. Entre las empleadas, las más utilizadas son la de USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y las de la ISSS (Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo) (Sandoval Illescas, 2007).

Cuadro 1. Escala de la Textura de suelo según USDA.

ESCALA DEL USDA	
Arena muy gruesa	2-1 mm (2000 – 1000 μ)
Arena gruesa	1-0.5 mm (1000 – 500 μ)
Arena mediana	0.5 – 0.25 mm (500 – 250 μ)
Arena muy fina	0.25 – 0.1 mm (250 – 100 μ)
Limo	0.05 – 0.002 mm (50 – 2 μ)
Arcilla	< 0.002 mm (< 2 μ)

Fuente: Corás (1983) citado por Irungaray Guzman (1997).

Cuadro 2. Escala de la Textura de suelo según ISS.

ESCALA DEL ISS	
Arena gruesa	2 – 0.2 mm (2000 -200 μ)
Arena fina	0.2 – 0.02 mm (200 – 20 μ)
Limo	0.02 0.002 mm (20 – 2 μ)
Arcilla	<0.002 mm (<2 μ)

Fuente: Corás (1983) citado por Irungaray Guzman (1997).

- a) Suelos arenosos: Retienen poca humedad y tienen a secarse. Tienen poca habilidad para retener los nutrientes. Poseen por naturaleza baja fertilidad. Tienen rápida percolación. Es necesario aplicar frecuentemente materiales orgánicos y nutrientes inorgánicos. Se trabajan con facilidad (Sandoval Illescas, 2007).
- b) Suelos francos y franco limoso: Poseen buena penetración y retienen bien el agua y los nutrientes. Su fertilidad natural va desde media a alta. Se pierde poca agua y nutrientes por lixiviación. Los mejores suelos agrícolas quedan dentro de éste rango (Sandoval Illescas, 2007).
- c) Suelos franco-arcillosos y arcillosos: Tienen poca penetración de agua, retienen grandes cantidades de humedad, parte de la cual no está disponible para la planta. La pérdida de nutrientes por percolación es muy reducida. Sus principales problemas son la compactación, la forma de costras, el drenaje y la labranza (Sandoval Illescas, 2007).

2.2.10.2 CAPACIDAD DE CAMPO (CC)

Es un parámetro físico del suelo que refleja el contenido de humedad que el suelo puede retener inmediatamente después que el agua gravitacional ha drenado. Es decir que es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad.

El concepto de capacidad de campo es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no existan desperdicios ni falta de agua a la planta (Sandoval Illescas, 2007).

La tensión a la que el agua esta retenida en un suelo libre de sales cuando se está a capacidad de campo varía entre 1/10 de atmósfera para suelos arenosos y 1/3 de atmósfera para suelos arcillosos Flores (1984). Los valores de CC se utilizan para determinar la cantidad de agua a aplicar por riego.

2.2.10.3 PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE

Es definida como el porcentaje o contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración. Al alcanzar el suelo valores de PMP las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aun cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada en la que casi no se produce consumo de agua. El PMP corresponde al límite inferior de la humedad aprovechable por lo vegetales (Irungaray Guzman, 1997).

2.2.10.4 DENSIDAD APARENTE

La DA de un suelo es el peso de suelo seco por unidad de volumen de suelo, incluyendo los poros, se expresa en gramos por centímetro cúbico.

$$Da = Pss/Vt$$

Dónde:

Da = densidad aparente (gr/cc)

Pss: Peso de suelo seco (gr)

Vt = Volumen total de suelo (CC)

2.2.10.5 EVAPORACIÓN

Es la pérdida de agua en forma de vapor que se da en el terreno que rodea a la planta, así como en el agua libre de la superficie en la planta misma.

La evaporación del agua del suelo se ve afectada por los mismos factores que afectan a la evaporación de una superficie libre de agua, como lo son, principalmente, la radiación solar, la temperatura, el viento y la presión de vapor; sin embargo la diferencia está en que, a medida que la velocidad de evaporación se incrementa, el suelo es incapaz de mantener la humedad en la superficie evaporante, por lo que baja la evaporación del suelo (Sandoval Illescas, 2007).

A lo anterior hay que agregarle el hecho de que muy difícilmente existe un mecanismo de suministro permanente de agua, por lo que la disponibilidad de agua para evaporar baja y entonces baja la evaporación del suelo (Sandoval Illescas, 2007).

2.2.10.6 TRANSPIRACIÓN

Es la pérdida de agua de la superficie de las hojas en forma de vapor. Aun cuando es fundamentalmente un proceso de evaporación, se encuentra afectado por la estructura y fisiología de la planta, así como por los factores físicos que controlan la evaporación (Sandoval Illescas, 2007).

La planta absorbe agua del suelo y lo transporta a través del xilema hasta llegar al mesófilo de las hojas, después de haberla utilizado en sus procesos fisiológicos. En la hoja están las estomas a través de los cuales se escapa el agua en forma de vapor. Existe también la transpiración a través de la epidermis, llamada transpiración cuticular (Sandoval Illescas, 2007).

Las plantas retienen una pequeña parte del agua que absorben las raíces. Si la velocidad de evaporación en las hojas excede a la absorbida por las raíces, se pone en marcha el proceso de marchitamiento y el desarrollo vegetal se dificulta. Por otro lado si las condiciones son tales que estimulan la excesiva transpiración (exceso de lluvia o riego) el agua utilizable no se emplea de modo eficaz (Sandoval Illescas, 2007).

2.2.10.7 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Definido como la cantidad de agua evapotranspirada por una superficie extensa cubierta por una vegetación baja que se encuentra en pleno crecimiento y sin restricción en el suministro de agua esta se encuentra en estado libre. El clima es el factor que más influye en la magnitud de este valor; en especial, la radiación solar, la temperatura, la humedad ambiental y el viento. (Ruiz, 1995).

2.2.11 EVAPORACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Los métodos más utilizados para riego se basan en el conocimiento de la evaporación del cultivo. La evapotranspiración o uso consuntivo, corresponde al proceso combinado del agua perdida por evaporación directa desde la superficie del suelo y transpiración de las hojas de las plantas (Madrigales Barrios, 1999).

La evapotranspiración (ETP), es afectada por factores como la edad del cultivo, condiciones de clima y suelo. Cuando las condiciones de humedad del suelo permiten un adecuado suministro de humedad, la planta puede transpirar a su máxima capacidad y el valor obtenido de evapotranspiración es conocido como ETP (ET potencial).

Bajo las condiciones de los cultivos comerciales el contenido de humedad del suelo es variable y el valor de ET obtenido es conocido con el nombre de ET actual y es utilizado para asignar los requerimientos de agua a las plantas, permitiendo a su vez establecer programas de riego con base en el balance hídrico (Gomez Hernandez, 1997).

Estudios realizados con información obtenida de Australia, Hawaii, Marruecos y Sudáfrica, han permitido observar que la producción de caña y sacarosa se correlacionan con la evapotranspiración, como se observa en el figura 3. Generalmente los valores obtenidos se multiplican por una constante que ajusta los datos experimentales con los valores comerciales (Ruiz, 1995).

Cuadro 3. Relación entre la Evapotranspiración y el rendimiento de caña y sacarosa

RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EL RENDIMIENTO DE CAÑA Y SACAROSA	
ITCH	$(9.69(\text{mm Et}/100)-2.4$
TSH	$-22.65+4.4923(\text{Et mm}/100)-0.01419(\text{Et mm}/100)^2$
TCH	Toneladas métricas de caña/ha (r 0.95)
TSH	Toneladas métricas de sacarosa/ha (r 0.78)

Fuente: Thompson (1976) citado por Ruiz (1995).

2.2.12 REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El período vegetativo de la caña de azúcar puede ser dividido en 3 etapas: germinación y macollamiento (0 – 5 meses), crecimiento (5 – 10 meses) y maduración (10 – 14 meses). En los primeros estados del cultivo, las plantas son pequeñas y los requerimientos de agua no son muy altos; cuando el cultivo entra en la etapa de crecimiento la población se estabiliza, durante este período los requerimientos de agua y nutrientes son altos y el cultivo no debe de ser sometido a déficit de humedad de lo contrario la producción puede ser afectada; en el período de maduración, el crecimiento del cultivo se disminuye y la planta concentra azúcares en los tallos; en este período es conveniente restringir los riegos con el propósito de no estimular el crecimiento, lo cual afectaría la calidad de la caña. Para obtener una máxima producción de azúcar por unidad de área, es necesario aplicar suficiente agua en el período de crecimiento, restringir los riegos y no aplicar fertilizantes nitrogenados en el período de maduración (Gomez Hernandez, 1997).

2.2.12.1 COEFICIENTE DE “K”

Las variables características de la cobertura vegetal (natural o cultivada), de las condiciones edáficas y de los niveles de humedad en el suelo, tanto en las tres dimensiones del espacio como en la dimensión del tiempo, modifican la evapotranspiración definida como potencial (ETp). De esta manera, ETp incluye los aspectos de orden físico que dependen del clima, mientras que el factor de cultivo K, considera el efecto que se deriva de la planta, el suelo, el nivel de humedad y el manejo del cultivo (Irungaray Guzman, 1997).

El coeficiente K y su variación a lo largo del ciclo vegetativo, es una excepción de las características morfológicas y fisiológicas del cultivo y de la incidencia que en él tiene el ambiente edáfico, en cuanto al volumen de suelo que las raíces exploran y la disponibilidad de nutrientes, agua y aire (Irungaray Guzman, 1997).

Los factores que afectan el K pueden agruparse en tres coeficientes Grassi (1966):

$$K = K_c K_h K_s$$

Dónde:

K_c = es el coeficiente del cultivo

K_h = es el coeficiente de nivel de humedad del suelo

K_s = es el coeficiente de suelo y otros factores agro – culturales

2.2.12.2 PROGRAMACIÓN DE LOS RIEGOS EN LA CAÑA DE AZÚCAR

El manejo del recurso hídrico exige la determinación de la cantidad y frecuencia de aplicación de los riegos. El tanque evaporímetro Clase A, ha sido utilizado en Hawaii, Sur África y Taiwán, para estimar los requerimientos de riego de la caña de azúcar con buenos resultados. Los factores climáticos que afectan la evaporación del agua desde una superficie libre, son los mismos que afectan la transpiración desde la superficie de las hojas, por consiguiente, el valor de la evaporación del tanque clase A es un buen estimado de la evapotranspiración (ET), a través de la siguiente expresión (Irungaray Guzman, 1997).

$$Et = K * Ev$$

El valor de K permite corregir la evaporación del tanque y su valor depende de la edad del cultivo y condiciones de suelo, Ev corresponde a la evaporación medida desde una superficie de agua libre. El uso del tanque evaporímetro para la programación de los riegos involucra el seguimiento de un balance hídrico en donde se cuantifican las diferencias entre las pérdidas y las ganancias de humedad en el suelo (Irungaray Guzman, 1997).

2.2.13 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico del suelo en equilibrio con el clima, es una forma de cuantificar la situación hídrica de un área determinada para un intervalo de tiempo dado. Al respecto, cabe destacar que se realizan con fines de planificación agrícola e hidráulica nacional, regional o zona I, o bien con fines de planificación, diseño y funcionamiento de un sistema de riego (Irungaray Guzman, 1997).

El balance hídrico puede realizarse con cualquiera de las formas para estimar la evapotranspiración potencial que se considere idónea, fijando la capacidad de almacenaje (lámina de humedad disponible) que corresponda a las características de los suelos y los cultivos que se expresen en el caso en consideración (Irungaray Guzman, 1997).

El período de déficit marca el lapso en el cual el cultivo dependerá de riego, y permite conocer la lámina de agua que representa la necesidad de riego. EL período de exceso por el contrario, da una indicación de la existencia de potenciales problemas de drenaje, si es que no existen condiciones naturales favorables para la evacuación de los excedentes Soubannier (1985). Un balance hídrico de intervalos de una semana permitirá individualizar periodos de sequía, que en condiciones afectan sensiblemente el rendimiento de los cultivos, en especial por tratarse de cultivos anuales, de raíz superficial, los lapsos de déficit aumentan al disminuir la capacidad de almacenaje de agua (Irungaray Guzman, 1997).

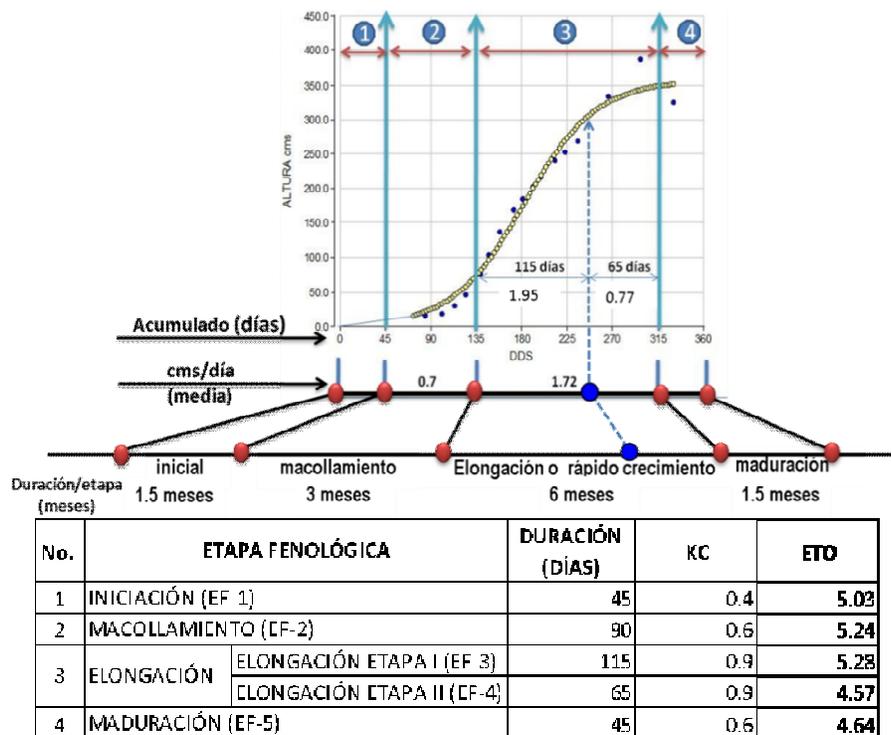


Figura 17. Etapa fenológica de la caña de azúcar en condiciones de la zona cañera de Guatemala.

Fuente: Ensayo en área lisimétrica, estación experimental. CENGICAÑA, (1997).

2.2.14 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Es un conjunto de “hardware”, “software”, dato geográfico y personal capacitado, organizado para capturar, almacenar, consultar, analizar y presentar todo tipo de información que pueda tener una referencia geográfica. Un SIG es una base de datos espacial (Puerta Tuesta, Rengifo Trigozo, & Bravo Morales, 2013).

2.2.14.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA RELACIONADOS CON EL BALANCE HÍDRICO

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un sistema de información geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

- a) Localización: Preguntar por las características de un lugar concreto.
- b) Condición: El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- c) Tendencia: Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- d) Rutas: Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- e) Pautas: Detección de pautas espaciales.
- f) Modelos: Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los sistemas de información geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial (Pérez, 1996).

Debido a ello se han elaborado diversos trabajos para la modelación de balances hídricos como el de la Universidad de los Andes “Un módulo SIG para un balance edafo-climático, basado en un software libre” (Andrades, 2011). Otro trabajo importante de mencionar es el “Modelado cartográfico en el SIG para el Balance Edafo-climatológico” también de la Universidad de los Andes (Pérez, 1996).

2.2.14.2 SONDA DE MONITOREO DE HUMEDAD

El monitorear el contenido de agua en el suelo es esencial para ayudar a los agricultores a optimizar la producción, conservar el agua, reducir los impactos ambientales y ahorrar dinero. El monitorear la humedad del suelo le puede ayudar a tomar mejores decisiones en la programación del riego, tales como determinar la cantidad de agua a aplicar y cuándo aplicarla. También le puede ayudar a igualar los requerimientos de agua del cultivo con la cantidad de agua aplicada con el riego; y así evitar pérdidas de agua excesivas por percolación profunda o por escurrimiento o bien aplicar una cantidad insuficiente.

El exceso de irrigación puede incrementar el consumo de energía y los costos de agua, aumentar el movimiento de fertilizantes por debajo de la zona radicular, producir erosión y transporte de suelo y partículas de químicos a los canales de drenaje. El riego insuficiente puede reducir la producción de las cosechas (Enciso, Porter, & Péries, 1914).

2.2.14.2.1 SONDA PORTABLE DE HUMEDAD DE SUELO (DIVINER 2000)



El diviner 2000 es un sistema de medición de humedad en el suelo, robusto y portátil que registra la humedad a distintas profundidades de la zona radicular del cultivo.

El cual permite tomar la lectura de humedad del suelo insertando la sonda, en un tubo de espesor preciso y diámetro de tubo de acceso, por lo que no tiene contacto directo con el suelo, minimizando las perturbaciones del sistema radicular.

Figura 18. Sonda de monitoreo de humedad DIVINER 2000

Este sensor utiliza la tecnología de capacitancia, que proporciona mediciones continuas dentro del perfil del suelo, mediante la creación de un campo eléctrico de alta frecuencia alrededor del embolo que se extiende dentro del tubo de acceso en el suelo circundante, los sensores detectan los cambios en la constante eléctrica del suelo a lo largo del tubo, detectando aun las partículas más pequeñas de agua, dando una salida volumétrica de agua (mm de agua por 100 mm de suelo) (Enciso, Porter, & Péries, 1914).

2.3 MARCO REFERENCIAL

2.3.1 ÁREA Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS

El ingenio Madre Tierra está dividida en seis zonas, la zona de producción seis productora del 60% de la caña de azúcar (*Saccharum spp*), se localiza en la vertiente del Océano Pacífico, en el departamento de Escuintla, dentro del municipio de la Gomera, con una altitud de 45.73 msnm en la parte más baja y 175 msnm en su parte más alta, según el Instituto Geográfico Nacional (Martínez Fuentes, 2007).

Esta zona colinda al norte, con la finca Río azul perteneciente al ingenio La Unión y la Aldea Texcuaco, al oeste, colinda con la aldea Santa Odilia que pertenece al municipio de la Nueva Concepción y el río Coyolate, al este colinda con la aldea Las Chuspas y al sur con el Océano Pacífico (Martínez Fuentes, 2007).

La zona de producción seis se encuentra dividida en siete fincas, de las cuales Río Lindo posee la mayor área. El área mostrada es el área neta para la producción de caña de azúcar. El área superficial de cada finca se muestra en la Cuadro 4.

Cuadro 4. Fincas de la zona de producción 6, ingenio Madre Terra, año 2013.

Finca	Área (Ha)	%
Río Lindo	1585.35	30.32
Cantoira	1111.65	24
Laureles	1144.72	21.89
Pangola	1255.17	21.26
La Garrucha	100.25	1.92
Santa Cecilia	32,44	0.62
Total	5229.57	100

La zona de producción 6 de producción del ingenio Madre Tierra, se encuentra a una distancia aproximada de 140 km del departamento de Guatemala y 49 Km de distancia de la entrada del ingenio Madre Tierra.

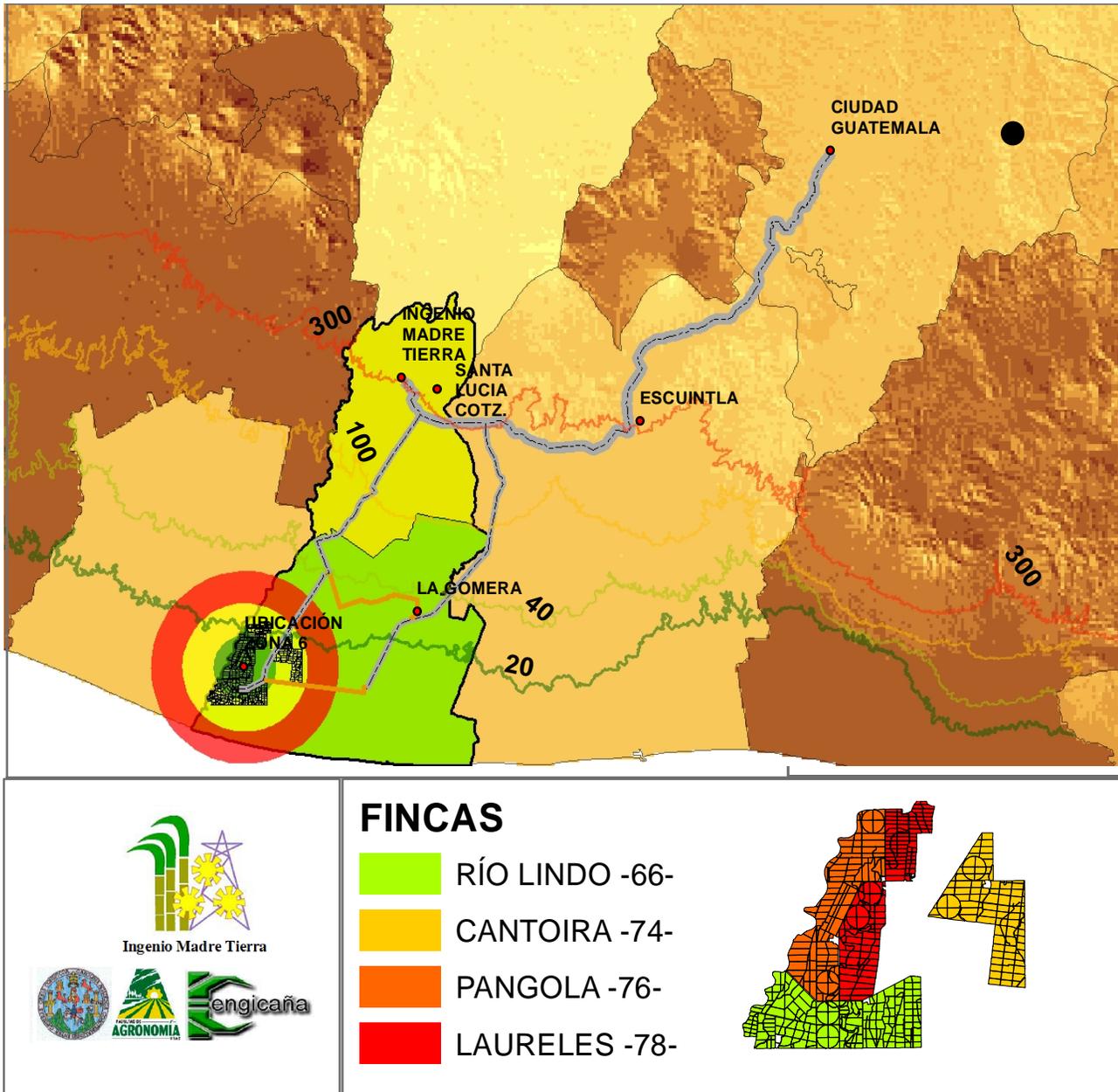


Figura 19. Ubicación fincas zona de producción Seis (6) de producción del ingenio Madre Tierra, Año 2013.

2.3.2 CONDICIONES EDAFOLÓGICAS

De acuerdo al estudio semi-detallado de suelos elaborado por CENGICAÑA, en la zona 6, del ingenio Madre Tierra se encuentran suelos del orden de los entisoles y mollisoles, los primeros forman parte de explayamientos y cauces de los ríos ubicados en un relieve plano o ligeramente inclinado, debido a la textura gruesa estos suelos tienen muy baja capacidad de retención de humedad, los segundos son suelos profundos y moderadamente profundos, limitados en ciertas zonas por el nivel freático, la capacidad de retención de humedad es media (Martínez Fuentes, 2007).

2.3.3 ZONAS DE VIDA

Según De La Cruz, la zona de producción seis se encuentra ubicada dentro de la zona de vida del Bosque Húmedo Subtropical (cálido) (Figura 14), además menciona que posee un clima cálido con una temperatura promedio de 30°C, la cual tiende a elevarse de marzo a mayo.

La humedad relativa para toda la zona es del 78 por ciento, con un promedio de 9 a 10 horas luz diarias, factor muy importante para el buen rendimiento de la caña de azúcar, basados en sus características fisiológicas, las cuales se enmarcan en una fisiología tipo C4, la cual tiene la capacidad de realizar la fotosíntesis de una excelente forma para las horas luz diarias que se reportaron anteriormente (Martínez Fuentes, 2007).

2.3.4 VÍAS DE ACCESO

Existen dos vías de acceso para llegar a la zona de producción seis, tomando como punto de partida el ingenio Madre Tierra.

2.3.4.1 VÍA DE ACCESO UNO

Teniendo como punto de partida el ingenio Madre Tierra, desplazarse sobre la carretera asfaltada del Pacífico denominada CA-2 y dirigirse hacia el kilómetro 89, ubicado en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, hasta llegar específicamente al aserradero Estrada, desde este punto desplazarse hacia el Sur hasta llegar a la Aldea El Cerro Colorado, a partir de El Cerro Colorado recorrer 6 kilómetros hacia el Sur hasta llegar a la entrada de la finca El Silencio, de la entrada de la finca el Silencio recorrer 17 kilómetros hacia el Sur Oeste hasta llegar a la Aldea Chontel, la cual colinda con la parte Oeste de la zona de producción seis del Ingenio Madre Tierra (Martínez Fuentes, 2007).

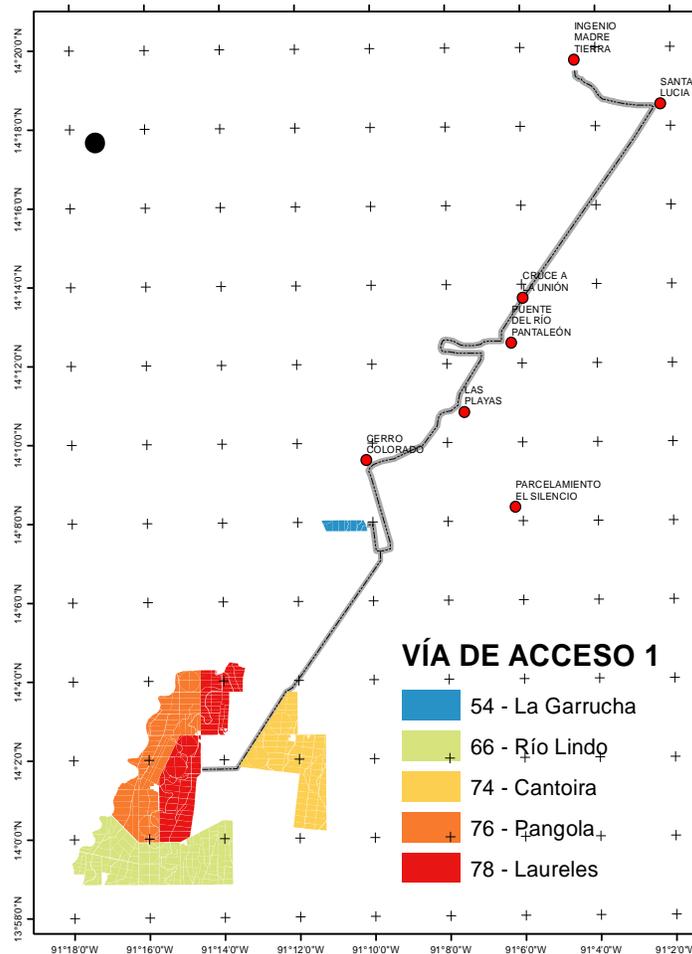


Figura 20. Vía de acceso uno, zona de producción seis del ingenio Madre Tierra, año 2013.

2.3.4.2 VÍA DE ACCESO DOS

Teniendo como punto de partida el ingenio Madre Tierra, desplazarse sobre la carretera asfaltada del Pacífico denominada CA-2 y dirigirse hasta el municipio de Siquinalá, desde el Municipio de Siquinalá desplazarse hacia el Sur en la ruta hacia Sipacate, justo sobre el kilómetro 127.50 se encuentra la entrada de la finca Oro Blanco, de la entrada de la finca Oro Blanco recorrer en el camino de terracería 12 kilómetros hasta llegar a la Aldea Las Chuspas, la cual colinda en la parte Oeste con la finca Río Lindo que pertenece a la zona de producción seis del Ingenio Madre Tierra (Martínez Fuentes, 2007).

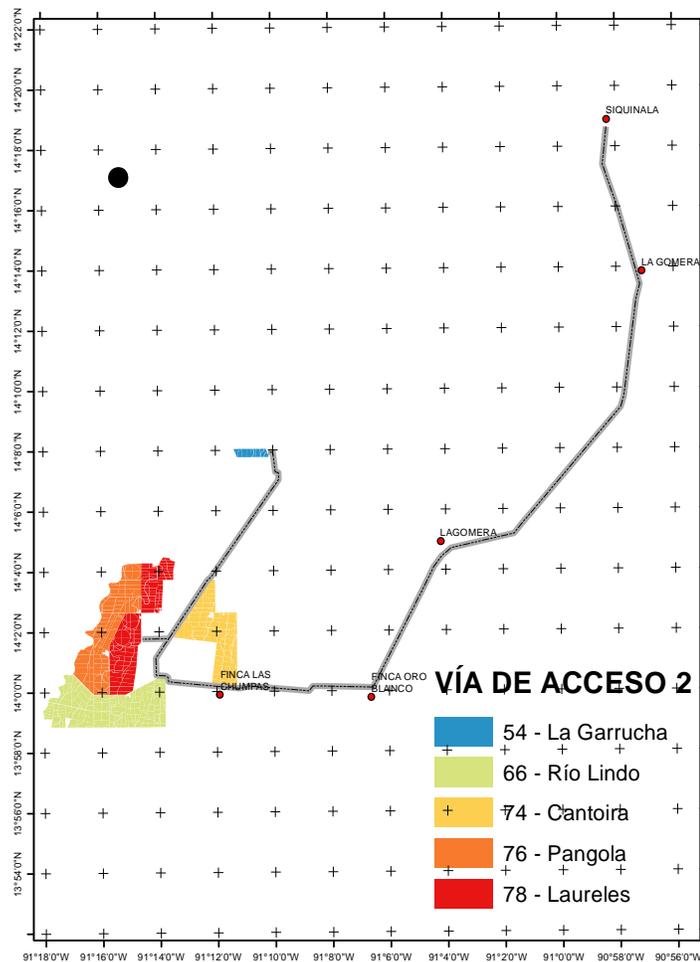


Figura 21. Vía de acceso dos, zona de producción seis, ingenio Madre Tierra, año 2013.

2.3.5 RECURSOS

2.3.5.1 NATURALES

Cuenta con 5229.57 Ha. netas de producción exclusiva de caña de azúcar (*Saccharum spp*), también otro recurso importante es el río Coyolate que colinda con la finca Pangola y Río Lindo, la cual abastece del recurso hídrico a toda la zona para las labores de riego.

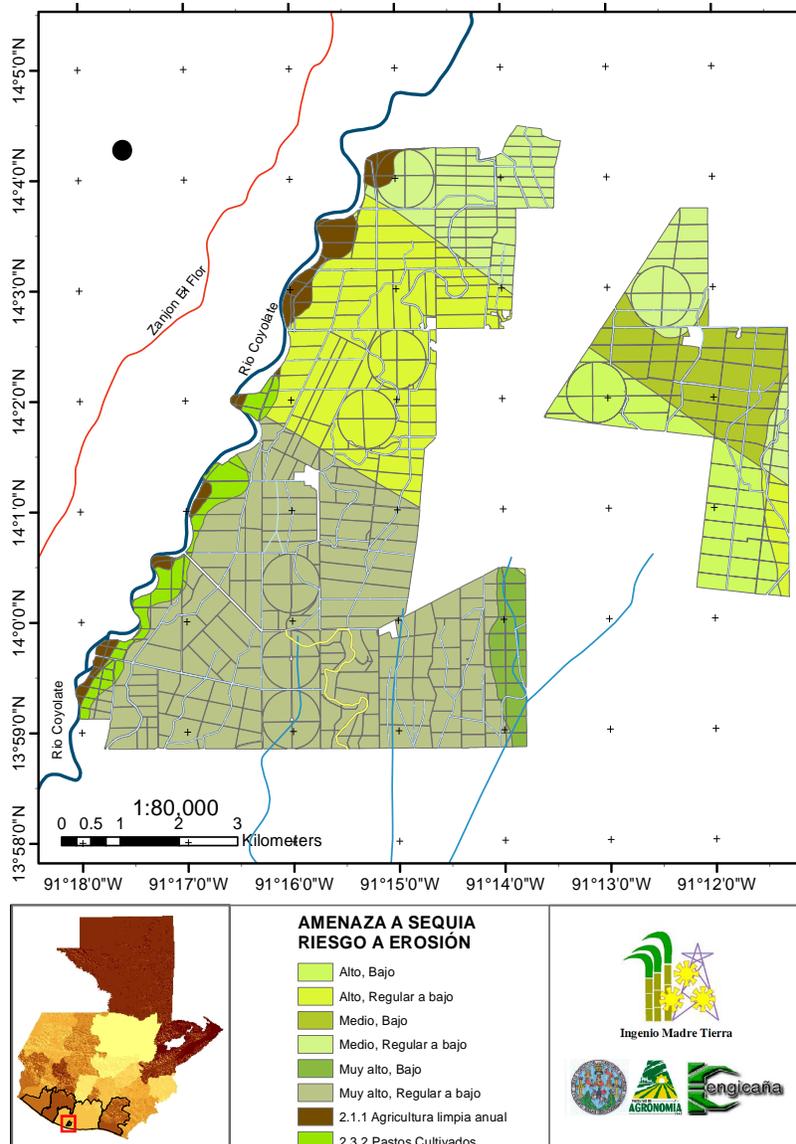


Figura 22. Mapa de uso, recursos naturales, amenazas a sequía y erosión de la Zona de producción siers, Ingenio Madre tierra, año 2013.

Fuente: Adaptación de Shape files del MAGA, 2006.

2.3.5.1.1 RÍO COYOLATE

El río Coyolate, que en su nacimiento lleva el nombre de Xetzac, nace en el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, en la zona montañosa volcánica del país y descarga sus aguas en el Océano Pacífico tras un recorrido de aproximadamente 142 kilómetros. En la cuenca alta recibe el nombre de río La Vega, más adelante se le conoce como río Xayá, cercano a la latitud 14°25' se llama río Coyolate (Mansilla, 2010).

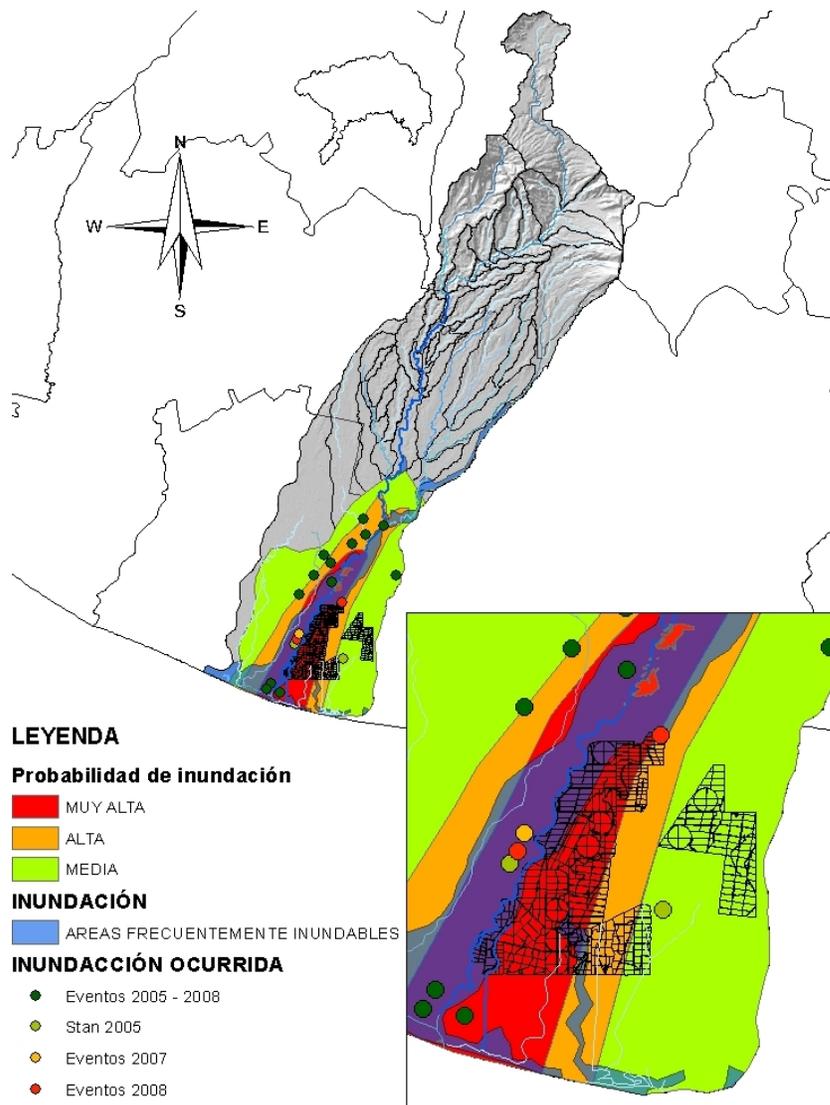


Figura 23. Adaptación del mapa de eventos de inundación 2005-2008 SE CONRED y FODECYT 2006.

Sus afluentes principales son los ríos Pantaleón, con un recorrido de norte sur, situado al oriente del canal principal; el río Cristóbal, al occidente del primer afluente; y el río Los Encuentros, afluente situado al occidente del río Coyolate. El río Pantaleón drena aproximadamente un área de 149.6 km², con nacimientos en las proximidades del volcán de Fuego, a una altura de 3200 msnm.

De acuerdo a los registros que se tienen en las instituciones vinculadas a problemas de inundaciones (INSIVUMEH, CONRED, etc.), la cuenca del Río Coyolate es una de las que constantemente ha sufrido inundaciones históricas (Figura 23).

Valores de crecida importantes se presentaron el 20 de septiembre de 1974 (716 m³/segundo en Puente Coyolate) y el 20 de septiembre de 1982 (516 m³/segundo para el mismo punto). Este dato indica un probable valor de 1,575 m³/segundo aguas debajo de Cerro Colorado (Con la unión de los ríos Cristóbal y Pantaleón) (Mansilla, 2010).

A pesar de que el río Coyolate es uno de los recursos naturales mayor mente explotado para la producción de caña de azúcar por el Ingenio Madre Tierra y otros localizados a sus orillas, es muy importante en tender la dinámica de los mismos en términos de inundaciones, ya que estos son los responsables directos de provocar la gran variabilidad de los suelos, en estas zonas.

2.3.6 OBJETIVOS

2.3.6.1 GENERAL

2.3.6.1.2 Realizar el modelo de balance hídrico espacial en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en época lluviosa región litoral Centro, Zona de producción 6, Ingenio Madre Tierra.

2.3.6.2 ESPECÍFICOS

2.3.6.2.1 Analizar las variables edafoclimáticas del área de la Zona de producción seis.

2.3.6.2.2 Generar el modelo de Balance Hídrico superficial que integre las variables edafoclimáticas para la Zona de producción seis, Ingenio Madre Tierra.

2.3.6.2.3 Validar el modelo mediante la medición de humedad del suelo utilizando la sonda de monitoreo (DIVINER 2000).

2.4 METODOLOGÍA

Para la generación del balance hídrico de la zona de producción seis se procedió con la siguiente metodología:

2.4.1 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS DEL AÑO 2005 - 2012

Se recopiló información climatológica de las estaciones cercanas a la zona de estudio (estación Bonaza, San Antonio el Valle): Temperatura, humedad relativa, precipitación, evaporación.

2.4.1.1 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

- Se analizó la disposición de los pluviómetros en el campo y su área de influencia utilizando la metodología de polígonos de Thissen, una vez analizada la información se procedió a la instalación de nuevos pluviómetros y su georreferenciación.
- Se colocaron dispositivos recolectores en las Fincas Pangola, Laureles, Cantoira y Río Lindo (23 pluviómetros móviles), los cuales se monitorearon diariamente durante todo el periodo de época lluviosa (mayo a noviembre), para poder captar y cuantificar la precipitación (mm/día) por cada pluviómetro. Los datos obtenidos se analizaron por pentada, un período de 5 días, analizando por medio de métodos estadísticos e interpolación utilizando para ello el método IDW (Inversa Distancia Ponderada).
- La elaboración de los mapas de precipitación partió, de los datos de precipitación efectiva, almacenados en una tabla de Excel, donde cada uno de los registros contenía campos adicionales con las coordenadas planas (X, Y) para cada pluviómetro correspondiente a cada uno de los datos. Esta tabla se añadió al mapa de la zona, de tal forma que quedara como un mapa de puntos, posteriormente se realizó la interpolación con base en los datos de precipitación pentadal y así se obtuvo los mapas de precipitación por pentada y las isoyeta (Carmona, 2003).

- Como primera barrera se utilizó la precipitación efectiva, calculada por la metodología de Branney – Cridde (Cuadro 5), otro parámetro utilizado fue la capacidad de campo del suelo, es decir, la máxima lámina de agua que el suelo puede retener (LAA).
- Las barreras anteriores se utilizaron para ajustar la precipitación, la primera parte, involucra el agua efectiva (es aquella que se encuentra en zona radicular), la segunda se utilizó para eliminar excesos, esto garantizó que los cálculos comenzarán en capacidad de campo o menor a ella.

PRECIPITACIÓN EFECTIVA ($P_i - E_{s_i}$)

Porción de la precipitación que puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de las plantas.

Cuadro 5. MÉTODO DE BRANNEY-CRIDDE

LLUVIA TOTAL OBSERVADA		LLUVIA CONSIDERADA EFECTIVA
PULGADAS	MM	COEFICIENTE APROVECHAMIENTO
1	25	0.95
2	50	0.90
3	75	0.82
4	100	0.65
5	125	0.45
6	150	0.25
>6	>150	0.05

Fuente: Aguilera y Martínez (1980) citado por Norma (2002).

2.4.1.2 ACERCA DE LA INTERPOLACIÓN

Esta es una herramienta de sistemas de información geográfica, la cual interpola una superficie de raster a partir de puntos utilizando una técnica de distancias inversa ponderada (IDW).

USO

- El valor de salida para una celda que utiliza la distancia inversa ponderada (IDW) se limita al rango de valores utilizados para la interpolación. Dado que la IDW es un promedio de distancia ponderada, el promedio no puede ser mayor que la entrada máxima o inferior que la entrada mínima. Por lo tanto, no puede crear crestas o valles si estos extremos aún no se han muestreado (Watson y Philip, 1985).
- Los mejores resultados se obtienen cuando la muestra es lo suficientemente densa respecto de la variación local que intente simular. Si la muestra de los puntos de entrada es dispersa o dispareja, los resultados pueden no representar en forma suficiente la superficie deseada (Watson y Philip, 1985).
- La influencia de un punto de entrada sobre un valor interpolado es isotrópica. Dado que la influencia de un punto de entrada sobre un valor interpolado se relaciona con la distancia, la IDW no “preserva la cresta” (Watson y Philip, 1985).

La interpolación a emplear es la IDW (Inverse distance Weighted). Determina los valores de las celdas, a partir de los valores de cada punto (mapa de puntos con datos de precipitación), usando una combinación lineal de pesos (power) dados a un grupo de puntos. EL peso es una función que da mayor importancia a cada valor de acuerdo a una relación inversa a su distancia (Watson y Philip, 1985).

La interpolación puede ser conmutada desde un punto de vista local a global cambiando su peso. Un valor alto de peso, resultará en una menor influencia desde los puntos circundantes. El IDW asume que cada punto (en este caso, cada dato de estación pluviométrica), tiene una influencia local que disminuye con la distancia y la interpolación se realiza sobre todos o algunos de los puntos que se encuentren dentro de un radio de influencia dado (Carmona, 2003).

2.4.1.3 CALCULO DE ETP Y LA ETM

Con la información de las estaciones meteorológicas Bonanza y San Antonio el Valle se procedió al cálculo de la ETP utilizando el método de Hargreaves.

2.4.1.3.1 MÉTODO DE HARGREAVES:

$$ETP = \left[(100 - HRm)^{\frac{1}{2}} * 12.5 \right]^{1/2} * [0.075 * RMD] * \left[\left(\frac{9}{5} * TM^{\circ}C + 32 \right) * 0.0075 \right]$$

DONDE:

- ETP= evapotranspiración potencial, expresada en milímetros por día. (Para obtener la evapotranspiración por semana, se debe multiplicar la ETP obtenida por 5 números de días a la pentada.)
- HRm= humedad media mensual para determinar el coeficiente por humedad
- RMD= radiación extraterrestre, expresada en evaporación equivalente en milímetros por día (interpolarse si es necesario, según latitud a la que se encuentre la estación que esté trabajando los valores de la tabla 2)
- TM°C= temperatura media mensual expresada en grados centígrados, para determinar el coeficiente por temperatura.

Cuadro 6. Radiación solar extraterrestre, RMD, expresada en evaporación equivalente en mm/día

LATITUD D	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
0	13	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
4	14.3	15	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15	14.2	13.7
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.2	15	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.9	12.9
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12
16	12	13.3	14.7	15.6	16	15.9	15.9	15.7	15	13.9	12.4	11.6
18	11.6	13	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12	11.1
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7

Fuente: Corporación para la energía y el ambiente, 2011

Se obtuvo una tabla en Excel con las coordenadas (X, Y), de las diferentes estaciones con datos adjuntos de la ETP, estos puntos sirvieron para la construcción de mapas de ETP, utilizando el método IDW (Carmona, 2003).

2.4.1.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN MÁXIMA

- Para el cálculo de la ETM (mm), se sectorizó el área atendiendo al tercio de cosecha de la caña de azúcar, debido a que el distanciamiento en tiempo de siembra, propicia un desarrollo desigual en cada tercio, por lo que la caña no tiene el mismo desarrollo fenológico y la misma evapotranspiración.

$$ETM (mm) = Kc * ETP$$

Dónde:

Kc= Coeficiente de ajuste del cultivo, dependiendo de la etapa fenológica.

2.4.2 CONDICIONES EDAFOLÓGICAS

MATERIALES Y EQUIPO

- 4 Personas que realizaron el muestreo
- Mapas que identificaron los puntos de donde se extrajeron las muestras.
- 2 Palas
- 2 machetes
- 2 cubetas plásticas
- Guantes
- Bolsas para las muestras
- Etiquetas de identificación
- Lapicero o Lápiz
- GPS (Para georreferenciar muestras)
- Software GIS (ArcMAp 9.1, QGIS, SVgis)

PROCEDIMIENTO

Para realizar el muestreo representativo, se tomó en cuenta varios factores, como lo indica Orellana (2005):

- Hacer un reconocimiento general de la propiedad previo al muestreo y según su extensión (finca, parcela, lote o común) de manera que se facilite la delimitación de las áreas homogéneas con base en criterios fisiográficos, edáficos y del cultivo. Cuando se tiene cuadrante de la zona y/o el plano de la propiedad facilitan la delimitación de las áreas en estudio.
- Seleccionar las herramientas necesarias y los materiales, asegurándose que estén limpias las primeras y sin uso los materiales.
- Delimitar la propiedad en áreas o lotes que sean homogéneos o uniformes en cuanto color, textura, pendiente, drenaje, profundidad del suelo, pedregosidad y sistema de cultivo. Es recomendable tener áreas de muestreo de 3 Ha de extensión. En el caso de fincas extensas y terrenos uniformes una sola muestra representativa bastará para muestrear de 7 a 11 Ha.

El empleo de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es de gran importancia como instrumento de apoyo para la ubicación y anotación de las coordenadas de los diferentes puntos de muestreo, y cuya información alimentara la base de datos que operará en el laboratorio de suelos para el seguimiento de la fertilidad de los suelos a nivel nacional. La elaboración de un croquis de la propiedad es deseable para no confundir los resultados.

- Iniciar el muestreo de suelos haciendo la primera perforación o la toma de submuestras de conformidad con la herramienta seleccionada o disponible. En el caso de cultivos anuales que no se disponga de barreno, proceda a obtener la muestra, perforando un agujero de diámetro considerable y profundidad adecuada, que permita la obtención de la muestra a profundidad radicular. Si utiliza una pala, tome aproximadamente una libra de la porción central y dépositela en un recipiente (balde), a fin de mezclar las submuestras de cada área homogénea y obtener la muestra representativa del terreno. En caso de que el cultivo tenga una zona radicular de 60 cm, divida en dos estratos la

muestra una de 0 – 30 cm, y la otra 30 – 60 cm profundidad, depositando cada submuestra en recipientes diferentes.

- El primer punto perforado o muestreado y los siguientes tendrán que seleccionarse al azar, teniendo el cuidado de ubicarlos a una distancia aproximada de 15 a 20 m de los linderos (cercos), calles, bordas, quebradas, canales, casa y otra construcciones. Al tomar la primera submuestra, iniciar el recorrido y continuar las perforaciones en el interior de la parcela, buscando los puntos de muestreo del mapa proporcionado.
- Es importante que todas las submuestras tomadas sean iguales; es decir, se tomen uniformemente desde la superficie hasta la profundidad de la capa arable, procurando obtener el mismo volumen y sección de suelo.

Tener presente que el número de submuestras estará en función de la extensión del área que se muestreará; sin embargo, debe tomarse en cuenta que mayor cantidad de submuestras extraídas, mejor representatividad se tendrá de la superficie del terreno o cultivar a fertilizar. (Suárez, 1999)

Como criterio general se recomienda tomar de tres a cuatro submuestras por hectárea; de cuatro a seis, cuando la propiedad tenga 2 Ha; y de seis a ocho, cuando su extensión sea mayor de dos. El total de submuestras que debe tomarse depende de la extensión del terreno, pero nunca deberá ser menor de tres. Otra alternativa se sintetiza en el cuadro siguiente, el cual indica el número de submuestras requeridas para obtener una muestra compuesta o representativa en función al área de estudio.

Cuadro 7. Número de submuestras a tomar según el área de muestreo

Superficie de la parcela o lote (Ha)	Número de submuestras
< 4	10 a 12
3 a 6	12 a 18
6 a 8.5	18 a 24
8.5 a 11.5	24 a 30

Fuente: ORELLANA (2005).

- Tomas de la mezcla de suelo aproximadamente dos libras. En el caso de aquellas parcelas o lotes extensos, que requieren de mayor número de submuestras, se aconseja que al tener un volumen manejable (5 – 6 submuestras), mezclarlas en un recipiente o balde y dejar solo un 50% del volumen extraído; luego continuar el recorrido y repetir la operación. Al obtener el peso o volumen igual al anterior; proceder de igual manera a mezclar y dejar al 50%, luego seguir este mismo proceso hasta concluir el recorrido en el último lugar del muestreo, para hacer la mezcla final y obtener la muestra representativa. De lo contrario habrá que depositar sobre un plástico todas las submuestras y mezclarlas uniformemente para obtener la muestra 2 libras (ORELLANA, 2005).
- Depositarla en una bolsa plástica resistente y nueva e identificarla.
- Escriba en una mini-tarjeta o porción de cartulina, la identificación de la muestra, inmediatamente después de depositarla en la bolsa, siempre y cuando la tierra no esté húmeda.
- Enviar las muestras al Laboratorio para su respectivo análisis físico y químico, acompañado de un formulario que proporciona esta unidad ORELLANA (2005). En este caso al laboratorio agronómico de CENGICAÑA.

2.4.3 BALANCE HÍDRICO

El modelo calcula las existencias y deficiencias de agua en el suelo, siendo sus variables de entrada las precipitaciones o riego, y como parámetro la capacidad de campo de los suelos traducido en la LHA y LARA. El almacenamiento máximo proviene del mapa de retención de agua por los suelos. Las salidas del modelo son mapas semana por semana de: evapotranspiración Carmona (2003). El modelo solo considera los aportes de la lluvia, nivel freático y las perdidas por percolación profunda no se tienen en cuenta (Pérez, 1996).

$$CHS = Entradas - Salidas$$

$$LAS_{(t+5)} = LAS_t + \sum_{t=1}^{t=5} (P + R - ETp)_t$$

Dónde:

$LAS_{(t+7)}$ = Lámina de agua en el suelo en tiempo final

$LAS_{(t)}$ = lámina de agua disponible en tiempo inicial

R = Riego

NF = Nivel Freático

P = Precipitación efectiva

ET = Evapotranspiración Actual (CENGICAÑA, 2012)

DETERMINACIONES A REALIZAR EN DÍA DE INICIO DEL BALANCE HÍDRICO

- Humedad inicial en el suelo

Esta determinación es importante para definir el estado inicial en la que se encuentra la humedad del suelo. En muchos de los casos se inicia después de un aguacero (asegura que la humedad en el suelo esté en capacidad de campo) o después de un riego controlado que permita asegurar que la lámina de reposición fue la estimada para el tipo de suelo.

- Previsión del próximo riego

A partir del día **n** el contenido de agua irá decreciendo en el suelo, por efecto de la Evapotranspiración, hasta alcanzar el DPM, cuando esto ocurra se aplica riego, en caso de lluvia, esta se contabiliza dentro del balance, el cual se podrá determinar se incrementa el intervalo de riego o la disminución de la lámina que se va aplicar.

- Análisis de Datos

Para la evaluación del balance hídrico de la zona se utilizó el un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), creando una serie de mapas para identificar las zona s que necesiten aplicación de riego o déficit de humedad. Para dicho análisis se utilizó el método de interpolación *IDW* descrito anteriormente (Carmona, 2003).

2.5 VALIDACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

Para la validación se trabajó en conjunto con el departamento de riegos de CENGICAÑA, el cual proporciono equipo de monitoreo FDR (DIVINER 2000), una sonda de medición de humedad disponible en el suelo calibrada de fábrica.

De donde se instalaron 10 putos de monitoreo de humedad, en zona s críticas del área de estudio las cuales se monitorearan cada 2 a 4 días con lo que se recolecto una base de datos que sirvió para la construcción de un balance hídrico de suelo que fue adaptado en un 85%

Para dicho análisis se muestreo el suelo a una profundidad de 60 cm, para la cuantificación de las características físicas del suelo lo que permitió la determinación de la lámina de humedad disponible (LAA), y la cuantificación de la humedad mediante análisis gravimétricos de laboratorio.

2.6 RESULTADOS

2.6.1 ANÁLISIS DE FACTORES EDAFO – CLIMÁTICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

2.6.1.1 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

CENGICAÑA, reporta que la precipitación va en descenso en dirección al mar. Lo que se corrobora en la Figura 24. En el estrato muy bajo se tiene precipitaciones de alrededor de 1600 – 1200 mm/año, mientras que en el estrato litoral se reportan 1000 – 800 mm/año aproximadamente una reducción del 50% entre la parte más alta y la más baja.

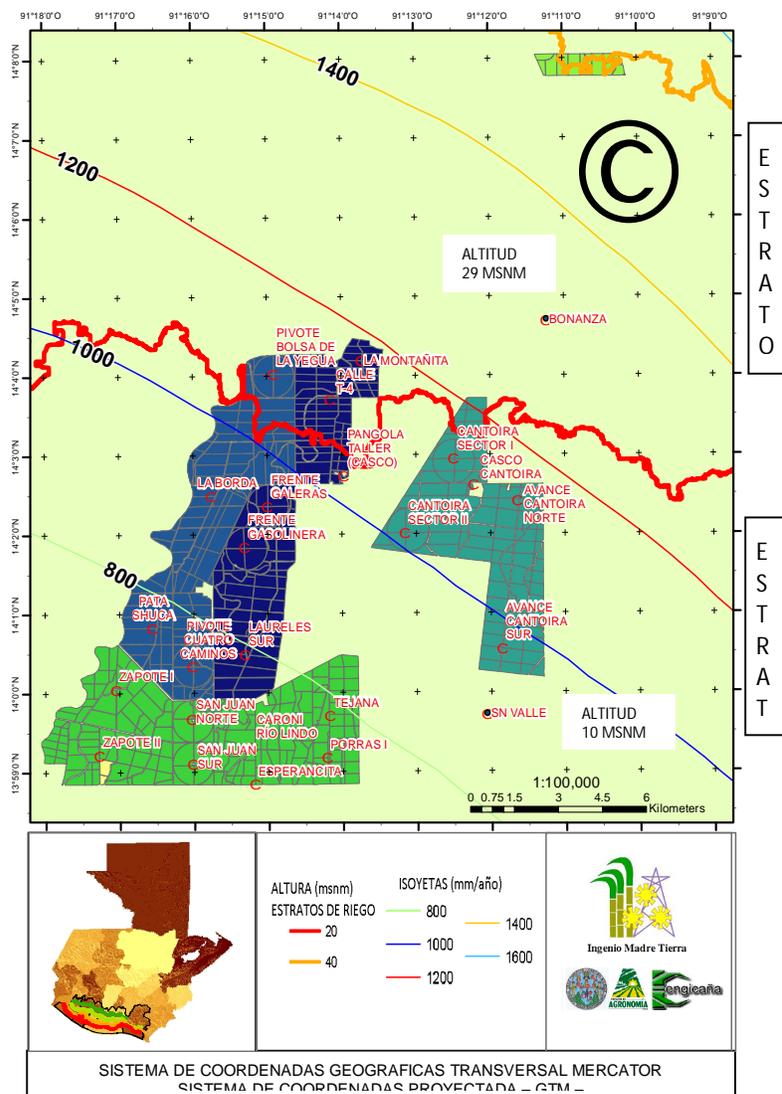


Figura 24. Variabilidad de la precipitación (mm/año) en dos diferentes estratos de riego.

La variación temporal de precipitación mm/año es 7%, mm/mes 21%, existiendo una consistencia temporal de la variación (homogénea)(Figura 24) aumentando desde el nivel del mar hacia la parte más altas con tendencia S – N, donde las precipitaciones van desde los 800 mm a 1200 mm en una distancia de aproximadamente 13.71 km y un cambio de altitud de 10 msnm a 29 msnm, en la finca más alejada llegando a 1600 mm/año, disminuyendo en dirección W – E (Figura 25), provocando una distribución de la precipitación desuniforme a nivel espacial del 79% sobre el área de estudio en periodos de tiempo corto lo que ha propiciado la ampliación de la red pluviométrica a 25 pluviómetros, disminuyendo con ello la variación espacial local a 28%.

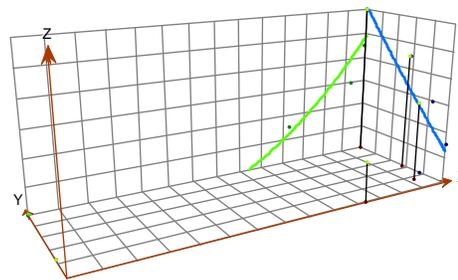


Figura 25. Análisis de tendencia espacial.

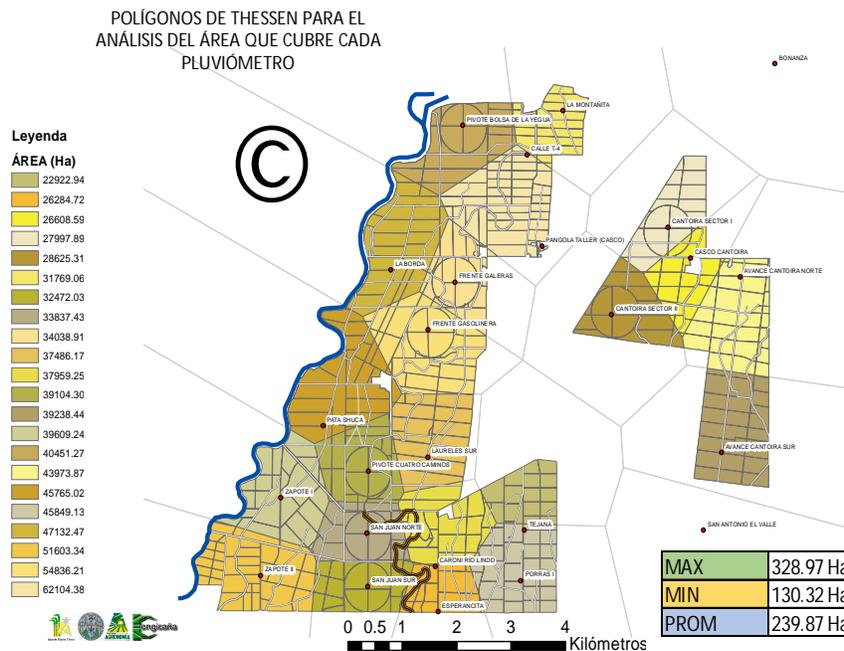


Figura 26. Análisis del área que cubre cada pluviómetro mediante la metodología de polígonos de Thissen.

La ampliación de la red pluviométrica es producto de la correlación baja que existente entre los datos de las estaciones meteorológicas Bonanza y San Antonio el Valle con respecto a algunos pluviómetros localizados en dirección N – W y S – W de ellas, esto solo es un indicativo de la desuniformidad de las precipitaciones como consecuencia del carácter convectivo de las mismas.

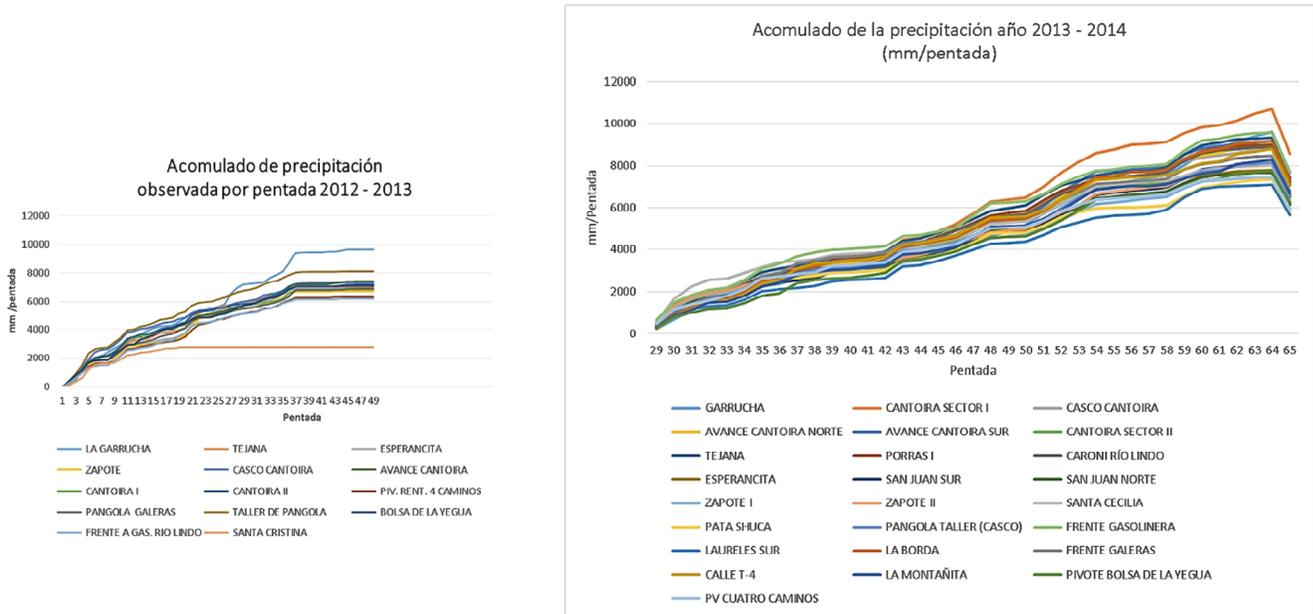


Figura 27. Análisis de la precipitación registrada por la red pluviométrica en los periodos 2012 – 2013 y 2013 – 2014 ampliación de la red pluviométrica.

Fuente: Datos de precipitación red pluviométrica Zona de producción seis.

Esta convectividad da origen a la ampliación y con esto en la Figura 26. Se hace una comparación gráfica de datos de precipitación del periodo 2012 – 2013 (red antigua) y datos de la precipitación en el periodo 2012 – 2014 (ampliación y reestructuración de la red pluviométrica), reduciendo con ello el efecto de la variación local de 79% a 28%, según Watson y Philip (1985), los mejores resultados para la interpolación de fenómenos utilizando método IDW se logran cuando la muestra es lo suficientemente densa respecto de la variación local que intente simular.

2.6.1.2 ANÁLISIS DE TEMPERATURA

La variable temperatura evidencia una variación temporal del 2% de los datos registrados en la estación Bonanza localizada a 29 msnm y 3% en la estación San Antonio el Valle localizada a 10 msnm ambas localizadas en la zona del litoral centro. La comparación de la temperatura registrada en la Estación Bonanza y San Antonio el Valle (Figura 28), se observa la diferencia de temperatura entre ambas estaciones de 0.4°C a 0.63 °C en los meses de marzo a agosto.

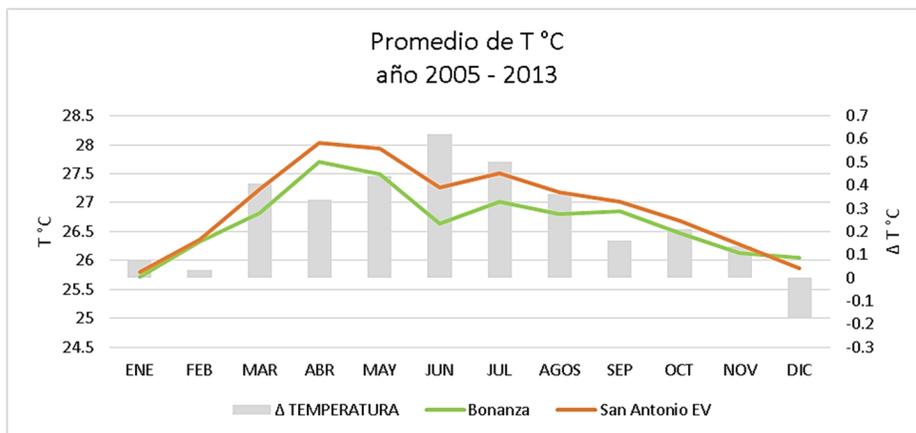
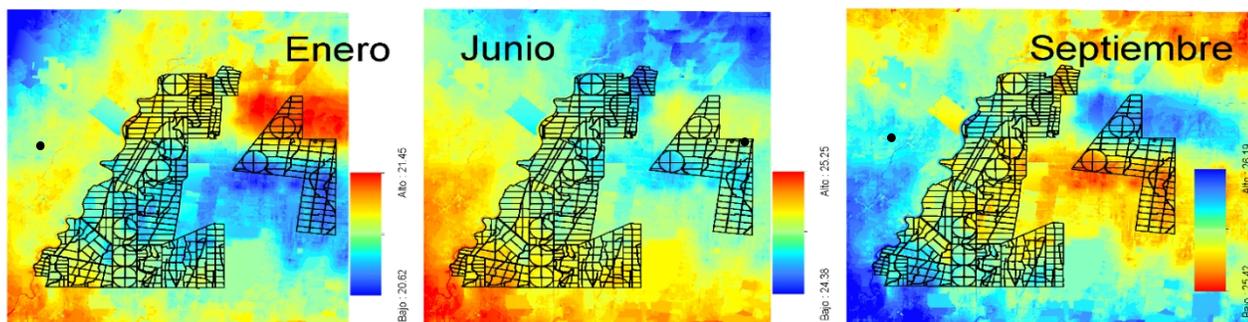


Figura 28. Análisis de T °C utilizando datos de las estaciones Bonanza y San Antonio el Valle, Zona litoral centro del periodo del 2005 – 2013.

Fuente: A partir de datos meteorológicos del ICC, 2007 -2013.



$$ETP = \left[(100 - HRm) \frac{1}{2} * 12.5 \right]^{1/2} * [0.075 * RMD] * \left[\left(\frac{9}{5} * TM^{\circ}C + 32 \right) * 0.0075 \right]$$

Figura 29. Efecto de la diferencia de temperatura de las Estaciones Bonanza y SN el Valle sobre la ETP del cultivo.

Según Ibáñez (2006), es necesario el trazo de las isotermas de enero y julio, que representan el mes más frío y el más cálido para el hemisferio norte.

Debido a que el cálculo de la ETP involucra la temperatura media esta se ve afectada directamente como se muestra en la Figura 29, teniendo que en el mes de enero hay una diferencia de 0.83 mm/pentada con temperaturas menores en la zona central, junio 0.87 mm/pentada con temperatura mayores en la parte sur – oeste y septiembre 0.77 mm/pentada con temperaturas mayores en la parte centras de la zona de estudio.

El análisis de temperatura no solo muestra una diferencia de temperatura entre las dos estaciones, sino que a través del análisis espacial se puede apreciar el comportamiento sobre la zona de estudio y el cambio a través del tiempo.

Atendiendo a lo que reporta CENGICANÑA en su libro El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala publicado en el 2012, se tiene que la precipitación va en descenso en dirección al mar, caso contrario con la temperatura. Lo que produce el desplazamiento de masas de aire cálido de las zonas bajas hacia las más altas, con alto porcentaje de humedad produciendo precipitaciones convectivas, que en el caso del área de estudio son muy comunes, lo que puede explicar el comportamiento de su distribución y la relación con la temperatura.

2.6.1.3 ANÁLISIS EDAFOLÓGICO

Como se menciona en CENGICAÑA (2012), la capacidad de los suelos de retener agua es muy variable en la zona cañera guatemalteca y esta depende de la clase textural. Además ORELLANA (2005); establece otros factores involucrados en la retención de agua y que deben ser utilizados para realizar el estudio de suelo delimitando áreas homogéneas o uniformes en cuanto textura, color, pendiente, drenaje, profundidad del suelo, pedregosidad y sistema de cultivo, etc.

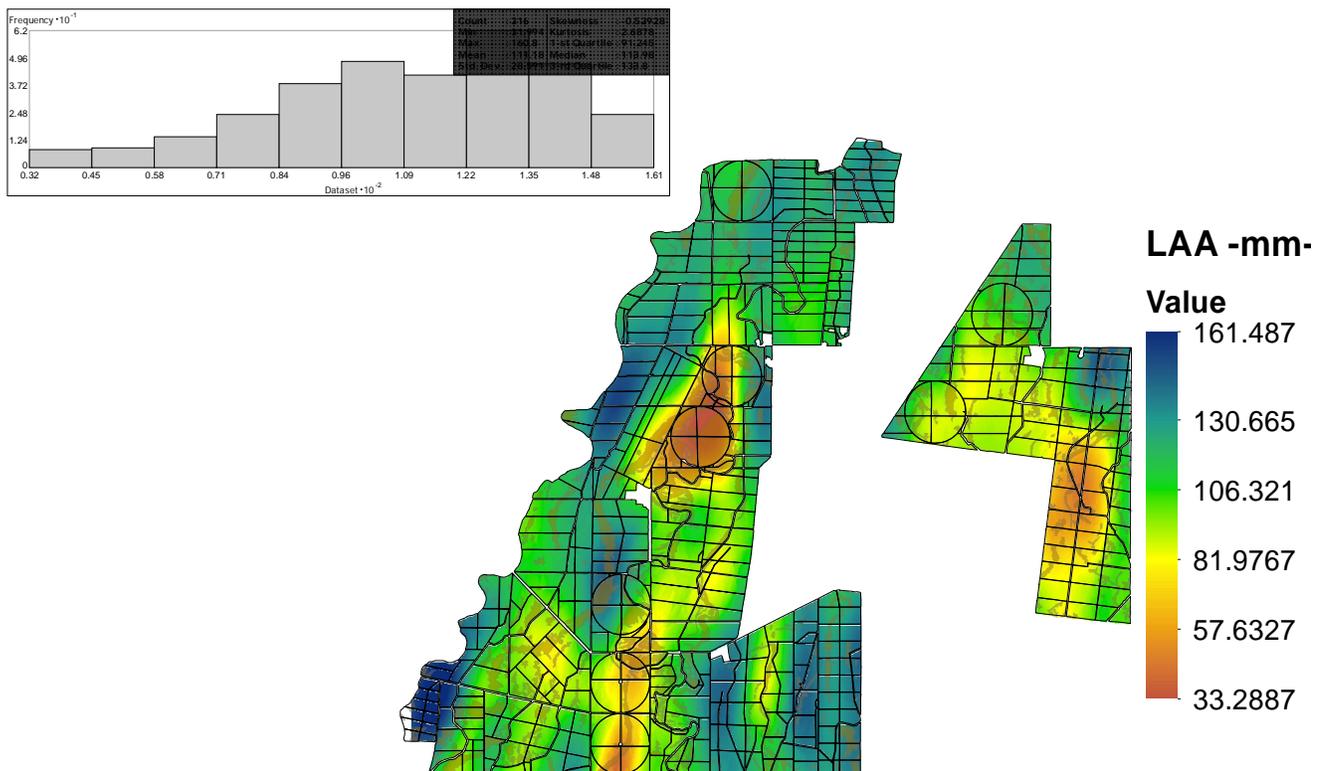


Figura 30. Mapa de la retención de humedad (LARA), realizado a través del muestreo de suelos (características físicas) de la zona de producción seis, Ingenio Madre Tierra, año 2013.

En el estudio de suelos se determinó la heterogeneidad de los suelos existentes en la Zona de producción 6 del ingenio Madre Tierra (Figura 30) a través de cajuelas de 60 cm de profundidad en diversas áreas conocidas como vetas (áreas críticas), esto en 4 fincas de la zona de estudio, encontrándose según resultados de laboratorio suelos de clase textural franco, franco limoso, franco arenoso, arena franca, arenosos, etc.



Figura 31. Cajuelas realizadas en área de vetas Finca Cantoira, Río Lindo y Pangola, a una profundidad de 60 cm.

El desarrollo de estos suelos así como los suelos de la región cañera y su distribución responden al paisaje natural, considerando que los materiales fluvio volcánicos se distribuyen a través de los flujos de las corrientes de agua que desciende de la montaña y su curso depende de la forma el relieve y de la pendiente. Otro fenómeno es la que sucede con la deposición de las partículas de suelos (arena, limo y arcilla), a lo largo del tiempo.

En este contexto se determinó mediante análisis físicos de laboratorio que hay suelos de textura franco arenoso, tanto en la parte centro, como centro baja y este centro, además de suelos francos, franco limosos, franco arcilloso, arena franca, etc. posiblemente producto de las diversas inundaciones por el desbordamiento del río Coyolate (Figura 23) sucedidas a lo largo de los años ya sea cerca o sobre el área de estudio, que como se sabe transportan gran cantidad de arena, limo y arcillas.

Estas inundaciones siguen los canales de riego principal, secundario y terciarios que dan la posibilidad de transportar estos solidos a toda el área, distribuyéndolas a lo largo y ancho provocando la formación de vetas de arena y en ciertos casos enterrando perfiles de suelo ya formados (Figura 30).



Figura 32. Desbordamiento del Río Coyolate ocurrida septiembre del 2013, sobre las Zona de producción seis, del Ingenio Madre Tierra.

En casos positivos, dan origen a suelos con alto contenido de limo y arcilla. Una muestra del porqué de la heterogeneidad de los suelos en esta zona se observa en la figura 32. El desbordamiento del Río Coyolate que rompió la borda que protege a esta área en septiembre dl año 2013 dañando un área aproximada de 5 Ha y la deposición de un gran volumen de arena.

2.6.2 MODELO DE BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL Y VALIDACIÓN MEDIANTE SONDA FDR (DIVINER 2000), ZONA DE PRODUCCIÓN 6, INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013.

La representación del modelo de balance hídrico mediante la utilización de sistemas de información geográfica, permite la representación del fenómeno en términos de su comportamiento espacial, lo que facilita el direccionamiento hacia áreas concretas.

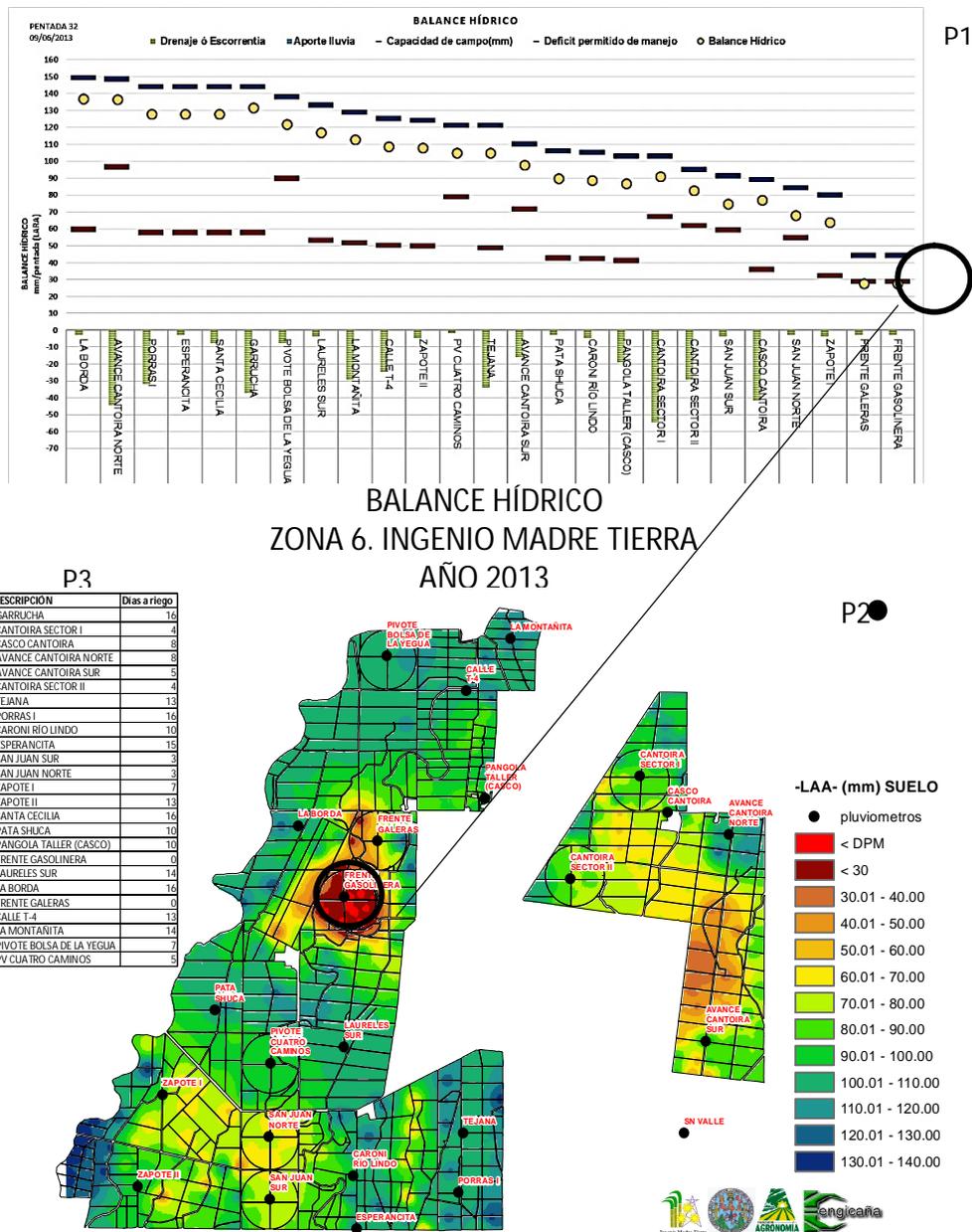


Figura 33. Análisis de Balance Hídrico para la pentada 32, zonas que sobrepasan el DPM (Déficit permitido de manejo).

Dicho balance toma en cuenta las condiciones en que se maneja el cultivo de caña de azúcar en la costa sur de Guatemala que son heterogéneas; atendiendo lo diferentes tipos de suelo que generan diversas capacidades de almacenamiento (Figura 30) y/o aportes de agua; además de que el clima contribuye a propiciar varios comportamientos de déficit hídrico, según la altura sobre el nivel del mar (Figura 16) y la caña al sembrarse en distintas fechas (tercio de siembra o cosecha) genera que la respuesta de la caña al riego sea diferente.

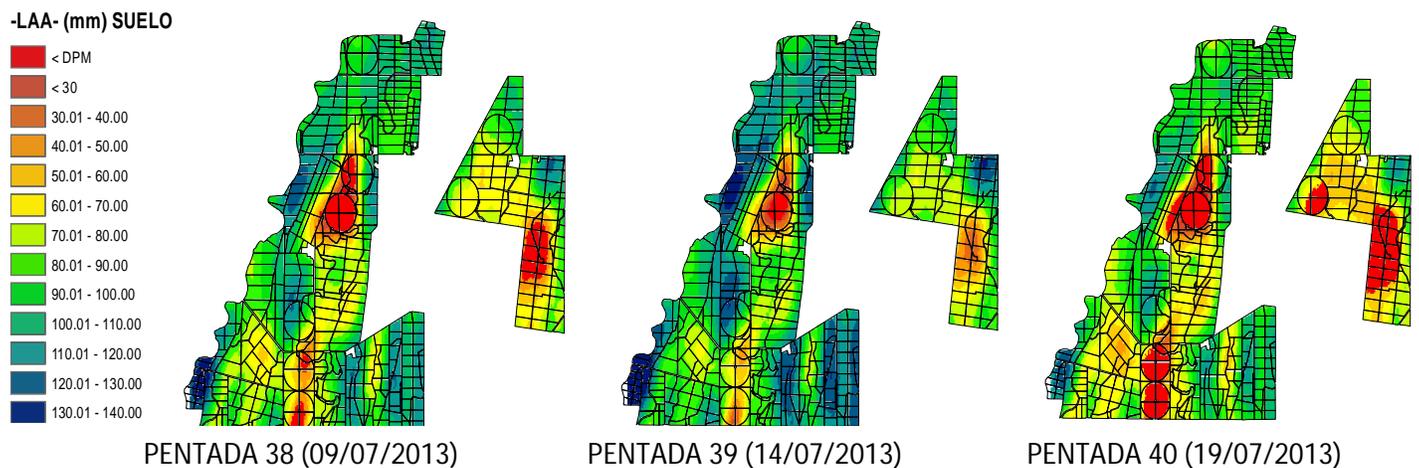


Figura 34. Balance hídrico espacial, pentadas 38, 39, 40 para periodo de época lluviosa, julio 2013.

Así en la figura 34. Vemos como el Balance Hídrico para la pentada 38, 39 y 40 va cambiando, en función de las entradas (precipitación) y las salidas por parte del cultivo y el clima (Evapotranspiración), siempre tomando en cuenta la capacidad máxima que el suelo tiene para retener agua.

En este término la herramienta de balance hídrico juega un papel importante en la cuantificación de la humedad disponible en el suelo que la planta puede aprovechar o absorber y la toma de decisiones sobre las operaciones de riego, debido a que el riego es uno de los rubros más importantes que incrementan el costo de producción y las TCH. Esto se evidencia en estudios realizados en 1994 por CENGICAÑA, donde las mejores respuestas a la aplicación de agua se dieron en áreas que se encontraban a una altitud menor a 200 msnm, con un aumento de los rendimientos de 10 a 70 TCH en suelos arenosos, mientras que en suelos franco limosos donde hay aporte capilar se registraron los aumentos más bajos.

Estos estudios han demostrado que el manejo del recurso hídrico no solo trae beneficios económicos producto del aumento de TCH, sino que investigaciones realizadas demuestran que la aplicación de una lámina adecuada ayuda a reducir la erosión del suelo, sino también reduce la pérdida de nutrientes en suelos arenosos por percolación profunda, además del ahorro de energía ya sea de combustibles fósiles o alternativos que esta actividad demanda.

Atendiendo a esa lógica, la Zona de producción 6, tiene a su disposición 10 equipos mecanizados fijos

(8 pivotes centrales y 2 avances frontal) los cuales cubren el 22% del área total, localizados en aquellas zonas con un alto porcentaje de arena. Lo que brinda una respuesta rápida a los descensos de humedad en estas áreas donde la FR es de 4 a 8 días e indirectamente la conservación del recurso suelo.

Sin embargo existe problemas en aquellas áreas donde los equipos son de tipo aspersión (con Cañones de riego), y cuya FR es de aproximadamente ± 25 días, lo que ocasiona en muchos casos la falta de agua en períodos prolongados sometiendo al cultivo a un stress hídrico, mermando el desarrollo en aquellas áreas con clase textural arenoso, arenas francas, franco arenoso y arcilloso, en ocasiones también los suelos francos. Esto no solo en período seco (verano), sino en época lluviosa (invierno), maximizando su efecto en años con episodio ENSO (Niño). Cuyos antecedentes se registraron en la zafra del 2012.

Estos antecedentes permitieron la implementación del balance hídrico a nivel espacial, utilizando métodos de análisis espacial del software de Sistemas de Información Geográfica, obteniendo resultados satisfactorios que han permitido el direccionamientos de los muestreos de humedad y la aplicación de riego en época lluviosa (en el periodo de canícula y en áreas de poca retención de humedad).

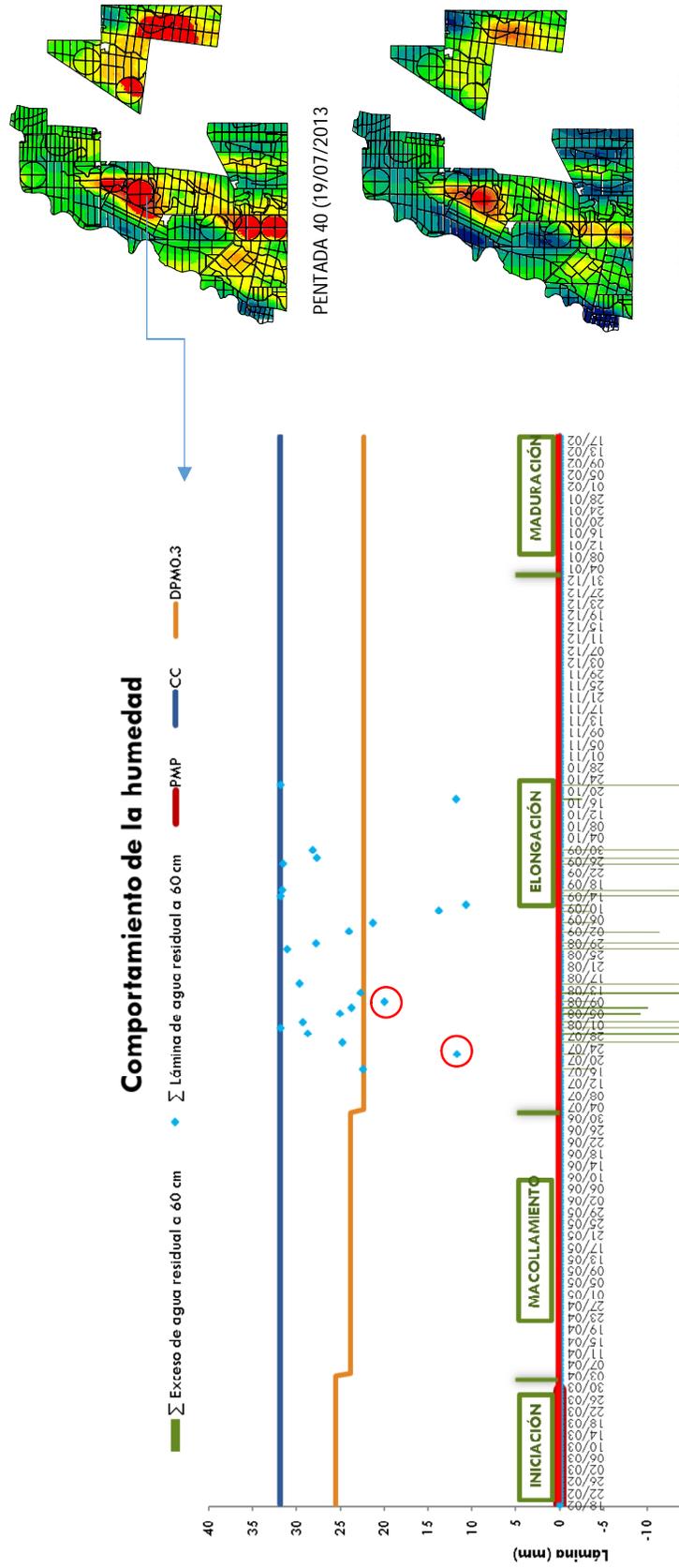


Figura 35. Validación de Balance Hídrico espacio – temporal mediante sonda FDR (Diviner 2000), Zona de producción seis. Ingenio Madre Tierra, año 2013

Los resultados de la figura 35, marcan varios acontecimientos que sobrepasan el DPM (punto14). Para los cuales se ha dado una alerta temprana para la activación de equipos mecanizados y la instalación de tapas en los diferentes canales de riego.

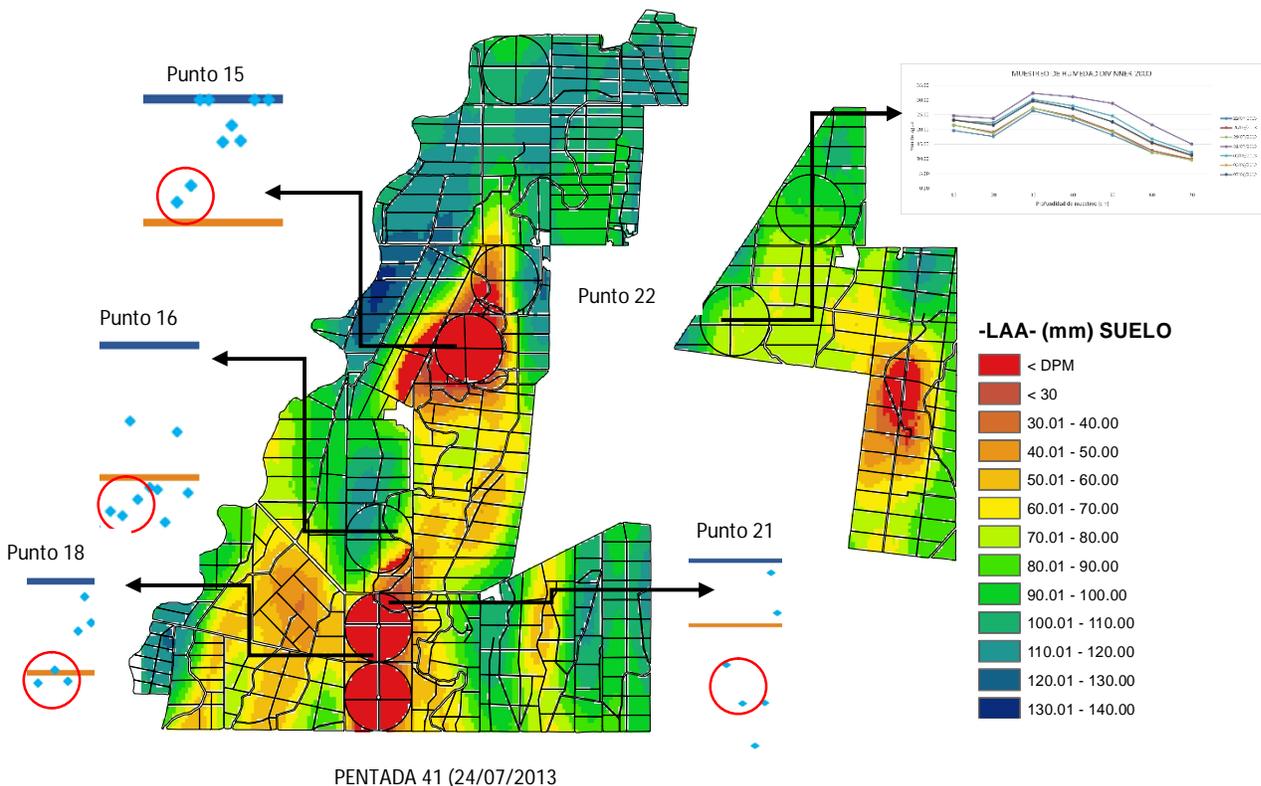


Figura 36. Validación del Balance Hídrico mediante mediciones realizadas con el DIVINER 2000 en puntos de control situados en áreas críticas de la zona de producción seis.

Esta alerta temprana no solo permitió una respuesta rápida, sino que ayudo a reducir las mermas como se observan en la figura de arriba.

Así los resultados cualitativos demuestran la diferencia en densidad de población en un área continúa con equipo con riego mecanizado fijo contra un área con equipo tipo cañón frecuencia de riego 25 días (figura 37), ambas áreas estuvieron monitoreadas mediante el balance hídrico espacial, temporal, DIVINER 2000, siendo las más afectadas aquellas con equipos de riego tipo cañón.



Figura 37. Área de equipo mecanizado fijo Vrs. Área regado con equipo tipo cañón frecuencia de riego 25 días.

Esto motivó a que en conjunto con el departamento de riegos de CENGICAÑA, se instalaran en 10 puntos críticos, es decir, áreas con alto contenido de arena una red de monitoreo de humedad mediante una sonda FDR o conocido comúnmente como DIVINER 2000 que mide la humedad del suelo directamente, dichos puntos estuvieron distribuidos a lo largo de las 4 fincas objetivo.

Dichas mediciones se realizaron durante todo el periodo de lluvia, los cuales ayudaron a validar el balance hídrico espacial mediante una comparación directa de los resultados del DIVINER 2000 versus los mapas temáticos elaborados por pentada.

De esta manera los resultados de las mediciones ayudaron a la validación del balance Hídrico Espacial, que han estado correlacionados en un 80% de los sucesos registrados.

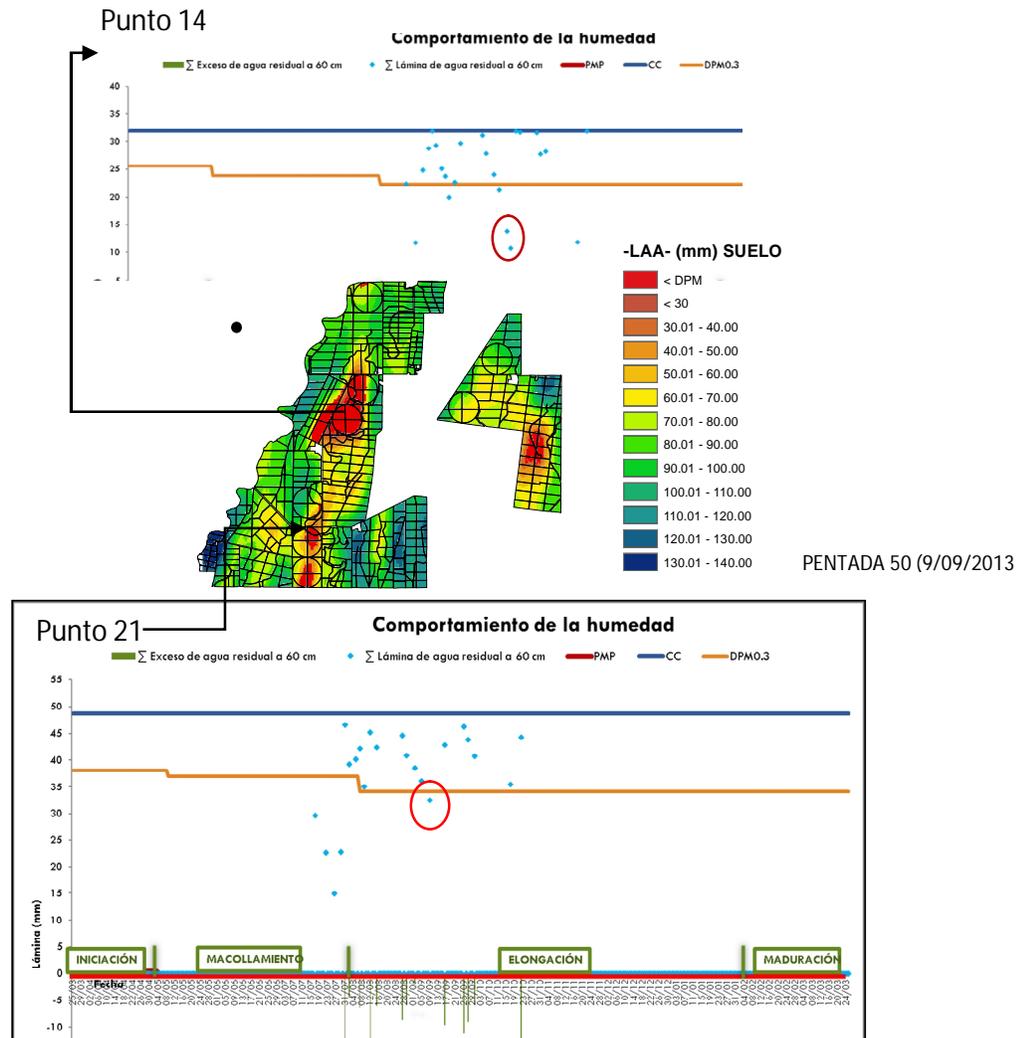
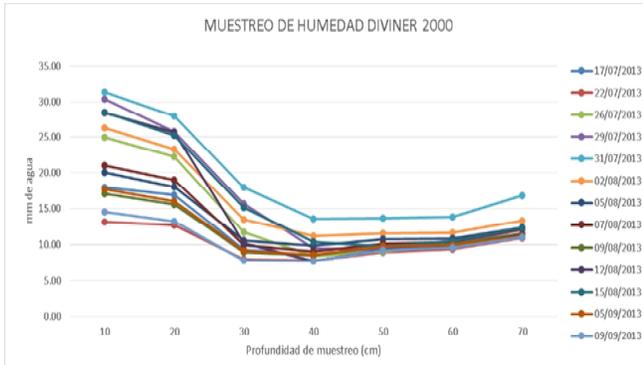


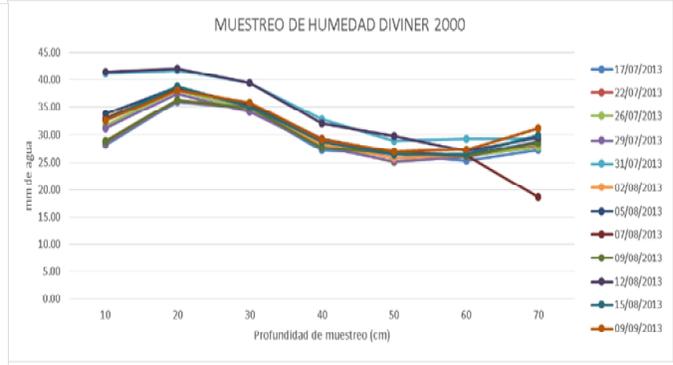
Figura 38. Mediciones de humedad mediante FDR (DIVINNER 2000), de la pentada 50, Zona de producción seis. Ingenio Madre Tierra, año 2013.

Para fecha 9/9/2013 (pentada 50) se observa que tanto la parte central como centro bajo presentan déficit de agua, esto después de dos pentadas consecutivas con una precipitación promedio 20, 15 mm, entiéndase que las áreas con mayores problemas son aquellas de suelos arenosos, así tanto las mediciones del DIVINER como las del Balance Espacial marcan un déficit de agua.

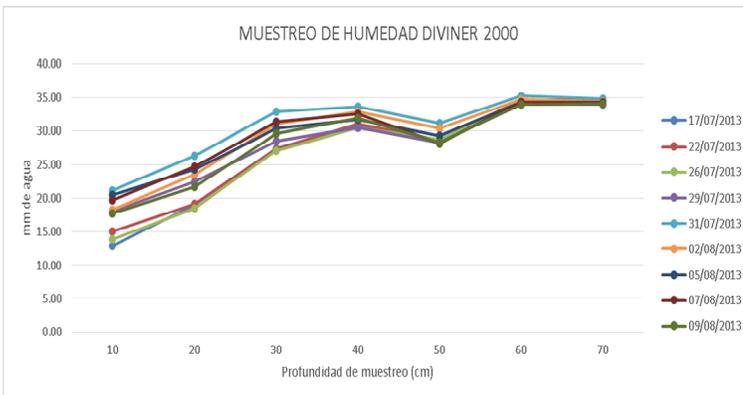
Es claro que existen ciertas variaciones intrínseca en cada tipo de suelo, en la dinámica de retención de agua atendiendo a la clase textural, debido a que suelos limosos o arcillosos poseen la capacidad de retener mayor cantidad de agua no así los suelos arenosos o con alto contenido de arena, esto está dado por las cargas de las partículas de suelo que ayudan a estabilizar la humedad y la solución del suelo (Figura 39).



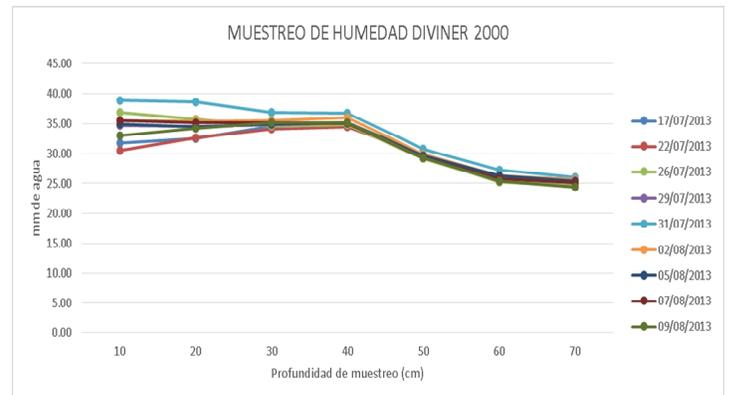
A. Laureles



B. Pangola



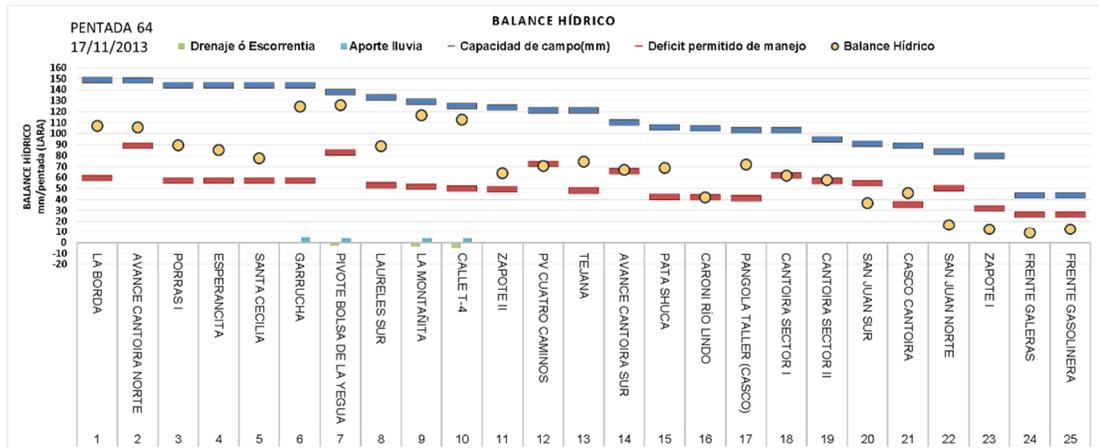
B. Río Lindo



D. Río Lindo

Figura 39. Humedad volumétrica medida mediante la sonda FDR (DIVINER 2000), en las fincas Laureles, Pangola, Río Lindo, durante el período de lluvia 2013.

Estas variaciones no solo afectan la retención de humedad, sino también la solución del suelo, en este sentido la utilización del recurso hídrico es muy importante no solo en los procesos productivos (TCH), sino a demás en la conservación del recurso suelo y la fertilidad del mismo y esto solo se consigue utilizando la herramienta adecuada.



BALANCE HÍDRICO
ZONA 6. INGENIO MADRE TIERRA
AÑO 2013

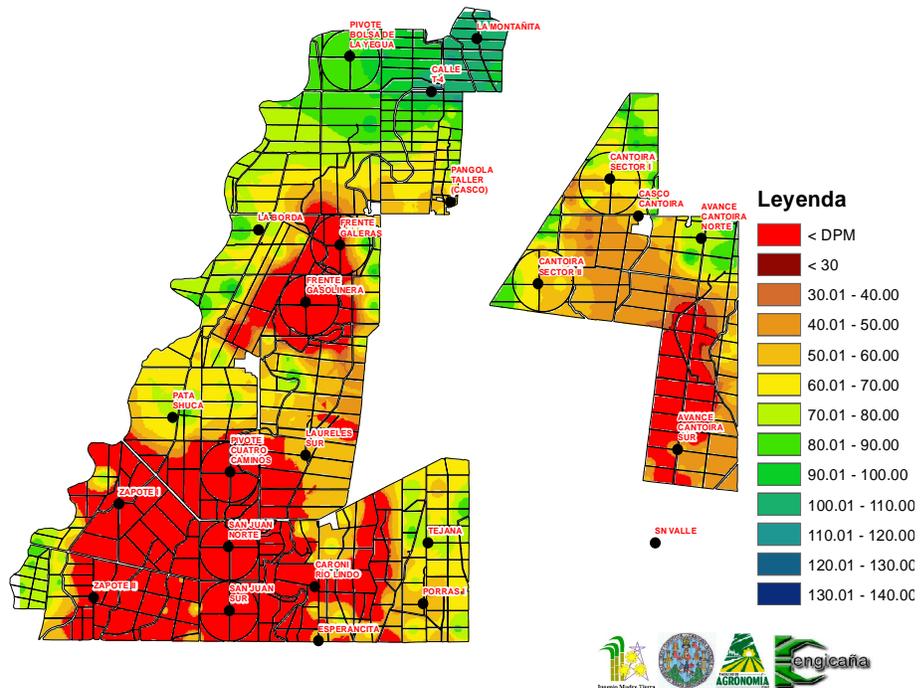
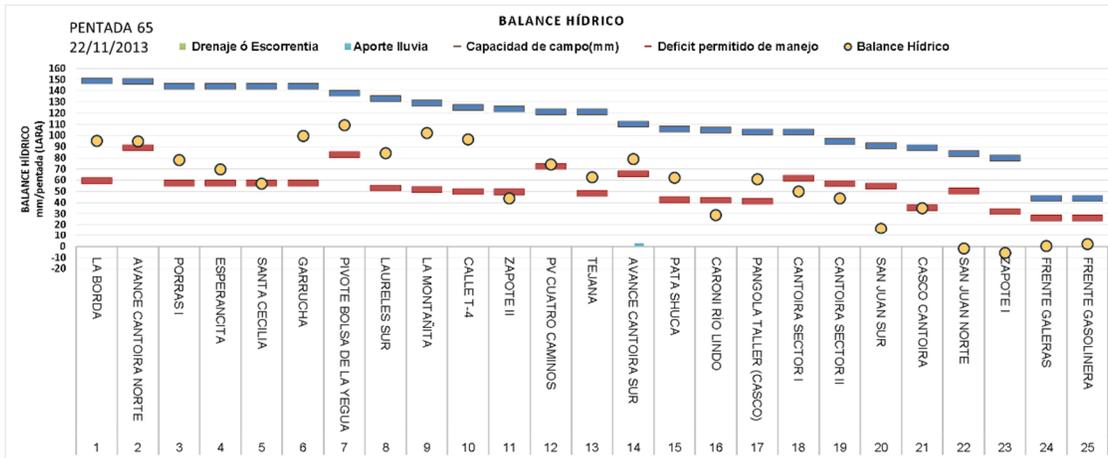


Figura 40. Balance Espacio – Temporal pentadas 64, salida del invierno litoral centro. Zona de producción seis, Ingenio Madre Tierra. Año 2013.



BALANCE HÍDRICO
ZONA 6. INGENIO MADRE TIERRA
AÑO 2013

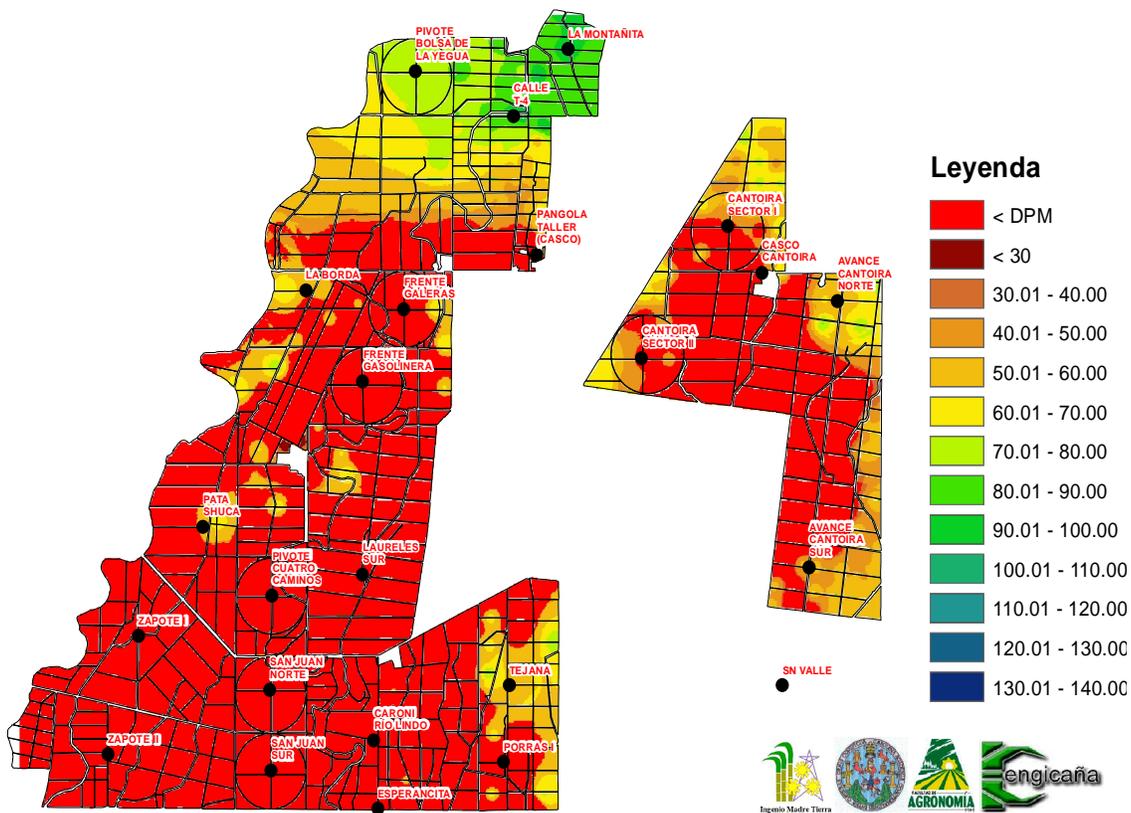


Figura 41. Balance Espacio – Temporal pentadas 65, salida del invierno litoral centro. Zona de producción seis, Ingenio Madre Tierra. Año 2013.

En estos términos hay que recordar que la zona cañera de Guatemala presenta un período seco variable en cada uno de los estratos altitudinales que en sus extremos se extiende del inicio de noviembre al 30 de mayo de cada año y el resto es un período de lluvia. La variabilidad del balance hídrico entre el período seco y lluvioso se debe principalmente al establecimiento del inicio y final del período lluvioso desde el punto de vista agrometeorológico (inicio y final estable de lluvia) así mismo a la entrada de la canícula que es un período sin precipitaciones dentro de la época lluviosa.

Esos cambios deben de ser cuantificados mediante herramientas idóneas, y es ahí donde la utilización del balance hídrico juega un papel importante, recordando que el Balance Hídrico espacial permite la representación del fenómeno en términos de su componente espacial – temporal, lo que facilita el direccionamiento hacia áreas concretas.

2.7 CONCLUSIONES

1. Según los análisis de las características edafo -climáticas, se determinó la ampliación de la red pluviométrica para reducir la variación espacial de la lluvia de un 79% a un 28%, y la realización de un estudio de las características físicas de suelo para la determinación de la lámina de agua aprovechable (LAA), debido a la heterogeneidad del suelo en el área de estudio, además de ello, se ha analizado las fluctuaciones registradas en la temperatura tanto en la estación Bonaza como la de San Antonio el Valle, donde se encontraron diferencias de 0.01 a 0.6 °C, tomando en cuenta de que la distancia que separa las estaciones es de 9.29 km, porcentaje de pendiente <3% y una topografía plana.
2. A través de los análisis edafoclimáticos se realizó un balance hídrico espacio-temporal, el cual puede cuantificar la situación hídrica de un área determinada para un intervalo de tiempo dado, el cual según pruebas realizada durante el periodo de lluvia del año 2013, permitió el direccionamiento de los muestreos de humedad y la aplicación de riego solo en aquellos lugares que lo necesitaran.
3. A través de análisis gravimétricos realizados en los laboratorios de CENGICAÑA, las mediciones realizadas con el DIVINNER 2000 cuantifican un 80%, de la humedad del suelo. Es por ello que este parámetro ha sido utilizado para la validación del balance espacio – temporal, el cual se ha adaptado a dichos resultados en un 75%, dando un 5% de diferencia en aquellas áreas que presentan influencia de agua residual (nivel freático alto).

2.8 RECOMENDACIONES

1. Debido a que la zona de producción seis se encuentra en la Zona Litoral Centro, a cercanías del Río Coyolate, con suelo de clase textural que van desde arenas, franco, franco limoso, etc., es necesario la cuantificación del agua residual, efecto del nivel freático alto en cierto periodos de tiempo y áreas cercanas al río, con lo cual se espera mejorar la precisión del balance hídrico en estas áreas.
2. Es necesarios establecer programas de reforestación y construcción de corredores biológicos no solo en la zona sino en las fincas aledañas, para restituir el equilibrio ambiental tanto en temperatura como en precipitaciones, debido a la alta variabilidad en esta región.
3. Se recomienda hacer pruebas con el método de interpolación Spline para la precipitación, debido a que es una alternativa que muchos autores recomiendan para la interpolación de datos de pluviométricos, el cual se podría utilizar en la zona media y alta de la zona cañera de Guatemala.
4. Es importante la validación del balance hídrico en diferentes periodos ENSO (niña y niño), ya que el año 2013, fue un año neutro, con eventos de precipitación homogéneos.

2.9 BIBLIOGRAFÍA

1. Amaya Estévez, A; Cock, JH; Pilar Hernández, A Del; Irvine, JE. 1995. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia: biología de la caña de azúcar (en línea). Colombia, CENICAÑA. 33 p. Consultado 21 oct 2013. Disponible en http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seridados/libro_el_cultivo_cana/libro_p_31-62.pdf
2. Andrades, J. 2011. Elaboración de un módulo SIG gráfico para un balance edafo - climático, basado en un software libre. Revista Forestal Venezolana 55(1):41-44. Consultado 2 mar 2013. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/33486/1/articulo5.pdf>
3. Brolo Feltrin, GA. 2004. Historia de la distribución de malezas en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la costa sur de Guatemala (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 30 p. Consultado 14 mar 2013. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2085.pdf
4. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. In Meneses, M. Balance hídrico. Guatemala. p. 203-362.
5. Enciso, JM; Porter, D; Péries, X. 1914. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego (en línea). US, TM&M. Consultado 16 oct 2013. Disponible en http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87470/pdf_2437.pdf
6. García, H; Toscano, A. 2007. Morfología de la caña. In Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña. Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca, Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Consultado 2 abr 2013. Disponible en <http://corpomail.corpoica.org.co/bacfiles/bacdigital/46668/guatecnologicaparaelmanejo.pdf>
7. Gomez Hernandez, JL. 1997. Efecto de tres laminas de riego sobre el establecimiento-macollamiento y producción de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), bajo las condiciones de suelo arcilloso en Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. Tesis Ing.Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 74 p. Consultado 25 mar 2013 Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1686.pdf
8. Herrera Ibáñez, IR. 2006. Climatología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 215 p.
9. Irungaray Guzman, RC. 1997. Uso del balance hídrico para la programación de riegos en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), bajo condiciones de San Toliman, Solola (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 63 p. Consultado 5 mar 2013 Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1693.pdf

10. Madrigales Barrios, NR. 1999. Evaluación de tres métodos de riego por superficie durante la etapa de elongación de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.), bajo condiciones de Tiquisate, Escuintla (en línea). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 45 p. Consultado 5 may 2013 Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1826.pdf
11. Mansilla, GS. 2010. Propuesta y validación de un método que genere modelos para establecer zonas vulnerables a desastres naturales en la cuenca del río Coyolate. Guatemala, CONCYT / SENACYT / FONACYT / FAUSAC. 126 p. (Proyecto FODECYT no. 056-2006).
12. Martínez Fuentes, JC. 2007. Contribución a la eficiencia en la producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), en la zona de producción seis del ingenio Madre Tierra. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 110 p. Consultado 4 mar 2013 Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2312.pdf
13. Orellana, JA. 2005. CENTA (en línea). El Salvador, CENTA. Consultado 10 oct 2013 Disponible en <http://www.centa.gob.sv/upload/laboratorios/suelos/TOMA%20DE%20MUESTRA%20DE%20SUELO.pdf>
14. Pérez, A. 1996. Caracterización climática de la cuenca hidrográfica del río Sinú, parte media y baja. In Pérez, A. Sistemas de información geográfica -plan de acción forestal para Colombia. Santa Fé de Bogotá, Colombia, Universidad de Manizales. 17 p.
15. Puerta Tuesta, R; Rengifo Trigozo, J; Bravo Morales, N. 2013. El blog de Franz (en línea). Consultado 2 nov 2013 Disponible en <http://acolita.com/manual-de-arccgis-10-espanol-pdf-gratis/>
16. Ruiz, FS. 1995. La caña de azúcar (en línea). In El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia. 441 p. Consultado 2 feb 2013 Disponible en books.google.com.gt/books?isbn=9977648115
17. Sandoval Illescas, J. 2007. Principios de riego y drenaje (en línea). Guatemala, USAC, Editorial Universitaria. Consultado 5 abr 2013. Disponible en books.google.com.gt/books?isbn=999225981
18. Suárez, DA. 1999. Manual de muestreo de suelos y propiedades físicas. La Lima, Cortés, Honduras, Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. 42 p.

3 CAPITULO III. INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS A LA ZONA DE PRODUCCIÓN SEIS, INGENIO MADRE TIERRA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

3.1 SERVICIO I. DIGITALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS ÁREAS ARENOSAS (VETAS) UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

3.1.1 PRESENTACIÓN

De acuerdo con los estudios a nivel de semidetalle de suelos de la zona cañera del sur Guatemala elaborados por Sánchez et al 1994, existen en la región 6 ordenes, 26 subgrupos y 37 familias de suelos. Los cuatro órdenes más importantes en el área representan 34 familias y 23 grupos de suelos.

La Zona de producción seis del Ingenio Madre Tierra según CENGICAÑA (2012), presenta predominio de Entidoles y Mollisoles, los primeros forman parte de unidades de explayamientos cercanos a los cauces de los ríos por lo que su clase textural los posiciona en suelos con muy baja retención de humedad, en cuanto a los Mollisoles, estos son suelos profundos y moderadamente profundos limitados en ciertas zonas por el nivel freático.

Debido a la heterogeneidad en cuanto a la distribución de estos suelos en el área de la Zona de producción seis y los bajos rendimientos (TCH) que se obtienen de ellos, se delimitaron aquellos suelos cuya clase textura es arenosa y que en la región se conocen como vetas con la utilización de software SIG, GPS, Google Earth y su validación en campo mediante inspecciones por personal de la Zona de producción seis.

3.1.2 OBJETIVOS

3.1.2.1 GENERAL

- Digitalizar y validar las áreas arenosas (vetas) que se encuentran en el área de cultivo de las fincas de la Zona de producción seis Ingenio Madre Tierra.

3.1.2.2 ESPECIFICOS

- Delimitación de vetas de las Fincas Pangola, Laureles, Río Lindo, Cantoira, La Garrucha, utilizando sistemas de información geográfica (SIG), con el apoyo de ortofotos del año 2006.
- Cuantificación del área cubierta por suelos arenosos (vetas).
- Validación de los mapas temáticos a través de la corroboración en campo por los mayordomos o personal técnico que conozca el área.

3.1.3 METODOLOGÍA

MATERIAL Y EQUIPO

- GPS
- Cinta métrica de 50 m
- Libreta de apuntes
- Lápiz
- Maestro de lotes actualizado
- Croquis y mapas de las áreas o lote

RECURSOS HUMANOS

- Gerente de zona
- Mayordomo de campo
- Un caporal
- Dos jornaleros

El trabajo de digitalización de áreas arenosas (vetas) que se encuentran en el área de cultivo de las fincas de la Zona de producción seis perteneciente al Ingenio Madre Tierra, realizada en tres fases:

- Fase de campo
- Fase de Gabinete
- Fase de Validación en campo

PRIMERA FASE DE CAMPO

- Identificación de las áreas arenosas y su medición, llevando registros a través de mapas realizados por los mayordomos o personal técnico que conozca el área. Los cuales incluirán los siguientes aspectos: croquis del lote, distribución de la veta sobre el lote (localización georeferenciada) y área parcial o aproximada de la misma.

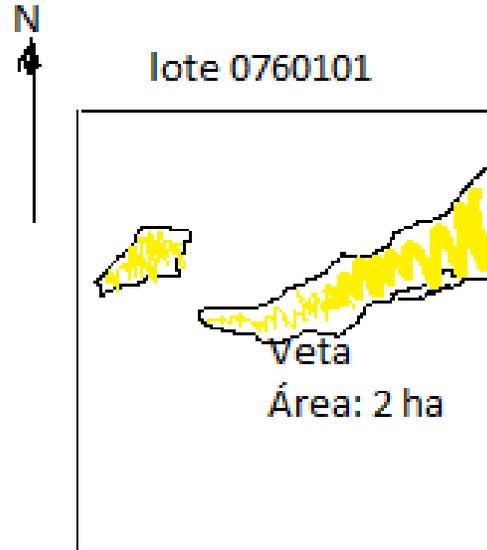


Figura 42. Croquis de lote y área cubierta por la veta

SEGUNDA FASE O DE GABINETE

- Delimitación y digitalización de las áreas arenosas (vetas), utilizando para ello ortofotos del año 2006, proporcionadas por la FAUSAC en apoyo a MT utilizando para ello software GIS (SvSig, Quantum SIG o ArcMap 9.1)
- Utilización de Google Earth para corroboración y digitalización de vetas que no se observen en las ortofotos del año 2006.

FASE DE VALIDACIÓN EN CAMPO

- En esta fase se hará la corroboración por parte de los mayordomos o personal que conozca el área, para ello se les proporcionará los mapas temáticos al personal que labora en las fincas para su utilización y corrección.

3.1.4 RESULTADOS

ZONA 6, INGENIO MADRE TIERRA MAPA DE VETAS 2013

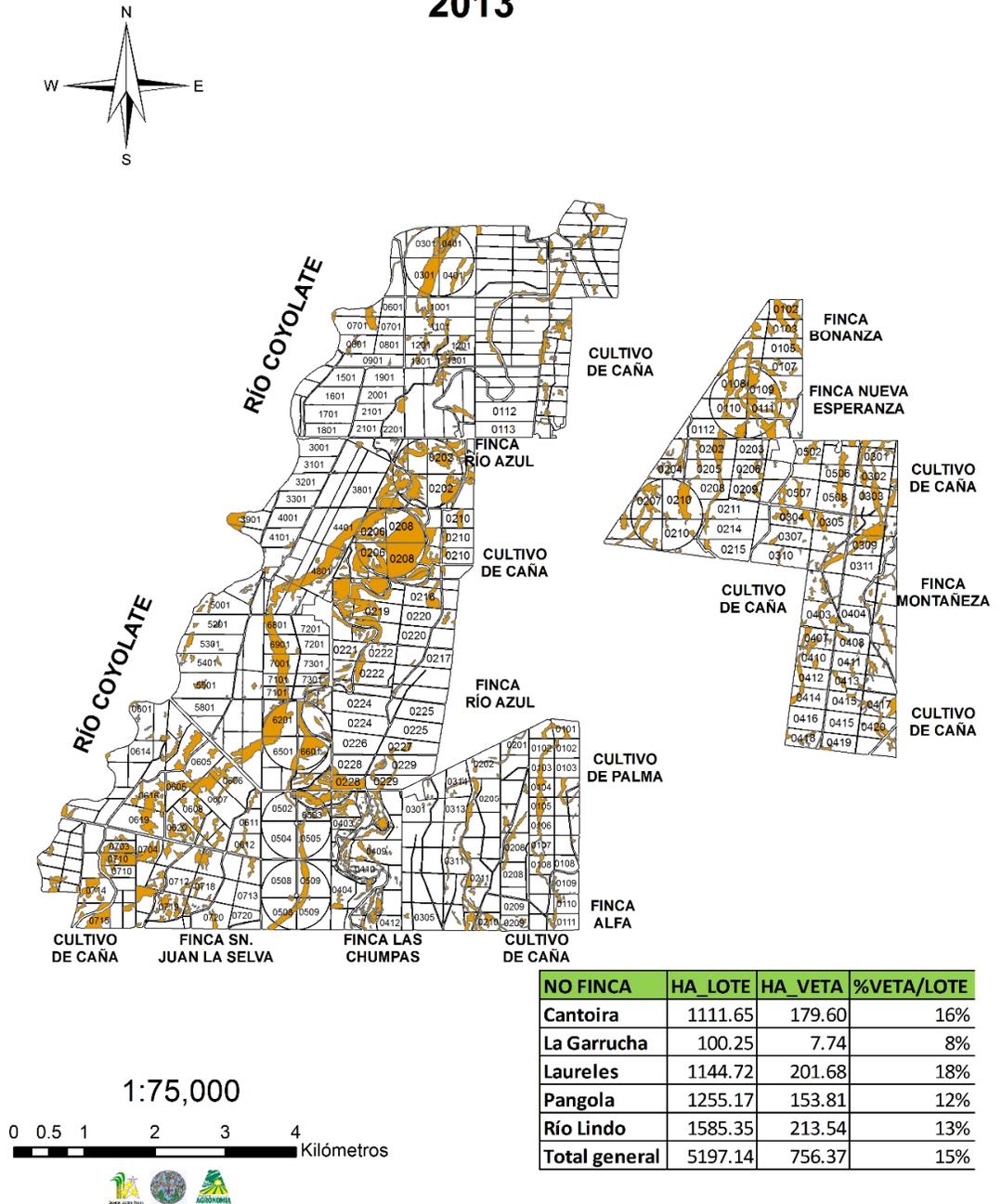


Figura 43. Mapa de áreas arenosas (Vetas) Zona de producción seis, Ingenio Madre Tierra 2013

Como se observa en la Figura 43. El área cubierta por suelos arenosos representa un 15% del área total, en primer lugar tenemos la Finca Laureles con 18% de su área que equivalen a 201.68 Ha de suelos arenosos, Cantoira con 16% que equivalen a 179.6 Ha de suelos arenosos, Finca Río Lindo 13% equivalentes a 213.54 Ha suelos arenosos, Finca Pangola 12% equivalente a 153.81 Ha suelos arenosos y por último la Finca La Garrucha 8% que equivalen a 7.74 Ha de suelos arenosos. Contabilizando un total de 756.37 Ha de suelos con clase textural Franco arenoso, Arena Franca y Arena, Sin contabilizar la Finca Santa Cecilia. En las área críticas se encuentran instalados 10 equipos fijos, 8 son de tipo pivote y 2 son avances frontal, los cuales cubren un área aproximada de 1,151.3 Ha, distribuidas de la siguiente manera: Equipos tipo pivote 593.9 Ha y Equipos tipo Avance Frontal 557.4 Ha que representa un 22% del área total.



Figura 44. Cajuelas realizadas en área de veta Finca Cantoira, Finca Rio lindo y Finca Pangola, a una profundidad de 60 cm.

La Figura 44. Muestra la diferencia existente entre los tipos de suelo arenoso (veta) que existen en la Zona de producción seis de producción del Ingenio Madre Tierra. En el caso particular de la Finca Cantoira, en varias de las vetas, los suelos no presentan una capa o estrato con alto contenido de arena, como en el caso de la Finca Río lindo y Pangola, donde se encuentra un estrato predominante de arena que puede ser el estrato superior, inferior o intermedio.

3.1.5 CONCLUSIONES

- La delimitación de vetas es una herramienta para justificar los proyectos de muestreo de suelos, proyectos de Riego, aplicación de madurantes, planificación de mediciones de TCH en base a peso, y establecer variedades que se adapten a suelos arenosos.
- El proyecto de vetas se validó con la ayuda de los mayordomos, caporales mayores y trabajadores a su cargo, los cuales por cuatro meses estuvieron utilizando los mapas con vetas, marcando aquellos lugares en los cuales no existiera concordancia o hiciera falta un área marcada, de igual modo se utilizó el entorno de Google Earth para corroborar la existencia de más vetas y ajustar la continuidad de las mismas.

3.1.6 RECOMENDACIONES

Debido a las condiciones cambiantes del clima en la región litoral centro como lo reportan los datos de precipitación del ICC (2013), se hacen las siguientes recomendaciones:

- Prever un plan de manejo especial para esas áreas.
- Realización del estudio de suelos para el análisis de características físicas y nutricionales, debido a que el suelo de esta región es muy heterogénea en cuanto a la retención de humedad y aporte de nutrientes.
- Direccionar el muestreo de suelos e instalación de pozos de observación piezométrica (nivel freático).
- Implementación de equipos de riegos más eficientes en aquellas zonas deficitarias de agua (vetas) o de baja retención de humedad, entre los sistemas están: goteo, mini - aspersion y tipo pivote, que además de eficiencia protegen el suelo a la erosión y pérdida de nutrientes.

3.1.7 ANEXOS

La Figura 45. Muestra la propuesta realizada por el gerente de la zona para la adquisición e instalación de siete equipos de riego tipo pivote central y un avance frontal, las cuales estarían localizadas en aquellos lugares que presenten problemas de déficit de agua en época de seca, los que cubrirían un 16% más del área, con lo cual se lograría una cobertura equivalente al 38.9 % del área de cultivo, es decir 2,035.6 Ha cubiertas por riego mecanizado fijo de lo cual solo se ha autorizado la adquisición de un equipo tipo pivote central.

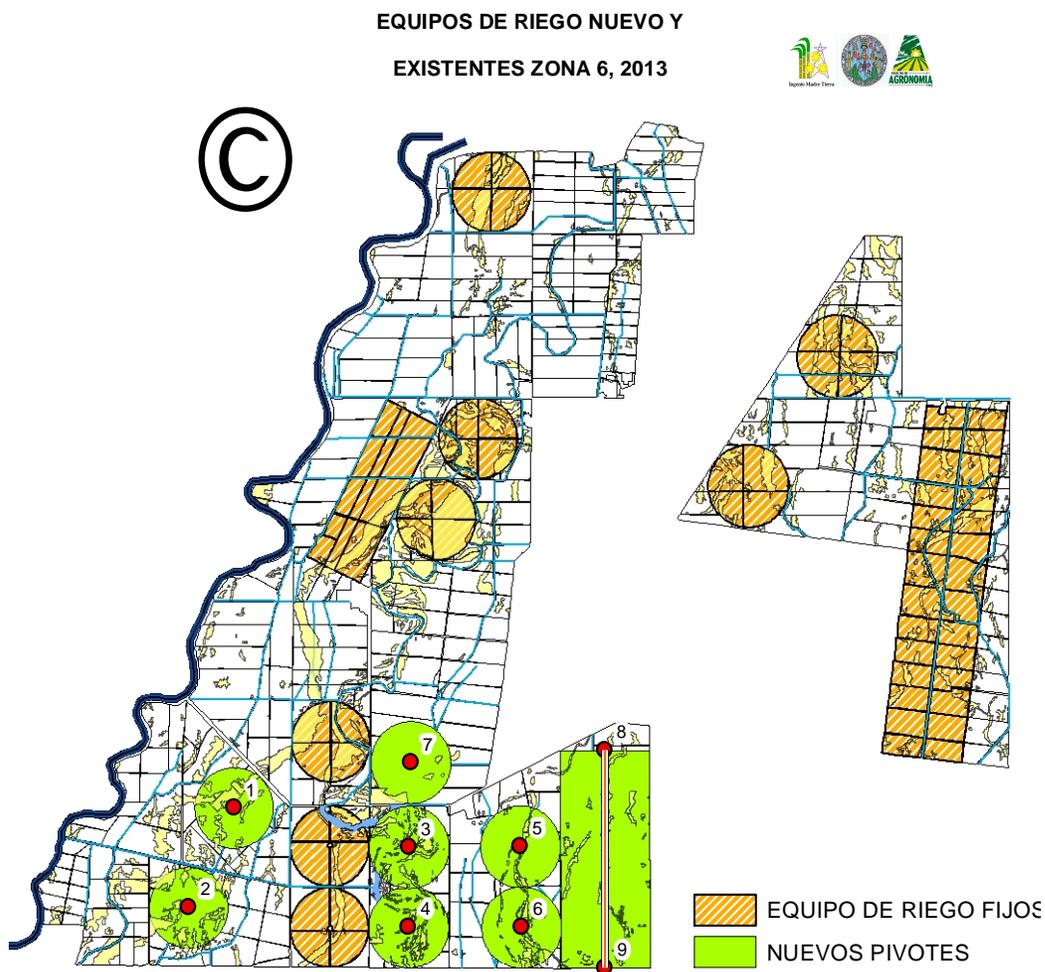


Figura 45. Propuesta para la adquisición e instalación de equipos de riego tipo pivote central y avance frontal, en las zonas deficitarias de agua.

3.2 SERVICIO II. PROYECTO POZOS DE OBSERVACIÓN DE NIVEL PIEZOMÉTRICO PARA LAS FINCAS PANGOLA, LAURELES, CANTOIRA Y RÍO LINDO.

3.2.1 PRESENTACIÓN

En el año 2008 se implementaron pozos de observación por parte del Departamento de Ingeniería Agrícola para llevar registros del nivel freático de las Zonas de producción 4, 5 y 6, una de las fincas piloto de la Zona de producción seis fue la Finca Cantoira. En donde los últimos registros que se tienen a la mano es de fecha 27 de octubre de 2008.

En el año 2013 se retoma el proyecto, implementado la red piezométrica en las Fincas Cantoira, Pangola, Laureles y Río Lindo con el objetivo de proveer información de las áreas que presentan problemas de drenaje. Esta información es útil para el período de pre-cosecha de la caña de azúcar debido a que la caña necesita la disminución de la humedad del suelo en las 2 últimas semanas para alcanzar la maduración óptima y con esto la acumulación de azúcares (CENGICAÑA, 2012).

Según Miranda (2013), se ha observado la disminución de TAH en las últimas zafras, por lo que se hace necesario realizar las mediciones de la fluctuación de la tabla de agua utilizando pozos de observación; esto permitirá obtener información básica para analizar dicha problemática.

Además reporta CENGICAÑA (2012), parte de los suelos predominantes en la Zona de producción seis, son los Mollisoles, los cuales son suelos profundos y moderadamente profundos limitados en ciertas zonas por el nivel freático.

De esta forma el proyecto sirvió como herramienta que ha brindado información relevante del comportamiento de la tabla de agua y proporciono la información para la implementación de medidas de mitigación (red de drenaje) que ayude a contrarrestar las pérdidas o bajas de rendimiento.

3.2.2 OBJETIVOS

3.2.2.1 GENERAL

- Planificar, elaborar e instalar pozos de observación piezométrica en la Zona de producción seis del Ingenio Madre Tierra.

3.2.2.2 ESPECÍFICOS

- Construcción e instalación de pozos de observación de nivel piezométrico en las Fincas Pangola, Laureles, Cantoira y Río Lindo.
- Lectura de los pozos de observación cada semana para la planificación de labores de riego y drenaje.
- Análisis y la elaboración de mapas temáticos derivado de los datos de campo.

3.3.1 METODOLOGÍA

1. Determinar con el gerente de Zona de producción seis los distintos sectores a evaluar para obtener la ubicación y el total de puntos de observación.
2. Se realizó el estudio exploratorio de la zona para tomar decisiones de instalación de pozos de observación.
3. Se elaboraron plano de las fincas con la ubicación de los puntos previamente definidos para la construcción de los pozos de observación.
4. La instalación de pozos se realizó en dos pasos, se instalarán 46 pozos para monitoreo de nivel piezométrico durante el periodo 2013 -2014, con una ampliación según especificación del técnico a cargo.
5. Georeferenciación de los pozos construidos dejando la base de datos en la zona para su uso.
6. Construcción de los pozos.

Procedimiento:

- 6.1 Una vez ubicado el pozo en el lote, se inició la perforación del pozo con el barreno de tipo holandés, a una profundidad de 1.5 m
- 6.2 Instalación de tubo PVC ranurado y con protección de geotextil (Se entregó un tubo ranurado como muestra)
- 6.3 Se colocó un filtro de grava de ¼" de diámetro hasta 0.75 m de altura a partir del fondo.
- 6.4 Relleno de 0.75 m Restantes con material del lugar.
- 6.5 Instalación de tapón hembra de PVC de 1 ¼".

7. Toma de lecturas:

Una vez terminada la construcción y limpieza de los pozos, la zona inició la medición de los niveles freáticos, los cuales debieron ser reportadas en una boleta.

- 7.1 Las lecturas se realizaron cada semana.
- 7.2 Estas lecturas fueron procesadas y como producto se entregara un reporte gráfico a la gerencia de Zona de producción seis.

8. Listado de materiales a utilizar para cada pozo.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Tramo de tubo de PVC de 1.25" * 1.5 m
1	Adaptador hembra de 1.25"
1	Tapón macho de 1.25"
	Cemento solvente para PVC
	Cemento gris para base protectora
	Arena de río para base protectora
	Piedrín ½" para base protectora
	Piedrín ¼" para filtro de pozo
	Tela de geotextil no tejido MT 120

10.1 Pasos para la perforación y colocación de tubos.



Figura 46. Herramientas a utilizar para la construcción de pozos de observación de nivel piezométrico.



Figura 47. Perforación de pozo 3"

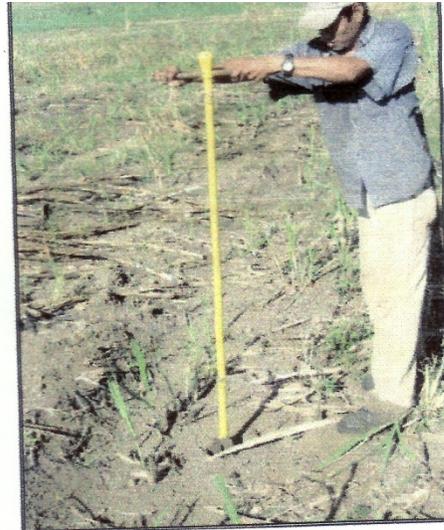


Figura 48. Extensión para perforar a 1.50 m

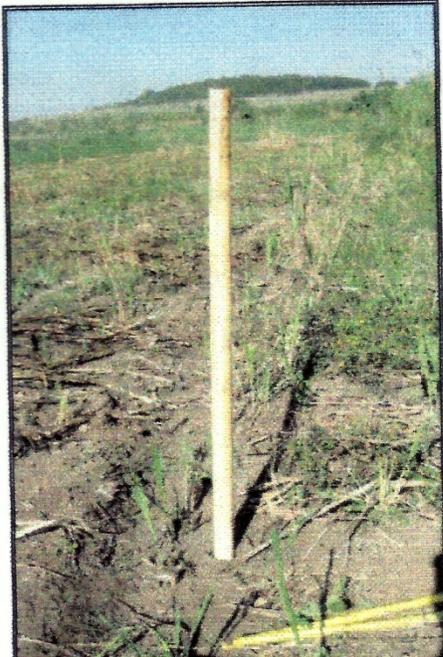


Figura 49. Inserción de la camisa y del tubo ranurado.

Cuadro 8. Boleta toma de datos

Zona : _____

Fecha de lectura: _____

CODIGO POZO	FINCA	LOTE	LECTURA (cm)

Nombre encargado lectura: _____

Vo. Bo. Gerente de Zona : _____

3.3.2 RESULTADOS

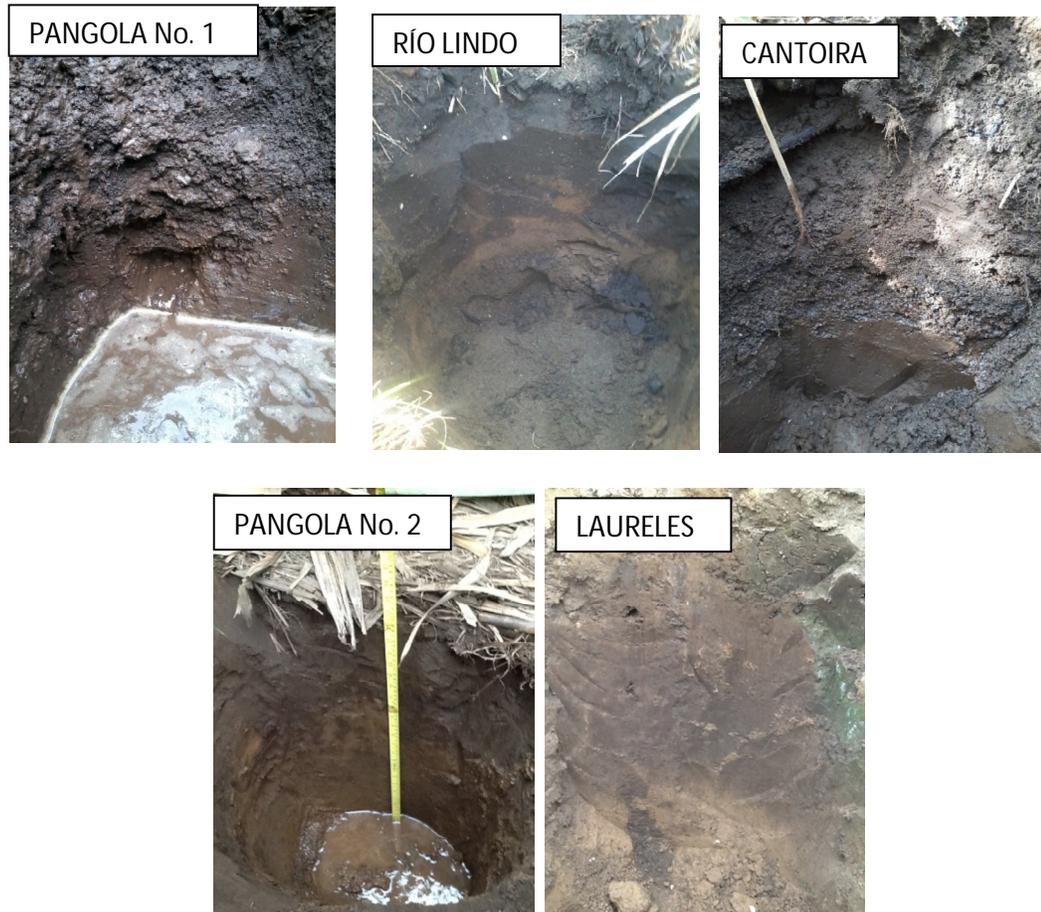


Figura 50. Cajuelas realizadas en la Finca Pangola, Río Lindo, Cantoira y Laureles, como parte del estudio preliminar para la toma de decisión de instalación de los pozos de observación de nivel freático y estudio de suelos.

El objetivo del estudio es un reconocimiento de los tipos de suelos que predominan en el área de cultivo de la Zona de producción seis del Ingenio Madre Tierra, y las fluctuaciones de nivel freático en ciertas áreas, de lo cual se ha logrado la toma de decisiones de instalación de pozos de observación con fundamentos técnicos y de esta manera alcanzar resultados satisfactorios.

Como se observa en la Figura 50. Pangola No.1 lote 0760301, los primeros 25 cm, presentan una capa de arena, seguido de un perfil franco arcilloso que aparentemente presenta compactación, por lo que la influencia de agua proveniente de quíneles o lluvia hacen que este sector sea propenso a sobresaturarse,

Mientras que el lote 0760201, Pangola No. 2, posee suelo profundo, de textura franco-limosa y un nivel freático a una profundidad de 80 cm en época de verano, aparentemente no hay invasión de zona radicular. En la Finca Laureles se observa suelos de textura al tacto franco-arenosa lo que le confiere un buen drenaje con influencia de vetas de arena, además hay zonas que presentan un horizonte superficial franco-arenoso de unos 25 cm de profundidad seguido de un horizonte de arena gruesa, en el caso de la Finca Cantoira, presenta un perfil superior con alta pedregosidad, seguido de un horizonte E (arena) y un horizonte franco-arenoso en particular estas zonas son las más propensas a sobresaturación en época lluviosa al funcionar como drenajes naturales.

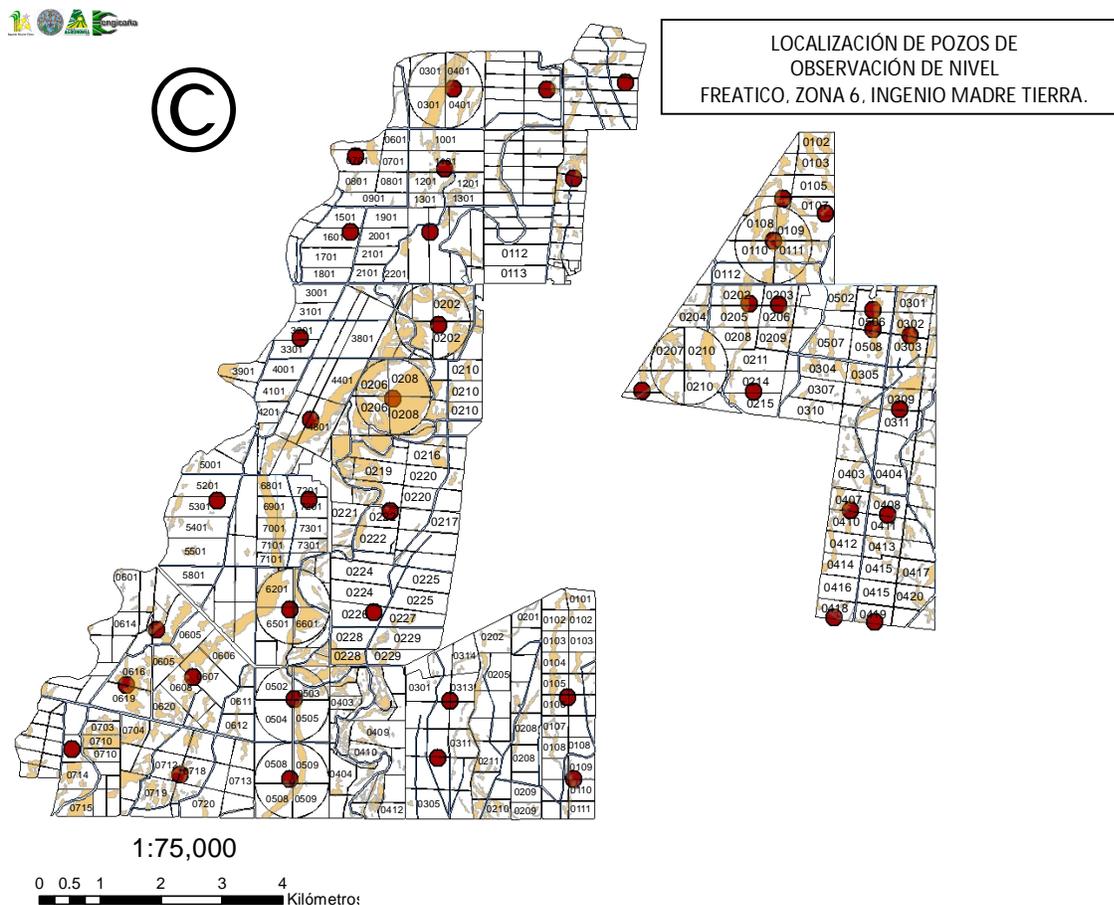


Figura 51. Localización de los pozos de observación de nivel piezométrico, en las fincas de estudio Pangola, Laureles, Río Lindo y Cantoira, en el año 2013.

Según CENGICAÑA (2012) reporta que la mayor parte del área de la Zona de producción seis son suelos del orden de los Mollisoles, los cuales son profundos a moderadamente profundos y en ciertas áreas limitados por el nivel freático.

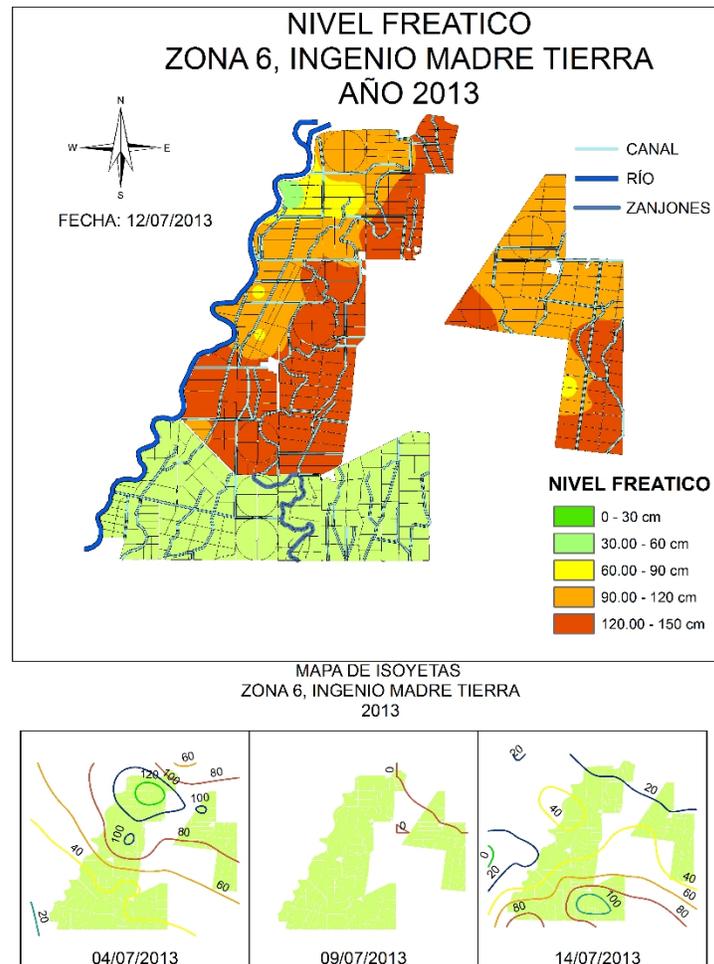


Figura 52. Mapa de nivel freático para fecha 12/07/2013 e Isoyetas de tres fechas que explican la recarga hídrica de la zona

Nota: Cuando el nivel freático está a 0 – 30 cm, se refiere que se encuentra a nivel del suelo, mientras que a 150 cm, significa que, hay presencia de agua a una distancia 1.5 metros de profundidad.

La Figura 52. A fecha 12/07/2013 muestra que hay pocas áreas con nivel freático a una altura de 60 – 90 cm, lo cual no afecta el sistema radicular del cultivo y solo una pequeña área de la Finca Pangola muestra un nivel elevado que invade zona radicular 0 - 30 cm, hay que destacar que esta zona está a las orillas del Río Coyolate.

Una de las fuentes de recarga hídrica más importante son las lluvias intensas en la región litoral centro, pero su comportamiento es muy variado en cuanto a su distribución sobre el área, como se visualiza en las Isoyetas de la Figura 53.

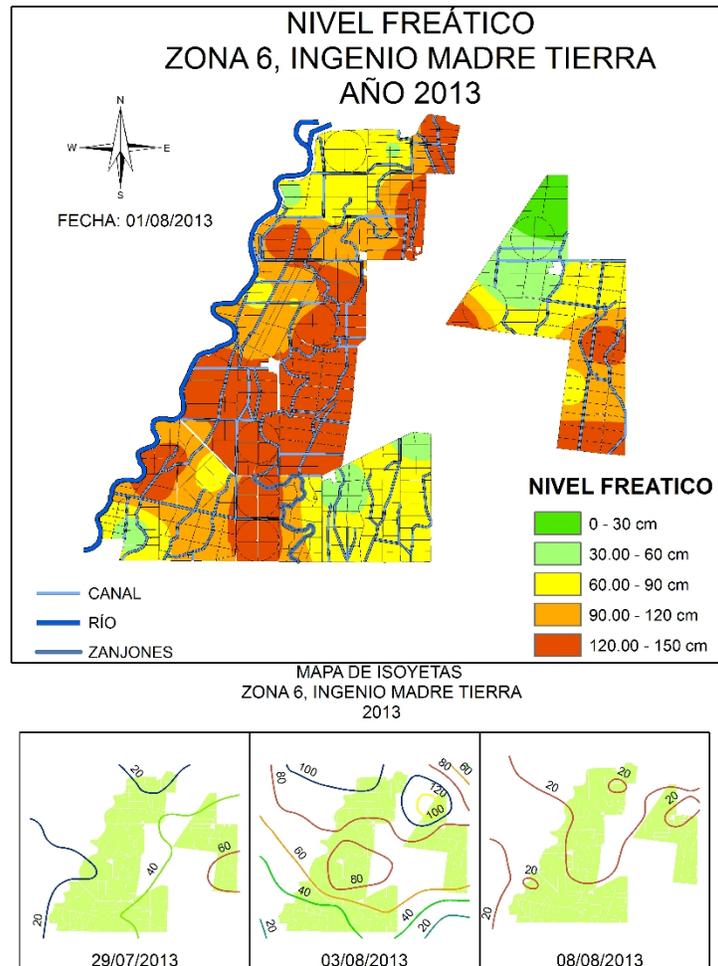


Figura 53. Mapa de nivel freático para fecha 01/08/2013 e Isoyetas de tres fechas que explican la recarga hídrica de la zona

Es por ello que al transcurrir los eventos meteorológicos el suelo se ve recargado dando como resultado que en cierto momento el nivel freático se encuentre invadiendo zona radicular como lo muestra la Figura 53. A fecha 01/08/2013 la Finca Cantoira es la más afectada y parte de la Finca Río Lindo, teniendo áreas con una tabla de agua entre 0 – 60 cm que invade zona radicular, las otras fincas reportan recarga de agua a 60 – 90 cm.

Hay que recordar que la mayor parte de las lluvias de la región litoral centro son convectivas y que los movimientos de masas de aire se deben al desplazamiento de corrientes ascendentes que van desde el océano hacia los sistemas montañosos lo que hace muy variado el comportamiento de las precipitaciones en esta región (Ibáñez, 2006).

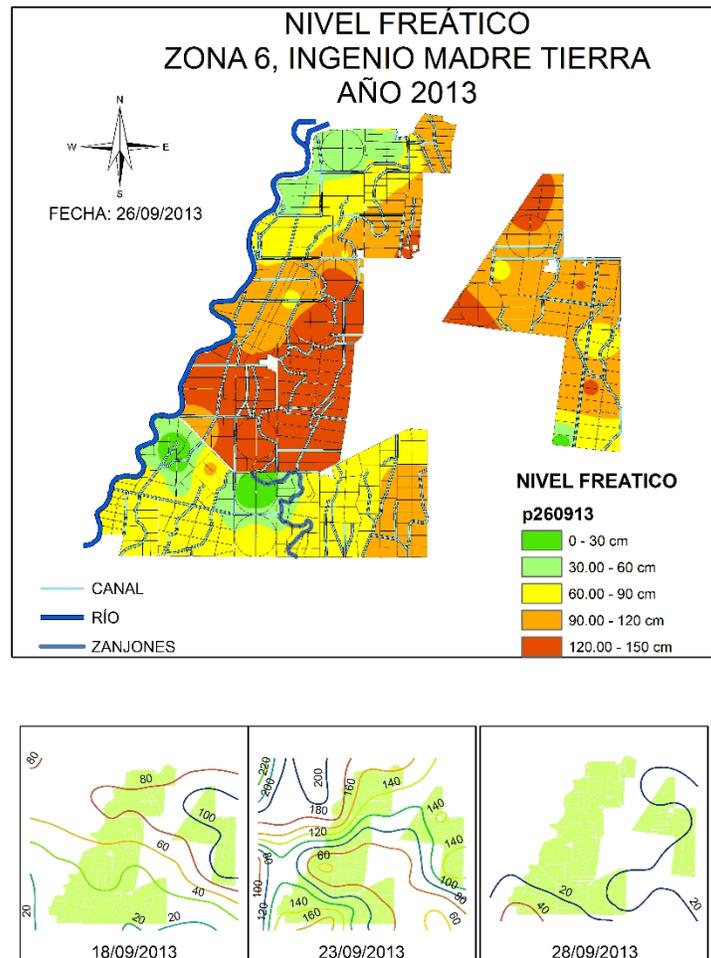


Figura 54. Mapa de nivel freático para fecha 26/09/2013 e Isoyetas de tres fechas que explican la recarga hídrica de la zona

Es por ello que en cierto período de tiempo se tienen precipitaciones altas en las partes norte del área lo que provoca su recarga hídrica, Figura 54 y otras en las partes bajas o sur, lo que hace que el nivel freático sea muy dinámico (Figura 55).

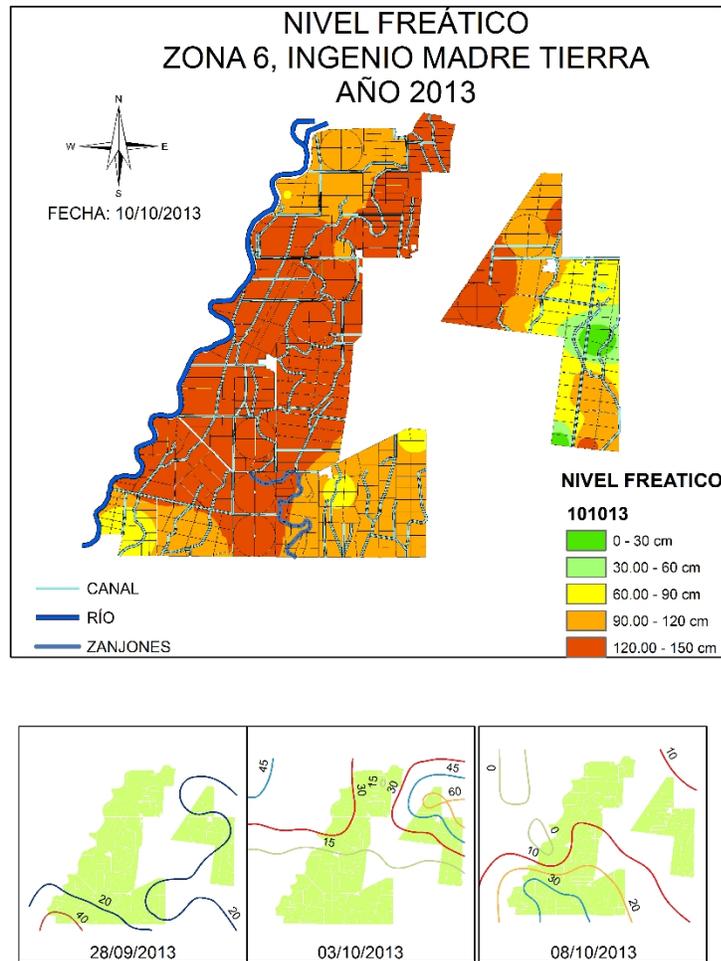


Figura 55. Mapa de nivel freático para fecha 10/10/2013 e Isoyetas de tres fechas que explican la recarga hídrica de la zona

De hecho los cambios de nivel freático son resultado de las precipitaciones, pero también es apreciable que las áreas en donde el agua invade zona radicular por más de una semana presentan estrés y retraso en el crecimiento lo que se traduce en disminución de TCH, es por ello que la red de drenajes debe de estar en las mejores condiciones, es decir, consolidarlas o elaborarlas de materiales apropiados que faciliten la evacuación de agua evitando la obstrucción.

3.3.3 CONCLUSIONES

- Las oscilaciones del nivel freático se deben a causas que suponen un cambio en el almacenamiento subterráneo, tales como la sucesión de épocas secas y húmedas, variación de niveles en cuerpos de agua conectados al acuífero, extracción de agua por bombeo o recarga por inyección, entre otras.
- El estudio de esta variable es muy importante para comprender la dinámica de la tabla de agua en la zona de estudio, ya que juega un papel importante en el ciclo hidrológico, balance hídrico, etc., al actuar como una variable de aporte al sistema.
- En la zona, existen algunas áreas que por la configuración de sus perfiles son áreas que funcionan como drenajes naturales (Figura 50). Lo que ocasiona que en cierto periodo de tiempo que está ligado a las precipitaciones o los aportes de los canales cercanos, se vean inundadas o sobresaturadas.

3.3.4 RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer la ampliación de la red piezométrica para tener un grado más alto de precisión y la cuantificación del aporte capilar sea representativo y confiable, por lo que el número de pozos que se requieran dependerá del grado de precisión que se requiera.
- La correlación entre lluvias y niveles de agua subterránea no siempre es clara. Por lo que parece más conveniente relacionar niveles con capacidad máxima de retención de los suelos, cuantificando las pérdidas por escorrentía y tomando los aportes de infiltración.

3.3.5 ANEXOS

Cuadro 9. Coordenadas de los pozos de observación de nivel freático de la Zona de producción seis, Ingenio Madre Tierra, Sistema de coordenadas Proyeccion GTM.

UBICACIÓN DE POZOS				UBICACIÓN DE POZOS			
NO	X	Y	LOTE	NO	X	Y	LOTE
1	690899	1549043	0660101	25	423872	1552771	0740501
2	690823	1547923	0660106	26	694686	1552998	0740503
3	690943	1546826	0660109	27	694727	1552731	0740506
4	688986	1547106	0660307	28	689123	1555492	0760401
5	689102	1547827	0660312	29	689218	1554731	0761101
6	687162	1547827	0660502	30	687980	1552277	0764401
7	687168	1546766	0660508	31	690243	1555847	0780102
8	685316	1548571	0660604	32	690845	1554714	0780120
9	686100	1548317	0660606	33	688987	1552792	0780202
10	684762	1548032	0660616	34	688354	1550349	0780219
11	684315	1546933	0660714	35	691348	1556169	0780118
12	685794	1546714	0660718	36	689200	1553368	0762601
13	415185	1546638	0667011	37	688455	1551749	0780206
14	693646	1554452	0740106	38	687779	1549120	0780226
15	694194	1554230	0740107	39	687181	1552510	0763201
16	422902	15522717	0740202	40	687558	1550205	0767201
17	693613	1553040	0740203	41	687876	1554734	0760701
18	691679	1551789	0740212	42	687858	1553727	0761601
19	695230	1552667	0740302	43	687204	1551520	0764501
20	695115	1551385	0740311	44	686378	1550469	0765201
21	694420	1550375	0740407	45	687155	1549025	0766501
22	694974	1550314	0740408	46	685828	1549241	0765801
23	694331	1548967	0740418	47	420284	1553493	0780112
24	694860	1548907	0740419				

Observación del manto freático cercano a la superficie del suelo, en zona s críticas de la Zona de producción 6, del Ingenio Madre Tierra, en el año 2013.



Figura 56A. Instalación de Pozos para monitoreo de Nivel Freático en puntos críticos de la zona de cultivo.

3.4 SERVICIO III. SEGUIMIENTO A LA EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) A LA EDAD DE CINCO MESES COMO UNA HERRAMIENTA AUXILIAR PARA ESTIMACIÓN DE LAS TCH DEL PRIMER TERCIO, SEGUNDO Y TERCER TERCIO.

3.4.1 PRESENTACIÓN

A nivel agroindustria siempre se busca la utilización de las mejores variedades productoras TCH (Toneladas de Caña por Hectárea) y rendidoras TAH (Toneladas de Azúcar por Hectárea), estos resultado solo se logran a través de las medidas de manejo agronómico que se les proporcione al cultivo y la utilización de las mejores variedades.

Sin embargo es importante el constante monitoreo a través de mediciones de los Índices de Desarrollo que son un indicador del grado de desarrollo alcanzado por el cultivo a los 5 – 6 meses, es en este período de tiempo donde la población se encuentra en la fase de mayor crecimiento, por lo que estos parámetros son útiles para la toma de decisiones de medidas preventivas o correctivas en aspectos que van desde la nutrición, desarrollo en diferentes condiciones de suelo, clima, manejo, etc.

Estas mediciones se han comenzado a implementar en la Zona de producción seis de producción del Ingenio Madre Tierra para la zafra 2013 – 2014 como una medida para proveer las mejores condiciones al cultivo, con lo cual se espera corregir aquellas deficiencias no solo nutricionales sino abarcar aspectos como son las bajas de rendimiento ocasionadas por el déficit o saturación de agua en ciertas áreas y períodos de tiempo, daños provocados por plagas y ser utilizada como herramienta auxiliar para proyectar estimados de TCH año contra año.

Las mediciones se han realizado en las variedades CP73-1547, CP72-2086, CP17-2086, CP73-1547, CP88-1165, que se encuentran distribuida en la mayor parte del área cultivada de la zona de producción 6, abarcando un 30% del área total de cada lote.

3.4.2 OBJETIVOS

3.4.2.1 GENERAL

- Evaluar el índice de desarrollo de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) a la edad de cinco meses, para el primero, segundo y tercer tercio, de la Zona de producción seis Ingenio Madre Tierra 2013.

3.4.2.2 ESPECÍFICOS

- Evaluar el índice de desarrollo de la caña (*Saccharum spp.*) tomando las variables de altura de tallo, diámetro de tallo, peso, entrenudos, lote, variedad, tallos molederos, edad y porcentaje de resiembra para el primer, segundo y tercer tercio.
- Estimar la TCH a los 5 meses utilizando una adaptación de la metodología en base a peso propuesta por Comité de Estimados de Producción del Ingenio Madre Tierra.
- Análisis comparativo de los diferentes tercios, y propuestas para mejorar los rendimientos mediante prácticas preventivas y correctivas.

3.4.3 METODOLOGÍA

MATERIAL

- Balanza con indicador tipo reloj
- Cinta métrica de 50 m
- 1 tabla de 30 cm de ancho y 50 cm de largo. (para colocar la balanza)
- Calculadora
- Boletas
- Libreta de apuntes
- Lápiz
- Machete
- Lima
- Maestro de lotes actualizado
- Croquis y mapas de las áreas a muestrear
- Guantes y lentes.

RECURSOS HUMANOS

- Gerente de zona
- EPS de la FAUSAC
- Mayordomo de campo
- Un caporal
- Dos jornaleros

METOLOGÍA DE MUESTREO ESTRATIFICADO.

1. Definir planes y logística de las áreas a muestrear considerando lo siguiente:
 - a) Variedades diferentes dentro del lote.
 - b) Edad del cañal (diferencia por quemas accidentales, semilleros)
 - c) Resiembras
 - d) Topografía del lote
 - e) Inundaciones o malos drenajes
 - f) Métodos de riego
 - g) Daño por plaga
 - h) Escape de malezas
 - i) Daño por herbicida
 - j) Daño por madurantes
 - k) Fertilizantes (dosis)
 - l) Lotes aplicados con cachaza
 - m) Condiciones de suelo (textura, vetas, presencia de arcilla, talpetate, etc.)
2. Realizar una muestra por cada 2.10 Ha.
3. Medir 20 m lineales de la ronda hacia adentro del cultivo paralelo a surco, a continuación se miden otros 10 m lineales que definen el área a muestrear, y se cuentan los tallos molederos en esos 10 m, (contar solo tallos molederos de 1 m de caña dulce en adelante, dependiendo la época de muestreo con respecto a la cosecha o bien al madurante) para determinar el promedio de tallos por metro. Evitar quebrar caña al momento de desbajar los tallos en los 10 m
4. Cortar las cañas o tallos en los extremos de los 10 m que sea el promedio equivalente a 1 m por extremo. Al cortar los tallos se deben dejar separados las bases de cada caña para no confundirse de cuantos tallos se van a cortar.

5. Pesar los tallos cortados de estos 2 m No debe excederse de la capacidad de la balanza y debe usarse una tabla para evitar datos erróneos por irregularidades en el área del muestreo (suelo).

6. Anotar toda la información en boleta de campo para proceder al cálculo.

NOTA: para determinar la edad del cañal, se toma en cuenta la fecha de corte o siembra (si es plantía considerar los 15 días de germinación) a la fecha de muestreo.

7. Proyectar las TCH, hasta la fecha de aplicación de madurante y cuando un lote no se le aplique madurante calcular hasta los 21 días antes de la cosecha.

8. Considerar que el tonelaje que proporciona el muestreo es por la influencia de todas las condiciones climáticas y de manejo hasta ese momento, sin embargo, de la fecha del muestreo a la cosecha (75 u 80 días después del muestreo para el caso de lotes aplicados con madurantes) estas condiciones climáticas o de manejo pueden influir favorablemente o en contra de la producción final, es por ello que se deben considerar estas influencias al comparar las producciones reales contra los estimados.

EVALUACION DEL INDICE DE DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZUCAR																		
ZONA	FECHA					LOTE	VARIEDAD					EDAD LOTE	EDAD Y % RESIEMBRA					
MUESTRA	ALTURA (Tallos)					DIAMETRO (Tallos)					PESO	ENTRENUDOS	POBLACION SIN RESIEMBRA	ESPACIOS VACIOS MAYORES DE 1 Mt	RESIEMBRA			
	1	2	3	4	5	Prom	1	2	3	4	5	Prom	KG	Numero Promedio	Tallos/10 mts lineales	10 mts lineales	ALTURA	DIAMETRO
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		

OBSERVACIONES:

MALEZAS PRESENTES:	OBSERVACIONES A RESIEMBRA	PLAGAS IMPORTANTES DETECTADAS EN LA MUESTRA	ESTRES HIDRICO VISUALIZADO EN LOTE	ACAME DEL LOTE
--------------------	---------------------------	---	------------------------------------	----------------

METODOLOGIA:

1. Seleccionar de cada bloque de aplicación de madurantes el 30% de lotes en estado de soca, no plantías. Crear un croquis con la distribución homogénea de las muestras.
2. Se debe muestrear una muestra por cada tres manzanas para correlacionarlo al estimado con base a peso. El tamaño de la muestra es de 10 mts lineales.
3. Para cada muestra de 10 metros lineales seleccionar 5 tallos correspondientes a la muestra para las mediciones biométricas.
4. Rectificar las lecturas de la resiembra realizada en el lote en evaluación.
5. Entregar a Asistente de Zona para su análisis y entrega a la Gerencia de la Zona para la Gestión de las Acciones de Corrección donde sea necesario.

Cuadro 10. Boleta para la Evaluación de Índice de Desarrollo de la caña de Azúcar, año 2013

- a) **Columna 1:** Número de Muestra: En esta se indican las muestras tomadas según el área a muestrear. Es importante mencionar que se debe tomar en cuenta los criterios de estratificación del lote, para definir adecuadamente el lugar representativo del área en el cual se realizará la muestra y el número de muestras totales, las cuales estarán en función del área del lote.

- b) **Columna 2:** Total Tallos en 10 m: Después de limpiar adecuadamente los tallos se cuentan y se anotan el resultado total en esta columna.

- c) **Columna 3:** Tallos Cortados en 2 m: Luego de contar el número total de tallos, se divide entre 10 para obtener el promedio de tallos por cada metro y el promedio se multiplica por 2 y se anota el resultado.

NOTA: Si los tallos a cortar queda con decimales utilizar los criterios de aproximación de igual o mayor que 0.5, se corta un tallo más. Para este ejemplo, los tallos a cortar son 23.4 (decimal menor a 0.5) por lo tanto se cortaran únicamente 23 tallos.

- d) **Columna 4:** Total libras en 2 m: Se limpian los tallos y se cortan hasta el punto de quiebre para ser pesados en la balanza. Tomar en cuenta que las lecturas de peso se deben realizar solamente de un lado de la balanza, para tener un punto de referencia y evitar posibles varianza.

- e) **Columna 5:** Peso/tallo: Se calcula el peso promedio de cada tallo y se anota el resultado en esta columna.

f) TCH CON BASE A PESO: Con los datos calculados, podemos estimar la producción en TCH. Según el muestreo realizado empleando la siguiente formula:

$$TCH = \left(\frac{X \text{ lbs}}{2 \text{ mts}} \right) * \left(\frac{6,666.666 \text{ m}}{2,173.9130 \text{ lbs}} \right) = ?$$

DONDE:

- **X** peso total de tallos en 2 m
- **2** m de los cuales se cortaron los tallos.
- **6,666.66** m de una Ha a distanciamiento de 1.5 surco y 5,714.28 de una Ha a Distanciamiento 1.75
- **2,173.9130** Libras de una tonelada métrica.
- **?** TCH para este ejemplo.

“ESTA METODOLOGIA NO PREDICE CON EXACTITUD LA PRODUCCIÓN DE LOS CAMPOS, ES UNA HERRAMIENTA MÁS QUE SUMADO AL CONOCIMIENTO DE NUESTRAS ÁREAS Y MANEJO BRINDADO AL CULTIVO NOS AYUDA A ESTIMAR CON MAYOR EXACTITUD LA PRODUCCIÓN DE LA CAÑA DURANTE UN CICLO DE MANEJO”.

3.4.4 RESULTADOS

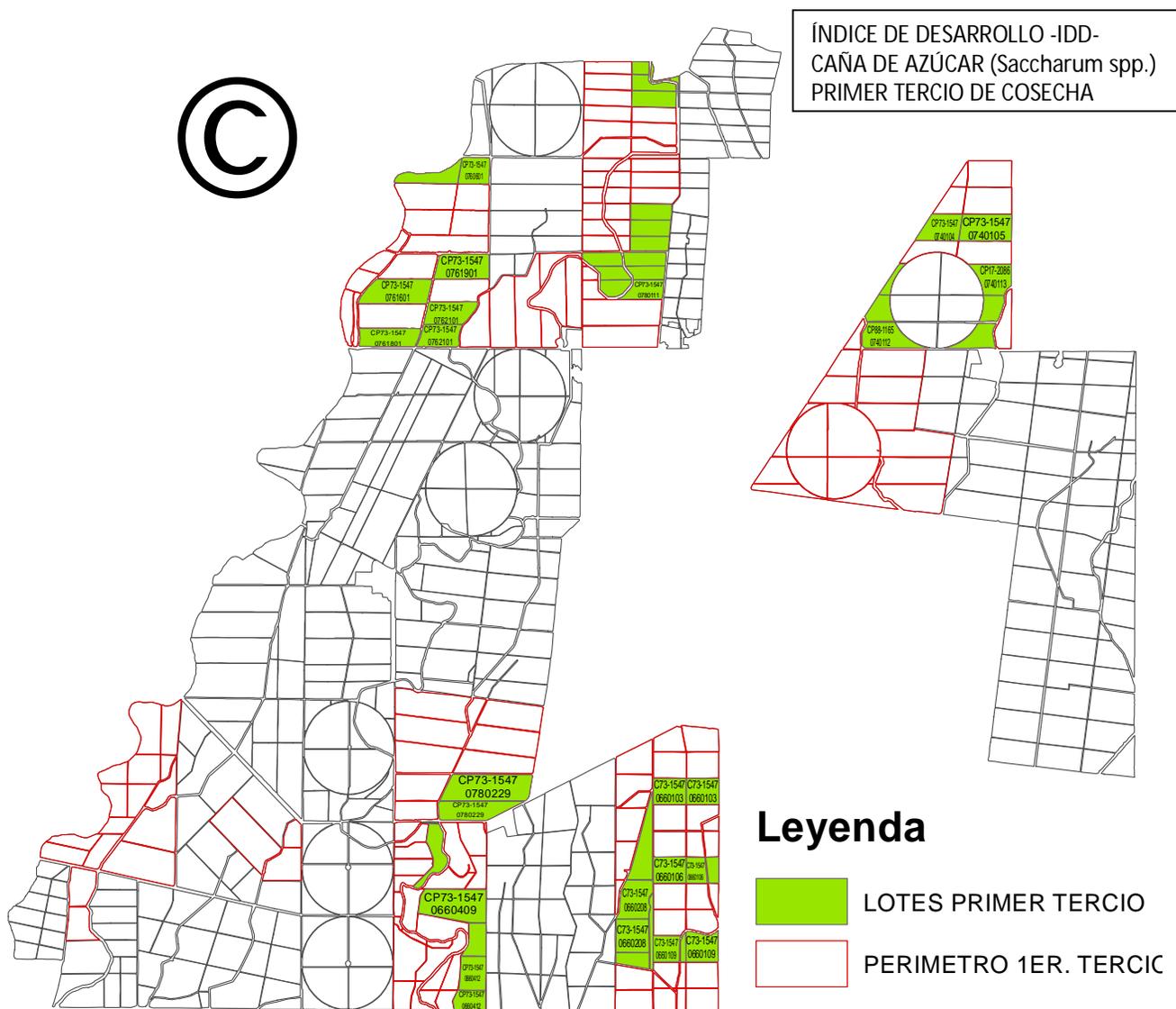


Figura 57. Lotes para el muestreo de IDD del Primer Tercio de cosecha, período de zafra 2013 - 2014.

El muestreo se realizó en el 23% del área total que cubre el primer tercio de cosecha, que corresponde a 421.18 Ha, tomando una muestra por cada 2.10 Ha, con lo que se han obtenido un total de 201 muestras que representan a la población a la edad de 5 meses, de las diferentes variedades.

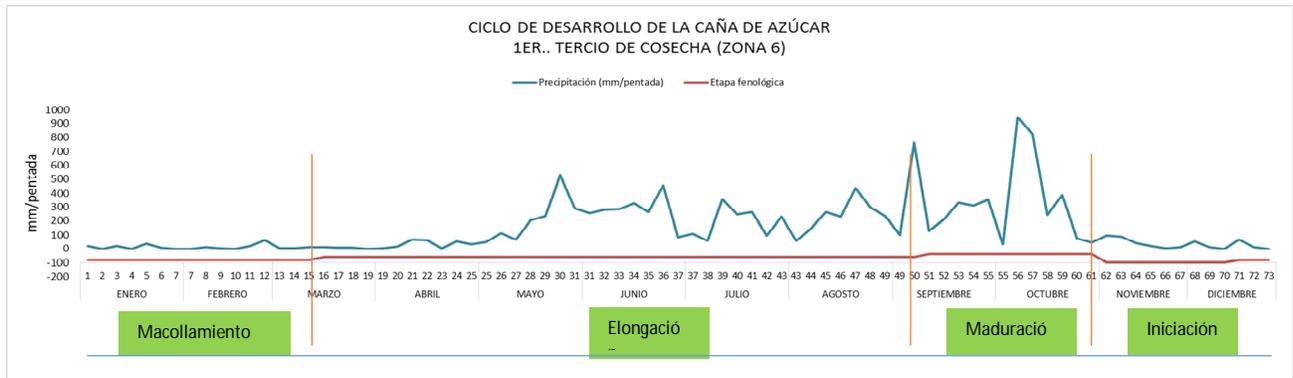


Figura 58. Precipitación promedio del año 2005 -2012 de las estaciones Bonanza e Irlanda, y su influencia en las diferentes etapas fenológicas del primer tercio de cosecha de la caña de azúcar en la zona de producción 6, ingenio Madre Tierra. Litoral centro.

La Figura 58 muestra la influencia de las precipitaciones en cada una de las etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar, por motivos estratégicos, se ha decidido sembrar y cosechar el primer tercio en los meses de noviembre – diciembre, justo a la salida de la época lluviosa.

Por lo que los programas de riego deben contemplar el riego para germinación y mantenimiento del cultivo desde noviembre a mediados de mayo; en este período se debe de monitorear la humedad del suelo a través de herramientas como el balance hídrico, monitoreo de humedad en el campo, etc.

Además es indispensable que el cultivo no sufra de déficit de agua en la etapa de iniciación para garantizar población ya sea por siembras (Figura 71) o resiembras realizadas (Figura 72), una vez se haya garantizado la etapa de iniciación el período de macollamiento viene acompañado de un raleo natural de la caña, por lo que algunos autores señalan que en esta etapa se puede dejar de realizar algunos riegos CENGICAÑA (2012) no así en la etapa de elongación, que es la etapa donde la tasa de crecimiento es alta y la acumulación de biomasa.

Para el primer tercio la etapa de elongación comienza en los meses de marzo a principios de septiembre, de marzo a mayo aún se necesita de riego mecanizado y de mayo a septiembre se cuenta con precipitaciones, considerando que existe un período de canícula entre junio y julio por lo que hay que estar preparados para la activación de equipos mecanizados, con el propósito de no someter al cultivo a estrés hídrico, de lo contrario repercutirá en la disminución de acumulación de azúcares y una maduración adelantada.

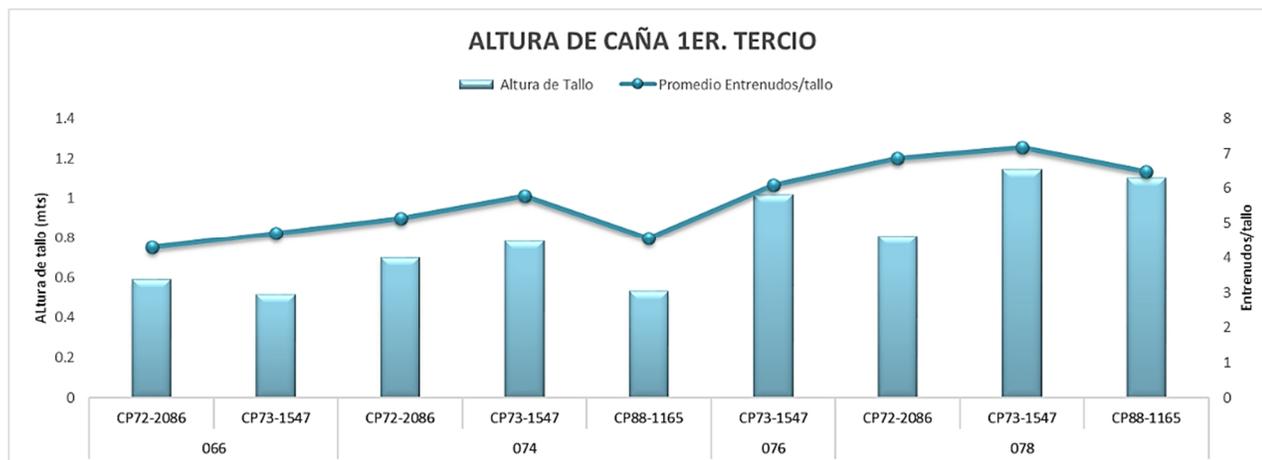


Figura 59. Altura promedio de tallo y número de entrenudos/tallo de la caña (*Saccharum spp.*) a los 5 meses de edad del primer tercio de cosecha, zafra 2013 - 2014.

De lo anterior se tiene que el primer tercio, es de alta productividad en donde se encuentra la mayor parte de las variedades susceptibles a florear como la CP73-1547, CP72-2086, CG98-10, etc. También el tercio tiene como beneficio que la etapa II de elongación se encuentre en la época de mayores precipitaciones, lo que ayuda a un desarrollo óptimo del cultivo tanto en altura como entrenudos (Figura 59).

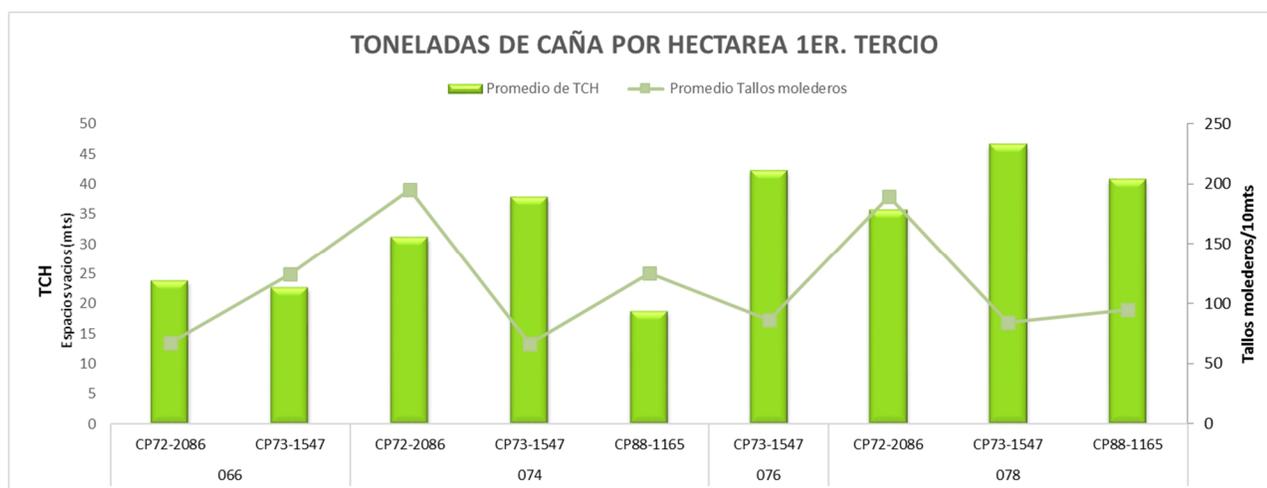


Figura 60. Rendimiento en toneladas de caña por hectárea, de las variedades CP72-2086, CP73-1547, CP88-1165, en el primer tercio a edad de 5 meses, zafra 2013 - 2014.

Las deficiencias de desarrollo en altura, número de entrenudos y rendimiento a la edad de 5 meses en las Fincas Cantoira (074) y Río Lindo (066) pueden ser resultado del efecto de número de riegos (frecuencia) en los meses de diciembre a abril, ya que este tercio

depende completamente de los riegos pre-corte que se le apliquen, que impactaran en la etapa de iniciación, macollamiento y parte de elongación I.

Por lo que hay que tomar en cuenta las características de retención de los suelos ya que no todos retienen lo mismo en términos de lámina según resultados del estudio de suelos, además el desarrollo del cultivo está dado por la interacción del clima, suelo, manejo, plagas, Radiación solar (Figura 71) etc.

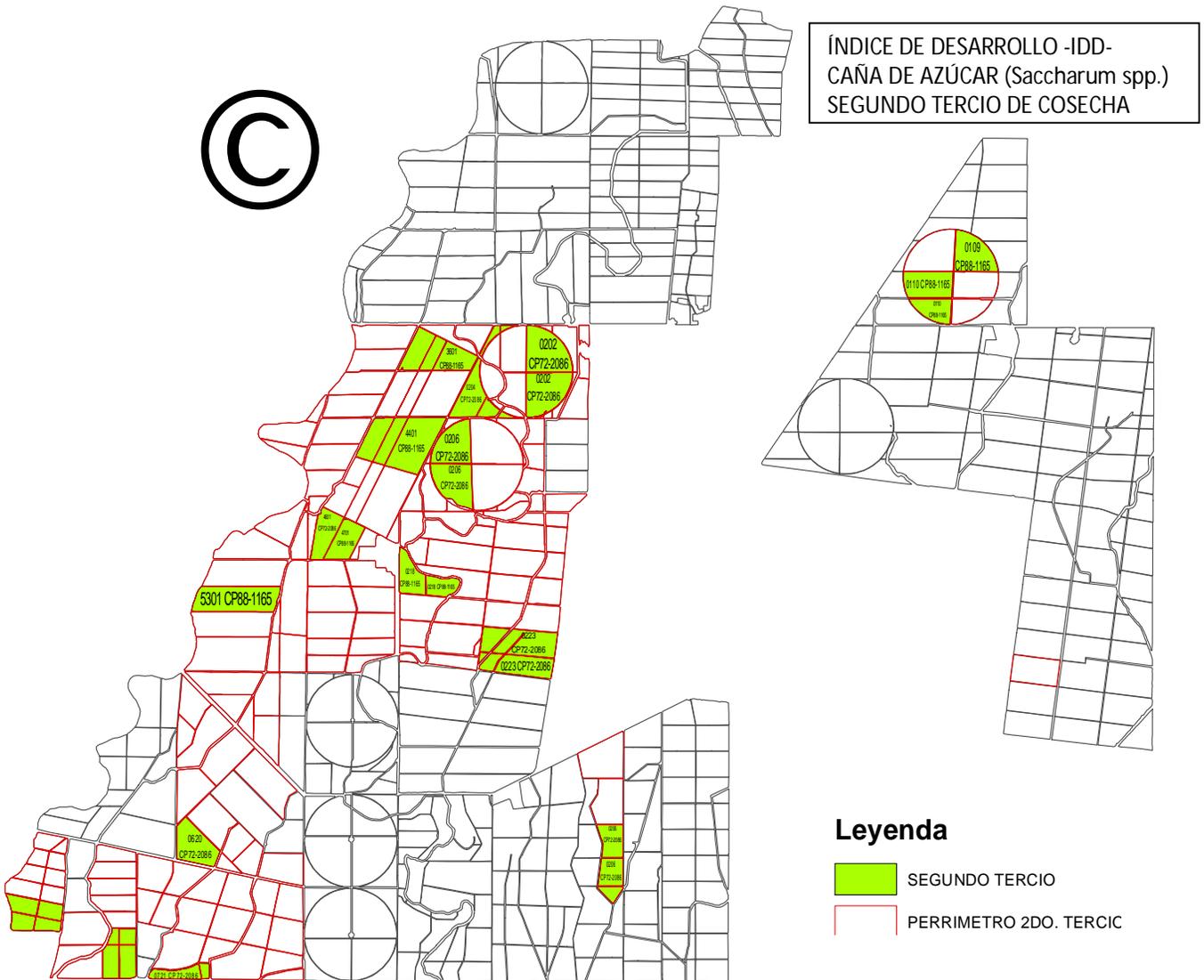


Figura 61. Lotes para el muestreo de IDD del Segundo Tercio de cosecha, período de zafra 2013 – 2014.

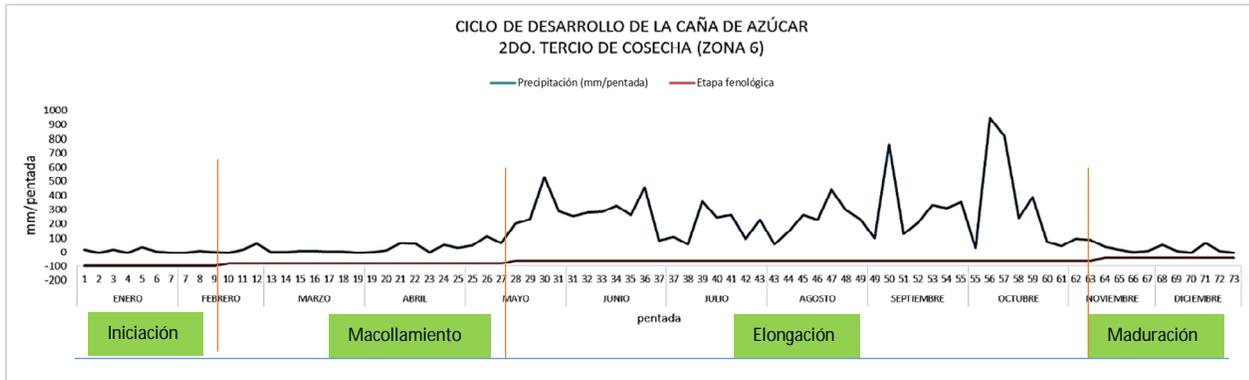


Figura 62. Precipitación promedio del año 2005 -2012 de las estaciones Bonanza e Irlanda, y su influencia en las diferentes etapas fenológicas del segundo tercio de cosecha de la caña de azúcar en la Zona de producción seis, ingenio Madre Tierra. Litoral centro.

Este tercio se caracteriza por que se cosecha o siembra en el mes de enero a febrero, teniendo a disposición la mayor cantidad de equipos mecanizados para garantizar la población y suplir sus necesidades en la etapa de macollamiento e inicios de elongación, ya que el 95% de esta etapa se desarrolla bajo la época de lluvia, lo que garantiza un crecimiento y desarrollo adecuado, los rendimientos (TCH) obtenidos son iguales o similares a los del primer tercio de cosecha.

La fase de maduración se lleva sin complicaciones por efectos de lluvia, con lo que se consigue la utilización de dosis de madurante relativamente menor que la del primer tercio, es de mencionar que en este tercio se encuentran variedades floreadoras las cuales son aplicadas con inhibidor y sulfato de forma aérea para maximizar crecimiento y rendimientos no solo de TCH sino de TAH.

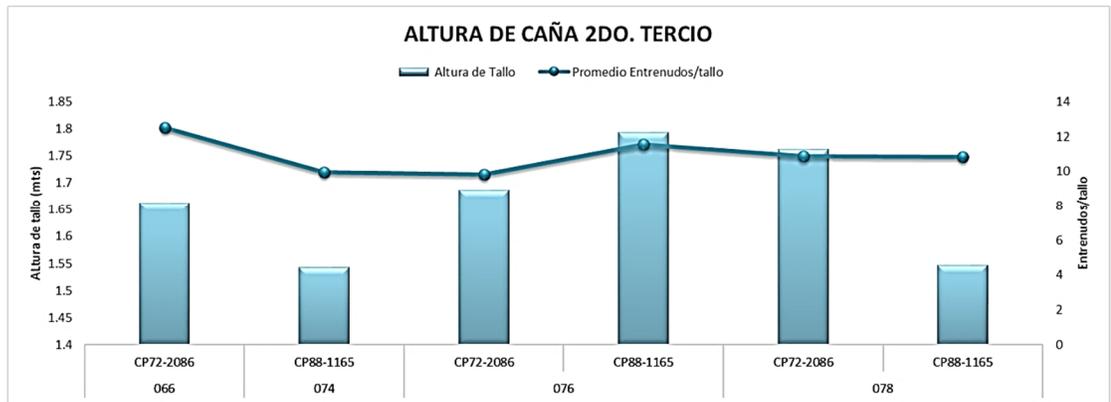


Figura 63. Altura promedio de tallo y número de entrenudos/tallo de la caña (*Saccharum spp.*) a los 5 meses de edad del segundo tercio de cosecha, zafra 2013 - 2014.

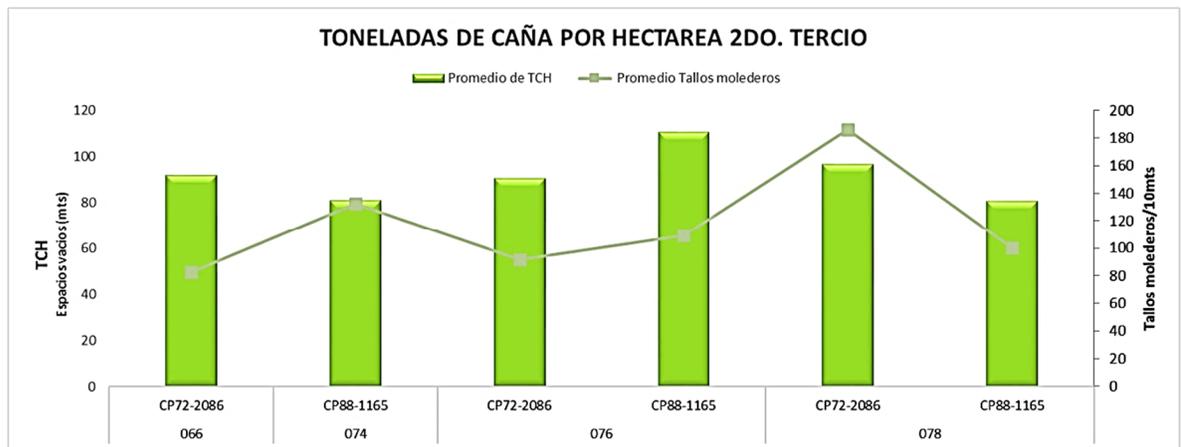


Figura 64. Rendimiento en toneladas de caña por hectárea, de las variedades CP72-2086, CP88-1165, en el segundo tercio de cosecha a edad de 5 meses, zafra 2013 - 2014.

Aproximadamente un 40% del área cultivada de este tercio fue renovado para el período de zafra 2013 – 2014 (Figura 72) con alto % de resiembra (Figura 71) posiblemente por el efecto de la dosis de madurantes, así como por la cosecha (camiones, alce, etc.).

Los resultados de TCH a edad de 5 meses muestran un alto grado de desarrollo del cultivo en todas las fincas, efecto de garantizar la población en el período de iniciación aplicando riegos pre corte y que la etapa de elongación se encuentra en la época lluviosa, lo que propicia un desarrollo uniforme, otro factor importante es la densidad de siembra (12 tallo/m).

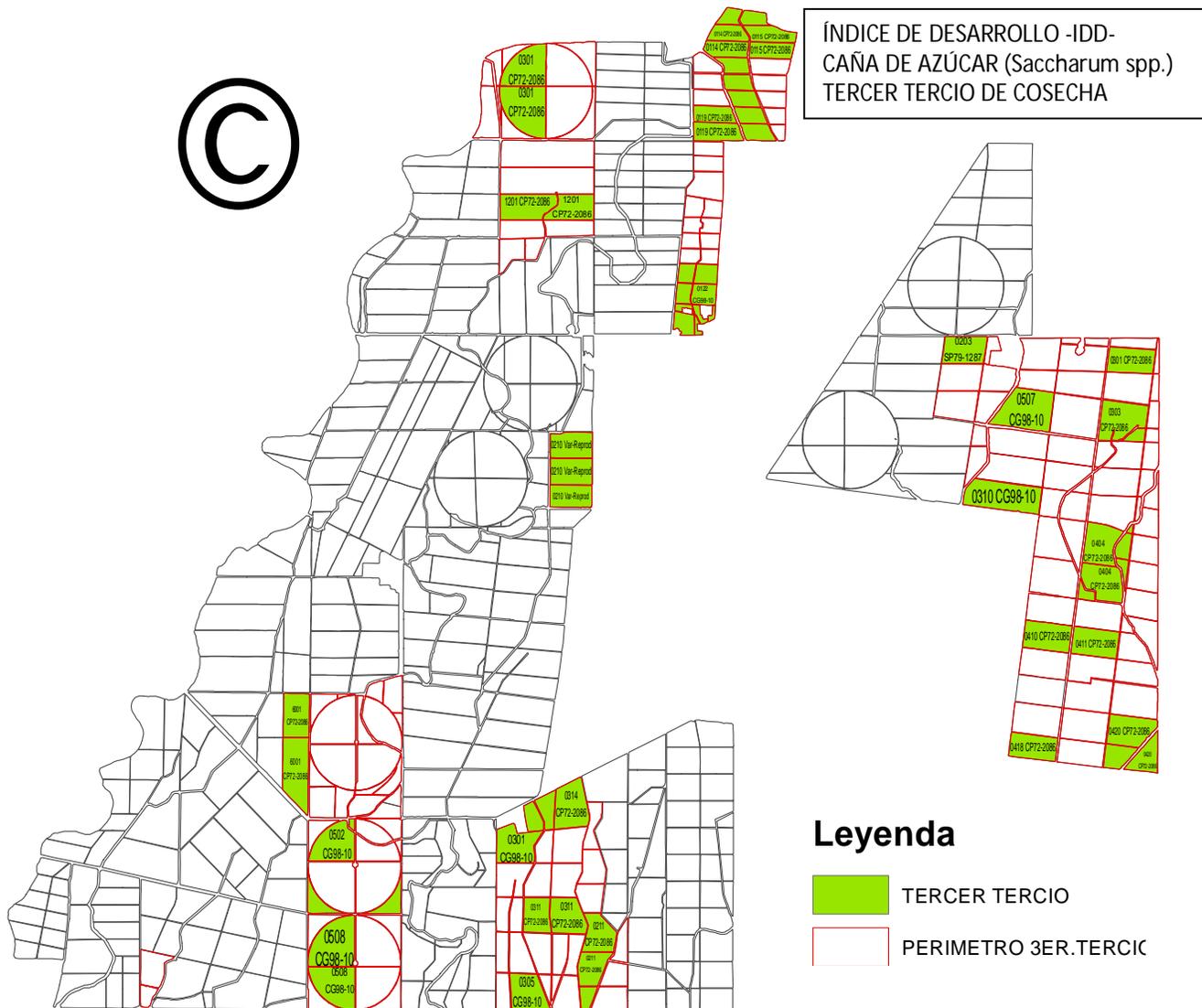


Figura 65. Lotes para el muestreo de IDD del Tercer Tercio de cosecha, zafra 2013.

Según se menciona a nivel agroindustria, el tercer tercio históricamente posee los menores rendimientos en TCH y TAH. Esto se debe a muchos factores, entre los más importante se puede mencionar la cantidad de horas luz, en términos de Radiación Solar (CENGICAÑA, 2012).

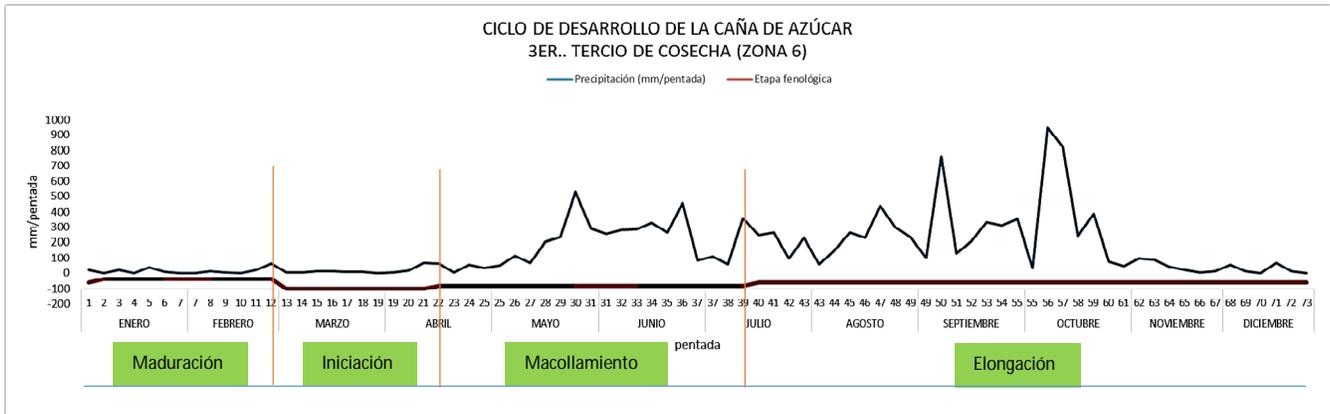


Figura 66. Precipitación promedio del año 2005 -2012 de las estaciones Bonanza e Irlanda, y su influencia en las diferentes etapas fenológicas del tercer tercio de cosecha de la caña de azúcar en la zona de producción 6, ingenio Madre Tierra. Litoral centro.

Hasta el momento se ha visto como el agua juega un papel importante en el proceso productivo y en el desarrollo del cultivo, otro factor importante es la cantidad de horas luz, en términos de radiación solar, puesto que las etapas fenológicas donde ocurre el desarrollo y acumulación de azúcares del primer y segundo tercio se encuentran situados en los períodos con mayor cantidad de energía solar, no siendo el caso del tercer tercio debido que la etapa de iniciación y macollamiento son las que están en el período con más intensidad de energía solar y la etapa de elongación que posee una mayor tasa de crecimiento se encuentra en el período de disminución de energía solar.

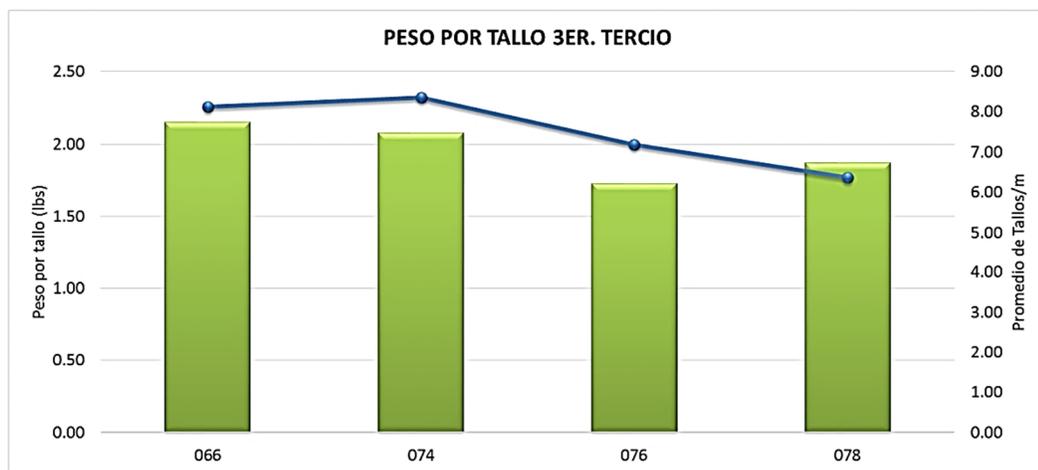


Figura 67. Peso promedio y Altura de la caña (*Saccharum spp.*) a los 5 meses de edad del tercer tercio de cosecha, zafra 2013 - 2014.

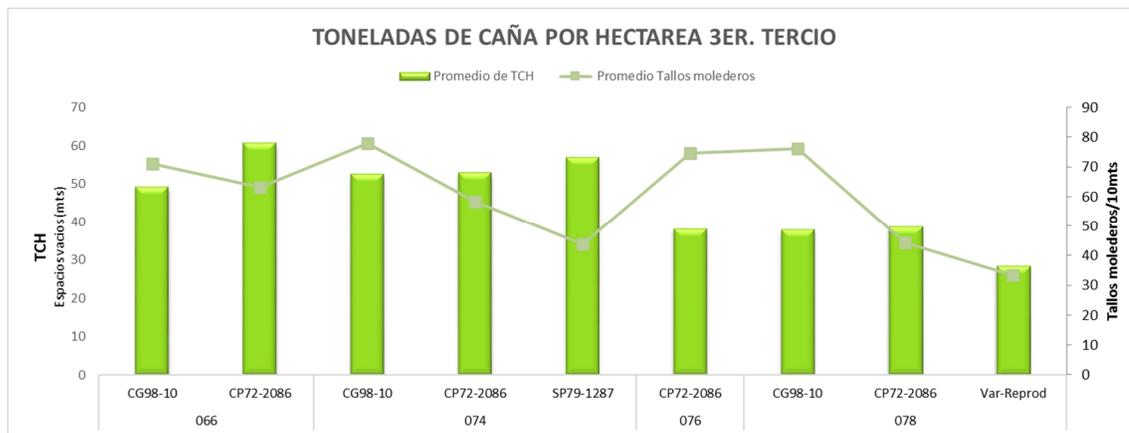


Figura 68. Rendimiento en toneladas de caña por hectárea, de las variedades CG98-10, CP72-2086, SP79-1287, en el tercer tercio de cosecha a edad de 5 meses, zafra 2013 - 2014.

El tercer tercio posee un crecimiento en altura y número de entrenudos muy bueno aun cuando la mayor parte del área de cultivo poses influencia de vetas; sin embargo como se observa en la Figura 69. Los resultados en TCH son variados, consecuencia del peso debido a que existe una diferencia promedio de 1 libra/tallo (Figura 68).

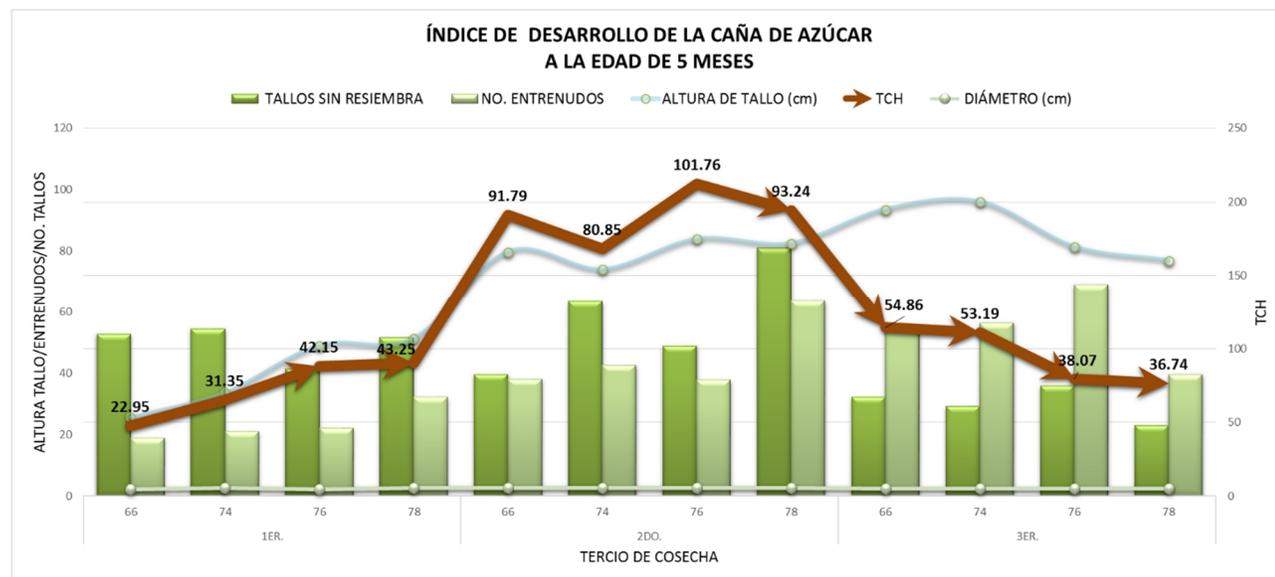


Figura 69. Rendimientos globales de las TCH obtenidos de la medición de índices de desarrollo en las variedades CP73-1547, CP72-2086, CP88-1165 a edad de 5 meses, en los diferentes tercios de cosecha.

Se identifican tres comportamientos de las TCH en cada uno de los tercios (Figura 69), los valores más bajos son registrados en el primer tercio, siguiendo una tendencia ascendentes al segundo tercio y descendiendo nuevamente en el tercer tercio.

Cuadro 11. Parámetros globales de la medición de IDD a los 5 meses de edad.

TERCIO	TCH	No. Promedio de Entrenudos	No. Promedio de tallos molederos/mts	Altura de Tallo (mts)	Peso promedio/tallo
1ER.	34.93	68.41	12.25	0.83	0.94
2DO.	91.91	154.88	13.88	1.67	2.28
3ER.	45.72	83.44	7.04	1.81	2.14

En general en el Cuadro 11. se observa la existencia de una diferencia en cuanto al rendimiento de cada tercio, porcentualmente el primer tercio esta 56% TCH por debajo del segundo tercio y el tercer tercio un 46 %, dicho efecto puede ser producto: en el primer tercio por la altura y el peso/tallo (Cuadro 11), mientras que el tercer tercio, reporta altura y peso similares a las del segundo, lo que puede estar afectando los rendimientos de TCH es el número de plantas por metro lineal, debido a que existe un 49% menos de población con respecto al segundo tercio.

3.4.5 CONCLUSIONES

- En la figura 71 se observa la existencia de un alto porcentaje de resiembra después de la aplicación de madurantes, así como un alto porcentaje de resiembra que no se encuentra bajo presupuesto ni la asignación de labores específicas básicas. Las que pudieran estar afectando los rendimientos.
- El primer tercio comprende un período de riego que se extiende de los meses de diciembre a mediados de mayo, aproximadamente 6 meses, el segundo 4.5 meses y el tercer tercio 4 meses por lo que hay que tomar en cuenta las capacidades de retención de humedad del suelo para hacer la programación de riego.
- Los bajos rendimientos detectados en el tercer tercio se deben a la baja densidad de población ya que el desarrollo del cultivo es relativamente igual al del segundo tercio.
- Los resultados finales de las TCH y TAH no solo son producto de las precipitaciones (aportes de agua), sino de un complejo número de factores que actúan sobre el cultivo como: manejo, fertilización, plagas, clima, Radiación solar, etc.
- Las mediciones de IDD a los 5 meses puede ser utilizada como una herramienta para pronosticar los resultados de los rendimientos TCH alcanzados y el grado de desarrollo del cultivo permite hacer inferencias de las necesidades de correcciones o implementación de medidas que ayuden a mejorar los rendimientos finales.

3.4.6 RECOMENDACIONES

- Los lotes que presenten porcentaje de resiembra mayor del 30 - 40% deben ser considerados para renovación, debido a que como no se tiene presupuestada labores específicas para la resiembra, no es recomendable su resiembra por los altos costos que esto significaría, además de que no tendrán la misma edad cronológica y fisiología al momento de cosecha.
- Los programas de riego se deben planificar en base al Estudio de suelos Realizado para la zona, y las frecuencias recomendadas así como incluir en el presupuesto el número de riegos para cada área específica.
- Tomar en consideración los resultados de medición de nivel freático, para la implementación de un sistema de drenaje en las zonas críticas.
- Se prioriza realizar el análisis químico de suelos para los equipos fijos (Pivotes, Avances), éstos son lugares deficientes en nutrientes por el tipo de suelo (arenoso, franco arenoso, arena franca), y de alto costo de riego.
- Se necesita mejorar los métodos de siembra en el tercer tercio, por lo que es prescindible la implementación de proyectos que garanticen una alta población por unidad de área, mayoritariamente en aquellas áreas que cuenten con equipos mecanizados fijos.

3.4.7 ANEXOS

DISTRIBUCIÓN DE VARIEDADES CULTIVADAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA 6, INGENIO MADRE TIERRA, AÑO 2013

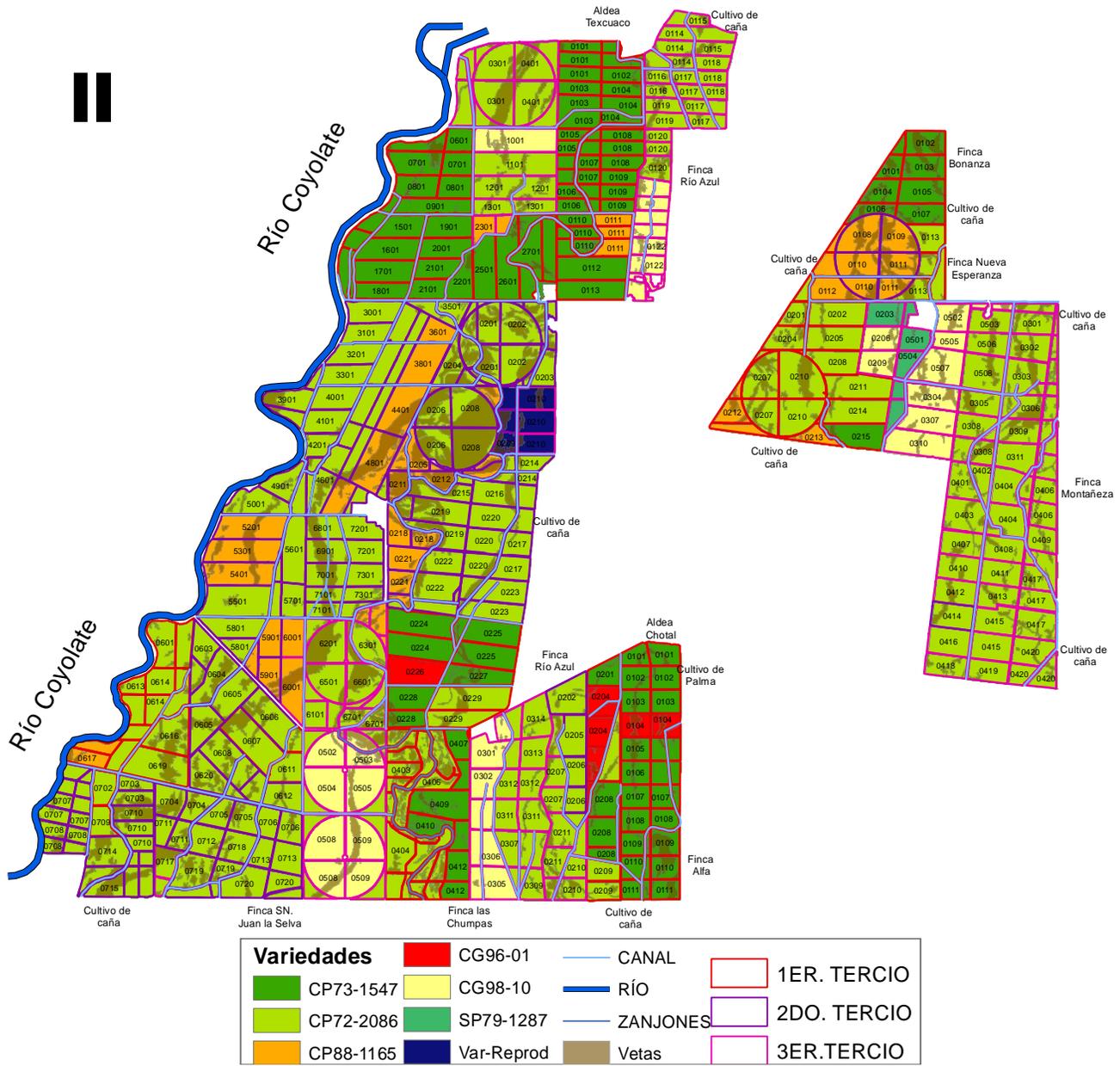


Figura 70A. Distribución de las variedades CP73-2547, CP72-2086, CP88-1165, CG9601, CG98-10, SP791287, Var-Reprod, para el año 2013 y la distribución en los tercios de cosecha.

Porcentaje de Resiembra Zafra 2012 - 2013

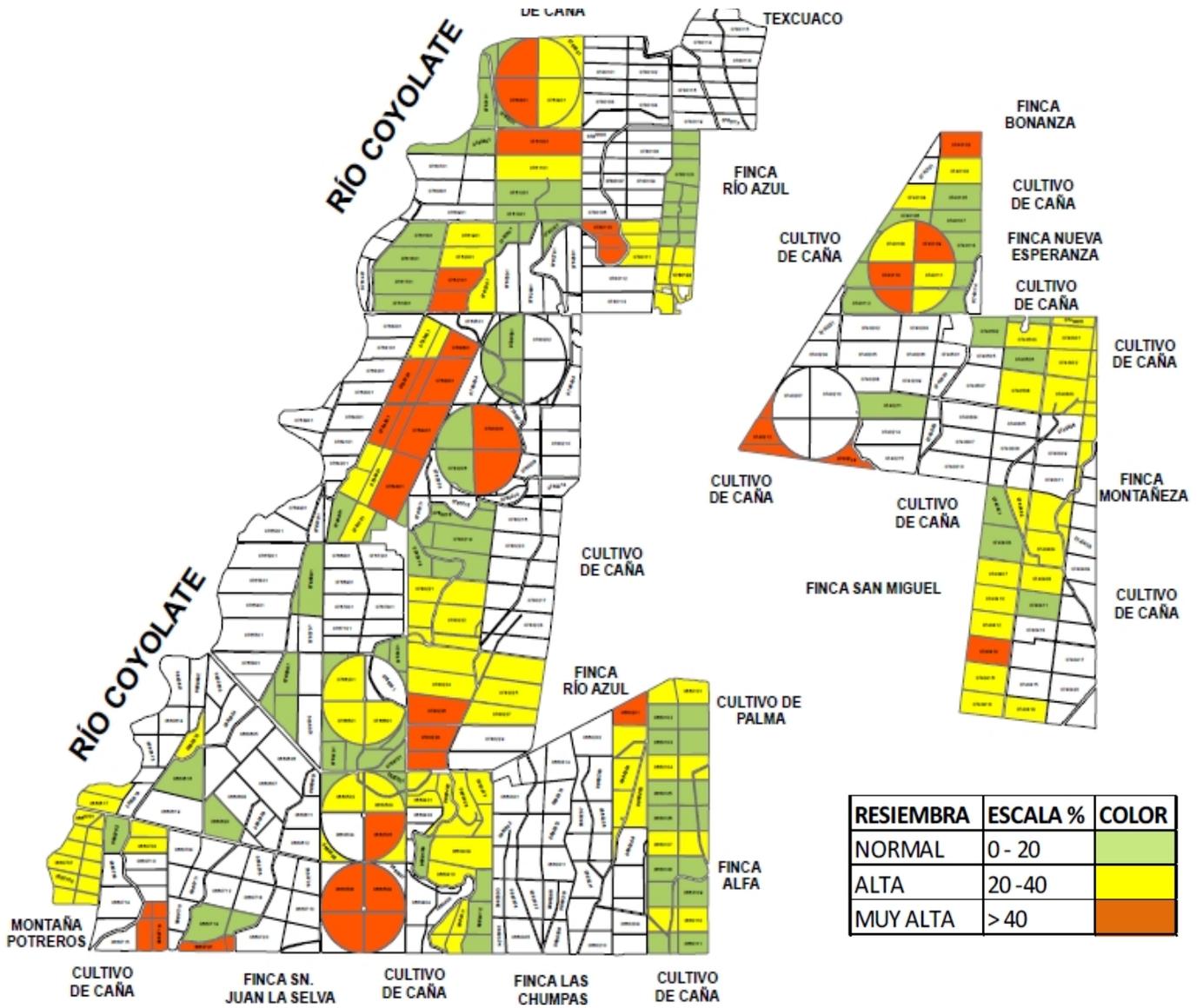


Figura 71A. Porcentaje de resiembra período de zafra 2013 – 2014.

Área programada para Renovación Zafra 2012 - 2013

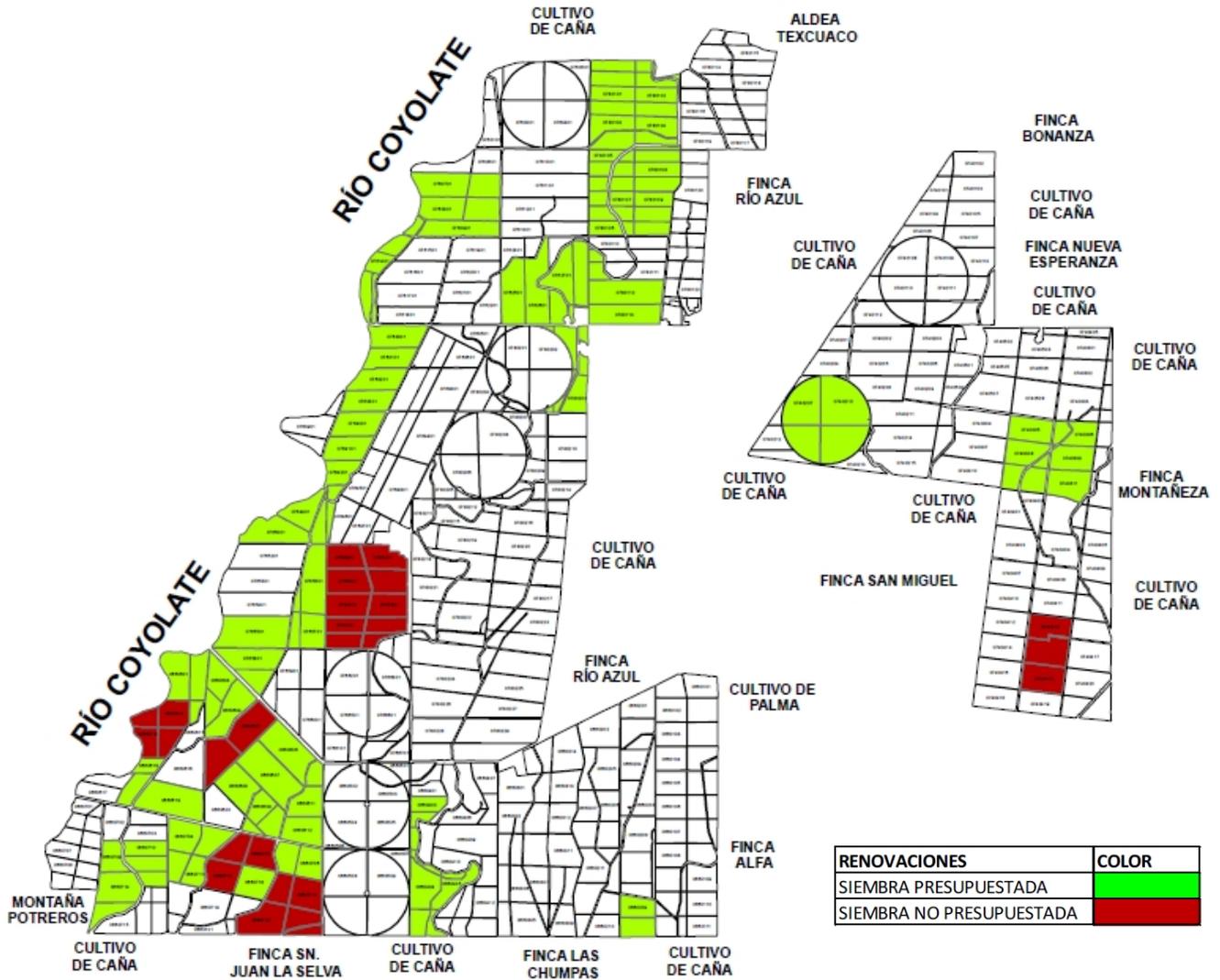


Figura 72A. Área programada y no programada para ser renovada, zafra 2012 - 2013

3.5 SERVICIO IV: MAPEO DE TCH UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) CON FINES DE DELIMITAR ÁREAS HOMÓGENEAS PARA APLICACIÓN DE MADURANTE.

3.5.1 PRESENTACIÓN

La actividad de aplicación de madurantes es tan importante como la producción misma de caña de azúcar (*Saccharum sp.*), debido a que la actividad en el uso de tecnología de maduradores es uno de los factores importantes en los costos de producción de azúcar, por lo que el contenido de azúcar con base a peso fresco es un factor determinante de los costos de producción de azúcar y la rentabilidad industrial. Esto es porque los costos variables incluidos en la cosecha, transporte y costo de la molienda son relacionados con la cantidad de caña requerida para producir cada tonelada de azúcar (Morgan et al., 2007).

Es por ello que la aplicación de madurantes (Roundup) permite la inducción de maduración de la caña de azúcar a través de la inhibición del crecimiento apical y la acción de las invertasas que ocasionan el acumulamiento de azúcares, además del efecto secundario, la senescencia del cultivo esto es muy importante en relación al contenido de azúcar/peso.

En el primer tercio de cosecha se aplica en el mes de octubre salida de la época lluviosa en la zona litoral centro, por lo que las dosis deben ser altas, sin embargo el efecto provocado por la estimación de la dosis en base a peso promedio de TCH ha ocasionado un alto porcentaje de resiembra que impactan en los costos de producción, no solo en el primer tercio sino en el segundo y tercer tercio.

Es por esa razón que el uso de métodos de interpolación como el IDW que permite la estratificación de áreas en base a TCH de cada sector, es una alternativa que permitiría migrar aplicaciones con la tecnología de Tasa de flujo variado evitando con ello sobre dosificar o sub-dosificar las áreas aplicadas, reduciendo con ello los porcentajes de resiembra, sin comprometer los rendimientos finales.

3.5.2 OBJETIVOS

3.5.2.1 GENERAL

- Elaboración de mapas temáticos utilizando las estimaciones de TCH en base a peso, para la zafra 2013 – 2014, de la zona de producción 6, ingenio Madre Tierra.

3.5.2.2 ESPECÍFICOS

- Estimar las TCH en base a peso, para los lotes cosechados en el primer tercio que serán aplicados con madurante.
- Elaborar mapas temáticos utilizando el método de interpolación IDW.
- Delimitar áreas homogéneas, que presenten los rendimientos similares para la aplicación de madurante

3.5.3 METODOLOGÍA

EQUIPO

1. Balanza con indicador tipo reloj
2. Cinta métrica de 50 m
3. 1 tabla de 30 cm de ancho y 50 cm de largo. (para colocar la balanza)
4. Calculadora
5. Boletas
6. Libreta d apuntes
7. Lápiz
8. Machete
9. Lima
10. Maestro de lotes actualizado
11. Croquis y mapas de las áreas a muestrear
12. Guantes y lentes.
13. GPS

RECURSOS HUMANOS

1. Gerente de zona
2. Mayordomo de campo
3. Un caporal
4. Dos jornaleros

PRIMERA PARTE

Para la estimación de las TCH se utiliza la metodología de Estimación de TCH en base a Peso utilizada para la medición de los Índices de Desarrollo. La única diferencia es identificar cada punto de muestreo en un croquis y tomar sus respectivas coordenadas.

SEGUNDA PARTE

Una vez calculado e identificado cada punto de muestreo, con la utilización de un software GIS, siga los siguientes pasos.

- Realice un análisis exploratorio de los datos (estadística descriptiva, análisis de tendencias, etc.)
- Introduzca las coordenadas en una hoja de Excel y guárdelas en un lugar que no se le olvide o en el escritorio.
- Abra el software SIG, e introduzca las coordenadas, este paso dependerá del programa utilizado
- Realice un análisis exploratorio de datos, para determinar el método a utilizar, que puede ser IDW, Kriging, etc.
- El método utilizado es el IDW (Inverso Distancia Ponderada), es un método determinístico, que se utiliza cuando no existe mucha variabilidad en los datos, la precisión dependerá del número de puntos o muestras que representen el fenómeno medido.
- Pero si utiliza el método Kriging, recuerde que es un método probabilístico, por lo tanto debe de hacer indagaciones más profundas sobre el fenómeno, para hacer los ajustes de modelo.

3.5.4 RESULTADOS

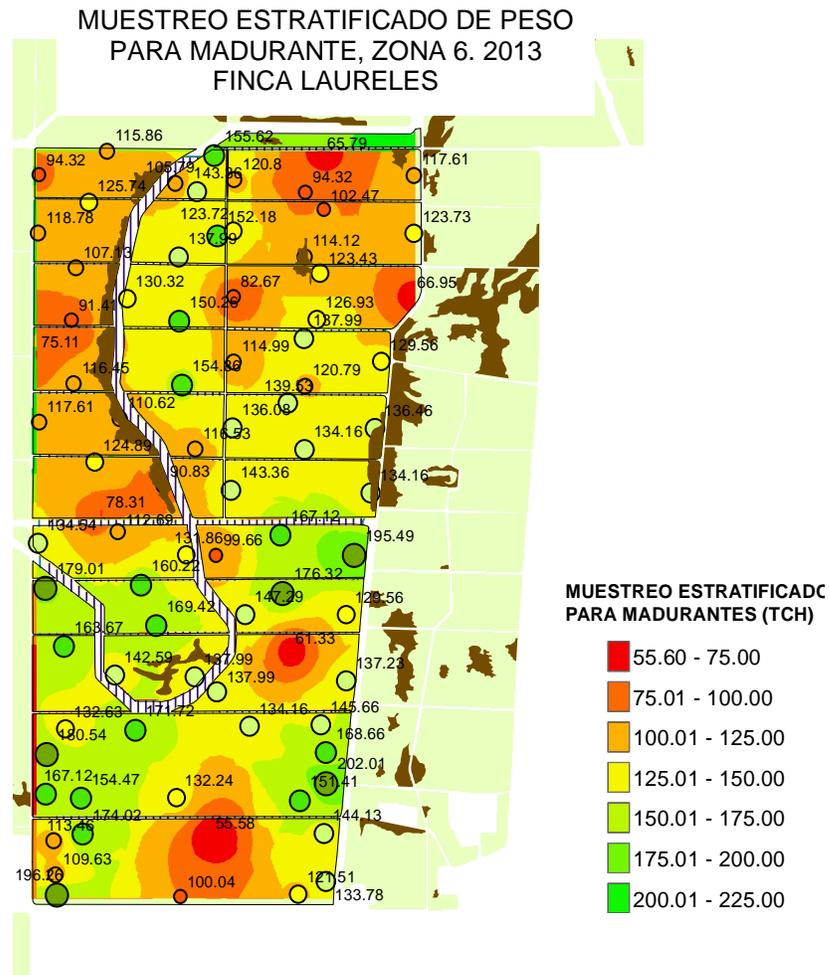


Figura 73. Estratificación de áreas con los mismos rendimientos TCH finca Laureles utilizando el método de interpolación IDW, como una herramienta auxiliar para la aplicación de madurantes utilizando tasa de flujo variado. Año 2013.

Para el ejemplo del uso del método de interpolación IDW para sectorizar las áreas que presenten las mismas características topográficas como de rendimientos, en la zona de producción seis de producción del ingenio Madre Tierra, se utilizaron las estimaciones de TCH en base a la metodología propuesta por el departamento de cosechas.

Lo que se pretende lograr con el uso de esta herramienta, es la aplicación de la dosis adecuada en base a los rendimientos TCH señalados para cada sector, es decir, una introducción al uso de sistemas de aplicación de tasa de flujo variado, lo que permitiría no solo la aplicación de la dosis necesaria por sector sino la reducción de los porcentajes de resiembra a un nivel económicamente rentable.

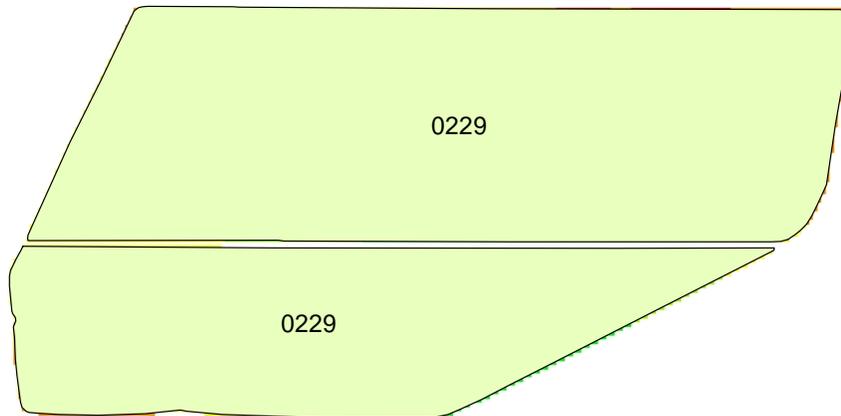


Figura 74. Delimitación actual del bloque para aplicación de madurante, lotes 0229 de la Finca Laureles. Año 2013.

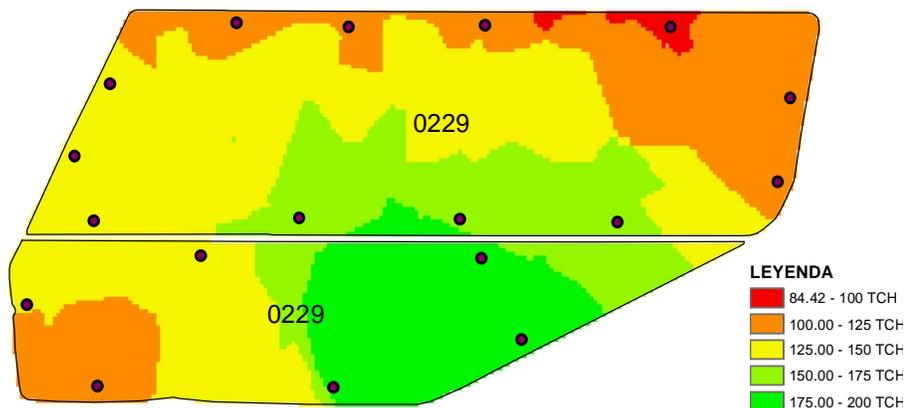


Figura 75. Delimitación del bloque 0229 según Resultados de TCH utilizando el método de interpolación IDW (Distancia Inversa Ponderada), Finca Laureles. Año 2013.

De lo anterior se muestra en la figura 74 la forma actual para la aplicación de madurantes en el ingenio Madre Tierra en donde se utiliza el promedio general de las estimaciones de TCH, este método no discrimina las diferencias existen en un mismo lote o bloque de aplicación, lo que conlleva a la aplicación de una dosis única que responderá al promedio estimado.

Como se observa en la figura 74 y 75. No todo el boque de aplicación tienen los mismos rendimientos, lo que evidencia la necesidad de establecer un nuevo método de aplicación, de ahí, la utilización de métodos de interpolación creados para representar fenómenos naturales.

3.5.5 CONCLUSIONES

- La forma actual de aplicación de madurantes en el ingenio Madre Tierra toma los promedios generales de las estimaciones de TCH para calcular la dosis del cultivo, dejando fuera los valores máximos y mínimos, aun cuando éstos sean muy variados.
- La dosis calculada a través del promedio de TCH, pueden ser muy altas para ciertos sectores, lo que provoca un alto porcentaje de resiembra (Figura 74).
- A través del uso del método de interpolación IDW (Inversa Distancia Ponderada), se pueden delimitar áreas homogéneas, es decir, que tengan los mismos rendimientos con el propósito de aplicación de madurante.

3.5.6 RECOMENDACIONES

- Estimar la dosis de madurante de acuerdo a las condiciones del cañal (edad, condiciones del lote, tipo de riego, fertilidad, etc.), y no solo a través del promedio del lote (TCH).
- Se recomienda hacer las validaciones del método de interpolación IDW (Inversa Distancia Ponderada), para ser utilizado como método alternativo en la aplicación de madurante.
- Implementación del uso de dispositivos de tasa de flujo variado.

3.5.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Brolo Feltrin, GA. 2004. Historia de la distribución de malezas en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la costa sur de Guatemala (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 30 p. Consultado 14 mar 2013. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2085.pdf
2. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. *In* Meneses, M. Balance hídrico. Guatemala. p. 203-362.
3. Herrera Ibáñez, IR. 2006. Climatología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 215 p.
4. Martínez Fuentes, JC. 2007. Contribución a la eficiencia en la producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), en la zona de producción seis del ingenio Madre Tierra. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 110 p. Consultado 4 mar 2013 Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2312.pdf