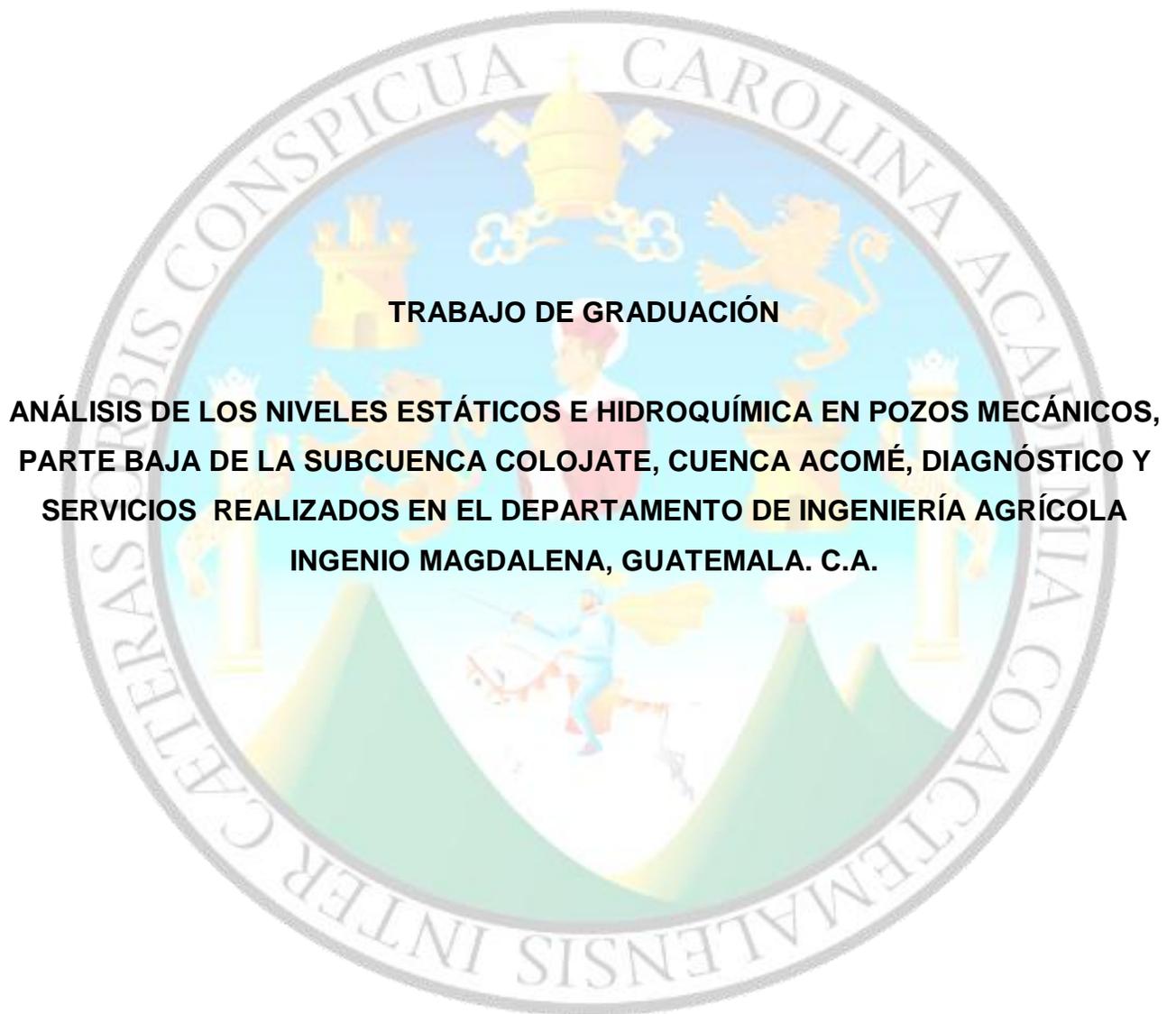


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS DE LOS NIVELES ESTÁTICOS E HIDROQUÍMICA EN POZOS MECÁNICOS,
PARTE BAJA DE LA SUBCUENCA COLOJATE, CUENCA ACOMÉ, DIAGNÓSTICO Y
SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
INGENIO MAGDALENA, GUATEMALA. C.A.**

HENRY GEOVANY RODAS GRAMAJO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS DE LOS NIVELES ESTÁTICOS E HIDROQUÍMICA EN POZOS MECÁNICOS,
PARTE BAJA DE LA SUBCUENCA COLOJATE, CUENCA ACOMÉ, DIAGNÓSTICO Y
SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
INGENIO MAGDALENA, GUATEMALA. C.A.**

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

POR

HENRY GEOVANY RODAS GRAMAJO

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

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO EN FUNCIONES	Dr.	Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL PRIMERO	Dr.	Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.Sc.	César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M.Sc.	Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Per. Agr.	Josué Benjamín Boche López
VOCAL QUINTO	M Eh.	Rut Raquel Curruchich Cumez
SECRETARIO	Ing. Agr.	Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2015

Guatemala, septiembre de 2015

**Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE LOS NIVELES ESTÁTICOS E HIDROQUÍMICA EN POZOS MECÁNICOS, PARTE BAJA DE LA SUBCUENCA COLOJATE, CUENCA ACOMÉ, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA INGENIO MAGDALENA, GUATEMALA. C.A.**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas De Producción Agrícola, en el grado académico de licenciado.

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

Atentamente;

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

HENRY GEOVANY RODAS GRAMAJO

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por acompañarme, guiarme y ser mi ejemplo a seguir en todo momento, en el estudio y la vida

MIS PADRES

Henry Raúl Rodas y Rosa Mirea Gramajo por estar a mi lado, por su apoyo incondicional, consejos y sacrificios que me brindaron, Los quiero mucho.

MI HERMANO

Alvaro Raúl Rodas Gramajo, por haber estado desde mi infancia y adolescencia, siempre ha sido un apoyo en mi vida.

MIS ABUELOS Y ABUELAS

Alvaro Barrios (Q.E.P.D.), Ramiro Gramajo (Q.E.P.D.), Clemencia Barrios Y Paula López por su apoyo durante mi formación como persona y profesional

MIS SOBRINOS

Richard Raúl e Ingrid Mireya por brindarme su alegría y la gran bendición de ser su tío, los quiero mucho.

MI NOVIA

Estefany Saucedo, por estar a mi lado todo este tiempo, compartiendo momentos maravillosos y por su apoyo incondicional, te amo.

MI CUÑADA

Ingrid Castro por su apoyo y consejos.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

Guatemala, por ser mi patria que me vio nacer, por sus benditas tierras y recursos preciosos.

Universidad de San Carlos de Guatemala, a la tricentenaria universidad que me dio la oportunidad de mi formación como profesional.

Facultad de Agronomía, por brindarme las herramientas académicas necesarias para llegar a esta etapa.

A mis tíos: Rony (Q.E.P.D.), Haroldo, Corina, Lily, Oscar, Jaime que siempre me han apoyado y muchas veces ejercen el papel también de padres.

A mis primos por estar en todo momento a mi lado, y brindar alegría a mi vida.

A mis amigos y compañeros: Diego Santiago, Silvia Ajuquejay, Yeymi Rivera, Luvia López, Boris Girón, Manuel Bran, Edwin Regalado, Eduardo Herrera, Enrique Ochoa, Gustavo Velásquez y Darwin Morales

Familia Saucedo por su valioso cariño a mi persona

AGRADECIMIENTOS

MI SUPERVISOR

Ing. José Luis Alvarado por su supervisión, orientación y apoyo durante el Ejercicio Profesional Supervisado, por su confianza, paciencia y amistad incondicional.

Mi ASESOR

Dr. Marvin Salguero por sus importantes aportes, tiempo, conocimientos y consejos brindados para la realización de la presente investigación.

INSTITUTO CAMBIO CLIMÁTICO

En especial al Ing. Sergio Gil Villalba por su asesoría, el tiempo y la dedicación brindada a este estudio.

INGENIO MAGDALENA

Por darme la oportunidad de culminar mi fase de estudios para mi formación como profesional, en especial al Ing. Ricardo Morales por darme la oportunidad de realizar el EPS en dicha empresa.

INGENIERÍA AGRÍCOLA

Ing. Miguel Rivera, Ing. Oscar González, Gilberto Gómez, Augusto Álvarez, Edy Aifan, Samuel Monterroso, Roberto Claros, Ludwig del Cid, Vielman de la Rosa, José Monzón, Alfonso Rivera, Edgar Mujo, Hugo Ferres y Raúl Pineda por confiar en mí como persona y profesional.

TALLER DE PERFORACIÓN

Adrian Santos, Marlon Pérez, Werner de León. Alexys Canteros, Jorge Lara, Raúl Lara, Dennis Hernández, Don Noé Dardón, Joel Reyes y Jairon Chávez por apoyarme en mi Ejercicio Profesional Supervisado.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I	
DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL DEL DEPARTAMENTO INGENIERÍA AGRÍCOLA, FINCA BUGANVILIA, INGENIO MAGDALENA	1
1.1 PRESENTACIÓN	2
1.2 MARCO REFERENCIAL	3
1.2.1 Ubicación geográfica	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 General.....	4
1.3.2 Específicos	4
1.4 METODOLOGÍA Y RECURSOS	5
1.4.1 Definición del estudio.....	5
1.4.2 Identificación de los problemas	5
1.4.3 Análisis de información.....	5
1.4.4 Sistematización de la información	5
1.5 RESULTADOS	6
1.5.1 Historia	6
1.5.2 Departamento de Ingeniería Agrícola.....	9
1.5.3 Funciones del departamento	9
1.5.4 Estructura organizacional	10
1.5.5 Funciones y atribuciones de los principales puestos del departamento ingeniería agrícola.....	11
1.5.5.1 Jefe de ingeniería agrícola	11
1.5.5.2 Asesores	11
1.5.5.3 Jefe de planificación de fincas.....	11
1.5.5.4 Jefe de diseño y ejecución de proyectos.....	11
1.5.5.5 Jefe de perforación de pozos e hidrometría	12
1.5.5.6 Jefe de drenaje y control de inundaciones	12
1.5.5.7 Jefe de proyectos especiales	12
1.5.6 Área cubierta por el departamento de Ingeniería Agrícola	14

CONTENIDO	PÁGINA
1.5.7 Resultados Análisis FODA general del departamento de Ingeniería Agrícola.....	14
1.5.8 Jerarquización de problemas.....	15
1.5.8.1 Perforación de pozos	15
A) Análisis de los niveles estáticos en la parte central del Ingenio.....	15
1.5.8.2 Proyectos especiales	15
A) Manejo de la vinaza.....	15
B) Eficiencia de los métodos de compostaje	15
1.5.8.3 Diseños de riegos.....	16
A) Costos de operación de riego	16
1.5.9 Problemática priorizada	16
1.6 CONCLUSIONES	17
1.7 BIBLIOGRAFÍA.....	18
2 CAPÍTULO II	
ANÁLISIS DE LOS NIVELES ESTÁTICOS E HIDROQUÍMICA EN POZOS MECÁNICOS, INGENIO MAGDALENA, PARTE BAJA DE LA SUBCUENCA COLOJATE, CUENCA ACOMÉ, GUATEMALA. C.A.	19
2.1 PRESENTACIÓN	20
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	22
2.3 MARCO TEÓRICO.....	23
2.3.1 MARCO CONCEPTUAL.....	23
2.3.1.1 Ciclo hidrológico.....	23
2.3.1.2 Agua subterránea.....	23
2.3.1.3 Recarga hídrica natural	24
2.3.1.4 Acuífero.....	24
2.3.1.5 Zona de recarga y descarga de acuíferos	25
A) Recarga	25
B) Zona de recarga	25
C) Zona de descarga:.....	26
2.3.1.6 Cuenca.....	26
A) Cuencas Hidrográficas	26

CONTENIDO	PÁGINA
B) Cuenca Acomé	27
2.3.1.7 Abanico aluvial	30
2.3.1.8 Isolíneas	30
A) Isohipsas	31
2.3.1.9 Definición de pozo profundo.....	31
A) Cono de Abatimiento	31
B) Nivel estático (NE)	32
C) Nivel dinámico (ND).....	32
D) Abatimiento (s)	32
2.3.1.10 Aspectos básicos de pozos profundos y sus equipos de bombeo	32
A) Partes principales de un pozo profundo	32
a) El hueco perforado	33
b) Antepozo	33
c) Sello sanitario	33
d) Tubería de revestimiento.....	33
e) Filtros	34
f) Filtro de grava	34
g) Anclaje	34
2.3.1.11 Métodos de perforación de pozos utilizados	34
A) Excavación manual.....	34
B) Método de percusión	35
C) Métodos de rotación	35
2.3.1.12 Etapas a desarrollar en la construcción de un pozo profundo.....	36
A) Localización	36
B) Altura topográfica.....	36
C) Perforación.	37
D) Muestreo y columna litológica	37
2.3.1.13 Composición química	38
A) Dureza (CaCO ₃)	38
B) Hierro (Fe)	39

CONTENIDO	PÁGINA
C) Conductividad eléctrica (CE)	39
D) Relación de adsorción de sodio	40
2.3.1.14 Calidad de agua para riego	40
2.3.2 MARCO REFERENCIAL	43
2.3.2.1 Ubicación geográfica	43
2.3.2.2 Clima	43
2.3.2.3 Suelos	44
2.3.2.4 Unidad hidrogeológica aluviones cuaternarios	44
2.4 HIPÓTESIS	45
2.5 OBJETIVOS	45
2.5.1 General.....	45
2.5.2 Específicos	45
2.6 METODOLOGÍA.....	46
2.6.1 Fase I (preliminar): recopilación de información	46
2.6.1.1 Recopilación de información sobre recursos naturales (vegetación, suelos, recursos hídricos) de la subcuenca Colojate, cuenca Acomé.....	46
2.6.1.2 Recopilación de información de los pozos mecánicos que cubren el área de estudio.....	46
2.6.2 Fase II (Campo): ejecución del proyecto	47
2.6.2.1 Caracterización del acuífero cualitativamente	47
2.6.2.2 Caracterización del acuífero cuantitativamente.....	47
2.6.3 Fase III laboratorio.....	49
2.6.4 Fase IV (Gabinete): análisis de datos.....	50
2.7 RESULTADOS	51
2.7.1 Análisis químico.....	53
2.7.1.1 Conductividad eléctrica	55
2.7.1.2 Dureza.....	56
2.7.1.3 Hierro	57
2.7.2 Niveles estáticos.....	58
2.7.2.1 Pozos someros.....	58

CONTENIDO	PÁGINA
2.7.2.2 Pozos profundos	65
2.7.3 Recarga hídrica	76
2.7.4 Análisis estratigráfico.....	80
2.8 CONCLUSIONES	83
2.9 RECOMENDACIONES	85
2.10 BIBLIOGRAFÍA.....	86
3 CAPÍTULO III	
SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA	
AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA	88
3.1 PRESENTACIÓN	89
3.2 ÁREA DE INFLUENCIA	90
3.3 OBJETIVO GENERAL.....	93
3.4 SERVICIOS PRESTADOS	93
3.4.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA DE POZOS MECÁNICOS DE LA	
REGIÓN CENTRAL, INGENIO MAGDALENA, IMPLEMENTADO UN KIT	
PARA LA MEDICIÓN DE DUREZA (CaCO ₃), HIERRO (FE) Y EL	
POTENCIAL DE IONES HIDRONIO (pH).....	93
3.4.1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	93
3.4.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	93
3.4.1.3 METODOLOGÍA.....	94
A) Procedimiento de análisis de determinación de dureza.....	94
B) Procedimiento de análisis para determinar la presencia de hierro	94
C) Procedimiento de análisis de determinación de pH.....	95
3.4.1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
A) Dureza (CaCO ₃).....	95
B) Hierro.....	96
C) Potencial de iones hidronio.....	97
3.4.1.5 EVALUACIÓN	99
3.4.1.6 CONSTANCIAS	99

CONTENIDO	PÁGINA
3.4.2 SERVICIO 2. DISEÑO Y EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE RIEGO EN MINIASPERSIÓN, FINCA MONTEBELLO, SECTOR 1 Y 2, ALDEA BOTÓN BLANCO, PUERTO SAN JOSÉ, ESCUINTLA	100
3.4.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	100
3.4.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	100
3.4.2.3 METODOLOGÍA.....	100
A) Fase I: Recopilación de datos de información	100
B) Fase II: Concepción del proyecto	101
C) Fase III: Diseño del sistema de riego.....	101
3.4.2.4 RESULTADOS	102
A) Cálculos.....	102
a) Cálculos del diseño (Sector I).....	102
b) Cálculos del motor.....	104
c) Cálculos de diseño (sector II)	105
Los cálculos del motor fueron los siguientes en el sector II.....	105
3.4.2.5 Resumen de diseño	106
A) Sector I.....	106
B) Sector II.....	107
3.4.2.6 Ejecución del Proyecto.....	108
A) Perforación de pozos	108
B) Instalación de la tubería de pvc.....	109
C) Instalación del sistema de bombeo (motores, turbinas y centrifugas).....	110
D) Prueba hidráulica	111
E) Entrega del proyecto	112
3.4.2.7 EVALUACIÓN	112
3.4.2.8 CONSTANCIAS	113
3.4.3 BIBLIOGRAFÍA.....	114

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Ubicación del departamento de ingeniería agrícola, Finca Bugarvilia, Ingenio Magdalena, La Democracia, Escuintla.	3
Figura 2. Organigrama del departamento de Ingeniería Agrícola, Ingenio Magdalena	10
Figura 3. Tipos de acuíferos (Estefani, 2013).....	25
Figura 4. Cuenca Acomé y uso del suelo (MARN, 2011)	28
Figura 5. Parámetros hidráulicos de un pozo (Goyeneche, 1997)	31
Figura 6. Partes principales de un pozo (Gómez, 1997)	32
Figura 7. Excavación manual (Gómez, 1997)	35
Figura 8. Método de percusión (Gómez, 1997)	35
Figura 9. Método de rotación (Gómez, 1997).....	35
Figura 10. Clasificación de agua para riego (USDA, 1954)	41
Figura 11. Cuenca Acomé, subcuenca Coloiate con los puntos de evaluación	43
Figura 12. Abanico aluvial del volcán de fuego con los puntos de evaluación	44
Figura 13. Perfil estratigráfico de pozo Granada	46
Figura 14. GPS de navegación utilizado	47
Figura 15. Sonda utilizada para la medición de niveles de pozos	48
Figura 16. Aforo río Coloiate	48
Figura 17. Pluviómetro ubicado en finca Ojo de Agua.....	49
Figura 18. Muestra recolectada.....	49
Figura 19. Numeración y ubicación de pozos evaluados	52
Figura 20. Conductividad eléctrica, parte baja subcuenca Coloiate, cuenca Acomé, Escuintla, Guatemala	55
Figura 21. Dureza, parte baja subcuenca Coloiate, cuenca Acomé, Escuintla, Guatemala, C.A.....	56
Figura 22. Hierro en parte baja subcuenca Coloiate, cuenca Acomé, Escuintla, Guatemala, C.A.....	57
Figura 23. Numeración y ubicación de pozos mecánicos no profundos evaluados	59
Figura 24. Niveles en pozos someros, Abril- Noviembre, subcuenca Coloiate, cuenca Acomé.....	60
Figura 25. Diferencias de niveles estáticos en pozos someros comparados con el mes de abril, subcuenca Coloiate, cuenca Acomé	61
Figura 26. Nivel freático mes de Abril 2014 (pozos no profundos) parte baja subcuenca Coloiate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	62
Figura 27. Nivel freático mes de Junio 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Coloiate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	62
Figura 28. Nivel freático mes de Julio (pre canícula) 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Coloiate, Acomé, Escuintla, Guatemala.	63

FIGURA	PÁGINA
Figura 29. Nivel freático mes de Julio (post canícula) 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	63
Figura 30. Nivel freático mes de Agosto 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	64
Figura 31. Nivel freático mes de Septiembre 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.	64
Figura 32. Nivel freático mes de Octubre 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	65
Figura 33. Numeración y ubicación de pozos mecánicos profundos evaluados	66
Figura 34. Niveles estáticos en pozos profundos, Abril- Noviembre	67
Figura 35. Diferencias de niveles estáticos en pozos profundos comparados con el mes de abril, subcuenca Colojate, cuenca Acomé	68
Figura 36. Nivel freático mes de Abril 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala	68
Figura 37. Nivel freático mes de Junio 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	69
Figura 38. Nivel freático mes de Julio (pre canícula) 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala	69
Figura 39. Nivel freático mes de Julio (post canícula) 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala	70
Figura 40. Nivel freático mes de Agosto (post canícula) 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala	70
Figura 41. Nivel freático mes de Septiembre 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	71
Figura 42. Nivel freático mes de Octubre 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	71
Figura 43. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Abril 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala	72
Figura 44. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Junio 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	72
Figura 45. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Julio (pre canícula) 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala	73
Figura 46. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Julio (post canícula) 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla	73

FIGURA	PÁGINA
Figura 47. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Agosto 2014 (pozos no profundos) parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	74
Figura 48. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Septiembre 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	74
Figura 49. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Octubre 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.....	75
Figura 50. Ubicación de los pluviómetros, punto de aforo y estaciones meteorológicas.....	76
Figura 51. Ubicación de los pozos con análisis estratigráfico	80
Figura 52. Análisis estratigráfico	81
Figura 53. Ubicación de los pozos evaluados	91
Figura 54. Ubicación finca Montebello, Puerto San José, Escuintla, Guatemala	92
Figura 55. Nivel de dureza (ppm), Región Central, mayo (kit 2014).....	96
Figura 56. Nivel de hierro (ppm), Región Central, mayo (kit 2014)	97
Figura 57. pH, Región Central, mayo (Kit 2014).....	98
Figura 58. Frascos que servían para recolectar las muestras y figura 59 Kit de herramientas	99
Figura 60. Comparador de colores.....	99
Figura 61. Drenaje y figura 62. Colocación de Tubería Pvc.....	110
Figura 63. Instalación de la tubería de pvc y figura 64. Instalación de la tubería pvc	110
Figura 65. Trepano para abrir tubería y figura 66. Hidrantes a 54 metros c/u	110
Figura 67. Instalación del equipo de bombeo y figura 68. Instalación cuello de ganso	111
Figura 69. Chequeo de presiones y figura 70. Lavado de tubería el último aspersor	111
Figura 71. Planos finca Montebello, módulo I y II.....	113

INDICE DE CUADROS

CUADRO	
Cuadro 1. Cuencas hidrográfica de Guatemala (MARN, 2007).....	27
Cuadro 2. Cobertura forestal 2006 de la cuenca Acomé (MARN, 2011)	29
Cuadro 3. Nomenclatura de agua para riego USDA	42
Cuadro 4. Boleta utilizada para la toma de datos.....	47
Cuadro 5. Georeferenciación de los pozos mecánicos evaluados	51

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 6. Resultados de análisis químico de muestras de agua enviada a laboratorio.....	53
Cuadro 7. Niveles encontrados en pozos someros	58
Cuadro 8. Niveles encontrados en pozos profundos.....	65
Cuadro 9. Datos de precipitación de 9 pluviómetros	77
Cuadro 10. Datos de evapotranspiración de 2 estaciones meteorológicas.....	77
Cuadro 11. Datos de escorrentía del río Colojate	77
Cuadro 12. Cálculo de escorrentía, parte baja subcuenca Colojate.....	78
Cuadro 13. Cálculo de balance hídrico, parte baja de la subcuenca Colojate.....	78
Cuadro 14. Comparación balance (mm) con el nivel de agua mes a mes	79
Cuadro 15. Georeferenciación de los pozos mecánicos evaluados	90

RESUMEN

El presente informe contiene el diagnóstico, investigación y servicios realizados, como parte del programa del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) realizado en el departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena S.A

El diagnóstico se realizó de febrero a marzo del 2,014, enfocándose en la función que desempeña el departamento de Ingeniería Agrícola dentro del ingenio, haciendo referencia a su estructura organizacional, mostrando la labor realizada por el gerente, los jefes, asistentes y supervisores. Además se realizó un análisis FODA para analizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presentaba el departamento.

Durante el análisis FODA realizado dentro del diagnóstico se encontró como una debilidad la falta de análisis de los niveles estáticos e hidroquímica en pozos mecánicos de la región central del Ingenio Magdalena, ya que se quería observar el comportamiento que tenían los niveles durante la época seca y lluviosa y con ello se obtener la recarga hídrica durante la época lluviosa. En esta investigación se evaluó 36 pozos mecánicos que se separaron en pozos no profundos (someros) y profundos (semi confinados y confinados) que se evaluaron durante los meses de abril a octubre para observar el comportamiento de niveles e hidroquímica en la parte baja de la subcuenca Colojate, Cuenca Acomé.

Dicha investigación fue realizada en fincas de administración La Felicidad perteneciente al Ingenio Magdalena S.A, ya que en esta área se encuentra la parte baja de la subcuenca Colojate, consistiendo en sondear mes a mes los niveles de los pozos mecánicos, realizando dos sondeos durante el mes de julio para observar el efecto pre canícula y post canícula, los pozos someros presentaron una mayor variación en sus niveles a comparación que los confinados, se sacó muestras de agua para analizar la composición química de los pozos en donde se encontró que cinco pozos presentaba una dureza por encima de lo permitido, perteneciente a la parte norte del área de estudio y solo un pozos tenia nivel alto de hierro.

Se obtuvo acceso a tres perfiles estratigráficos para observar si existía homogeneidad de los estratos, y en efecto tenían relación, se encontró materiales permeables como impermeables. También se calculó la recarga hídrica de la subcuenca tomando de apoyo nueve pluviómetros dentro del área de estudio, dos estaciones meteorológicas para el cálculo de evapotranspiración y se aforó el río Colojate con el método del molinete, de resultado se obtuvo que en los meses de la época seca (abril y postcanícula) el balance fue negativo y la época lluviosa el balance fue positivo.

El primer servicio fue enfocado en analizar químicamente muestras de agua de pozos mecánicos de la región central implementando un kit, para la medición de las variables de hierro, dureza y pH que son los elementos que más dañan, obstruyen y/o perjudican la tubería y turbinas de los pozos. Como resultado en lo que respecta a dureza, cinco muestras estaban por encima del parámetro aceptado (150 ppm), del elemento hierro cuatro muestras estaban por encima de lo permitido (0.6 ppm) y de pH dos muestras se encontraban por encima de lo permitido (8).

El segundo servicio consistió en el diseño y ejecución de un proyecto de riego en miniaspersión, finca Montebello, sector 1 y 2, aldea Botón Blanco, Puerto San José, Escuintla, perforando dos pozos de 830 pies, generando caudales de 1,800 a 1,900 galones por minuto. Debido a los caudales generados el pozo del sector I tuvo la capacidad de cubrir 182 ha dejando 51 ha con un sistema de aspersión móvil con el que ya contaba la finca abasteciéndose de una noria, para el caso del sector II se cubrió 177 ha con el pozo mecánico y las 105 ha restantes fueron cubiertas por otro equipo de aspersión móvil siendo abastecido por otra noria ya establecida.

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL DEL DEPARTAMENTO INGENIERÍA AGRÍCOLA, FINCA BUGANVILIA, INGENIO MAGDALENA

1.1 PRESENTACIÓN

La producción de caña de azúcar reviste gran importancia, por contribuir con el suplemento calórico de la dieta alimentaria para humanos tanto en bebidas gaseosas, repostería, dulces, entre otros, además en componentes alimenticios para animales, y recientemente en la producción de alcohol, para uso humano y como un posible sustituto de combustibles y energía eléctrica.

Contribuye también al desarrollo agrícola, industrial y económico del país, sus 12 ingenios y las cinco organizaciones que la integran aportan decisivamente al desarrollo de medio centenar de municipios del país y de más de un millón de personas, siendo un factor determinante para el progreso de Guatemala.

El Ingenio Magdalena transforma y comercializa azúcares en diferentes tipos, energía eléctrica y alimentos proteínicos para uso animal.

La organización administrativa y operativa del Ingenio Magdalena está conformada por varias áreas: Campo, Maquinaria Agrícola, Magalcoholes, Fábrica, Agronomía, Investigación y Obra civil. Estas divisiones son responsables de todo el proceso desde la siembra de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) hasta la obtención de productos como: azúcar, melaza, alcohol y energía eléctrica.

El presente diagnóstico, se enfoca en el departamento de Ingeniería Agrícola, en el que se presenta la historia del Ingenio, organización estructural del departamento, funciones de cada área y las actividades que realizan. Así como un análisis FODA con resultados de evaluar sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Ubicación geográfica

El departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena se encuentra ubicado en el km. 99.5 ruta a Sipacate, interior finca Buganvilia, La Democracia, Escuintla a una latitud de $14^{\circ}7'12''$, longitud $90^{\circ}57'58''$ y a una altura sobre el nivel del mar de 50 a 60 m, con una precipitación media anual entre los 2,000 a 3,000 mm, la temperatura media anual va de los 27 a 28 °C y humedad relativa entre los 70 a 80 %.

La zona de vida de la región corresponde al Bosque Húmedo subtropical cálido siendo su principal actividad la producción de caña de azúcar.



Figura 1. Ubicación del departamento de ingeniería agrícola, Finca Buganvilia, Ingenio Magdalena, La Democracia, Escuintla.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Conocer la estructura y funcionamiento del departamento Ingeniería Agrícola, Ingenio Magdalena S.A.

1.3.2 Específicos

1.3.2.1 Describir las funciones laborales de los principales puestos de la estructura organizacional dentro del departamento Ingeniería Agrícola.

1.3.2.2 Analizar las Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del Departamento Ingeniería Agrícola, Ingenio Magdalena S.A. para determinar los problemas técnicos y administrativos.

1.4 METODOLOGÍA Y RECURSOS

1.4.1 Definición del estudio

Se realizó el diagnóstico del departamento de ingeniería agrícola, evaluando las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas con ayuda de fuentes primarias (entrevistas) y fuentes secundarias (tesis, internet). Esto con el fin de recopilar información de la caña de azúcar y del departamento.

1.4.2 Identificación de los problemas

La información para realizar el análisis en el departamento consistió en pláticas con el personal encargado de cada área y realizando visitas de campo.

1.4.3 Análisis de información

Para el análisis de la información se utilizó los paquetes informáticos Excel y Word. La información se recopiló en libretas de campo, entrevistas y visitas a la página web del Ingenio Magdalena.

1.4.4 Sistematización de la información

El diagnóstico se realizó en un mes y medio, comprendidas del 1 de febrero al 15 de marzo de 2014, obteniendo información para analizarla y tabular los datos en las oficinas del departamento de Ingeniería Agrícola.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Historia

✓ 1983-1984

A comienzos de los años 80, Ingenio Magdalena es reubicado en la Finca Buganvilia (localización actual). Anteriormente, el Ingenio estaba instalado en la Finca Magdalena, de la cual se deriva su nombre, ubicada en el Rodeo, Escuintla. Inicialmente, dedicaba su operación a producción de mieles como materia prima, para fabricación de licor.

Con el cambio de administración, se inicia una etapa de crecimiento continuo. Se le compró un tándem de molinos a Central Guánica, Puerto Rico sustituyendo los molinos iniciales, alcanzado las 18,200 TM de azúcar durante este período.

✓ 1990-1991

Durante esta zafra se alcanza una producción de 53,792 TM de azúcar, con una plantación de 5,550 hectáreas.

En los años siguientes se innovan los sistemas de corte, alojamiento de cortadores, sistemas de transporte, se completa la instalación de los molinos 5 y 6 del tándem de Guánica y se adicionan terceras mazas. Además, se comenzó incipientemente en inversiones para un programa de cogeneración.

✓ 1994-1996

Se duplica la producción de la zafra de 1990-1991, alcanzando una producción de 105,855 TM de azúcar. En la fábrica se inicia una nueva ampliación con la adquisición de un nuevo tándem de molinos adicionales, con capacidad de 9,200 TM elevando la molienda a 16,000 TM de caña molida por día.

En el campo inicia el laboratorio de meristemas para la producción de semilla de caña y selección de variedades, con una producción de 400,000 plantas iniciales. Actualmente se producen más de dos millones.

✓ **2001**

Inician los trabajos de destilería con la instalación de una planta de alcohol con capacidad de 120,000 litros diarios. Un año más tarde se inicia la exportación.

✓ **2004**

Se amplía la generación de energía eléctrica, con más inversión en un turbo generador condensing de 16.5 MW con capacidad de 53.5 MW y en una nueva línea de transmisión eléctrica para incrementar la entrega al sistema eléctrico nacional.

✓ **2005**

Se logró una expansión en el área agrícola de 1,570 nuevas hectáreas sumando una cobertura total de 36,000 hectáreas de plantación de caña, además se incrementó en riego cubriéndose 56% del área del cultivo.

En talleres y transporte se adquieren 100 camiones destinados al transporte de la caña, nueve cosechadoras mecánicas y maquinaria agrícola para asistir técnicamente las operaciones móviles.

La fábrica amplía sus instalaciones con un tándem adicional de molinos con una capacidad de 9,200 TM diarias de molienda. Con esta instalación el ingenio Magdalena es el primer ingenio de la región que cuenta con tres tándem de molinos. Y en energía se instala una planta adicional de cogeneración con capacidad de 30MW.

✓ **2006**

El área de campo coordina y programa una operación para garantizar 4,780,000 TM de caña de azúcar de acuerdo a las 45,887 hectáreas de tierra cultivables. Nuevamente, se realizan inversiones para ampliar las instalaciones y consolidar la operación de la fábrica.

Se invierte en tecnología para ser más eficiente la operación de molienda contando con una capacidad instalada de 34,040 TM de caña molida por día. Esto incluye evaporación y clarificación de meladura.

✓ **2007**

Para la fabricación de azúcar refino, se ampliaron las áreas de centrifugado, evaporación, tachos y envasado, contando con una capacidad instalada de producción de 2,760 TM de azúcar refino por día.

En el área de cogeneración se aumentó la capacidad instalada a través de nuevas inversiones: Proyecto de transmisión: Elevación de 69 kV. A 230 kV. en la subestación de energía dentro de las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Instalación de líneas de transmisión 230 kV. Construcción e instalación de subestación de interconexión de 230 kV. en el municipio de Siquinalá, Escuintla. Instalación de un turbo de 45 MW y planta termoeléctrica de 45 MW (zafra 2008-2009).

✓ **2008**

El laboratorio de Meristemas aumenta su capacidad de producción convirtiéndose en una Biofabrica con una capacidad instalada de producción artificial de plantas, a través de la técnica de multiplicación de tejidos vegetativos o micro propagación de 2, 500,000 plántulas. Se dedica el 80% a la caña de azúcar y el 20% a otros vegetales.

Se inicia el programa de producción de entomopatógenos utilizados para el control biológico de plagas específicas que afectan la caña de azúcar con una capacidad de 45,000 dosis por temporada (marzo a octubre).

Alcohol: se consolidan las operaciones de una segunda planta de alcohol, con una capacidad instalada de 300,000 litros diarios.

✓ **2010**

Se inicia la construcción de una nueva planta de generación eléctrica a través de la utilización de combustibles renovables.

✓ **2012**

Se inaugura con la presencia del Sr. Presidente la nueva planta de generación de energía eléctrica adicionando 60MW a la capacidad instalada del ingenio y se inicia la instalación de un domo para almacenar azúcar refino con una capacidad de 76mil TM.

✓ **2013**

Inicia la instalación de una nueva caldera con un turbogenerador para aumentar la capacidad instalada en la planta de energía. Se Finaliza la construcción del Domo de azúcar y se construyen tres nuevos complejos habitacionales.

1.5.2 Departamento de Ingeniería Agrícola

Para Pinto (2011), este departamento es de suma importancia para la empresa, ya que tiene la responsabilidad de establecer los sistemas de riego en las distintas fincas, además de mejorar las condiciones del cultivo por medio de elaboración de drenajes y evacuación de agua de zonas inundadas y darle manejo a los productos especiales, tales como la vinaza y la cachaza.

1.5.3 Funciones del departamento

Entre las funciones del departamento se encuentra la administración de proyectos especiales como lo son el manejo de cachaza y vinaza, diseño y ejecución de proyectos de riego, diseño de fincas, entre otros.

1.5.4 Estructura organizacional

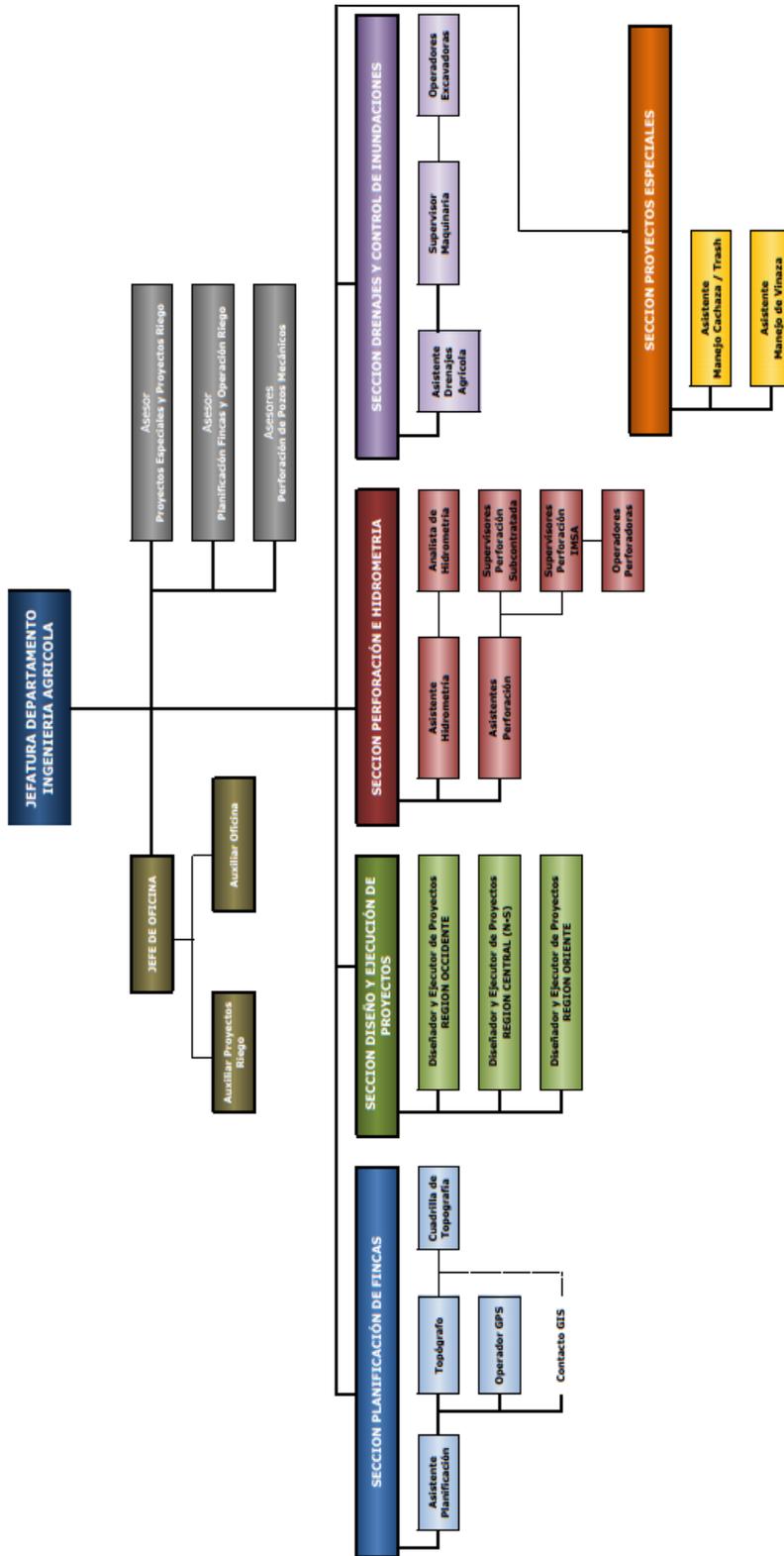


Figura 2. Organigrama del departamento de Ingeniería Agrícola, Ingenio Magdalena.

1.5.5 Funciones y atribuciones de los principales puestos del departamento ingeniería agrícola

1.5.5.1 Jefe de ingeniería agrícola

Para Pinto (2011), el jefe de ingeniería agrícola administra los recursos humanos y materiales para asegurarse que las actividades de estudios de riego y drenaje se realicen con base en lo planificado.

Elabora y considera el plan maestro de riego, desarrollando proyectos de riego y determinando el método más aconsejable, también vela porque lo planificado por el personal que integra el departamento de ingeniería se realice de acuerdo a los objetivos y metas trazadas.

1.5.5.2 Asesores

Orientan, aconsejan y gestionan todos los asuntos relacionados con los trabajadores y las relaciones en cuanto proyectos especiales y de riegos, planificación de fincas y operación de riego y perforación de pozos aplicando sus conocimientos.

1.5.5.3 Jefe de planificación de fincas

Su actividad consiste en: diseño de campo en renovación, medición de fincas nuevas, remediación de fincas, diseño de campo, trazo de obras civiles, elaboración y actualización de planos temáticos, medición de áreas agregadas a fincas y mediciones de fincas de los distintos proveedores.

Los colaboradores de este sub-departamento velan porque todas las actividades antes mencionadas se desarrollen adecuadamente siguiendo los objetivos planteados.

1.5.5.4 Jefe de diseño y ejecución de proyectos

Coordina las actividades que conllevan al establecimiento de proyectos de riego en las plantaciones de caña, para lograr la utilización eficiente de agua en los cultivos y el máximo aprovechamiento de los recursos naturales y del equipo.

Están asignados 4 asistentes de este sub-departamento, para cada una de las cuatro zonas de producción, donde el ingenio desarrolla el cultivo de caña (región occidente, oriente, central norte y región sur). Logrando así una supervisión competente en la ejecución del establecimiento de los proyectos de riego.

1.5.5.5 Jefe de perforación de pozos e hidrometría

Programa y requiere el personal necesario para las perforaciones de pozos. Organiza si fuera necesaria la contratación de empresas perforadoras de pozos para cubrir la demanda de agua para los distintos proyectos de riego.

1.5.5.6 Jefe de drenaje y control de inundaciones

Es el responsable de la funcionalidad y eficiencia de la operación de los sistemas de riego, de acuerdo al diseño establecido y evaluar la eficiencia del drenaje. Evalúa los distintos métodos de riego aplicados, innovando en la tecnología actual. Desarrolla constantes evaluaciones para mejorar la eficiencia operativa de los sistemas de riego. Los asistentes del mismo contribuyen de forma directa para el desarrollo de las actividades antes mencionadas.

1.5.5.7 Jefe de proyectos especiales

Programa, coordina, supervisa y ejecuta todos los trabajos relacionados con el manejo de las aguas residuales y la cachaza provenientes del proceso de industrialización de la caña de azúcar.

Los productos que deben manejar en este sub-departamento son los siguientes:

A) Vinaza

La vinaza es un subproducto obtenido en la etapa de la destilación, posee minerales como potasio, fósforo, aluminio, magnesio, boro entre otros, que son importantes para la agricultura pero si no se maneja en forma correcta, puede ser un contaminante de los suelos y el agua. Para evitar esto, la vinaza es aprovechada y de ella se extraen sus mejores componentes para hacer fertilizantes.

Las materias primas utilizadas para la producción de vinaza, son las siguientes:

a) Melaza de caña de azúcar

- b) Jugo de caña de azúcar
- c) Mielles de caña de azúcar
- d) Mezclas mixtas de jugo y mieles

La vinaza es aplicada en riego por los siguientes sistemas:

- ✓ 3,000 ha por gravedad
- ✓ 2,700 ha por miniaspersión
- ✓ 200 ha de pivotes

Esta es trasladada de la fábrica al campo por medio de un vinazaducto de 37 Km. de longitud.

La vinaza es aplicada principalmente como una fuente de potasio y de materia orgánica pero provee también cantidades menores de nitrógeno y fósforo. El contenido de potasio que aporta esta es de 1,700 kilogramos por hectárea. Aplicando una dosis de 170 m³ por ha.

El caudal de aguas residuales que maneja la fábrica del ingenio es de 800 GPM, ya que por cada lt. de alcohol producido se generan 13 lts. de vinaza, produciendo así 5,000 m³ diarios de vinaza.

Para otros usos también se aplica un volumen de 200-300 m³ diarios para disminuir el polvo en terracería.

B) Cachaza

El Ingenio Magdalena genera una producción de 1,500 toneladas diarias de cachaza, las cuales son llevadas a los campos de compost para disminuir el porcentaje de humedad en un 50% con la finalidad de bajar los costos operativos de transporte y lograr una correcta fermentación para producir el compost deseado, el cual será aplicado a los distintos campos de producción de caña. En cada zafra se obtiene una producción promedio de 245,700 toneladas de cachaza.

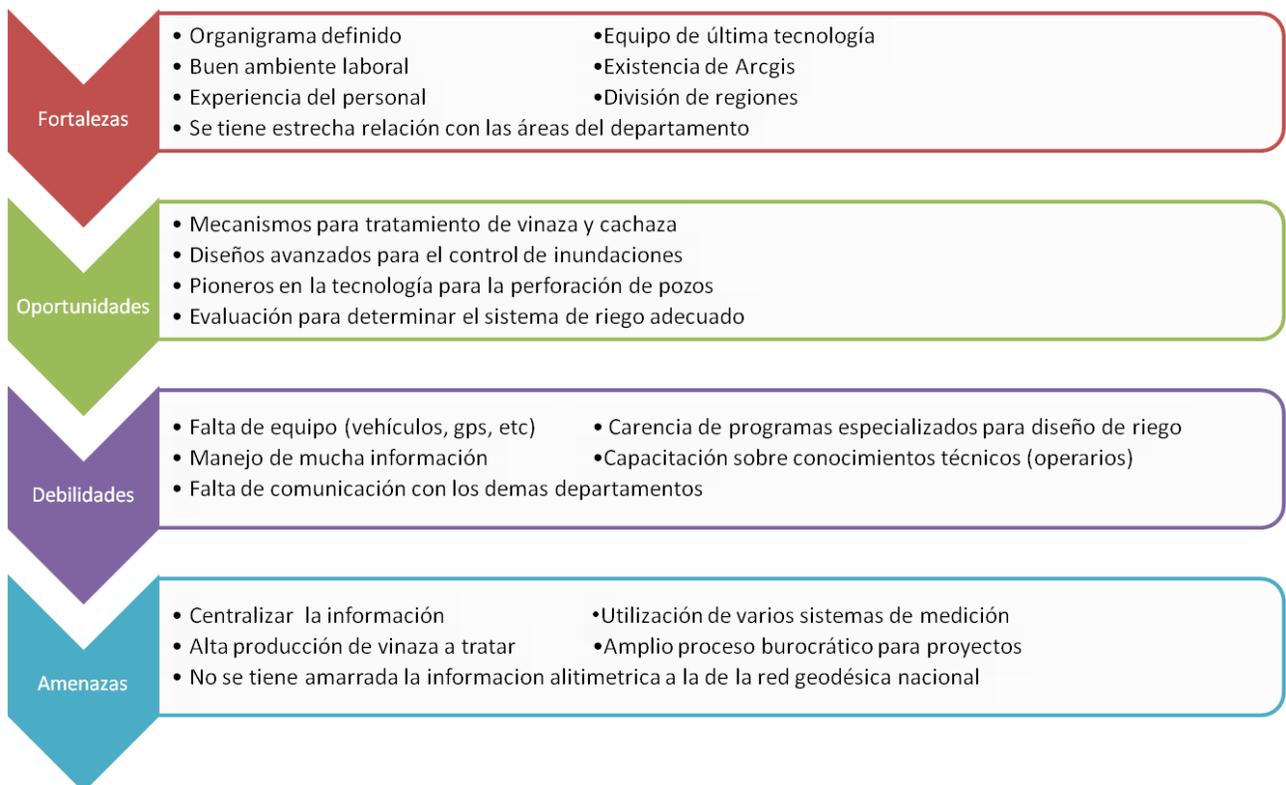
1.5.6 Área cubierta por el departamento de Ingeniería Agrícola

El departamento de Ingeniería Agrícola tiene a su cargo 53,369 hectáreas, de las cuales el área bajo riego es de 47,160 y sin riego son 6,239 hectáreas

El riego se encuentra distribuido por:

- ✓ Riego por gravedad 6,904.27 hectáreas
- ✓ Riego por gravedad bombeo 1,014.63 hectáreas
- ✓ Riego mecanizado por pivote central 1,126.45 hectáreas
- ✓ Riego mecanizado por avance 2,578.67 hectáreas
- ✓ Riego por cañones 9,130.23 hectáreas
- ✓ Riego por miniaspersión 25,730.02 hectáreas
- ✓ Riego por goteo 678.23 hectáreas

1.5.7 Resultados Análisis FODA general del departamento de Ingeniería Agrícola



1.5.8 Jerarquización de problemas

Entre los problemas encontrados por cada área se mencionan

1.5.8.1 Perforación de pozos

A) Análisis de los niveles estáticos en la parte central del Ingenio

Evaluar los niveles estáticos mes a mes y poder comparar el cambio que tienen los niveles durante el periodo de la época seca y lluviosa, ya que en la época seca los niveles tienden a descender y en la época lluviosa ascienden, midiendo la composición química y realizar análisis estratigráfico de los pozos en donde se puedan comparar su estructura

1.5.8.2 Proyectos especiales

A) Manejo de la vinaza

Darle otros usos a la producción de vinaza, debido a que el ingenio produce demasiada cantidad: 900,000 m³/zafra. Actualmente se tiene una cobertura en 3,000 ha de riego por mini aspersión con una dosis de 170 m³/ha, por lo que sin usar son 510,000 m³ de vinaza por zafra.

Se podría utilizar la vinaza deshidratándola, esto luego de realizada la fermentación, la vinaza puede ser separada en una torta de sólidos y clarificada, posteriormente concentrada en una etapa de evaporación para finalmente ser mezclada con la torta de sólidos. En algunos casos se reduce la humedad residual utilizando un secador térmico. Se recomienda realizar un análisis tanto físico como químico para poder deshidratarla. Se podría analizar técnicamente los métodos que se podrían utilizar y realizar los costos necesarios.

B) Eficiencia de los métodos de compostaje

Evaluar la eficiencia actual de aplicación al momento de la aplicación de compost en campo con los actuales equipos. Realizando un análisis económico que se utiliza en campo. El análisis se realizará para determinar si la eficiencia actual puede mejorarse utilizando otros métodos de aplicación de compost u otra maquinaria específica para aplicación en campo. Se necesita también mejorar la técnica al voleo y unas aspas para poder trabajar la caña en soca incorporándola al suelo.

1.5.8.3 Diseños de riegos

A) Costos de operación de riego

Realizar un análisis económico en cuanto al sistema, potencia y tipo de combustible por medio del cual se utilizarían todos los parámetros en cuanto a la operación de los sistemas por mini aspersión, aspersión, goteo y riego mecanizado con la finalidad de determinar los costos operativos estándar pre y post cosecha.

1.5.9 Problemática priorizada

El problema seleccionado a resolver es analizar los niveles estáticos e hidroquímica en pozos mecánicos de la parte baja de la subcuenca Colojate, cuenca Acomé, Ingenio Magdalena, Guatemala. C.A. ya que en esta área durante los meses de la época seca las bombas de los motores quedan por encima del nivel y lo que se quiere analizar es el comportamiento de la subcuenca y la recarga hídrica de los meses de abril a octubre y así poderlo reflejar en los niveles de los pozos mecánicos de dicha área.

1.6 CONCLUSIONES

- 1.6.1 Con la ayuda de personal administrativo y técnico se logró realizar el diagnóstico del departamento de ingeniería Agrícola, donde se recopiló la información necesaria para conocer los recursos y las deficiencias que posee el departamento con lo cual se logró el enfoque de las problemáticas encontradas como lo son: la centralización de la información, utilización de varios sistemas de medición, exceso de vinaza a tratar, amplio proceso burocrático para proyectos y renuencia al cambio por parte de los clientes internos a lo cual se le busca dar una solución a estas problemáticas.
- 1.6.2 La estructura del departamento de ingeniería agrícola se encuentra bajo cargos de diferentes rangos los cuales producen las respectivas responsabilidades para el jefe de cada área siendo estas áreas: sección y planificación de fincas, sección de diseño y ejecución de proyectos, sección perforación e hidrometría, sección drenajes y control de inundaciones y sección de proyectos especiales.
- 1.6.3 Se realizó un análisis FODA donde se plasmó todas las necesidades y cualidades que posee el departamento de ingeniería agrícola obteniendo así la información necesaria para poder priorizar las necesidades del departamento.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Ingenio Magdalena. 2014. Historia del Ingenio Magdalena (en línea). Consultado 14 de mar de 2014. Disponible en http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page_historia
2. Pinto, J. 2011. Diseño del sistema de riego por miniaspersión para caña de azúcar (*Saccharum spp.*), diagnóstico y servicios en la Finca San Nicolás, del Ingenio Magdalena, en el parcelamiento La Máquina, Cuyotenango, Guatemala, C.A. (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 124 p, Consultado 18 de mar 2014. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2679.pdf

CAPÍTULO II

**ANÁLISIS DE LOS NIVELES ESTÁTICOS E HIDROQUÍMICA EN POZOS MECÁNICOS,
INGENIO MAGDALENA, PARTE BAJA DE LA SUBCUENCA COLOJATE, CUENCA
ACOMÉ, GUATEMALA. C.A.**

2.1 PRESENTACIÓN

El agua es un recurso cada vez más escaso, por tanto es importante no descuidarlo, especialmente las reservas de aguas subterráneas. Su explotación se enfrenta hoy al desafío de hacerlo, por una parte económicamente rentable y por otra cuidando y conservando el recurso. No siendo la excepción la zona costera del pacífico y específicamente la parte baja de la subcuenca Colojate, cuenca Acomé, donde existen unos pozos mecánicos de los cuales se obtuvo información que sirve para base de este estudio.

La mejor forma de enfrentar la utilización de las aguas subterráneas de una manera racional es conocer el comportamiento de éstas en la naturaleza, y por otra parte, instruirse en las tecnologías de exploración y explotación del recurso. Su extracción conlleva asociado un consumo energético, que será cada vez mayor en la medida que los niveles de agua de la explotación aumenten en profundidad.

El agua subterránea de pozos profundos o perforados se bombea a la superficie mediante bombas sumergibles desde profundidades de hasta varios cientos de metros y después se conduce a su tratamiento.

En la extracción de agua proveniente de pozos debe asegurarse que no se extraiga más agua de la que se pueda volver a llenar de forma natural. Por consiguiente, las mediciones de los niveles en pozos profundos son importantes ya que con ello se obtienen registros de sus niveles para que al momento de trabajarlos cumplan con los requerimientos apropiados de agua que necesiten los cultivos, tal como la caña de azúcar (*Saccharum spp*). Con la ayuda de la herramienta de isohipsas a continuación se presentan gráficamente los niveles estáticos de agua subterránea, hidroquímica y recarga hídrica de la parte baja de la subcuenca Colojate de la cuenca Acomé.

El agua subterránea es un recurso por medio del cual se puede aprovechar en áreas donde no exista la disponibilidad de agua superficial. Los cambios en su cantidad y calidad frecuentemente son procesos muy lentos que ocurren debajo de la tierra en

grandes extensiones. Puesto que no es posible determinar estos cambios simplemente con un único recorrido breve de campo, es necesario utilizar redes de monitoreo e interpretar los datos obtenidos. El monitoreo de la respuesta de un acuífero y de sus tendencias de calidad son básicos para lograr una gestión eficaz del agua subterránea y cumplir con la principal meta de gestión es decir, controlar los niveles de agua subterránea.

Para Salguero (2002), el agua es un recurso sobre el cual cada vez existe mayor presión de uso. Las diferentes actividades que compiten por su utilización, tienen el problema de disponibilidad del recurso en calidad y cantidad adecuada. El agua subterránea se presenta como una alternativa de solución a este problema, debido a que en estudios generales realizados en Guatemala, se ha determinado que existe buen potencial de recursos hídricos subterráneos.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los pozos del Ingenio Magdalena no cuentan con un análisis de sus niveles químicos y el comportamiento del agua durante los períodos de época seca y época lluviosa. El problema radica en que la turbina de los pozos mecánicos durante los meses de la época seca queda por encima del agua, lo que produce un efecto llamado cavitación que es un problema mecánico causado por la alta elevación de la bomba de agua en relación a la superficie del agua. Se requiere observar el comportamiento del agua en la parte baja de la zona central del Ingenio, donde se presentan los problemas mencionados. Para Gil (2014), durante los períodos de la época seca los niveles descienden y en la época lluviosa los niveles ascienden; al igual que su composición química. Es necesario tener control de estos cambios, ya que los acuíferos tienen una recarga hídrica mayor en época lluviosa que en época seca. Entre los cambios producidos, pueden existir variables que interactúan: la precipitación, evapotranspiración, escorrentía, entre otras. Otra de las variables que cambia, es la composición química que tienen los elementos en las aguas de los pozos; misma que no es igual en época lluviosa que época seca.

Este estudio se realizó para medir el cambio que tienen los niveles estáticos de los pozos en la parte baja de la subcuenca Colojate, cuenca Acomé, tomando en cuenta la influencia que tiene la precipitación pluvial. Con ello se determina el cambio que provoca en los niveles y la recarga hídrica. Las mediciones ayudan a determinar cuánta reducción o aumento exhibe el pozo durante los meses de estudio. A lo largo del tiempo, el beneficio puede ser sustancial si el monitoreo forma parte integral de un proceso de gestión y evita que se pierdan fuentes valiosas de agua subterránea; además, podría evitarse la introducción de tratamientos costosos o se requiera de un proceso costoso de remediación del acuífero.

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1.1 Ciclo hidrológico

Para Noriega (2005), el ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano, vuelve a él después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea. A lo largo del ciclo, existen múltiples cortos circuitos o ciclos menores. También hay que tener en cuenta que el movimiento del agua en ciclo hidrológico se caracteriza por la irregularidad, tanto en el espacio como en el tiempo.

Para Noriega (2005), las fases principales del ciclo hidrológico son

- ✓ Evaporación del suelo, plantas y océano
- ✓ Formación y desplazamiento de nubes y niebla
- ✓ Condensación del agua y precipitación en forma de lluvia, granizo, etc.
- ✓ Esorrentía superficial, sobre el suelo.
- ✓ Infiltración, en el perfil del suelo.
- ✓ Percolación a estratos más profundos.
- ✓ Flujo subterráneo y retorno a la superficie (manantiales y pozos)
- ✓ Formación de corrientes superficiales como ríos y arroyos
- ✓ Descarga en lago, océanos y mares
- ✓ Evaporación y se repite el ciclo

2.3.1.2 Agua subterránea

El agua contenida en la zona de saturación es la única parte de toda el agua del subsuelo de la cual se puede hablar con propiedad como agua subterránea. La zona de saturación podría igualarse a un gran embalse natural o sistema de embalses cuya capacidad total es equivalente al volumen conjunto de los poros o aberturas de las rocas que se hallan llenas de agua. El agua se encuentra en forma de un solo estrato continuo o bien en estratos separados.

Para Fuentes (2003), el espesor de la zona de saturación varía desde unos metros hasta varios cientos. Los factores que determinan su espesor son tales como la geología

local, la presencia de poros o intersticios en las formaciones, la recarga y el movimiento o desplazamiento del agua desde las áreas de recarga hasta las de descarga.

El agua dulce en estado líquido de lagos y ríos representa la parte que se halla en tránsito, en tanto que las fuentes superficiales corresponden al agua almacenada. El agua subterránea se ha venido acumulando a través de varios siglos, aumentando ligeramente su volumen cada año por el efecto de la lluvia. Como promedio anual, el agua de los ríos es restituida unas 31 veces.

2.3.1.3 Recarga hídrica natural

Es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua. Es equivalente a la infiltración eficaz.

Proceso que implica el incremento de agua hasta la zona de saturación, donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas.

La cantidad de recarga de un acuífero, depende en cierto modo de la extensión de área de la entrada o de captación. De hecho, los acuíferos más productivos son los lechos permeables situados en áreas extensas.

2.3.1.4 Acuífero

Para Gómez (1997), un acuífero es una formación geológica o capas del subsuelo que almacenan o transmiten agua por poros y grietas, proporcionando cantidades apreciables de agua que puede ser extraída en forma económica. Se asemejan a depósitos o embalses subterráneos que almacenan y permiten la movilización del agua.

Para Estefani (2013), el suelo que se encuentra en la zona radicular es utilizado como un depósito para almacenar agua entre riegos, la que queda disponible para uso de las plantas. Análogamente, un acuífero es un almacén geológico a mayor profundidad, en el que se deposita el agua que puede ser bombeada posteriormente. En el primer caso el

agua forma parte de un suelo que no está saturado, mientras que en el segundo, los acuíferos se encuentran saturados o muy cerca de saturación

Si no existe una capa impermeable entre el acuífero y la superficie del suelo, el acuífero se llama no confinado, libre o freático; la superficie libre del agua o nivel freático, en este tipo de acuíferos está en equilibrio con la presión atmosférica. Un acuífero entre estratos de suelo de baja permeabilidad o totalmente impermeable, se conoce como acuífero confinado, artesiano o brotante, y comúnmente la presión del agua entre ambos estratos es superior a la presión atmosférica.



Figura 3. Tipos de acuíferos (Estefani, 2013)

El material presente en un acuífero puede estar compuesto de diversos depósitos como arenas, gravas, limos y arcillas; o también por formaciones geológicas tales como roca fracturada y/o fisuras provocadas por fallas, o material calcáreo (caliza) con grietas producto de disolución.

2.3.1.5 Zona de recarga y descarga de acuíferos

A) Recarga

Es el volumen de agua que recibe un acuífero o sistema de acuíferos por unidad de tiempo, generalmente se calcula en forma anual.

B) Zona de recarga

Es el sitio donde se localiza la recarga o alimentación de agua de los acuíferos.

C) Zona de descarga:

Así como el agua tiene una zona de entrada a los acuíferos existe otra zona por donde sale de ellos llamada zona de descarga. En la zona de descarga de un acuífero se puede dar origen a un manantial. Los acuíferos generalmente descargan en ríos, lagos, lagunas, a otros acuíferos o directamente al mar.

Para Gómez (1997), los acuíferos confinados tienen su zona de recarga casi siempre lejos, en sus áreas de afloramiento en la superficie. Su zona de recarga puede ser el cauce de un río en su zona alta; o un lago o a través de fallas geológicas o grandes conos aluviales. Su zona de desagüe o descarga se localiza lejos, pueden descargar en otros acuíferos o eventualmente aflorar en lagos o ríos.

2.3.1.6 Cuenca

Para Jiménez (2005), una cuenca se refiere a un espacio de la tierra en donde el agua que llega hacia ella, corre por un mismo río, hacia un lago o hacia el mar.

A) Cuencas Hidrográficas

Para Jiménez (2005), las cuencas hidrográficas son los espacios geográficos, cuyos límites inician en las partes altas de las montañas conocidos como "parteaguas" y terminan en donde el agua de las precipitaciones que corren por un río principal llega al mar, lagos o embalses artificiales. También se conocen otras cuencas como las cuencas hidrológicas, estas son áreas mucho más grandes que una cuenca hidrográfica, pues incluyen toda el área hidrogeológica subterránea que abarcan un manto acuífero. Una cuenca hidrológica puede incluir a varias cuencas hidrográficas.

Las cuencas hidrográficas son utilizadas como unidades para la planificación territorial y se subdividen en áreas menores llamadas subcuencas y microcuencas. La manera de hacer estas subdivisiones es por los distintos riachuelos que las conforman. Todas las cuencas hidrográficas tienen tres áreas o zonas donde el impacto del agua es distinto, aunque se mantiene una estrecha interacción e interconexión entre ellas:

La primera, es la parte alta conocida como cabecera de la cuenca hidrográfica; en esta región se da la mayor captación del agua de lluvias y ayuda con la regulación y suministro de agua durante el resto del año a las otras partes de la cuenca. Todas las acciones que se hagan en esta parte de la cuenca, ya sean buenas o malas, tendrán sus repercusiones en el resto de la cuenca.

La segunda, es la parte media de la cuenca hidrográfica, en esta zona se dan mayormente actividades productivas y es la región en donde se ejerce mayor presión hacia la parte alta de la cuenca. Esta región es como una zona de amortiguamiento entre las acciones de la parte alta de la cuenca y los efectos que se evidencian en la parte baja de la cuenca.

Y la tercera, es la parte baja de la cuenca hidrográfica, que generalmente esta cercana a las costas, por ejemplo toda las áreas cercanas al Océano Pacífico son las partes bajas de muchas cuencas hidrográficas en Guatemala. En esta zona se evidencian los impactos positivos o negativos de las acciones que se hacen en la parte alta de la cuenca.

Guatemala posee 38 cuencas hidrográficas, una red de 27 000 km lineales y un volumen de escorrentía total de 100 millones de m³ por año distribuidos entre las 3 vertientes de la siguiente forma.

Cuadro 1. Cuencas hidrográficas de Guatemala (MARN, 2007)

Vertiente	Volumen de escorrentía (millones m ³ /año)	Nº cuencas
O. Pacífico	23.000	18
Mar Caribe	38.000	10
Golfo de México	40.000	10

B) Cuenca Acomé

Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2011) la cuenca del río Acomé es la número catorce por su extensión dentro del sistema de cuencas que vierten sus aguas al Océano Pacífico. Tiene un área de 80,700 ha. (3% del área en la vertiente del pacífico). Con un caudal de 21.72 m³/s para el año 2,006. Cubre parcialmente los municipios de La Democracia con 7,843 ha. (9.72%), La Gomera con 58,931 ha (73.03%),

Santa Lucía Cotzumalguapa con 11,843 ha. (14.68%) y Siquinalá con 2,082 ha (2.58%) todos pertenecientes al Departamento de Escuintla. Esta cuenca se encuentra ubicada entre los paralelos 13°30' y 14°30' de latitud Norte y los meridianos 90°30' y 91°30' de longitud Oeste. Tiene como límite al norte las cuencas de los ríos Coyolate y Achiguate, al Oeste la cuenca del río Coyolate, al Este la cuenca del río Achiguate y al Sur el Océano Pacífico.

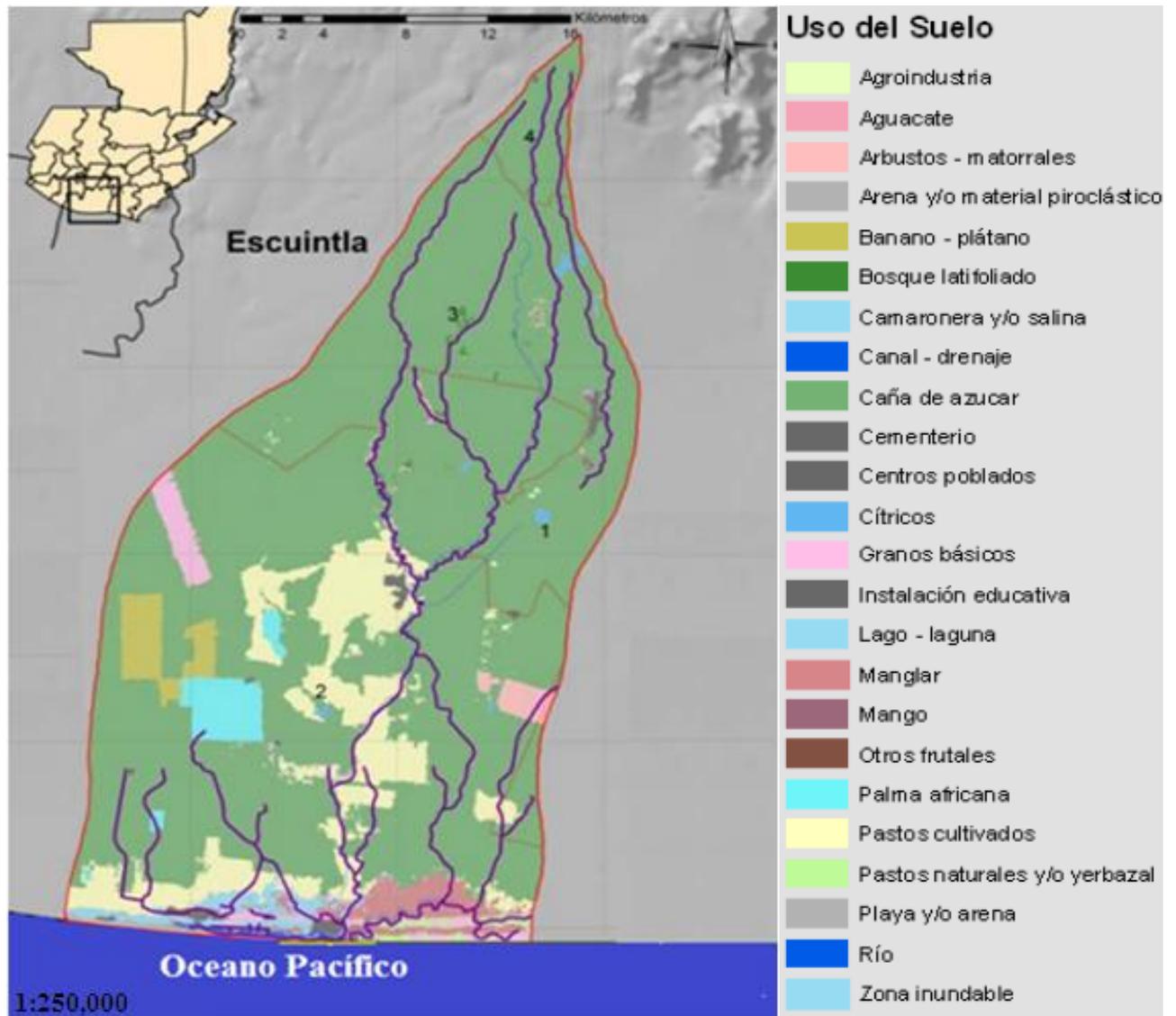


Figura 4. Cuenca Acomé y uso del suelo (MARN, 2011)

Cuadro 2. Cobertura forestal 2006 de la cuenca Acomé (MARN, 2011)

Uso del suelo	ha.	%
Caña de azúcar	62,106	76.96
Pastos cultivados	8,288	10.27
Manglar	1,829	2.27
Palma africana	1,488	1.84
Banano-plátano	1,418	1.76
Granos básicos	1,332	1.65
Camaronera y/o salina	702	0.87
Arbustos-matorrales	673	0.83
Pastos naturales y/o yerbazal	492	0.61
Centros poblados	474	0.59
Río	369	0.46
Zona inundable	319	0.40
Cítricos	219	0.27
Bosque latifoliado	196	0.24
Playa y/o arena	169	0.21
Lago- laguna	163	0.20
Canal- drenaje	147	0.18
Arena y/o material piroclástico	113	0.14
Instalación educativa	99	0.12
Agroindustria	42	0.05
Mango	37	0.05
Aguacate	17	0.02
Otros frutales	6	0.01
Cementerio	2	0.00
Total	80,700	100

2.3.1.7 Abanico aluvial

Para Guerrero (2011), un abanico aluvial es una forma del terreno o accidente geográfico formado cuando una corriente de agua que fluye rápidamente entra en una zona más tendida y su velocidad disminuye, extendiéndose su cauce en abanico, en general a la salida de un cañón en una llanura plana.

Los abanicos aluviales se originan siempre al final de una pendiente montañosa o un terreno con declive pronunciado donde es posible observar un cambio brusco en el movimiento de la corriente de agua. Los canales de agua que se encuentran erosionados en el terreno transportan agua desde una punta a la otra del cono aluvial, usualmente siguiendo un ritmo de aguas entrelazadas. Materiales sedimentarios generalmente se depositan en estos numerosos canales. Cuando ocurren fuertes mareas o grandes corrientes de agua sucede que la erosión ejercida se incrementa y el descargo de sedimentaciones se realiza cuando la marea disminuye. Aquellos sedimentos que se encuentran ya en el abanico son levantados con las mareas y vueltos a depositar una vez que bajan, solo que con cada movimiento se ubican un poco más cercanos al extremo del cono aluvial.

2.3.1.8 Isolíneas

Para la Real Academia de la lengua Española (1995), el prefijo iso “significa igualdad o denota uniformidad o semejanza”. En este sentido, las isolíneas son líneas que unen puntos de igual valor. Dichos puntos provienen de mediciones y de interpolaciones de las mismas. En el primer caso, y tratándose de variables climáticas, cada punto puede representar una estación meteorológica con una ubicación espacial precisa, en la que se pueden obtener los valores medios de temperatura, precipitación, humedad, radiación solar, nubosidad, etc. Sin embargo, cada uno de estos datos no sería suficiente para trazar las isolíneas, se habla entonces de interpolar, como un proceso para determinar valores no conocidos a partir de valores conocidos.

A) Isohipsas

Son líneas que unen valores de la misma altura, también llamadas curvas de nivel. Probablemente son las isolíneas más conocidas y utilizadas cuya información es la base para la construcción de otras isolíneas.

2.3.1.9 Definición de pozo profundo

Para la Organización de las Naciones Unidas para agricultura y alimentación (2010), un pozo profundo es una perforación vertical que se hace en el terreno de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que su profundidad. Una vez hecha la perforación se instala un tubo vertical dentro de ella, el cual tiene unas secciones de tubería llamadas filtros que se instalan en frente de los acuíferos para que el agua penetre y pueda ser bombeada a la superficie del terreno.

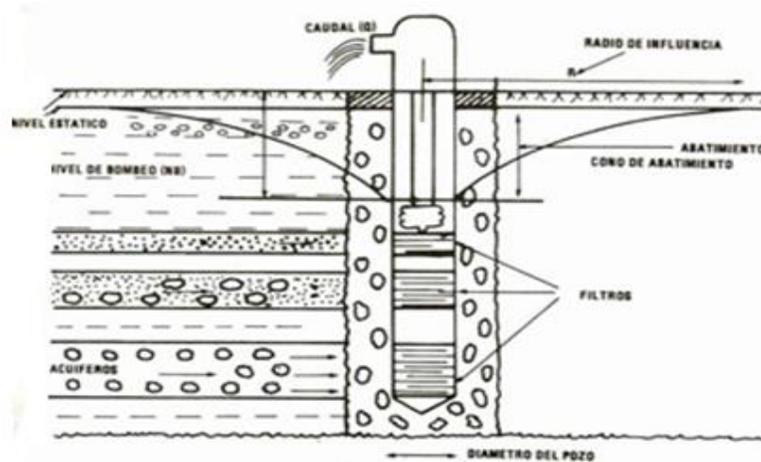


Figura 5. Parámetros hidráulicos de un pozo (Goyeneche, 1997)

A) Cono de Abatimiento

Para Gómez (1997), cuando un pozo se bombea el agua fluye hacia él a través de los filtros esto hace que el nivel del agua baje rápidamente estableciéndose un alto gradiente hidráulico que hace o permite que el agua se mueva hacia él en forma radial.

La superficie piezométrico o la línea que une los niveles del agua cuando se bombea después de un largo tiempo toma la forma de un cono invertido tomando como centro o eje, el pozo, comúnmente llamado Cono de Abatimientos o de Descensos.

Cuando un pozo se bombea se pueden medir los siguientes parámetros:

B) Nivel estático (NE)

Es la distancia vertical entre el nivel del terreno y el nivel del agua en el pozo antes de iniciar el bombeo.

C) Nivel dinámico (ND)

Es la distancia vertical entre el nivel del terreno y el nivel del agua después de iniciado el bombeo.

Los niveles estáticos y dinámicos se pueden medir por medio de una sonda que funciona con dos electrodos de plomo, separados y aislados solo con las puntas descubiertas los cuales al estar al contacto con el agua forman un puente de continuidad de la corriente eléctrica y esto hace que exista una luz en la sonda dando una lectura en el cable que ha sido marcado.

D) Abatimiento (s)

Es el descenso del nivel del agua que presenta un pozo cuando se bombea. Es la distancia vertical entre el nivel dinámico y el nivel estático y se designa como s.

$$s = \text{nivel dinámico} - \text{nivel estático}$$

2.3.1.10 Aspectos básicos de pozos profundos y sus equipos de bombeo

A) Partes principales de un pozo profundo

Para Gómez (1997), las partes principales de un pozo profundo son

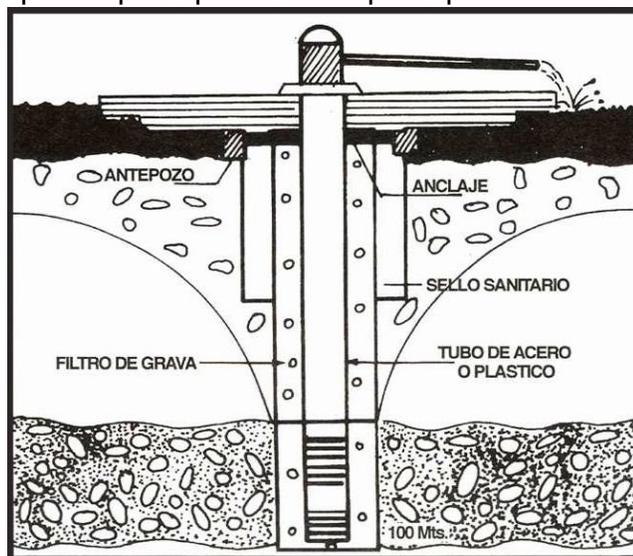


Figura 6. Partes principales de un pozo (Gómez, 1997)

a) El hueco perforado

Para Gómez (1997), el hueco perforado es la perforación que se realiza en el subsuelo con el objetivo de atravesar capas permeables que contengan agua (acuíferos) para ser captadas mediante un tubo metálico. Esta perforación debe tener un diámetro y una verticalidad tal que debe permitir la instalación de una tubería de un diámetro menor y del filtro de grava que la rodea. Esta perforación se hace con un equipo de perforación mecánico o hidráulico.

b) Antepozo

Para Gómez (1997), el antepozo es una obra civil que se hace en la boca del pozo al inicio del proceso de perforación para estabilizar su parte superior y controlar probables derrumbes superficiales. Consiste en un hueco-excavado manualmente de dos a tres metros de profundidad de un diámetro tal que permita la instalación de una tubería en lámina de hierro de un diámetro entre 24" y 36" según sea el diámetro del pozo. Entre esta tubería y el hueco excavado debe quedar un vacío o espacio anular mínimo de 3" que debe ser rellenado con mortero.

c) Sello sanitario

Para Gómez (1997), el sello sanitario es la protección sanitaria que tiene el pozo contra la contaminación procedente de la superficie o de acuíferos superiores contaminados.

Consiste en aislar las primeras capas atravesadas en la perforación por medio de una lechada de cemento o mortero cuya profundidad puede oscilar entre 20 y 50 m dependiendo de la profundidad del pozo. Adicionalmente se le puede instalar una tubería metálica de acero para garantizar la impermeabilidad del sello al máximo.

d) Tubería de revestimiento

Es la tubería que se instala en forma vertical dentro del hueco perforado. Es generalmente de acero al carbón o PVC de un diámetro que varía entre 6 y 18 pulgadas

con espesores de 14 a 3/8 de pulgada. Se instala soldada y bien nivelada. Debe quedar totalmente vertical dentro del hueco perforado.

e) Filtros

Es el área de captación del pozo por donde entra el agua del acuífero que se está aprovechando. Es un tubo del mismo diámetro de la tubería de revestimiento que tiene unas aberturas o perforaciones para que el agua del acuífero pueda entrar al pozo. Estos filtros pueden ser hechos manualmente o con equipos y en materiales especializados siendo los más utilizados los de acero inoxidable y PVC. Las características de los materiales de estos filtros deben estar acordes a la calidad del agua del acuífero que se está aprovechando para tener una buena durabilidad.

f) Filtro de grava

Para Gómez (1997), el filtro de grava se instala en el espacio anular o vacío que existe entre el hueco perforado y la tubería de revestimiento, va continua desde el fondo del pozo hasta la superficie. Garantiza en alto grado el buen rendimiento del pozo puesto que su función es la de retener las arenas que tenga el acuífero para que el agua salga limpia y sin sedimentos en suspensión.

g) Anclaje

Son los elementos que se instalan en la boca del pozo para sostener la tubería de revestimiento desde la superficie, puesto que esta nunca debe quedar apoyada sobre el fondo de la perforación sino colgada desde la superficie hasta que sea rellenado de grava.

2.3.1.11 Métodos de perforación de pozos utilizados

Para Gómez (1997), los métodos de perforación de pozos más utilizados en nuestro medio son: excavación manual, percusión y sistemas de rotación.

A) Excavación manual.

Es una excavación de tipo manual que se hace en el suelo para captar el primer nivel de aguas subterráneas que se encuentra en el subsuelo. Se les llama aljibes- y se construyen en diámetros entre uno y dos metros, revestidos con ladrillo, tubería de cemento o concreto y su profundidad puede llegar hasta 20 h1. Se utilizan para uso doméstico en la zona rural. El agua se extrae con una pequeña bomba o con balde. En la figura se puede observar un pozo excavado manualmente.

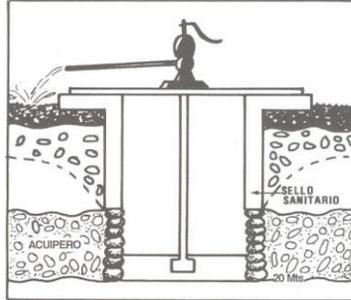


Figura 7. Excavación manual (Gómez, 1997)

B) Método de percusión

Este sistema utiliza una máquina de percusión mecánica y en la que se perfora con herramientas de cable, levantando y dejando caer una pesada sarta dentro del hueco. El barreno o broca que va en la punta inferior de la sarta, tritura la roca dura y la convierte en pequeños fragmentos. Estos fragmentos se mezclan con el agua existente en las capas que se van atravesando formando un lodo, el cual es retirado periódicamente con una cuchara para que la perforación avance en forma normal.

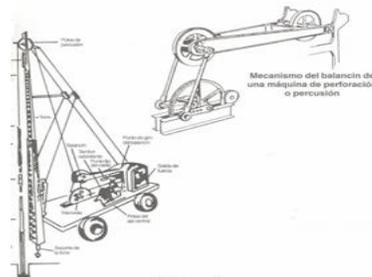


Figura 8. Método de percusión (Gómez, 1997)

C) Métodos de rotación

El método de perforación por rotación consiste en perforar un hueco mediante la acción rotatoria de una broca y remover los fragmentos perforados con un fluido que se hace circular a medida que la perforación avanza. Este fluido puede ser agua o lodo.

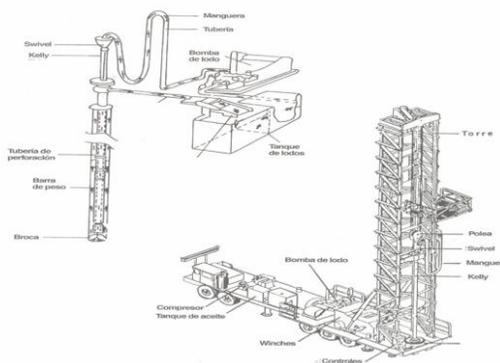


Figura 9. Método de rotación (Gómez, 1997)

2.3.1.12 Etapas a desarrollar en la construcción de un pozo profundo

Para Gómez, Tulio (1997) las etapas a desarrollar son

A) Localización

En la localización de un pozo de abastecimiento público lo más importante a tener en cuenta es:

B) Altura topográfica

En lo posible se debe localizar en un sitio alto para ganar presión al distribuir el agua. Sin embargo, muchas veces el mejor sitio para perforar un pozo se localiza en las partes bajas. El agua se debe buscar donde está, no donde la queremos y a veces no hay. Es mejor conducir el agua por tubería que garantiza un suministro continuo, a un pozo deficiente que no produce la cantidad de agua necesaria.

Localización de focos de contaminación. Se deben ubicar todos los focos de contaminación cercanos al sitio del pozo, como rellenos sanitarios, basureros, lagunas de tratamiento de aguas residuales domésticas, municipales e industriales, tanques sépticos y sus campos de infiltración si los tienen, pozos de absorción, letrinas y todos los sistemas que descarguen aguas residuales al suelo o a otro pozo de agua abandonado. También se deben tener en cuenta las estaciones de servicio de venta de combustibles, por el peligro de la filtración de los tanques enterrados o de cualquier otro tipo de tanque enterrado o en superficie que tenga materiales tóxicos.

La distancia mínima que debe existir entre un pozo y una letrina, un tanque séptico o un pozo de absorción es de 50 metros. La distancia mínima que debe existir con un relleno sanitario, basurero, un tanque enterrado con tóxicos, lagunas es de 500 m.

Estas distancias se deben tomar como indicativas solamente y sirven como normas generales de protección. Esta distancia depende de las características del suelo y del subsuelo, de su capacidad de eliminar o dejar mover los contaminantes.

Tener en cuenta la localización de la planta de tratamiento y el tanque de almacenamiento en el caso de que estén construidos. Cuando aún no se han construido lo

mejor es tener toda la infraestructura junto al pozo: sistema de tratamiento y tanque de almacenamiento.

Si el pozo es de reemplazo debe quedar a una distancia mínima de 50 m del antiguo, el cual debe ser sellado rigurosamente.

C) Perforación.

La perforación se realiza con un equipo de rotación, por el sistema de circulación directa, se utilizan brocas tricónicas, tipo piña y el fluido de perforación es lodo bentonítico. Inicialmente se hace un sondeo exploratorio en diámetro pequeño 8" o 12" hasta la profundidad total, luego después de definido el diseño del pozo se amplía a los diámetros y profundidades definitivas.

Los controles más importantes que se deben llevar son: Rata de perforación para determinar la dureza del terreno. Viscosidad y densidad del lodo de perforación para mantener la circulación de lodo en forma constante. Recolección de las muestras de las capas perforadas para hacer el diseño del pozo. Cantidad de bentonita utilizada. Lo importante en este proceso es que se mantenga una circulación constante del lodo de perforación que garantice la extracción de los sedimentos perforados y la estabilidad de las paredes del pozo.

D) Muestreo y columna litológica

Las muestras de las capas atravesadas en la perforación se colectan metro a metro, en la boca del pozo, luego de limpiarlas un poco se almacenan en bolsas plásticas y se van enumerando conforme a la profundidad donde se vayan encontrando. Así se obtiene lo que se llama el perfil "estratigráfico o litológico" del pozo, el cual es importante para su diseño. Las muestras se analizan macroscópicamente en el campo y se representan gráficamente.

2.3.1.13 Composición química

Para Castillo (2009), la composición química del agua subterránea natural se define a partir de los análisis de muestras recogidas adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado. Aunque son más de 60 los constituyentes y propiedades del agua subterránea natural que pueden encontrarse cuantificados en análisis químicos, por lo general y en estudios convencionales solo se determinan entre 10 y 20 parámetros fundamentales y para este estudio solo 3.

Para Castillo (2009) la incorporación de los constituyentes al agua, en variedad y concentraciones diferentes, es posible debido a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación. Esta incorporación de sustancias al agua comienza incluso antes de que se incorpore al sistema de flujo subterráneo propio de cada acuífero. Gases, aerosoles, polvo y sales diversas, presentes en la atmósfera, reaccionan con el agua marcando el primer esbozo químico del agua de infiltración.

Una vez infiltrada con unas características químicas definidas, originadas en la atmósfera o en la superficie del terreno por evapotranspiración el agua puede sufrir modificaciones drásticas en su composición como consecuencia de un conjunto de interacciones físicas, químicas y biológicas con el medio.

Los factores que condicionan entonces la composición del agua subterránea natural son múltiples. Entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables, entre otros.

Variables considerados en este estudio

A) Dureza (CaCO_3)

Para Rodríguez (2010), la dureza de las aguas subterráneas depende en gran medida del tipo de depósito geológico que el agua ha atravesado en su camino al acuífero. En depósitos de lecho de roca el agua es generalmente blanda (sódica) a pesar del grado

de mineralización. Como regla general los acuíferos glaciales producen agua dura mientras que los acuíferos de lecho de roca producen agua blanda.

Las aguas duras en sí mismas no son perjudiciales para la mayoría de plantas, pero forman:

- ✓ Depósitos calcáreos en las instalaciones de riego
- ✓ Manchas blancas en las plantas.

El rango adecuado de dureza en agua debe de ser <150 ppm, las cuales se llaman aguas suaves o medias; Si son >150 ppm se llaman aguas duras o muy duras.

B) Hierro (Fe)

Para Castillo (2009), el hierro ocurre de manera natural en acuíferos pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente de color naranja.

Las bacterias del hierro son los microorganismos que obtienen energía mediante la oxidación de hierro ferroso soluble en hierro férrico insoluble que se precipita de la solución.

El hierro provoca:

- ✓ Obstrucción en las tuberías y deterioro en la tubería de riego.
- ✓ Daño en los componentes del pozo mecánico (turbinas, rejillas, etc).
- ✓ Disminución de la eficiencia de bombeo.

El rango adecuado de hierro en agua debe de ser <0.6 ppm para riego por aspersión y miniaspersión, mientras que para riego por goteo debe de <0.3 ppm.

C) Conductividad eléctrica (CE)

Para Castillo (2009) la conductividad eléctrica expresa la concentración total de sales solubles contenidas en las aguas de riego.

La medida de la conductividad eléctrica se realiza mediante un conductivímetro provisto de célula de conductividad apropiada. La conductividad eléctrica se puede expresar en diferentes unidades (Siemens/cm, mhos/cm) y sus equivalencias son las siguientes:

$$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ milimhos/cm} = 1000 \text{ } \mu\text{S/cm}$$

Existen problemas de salinidad cuando se riega con agua de pozo que extrae agua expuestas a capas geológicas ricas en sales por haber estado antiguamente bajo el nivel del mar.

Si los ríos o pozos están cerca del mar pueden incrementar la conductividad eléctrica del agua de los mismos al mezclarse el agua de mar con el agua dulce, la brisa marina también trae sales que se depositan en los cuerpos de agua aumentando la salinidad.

D) Relación de adsorción de sodio

Para Pérez (2011) el parámetro utilizado para determinar el riesgo de sodio es el RAS (Relación de Adsorción de Sodio). Este parámetro indica la cantidad de sodio en el agua de riego, en relación con el calcio y el magnesio. El calcio y el magnesio tienden a contrarrestar el efecto negativo de sodio.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$$

Altos niveles de RAS podrían resultar en un daño de la estructura del suelo y en problemas de infiltración de agua. El suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire.

Cuanta más alta es la salinidad, menor será el efecto negativo del sodio sobre la estructura del suelo. Así, cuando los niveles de sodio en el suelo son altos en relación con el calcio y el magnesio, es decir, el RAS es alto, lavar el suelo con agua de buena calidad sólo empeorará el problema.

2.3.1.14 Calidad de agua para riego

Tanto la calidad del agua de riego como el manejo adecuado del riego son esenciales para la producción exitosa de cultivos. La calidad del agua de riego afecta tanto

a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables / óptimas. Además, los distintos cultivos requieren distintas calidades de agua de riego.

Por lo tanto, es muy importante realizar un análisis del agua de riego antes de seleccionar el sitio y los cultivos a producir. La calidad de algunas fuentes de agua puede variar significativamente de acuerdo a la época del año (como en una época seca / época de lluvias), así que es recomendable tomar más de una muestra, en distintos períodos de tiempo. Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres categorías: químicos, físicos y biológicos. Para fines de este estudio solo se tomará la categoría de químicos. A partir de los datos de CE y RAS se establece la clasificación del agua según las normas del departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA)

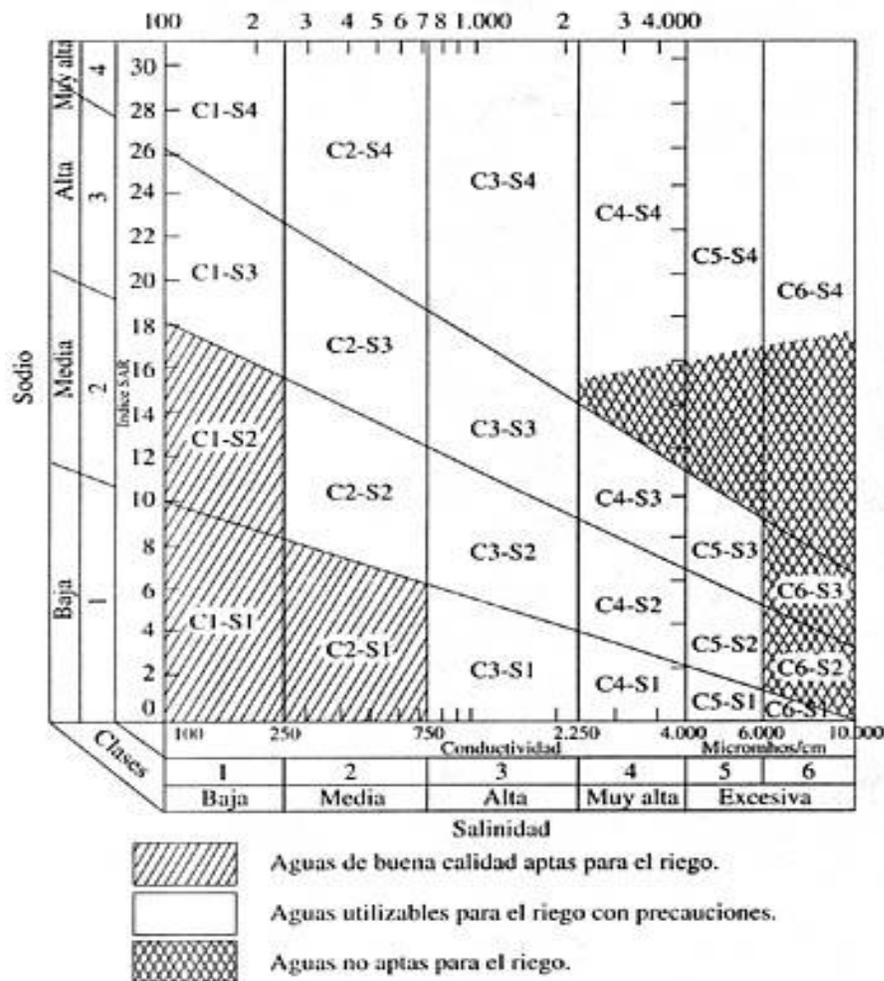


Figura 10. Clasificación de agua para riego (USDA, 1954)

En el cuadro 3 se presenta la nomenclatura de Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego de USDA que fue creada en el año de 1954.

Cuadro 3. Nomenclatura de agua para riego USDA

C₁	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C₂	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C₃	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C₄	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C₅	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C₆	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S₁	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S₂	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S₃	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S₄	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Fuente: Departamento de agricultura de los Estados Unidos

2.3.2 MARCO REFERENCIAL

2.3.2.1 Ubicación geográfica

Para Gil (2014), la subcuenca Coloiate tiene una extensión de 256.7 km² y se localiza en el departamento de Escuintla en su totalidad, abarcando los municipios de Santa Lucía Cotzumalguapa, La Democracia y La Gomera, contando con una red vial bastante extensa principalmente compuesta por caminos rurales debido al cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), con suelos formados principalmente por abanicos aluviales pertenecientes al volcán de fuego. El área de estudio tiene 46.9 km².

2.3.2.2 Clima

La temperatura en la subcuenca varía de los 23 °C hasta los 28 °C predominando ampliamente los 27 °C, mientras que la precipitación varía desde los 800 mm de lluvia hasta los 3,399 mm de lluvia.

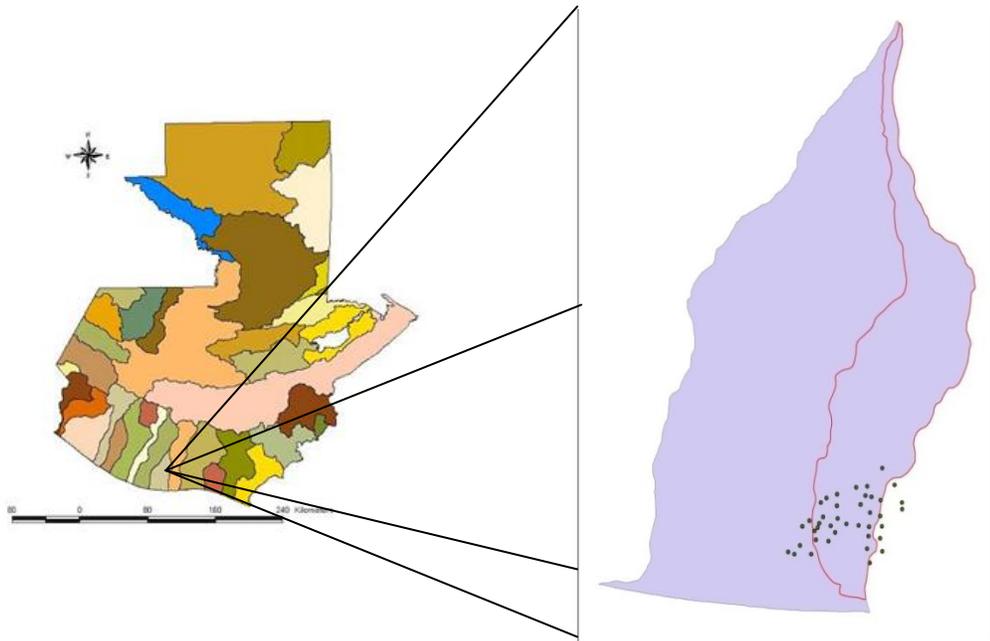


Figura 11. Cuenca Acomé, subcuenca Coloiate con los puntos de evaluación

2.3.2.3 Suelos

Para Morales (2010), el material sobre el cual se han desarrollado los suelos de la zona cañera de Guatemala, está constituido principalmente por cenizas, lapilli, pómez y otros materiales piroclásticos, aportados por las erupciones volcánicas ocurridas en diferentes épocas, principalmente durante la Cuaternaria. Estos materiales de cenizas son transportados por el viento o removidos por las aguas de escorrentía y luego transportados por los ríos que descienden de la montaña, formando depósitos recientes o antiguos, gruesos o delgados.

2.3.2.4 Unidad hidrogeológica aluviones cuaternarios

Para Morales (2010), esta unidad se encuentra constituida por los depósitos aluviales cuaternarios que están representados en todo el país. Los depósitos más importantes se encuentran en las llanuras del pacífico donde cubren prácticamente toda la región extendiéndose sobre una superficie de unos 7500 km² aproximadamente, formando una serie de abanicos interconectados entre ellos con terrazas de varias órdenes. Los depósitos aluviales están formados por materiales de varios tamaños como gravas, arenas y arcillas, procedentes de la erosión de los depósitos volcánicos cuaternarios y terciarios del Altiplano. Los espesores son generalmente muy elevados, siendo reportados pozos que han llegado hasta 200 metros de profundidad (departamento de Escuintla) sin haber encontrado la base.

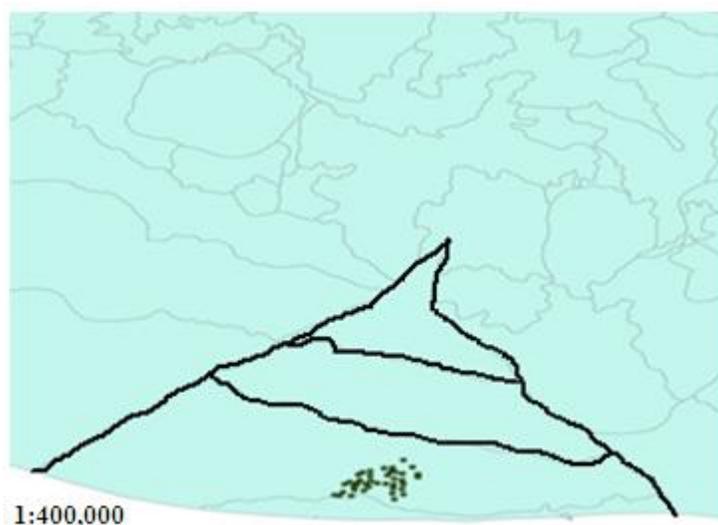


Figura 12. Abanico aluvial del volcán de fuego con los puntos de evaluación

2.4 HIPÓTESIS

En época lluviosa los niveles del agua subterránea de los pozos mecánicos son más altos que en época seca.

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 General

Analizar los niveles estáticos e hidroquímica del agua subterránea en pozos mecánicos de la parte baja de la subcuenca Colojate, cuenca Acomé.

2.5.2 Específicos

2.5.2.1 Caracterizar y evaluar los niveles estáticos de pozos mecánicos.

2.5.2.2 Determinar y clasificar la calidad química del agua subterránea para uso agrícola.

2.5.2.3 Estimar un balance hídrico de la parte baja de la subcuenca Colojate, cuenca Acomé para los meses de abril a octubre.

2.5.2.4 Realizar un análisis estratigráfico de tres perfiles de pozos mecánicos.

2.6 METODOLOGÍA

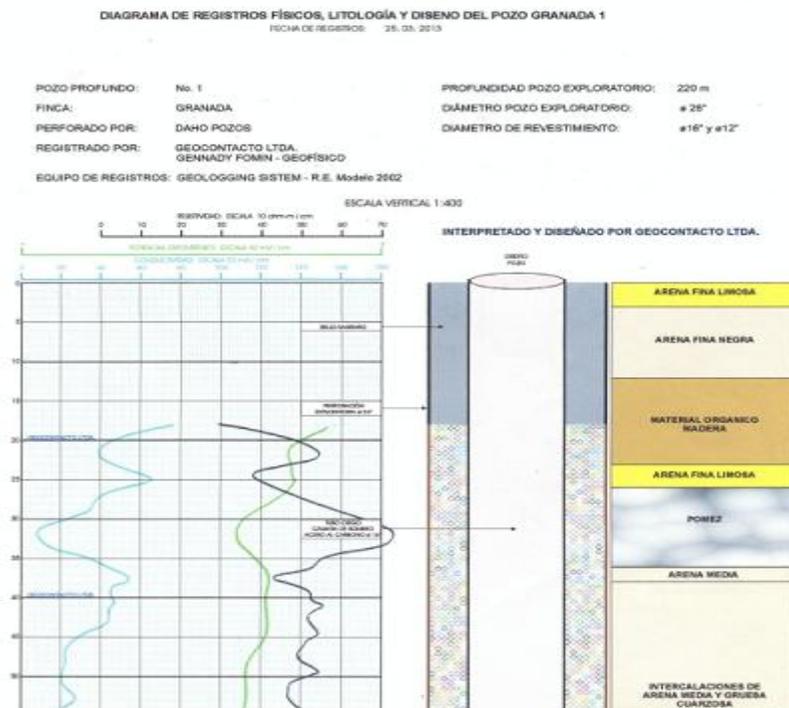
2.6.1 Fase I (preliminar): recopilación de información

2.6.1.1 Recopilación de información sobre recursos naturales (vegetación, suelos, recursos hídricos) de la subcuenca Colojate, cuenca Acomé

Se visitó la página web del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para obtener información acerca de la extensión de la cuenca y subcuenca, los ríos que lo conforman, el caudal de explotación, municipios que se encuentra en la subcuenca y el uso de suelo.

2.6.1.2 Recopilación de información de los pozos mecánicos que cubren el área de estudio.

Se obtuvo los perfiles estratigráficos de algunos pozos a evaluar, en los planos se encontraba información de: nombre de la finca, la empresa perforadora, la profundidad del pozo exploratorio, diámetro de pozo exploratorio, diámetro de revestimiento y el registro eléctrico.



Fuente: Geocontacto LTDA

Figura 13. Perfil estratigráfico de pozo Granada

-Elaboración de boleta para la base datos, tales como Identificación de los pozos, coordenadas (longitud, latitud, altitud de los pozos), fecha de los sondeos y niveles estáticos del agua.

Cuadro 4. Boleta utilizada para la toma de datos

No. Pozo	Finca	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Junio (precanícula)		Junio (postcanícula)		Julio	
					Fecha	Isohipsas	Fecha	Isohipsas	Fecha	Isohipsas

2.6.2 Fase II (Campo): ejecución del proyecto

2.6.2.1 Caracterización del acuífero cualitativamente

Se integró la información geológica, estratigráfica y físico-química para determinar las propiedades generales de los acuíferos en términos de su potencial hidrogeológico y sus características estratigráficas.

2.6.2.2 Caracterización del acuífero cuantitativamente

Por medio de un GPS de navegación marca Geo XT se procedió a marcar las coordenadas (latitud, longitud y altitud) de los pozos a evaluar (36). Al tomar las lecturas del GPS marcaba la precisión que tenía, así como la toma de lectura se llevó a cabo de las 7 de la mañana a las 11 de la mañana y luego de 2 de la tarde a las 5 de la tarde, de 11 a.m. a 2 p.m. no se tomó lecturas debido al posicionamiento de los satélites el error era mayor a esas horas, por lo que se evitó que el error de precisión fuera muy alto.



Figura 14. GPS de navegación utilizado

Por medio de una sonda se midió el nivel estático mes a mes, durante los meses de abril a noviembre, realizando dos sondeos en el mes de julio para observar el comportamiento del efecto pre canícula y post canícula. La sonda funciona con dos electrodos de plomo, separados y aislados solo con las puntas descubiertas los cuales al estar al contacto con el agua forma un puente de continuidad de la corriente eléctrica y esto hace que haya una luz en la sonda dando una lectura en el cable que ha sido marcado.



Figura 15. Sonda utilizada para la medición de niveles de pozos

Con el apoyo del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) con un molinete se procedió a medir el caudal del río Coloiate. La metodología empleada consistió en la del molinete, en donde se procedió a seccionar el área, luego de tenerlo seccionado se midió la profundidad del río, el ancho de la sección del río y con ello se determinó el área transversal.

Para el cálculo de velocidad se utilizó el molinete en donde registró las rpm del río y por medio de una fórmula matemática se calculó la velocidad media. Para el cálculo del caudal se multiplicó la velocidad media por el área

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = V_{\text{media}} \text{ (m/seg)} * \text{Área sección (m}^2\text{)}$$



Figura 16. Aforo río Coloiate

Dentro del área de estudio existían 9 pluviómetros ubicados en 9 fincas, las cuales día con día se leía la lectura de cuántos milímetros de agua tenían los pluviómetros.



Figura 17. Pluviómetro ubicado en finca Ojo de Agua

2.6.3 Fase III laboratorio

Se extrajo una muestra de agua de cada pozo (36) para su análisis químico con fecha del 20 de abril al 10 de mayo del 2014. Luego se procedió a enviarlas previamente identificadas a un laboratorio para que se realizara su respectivo análisis químico, dichas muestras fueron tomadas durante el periodo de operación del sistema de bombeo en recipientes dados por el laboratorio.

Para la recolección de la muestra se extrajo de una manguera que se encontraba en el cabezal de engrane, de primero se lavó 3 veces el tambo con el agua que correspondía a cada pozo mecánico, luego de lavarlo se llenó hasta el ras del tambo para que no quedara espacio alguno ya que a la hora de dejar mucho espacio vacío por la presencia de oxígeno se podría alterar la composición química y se envió a laboratorio en hielera térmicas (5°C) por un máximo de 2 días desde la toma de la muestra.



Figura 18. Muestra recolectada

Para este estudio solo se tomó los siguientes parámetros: Dureza (CaCO_3), Hierro (Fe), Conductividad eléctrica (C.E.), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na), con estos últimos 3 elementos se calculó la relación absorción sodio (RAS), la cual la fórmula a emplear fue la siguiente:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$$

2.6.4 Fase IV (Gabinete): análisis de datos

-Análisis de la información de pozos: Por medio del software Excel y Arcgis se analizó la información.

-Se creó mapas temáticos de análisis químico de los pozos evaluados, utilizando 3 parámetros (causan mayor problemas): conductividad eléctrica, dureza y hierro.

-En base a los análisis químicos se clasificó el agua, tomando como referencia la conductividad eléctrica (CE) y la relación absorción sodio (RAS).

-Se creó mapas temáticos a nivel general de niveles estáticos mes a mes de isohipsas (m), esto se calculó en base de: altitud (m) – nivel estático del mes (m). Luego se clasificó en pozos profundos y pozos no profundos, para tener identificados los pozos confinados y los someros.

-Se estimó un balance hídrico por medio de datos de precipitación, escorrentía y evapotranspiración, tomando como entradas: la precipitación, y como salidas: evapotranspiración y escorrentía. Con referencia a la fórmula:

$$\text{Balance (mm)} = \text{Entradas} - \text{salidas}$$

$$\text{Balance mm} = (\text{Precipitación pluvial}) - (\text{Evapotranspiración} + \text{Escorrentía})$$

2.7 RESULTADOS

Con un GPS de navegación marca Trimble GEO XT 2008 se procedió a tomar la ubicación de los pozos mecánicos, usando coordenadas geográficas y el error de precisión cuando se tomó las lecturas. Se obtuvo los perfiles estratigráficos para determinar qué pozos correspondía a la antigua tecnología (<300 pies) y nueva tecnología (>300 pies) por lo que conjuntamente se obtuvo la información a qué profundidad se encontraba la primer rejilla de cada pozo.

Cuadro 5. Georeferenciación de los pozos mecánicos evaluados

No. Pozo	Finca	Coordenadas WGS 1984		Altitud (m)	Error de precisión + - (m)	Tecnología	Primera rejilla (pies)
		Latitud	Longitud				
1	Congo	14.0093850	-90.9978270	12.7	0.90	Nueva	220.0
2	Congo	14.0021940	-90.9995280	10.4	0.95	Antigua	80.0
3	Congo	14.0085000	-91.0075560	11.1	0.53	Antigua	40.0
4	Cuevas	13.9672780	-91.0316670	2.1	0.50	Antigua	10.0
5	Cuevas	13.9685000	-91.0427780	0.2	0.43	Nueva	235.0
6	El Recuerdo	13.9954170	-91.0036670	6.8	0.59	Nueva	210.0
7	Granada	13.9508890	-90.9953890	5.1	0.50	Nueva	215.0
8	Granada	13.9616110	-90.9978610	5.2	0.55	Nueva	301.5
9	Holanda	13.9794170	-91.0053890	8.4	0.59	Antigua	80.0
10	Holanda	13.9805830	-91.0160830	8.1	0.50	Nueva	315.0
11	La Felicidad	14.0231670	-90.9847220	17.6	0.63	Nueva	210.0
12	La Felicidad	13.9788330	-90.9849720	12.0	1.00	Antigua	20.0
13	La Felicidad	13.9892780	-90.9953330	9.2	0.94	Antigua	20.0
14	La Felicidad	13.9969720	-90.9675560	18.1	1.50	Antigua	20.0
15	La Felicidad	13.9866390	-90.9864720	6.8	1.90	Antigua	120.0
16	La Felicidad	13.9784170	-90.9962500	9.9	0.80	Nueva	120.0
17	La Felicidad	13.9696110	-90.9865560	7.1	1.50	Antigua	20.0
18	La Felicidad	13.9712780	-90.9968330	7.5	1.00	Antigua	20.0
19	La Felicidad	14.0011670	-90.9941940	8.2	0.75	Antigua	20.0
20	La Felicidad	14.0103330	-90.9740560	18.4	1.50	Nueva	290.0
21	La Felicidad	13.9919440	-90.9673610	15.4	0.65	Nueva	230.0
22	La Felicidad	13.9986940	-90.9861670	17.6	0.80	Nueva	357.8
23	Manglares	13.9590280	-91.0667780	-0.2	0.44	Nueva	220.0
24	Manglares	13.9573890	-91.0468060	-0.1	0.63	Antigua	20.0
25	Morenas	13.9597780	-90.9845830	4.9	0.60	Nueva	248.5
26	Nuevo San Carlos	13.9830000	-91.0482500	4.1	0.55	Antigua	10.0
27	Ojo de agua Cushin	13.9859440	-91.0363330	2.9	0.76	Antigua	20.0

No. Pozo	Finca	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Error de precisión + - (m)	Tecnología	Primera rejilla (pies)
28	Ojo de agua Cushin	13.9791110	-91.0298330	5.1	0.13	Antigua	20.0
29	Ojo de agua Cushin	13.9808610	-91.0398330	4.1	1.30	Antigua	20.0
30	Ojo de agua Cushin	13.9846940	-91.0237500	7.4	1.30	Antigua	20.0
31	Ojo de agua Cushin	13.9740830	-91.0258890	1.7	0.67	Nueva	20.0
32	Ojo de agua Cushin	13.9776670	-91.0411670	3.1	0.63	Antigua	20.0
33	Ojo de agua Cushin	13.9750830	-91.0437780	2.1	1.50	Antigua	20.0
34	Ojo de agua Guadalupe	13.9967220	-91.0383610	9.0	1.10	Antigua	20.0
35	Ojo de agua Guadalupe	14.0002780	-91.0334720	8.7	0.75	Antigua	20.0
36	Ojo de agua Guadalupe	14.0032500	-91.0243330	6.7	0.93	Antigua	20.0

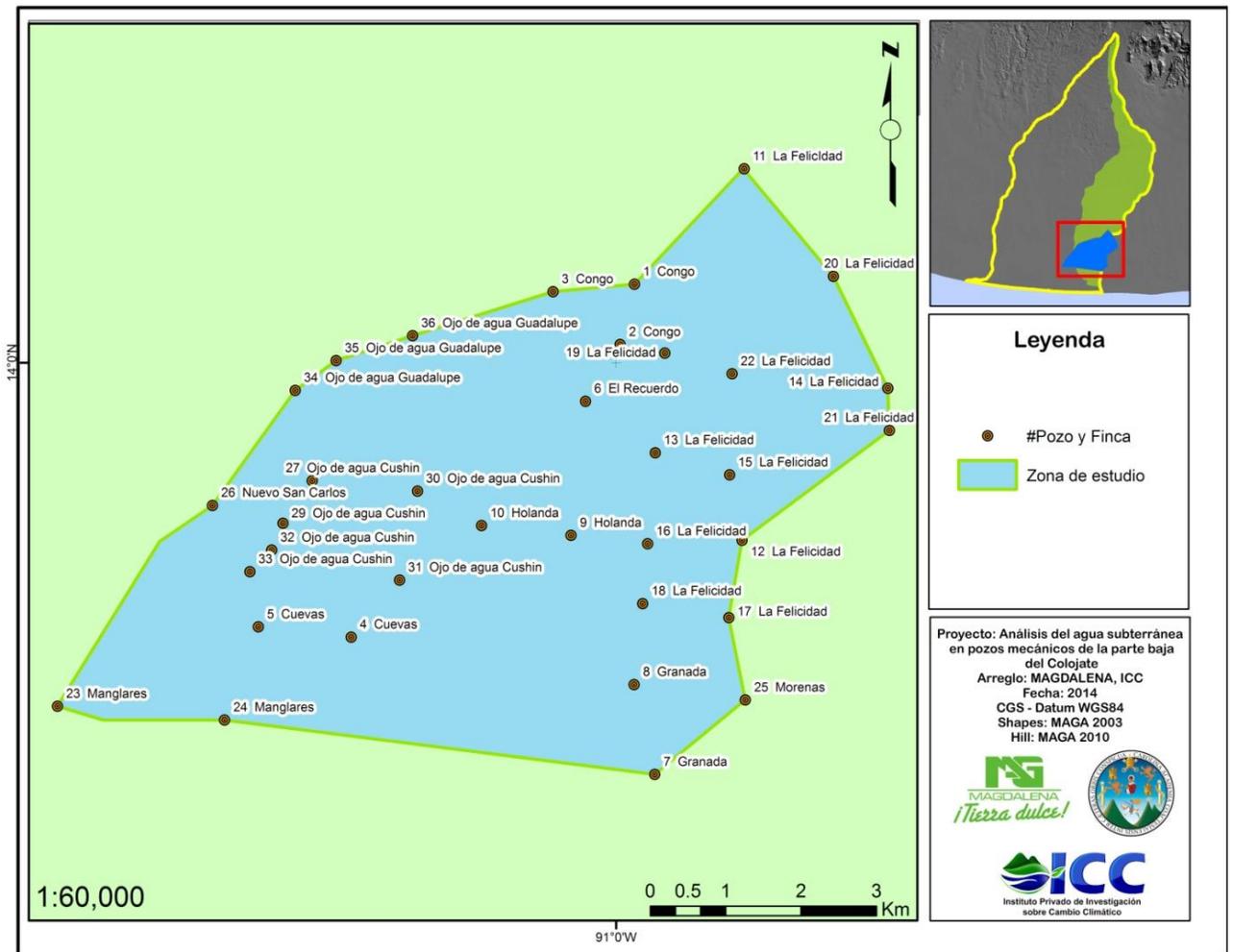


Figura 19. Numeración y ubicación de pozos evaluados

2.7.1 Análisis químico

Puntos de muestreo de pozos mecánicos y resultados para la determinación de calidad de agua de la subcuenca Colojate, cuenca Acomé, Escuintla.

Cuadro 6. Resultados de análisis químico de muestras de agua enviada a laboratorio

No.	Finca	Latitud	Longitud	C.S. < 3 dS/m	RAS < 4.0	Dureza (CaCO ₃) < 150 ppm	Hierro (Fe) < 0.6 ppm	Clasificación de agua
1	Congo	14.0093850	-90.9978270	0.38	2.37	88.9	0.06	C2-S1
2	Congo	14.0021940	-90.9995280	0.37	2.01	140.6	0.39	C2-S1
3	Congo	14.0085000	-91.0075560	0.37	1.27	134.3	0.13	C2-S1
4	Cuevas	13.9672780	-91.0316670	0.44	1.88	128.6	0.15	C2-S1
5	Cuevas	13.9685000	-91.0427780	0.46	0.01	104.8	0.06	C2-S1
6	El Recuerdo	13.9954170	-91.0036670	0.38	2.50	71.2	1.0	C2-S1
7	Granada	13.9508890	-90.9953890	0.39	4.20	60.0	0.1	C2-S1
8	Granada	13.9616110	-90.9978610	0.40	4.51	52	0.06	C2-S1
9	Holanda	13.9794170	-91.0053890	0.33	1.4	125	0.16	C2-S1
10	Holanda	13.9805830	-91.0160830	0.37	1.80	120	0.16	C2-S1
11	La Felicidad	14.0231670	-90.9847220	0.38	2.50	58.2	0.2	C2-S1
12	La Felicidad	13.9788330	-90.9849720	0.33	2.7	66.1	0.06	C2-S1
13	La Felicidad	13.9892780	-90.9953330	0.30	2.90	60.4	0.06	C2-S1
14	La Felicidad	13.9969720	-90.9675560	0.56	2.80	71.2	0.12	C2-S1
15	La Felicidad	13.9866390	-90.9864720	0.33	2.10	59.5	0.06	C2-S1
16	La Felicidad	13.9784170	-90.9962500	0.36	1.40	80.1	0.06	C2-S1
17	La Felicidad	13.9696110	-90.9865560	0.41	1.19	174.7	0.11	C2-S1
18	La Felicidad	13.9712780	-90.9968330	0.40	1.45	76.4	0.1	C2-S1
19	La Felicidad	14.0011670	-90.9941940	0.39	1.15	163.7	0.19	C2-S1
20	La Felicidad	14.0103330	-90.9740560	0.33	2.2	83.5	0.18	C2-S1
21	La Felicidad	13.9919440	-90.9673610	0.30	1.35	152.4	0.22	C2-S1
22	La Felicidad	13.9986940	-90.9861670	0.34	1.14	66.1	0.1	C2-S1
23	Manglares	13.9590280	-91.0667780	0.41	2.30	57	0.06	C2-S1
24	Manglares	13.9573890	-91.0468060	0.43	2.40	36.9	0.06	C2-S1
25	Morenas	13.9597780	-90.9845830	0.38	3.44	58.9	0.06	C2-S1
26	Nuevo San Carlos	13.9830000	-91.0482500	0.41	2.75	103.7	0.06	C2-S1
27	Ojo de agua Cushin	13.9859440	-91.0363330	0.38	0.35	108.1	0.19	C2-S1
28	Ojo de agua Cushin	13.9791110	-91.0298330	0.35	0.40	49	0.06	C2-S1
29	Ojo de agua Cushin	13.9808610	-91.0398330	0.53	0.12	194.2	0.25	C2-S1
30	Ojo de agua Cushin	13.9846940	-91.0237500	0.37	0.80	107.2	0.15	C2-S1
31	Ojo de agua Cushin	13.9740830	-91.0258890	0.50	1.00	48.5	0.06	C2-S1
32	Ojo de agua Cushin	13.9776670	-91.0411670	0.40	1.50	105.9	0.23	C2-S1
33	Ojo de agua Cushin	13.9750830	-91.0437780	0.59	3.37	133.4	0.08	C2-S1

No.	Finca	Latitud	Longitud	C.S. < 3 dS/m	RAS < 4.0	Dureza (CaCO ₃) < 150 ppm	Hierro (Fe) < 0.6 ppm	Clasificación de agua
34	Ojo de agua Guadalupe	13.9967220	-91.0383610	0.47	5.74	50.8	0.06	C2-S1
35	Ojo de agua Guadalupe	14.0002780	-91.0334720	0.39	1.45	121.1	0.25	C2-S1
36	Ojo de agua Guadalupe	14.0032500	-91.0243330	0.51	1.36	186.3	0.33	C2-S1

Los resultados fueron tomados la última semana de abril del año 2,014. Para la toma de datos se requirió que el motor del pozo estuviera operando como mínimo dos días antes y se mandó la muestra a un laboratorio 3 días como máximo después de haber tomado la muestra. Por razones de acceso a la información solo se permitió que se trabajara con 4 parámetros químicos (conductividad eléctrica, relación absorción sodio, dureza y pH).

De acuerdo a la clasificación USDA (U.S. Soild Salinity Laboratory) todas las muestras de agua evaluadas fueron de C2-S1: La cual este tipo de agua se corresponde con una salinidad de entre 250 y 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y representa, según esta clasificación, una peligrosidad salina media. Puede usarse para el riego de todos los cultivos en casi todos los suelos, salvo los extremadamente sensibles a la salinidad cuando éstos se hallan en suelos de alta a mediana permeabilidad. Con suelos de baja permeabilidad, ocasionalmente deberá efectuarse algún lavado. Es conveniente la elección de cultivos de moderada tolerancia a la salinidad. En condiciones normales, la técnica común de riego es suficiente para la lixiviación requerida. Con relación al sodio, este tipo de agua observa una peligrosidad baja. Puede emplearse en casi todos los suelos, sin peligro de que el nivel de sodio intercambiable suba demasiado.

Los resultados químicos representados en mapas temáticos en cuanto a la conductividad eléctrica, dureza y pH son los siguientes.

2.7.1.1 Conductividad eléctrica

La conductividad se define como la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua. La conductividad nos da una idea del contenido total de sales en el agua. Cuanto más elevada sea la conductividad mayor será el contenido en sales. El rango de la Conductividad eléctrica debe de ser de 0.00 - 3.00 ds/m ya que expresa la concentración total de sales solubles contenidas en las aguas de riego. En los resultados del área de estudio todas las aguas son menores a 3, por lo que no existe ningún problema en cuanto a alta cantidad de sales solubles.

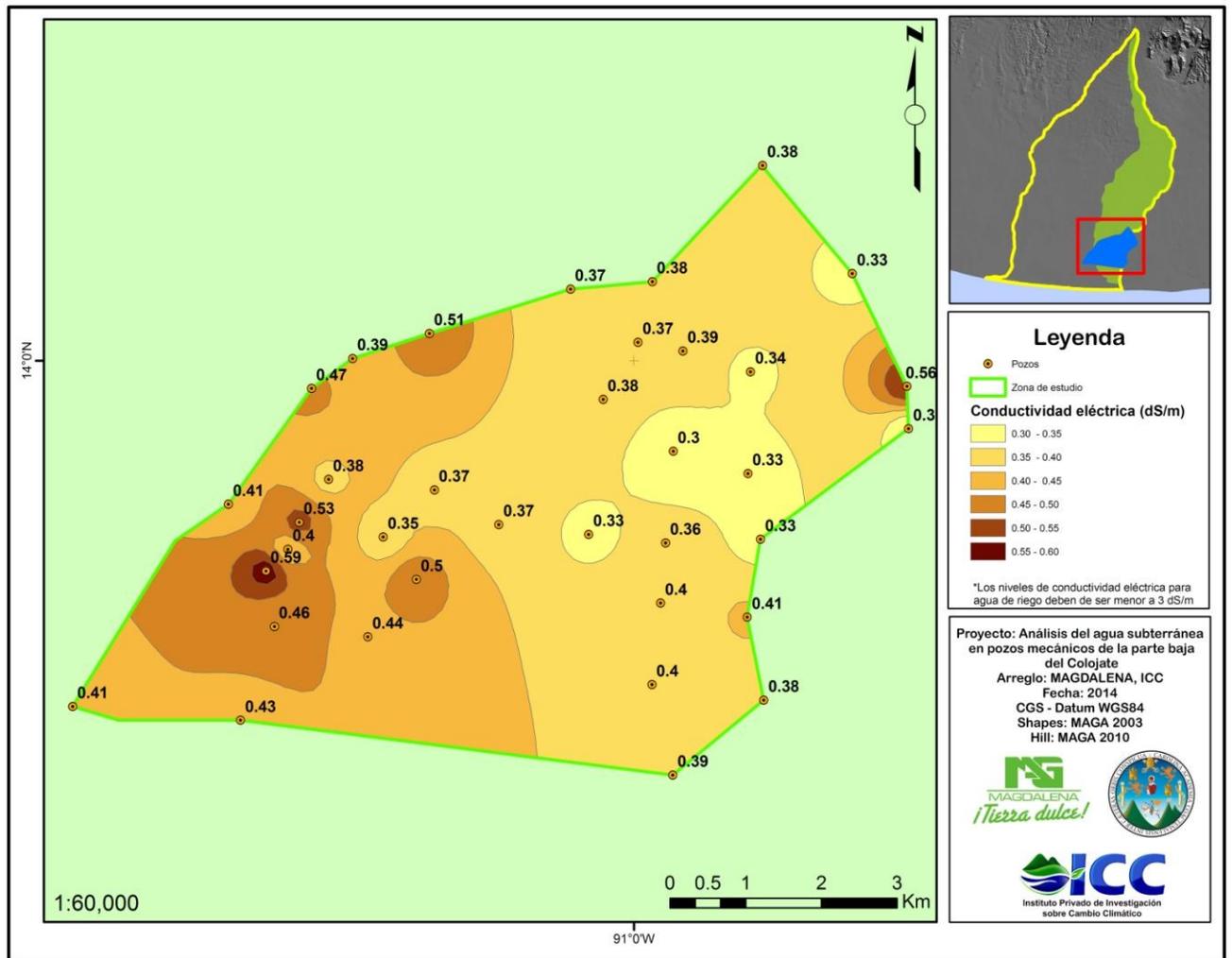


Figura 20. Conductividad eléctrica, parte baja subcuenca Colojate, cuenca Acomé, Escuintla, Guatemala

2.7.1.2 Dureza

La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua. Se clasifican en blandas si son <150 ppm y en duras si son >150 ppm. En el caso de las aguas evaluadas 31 son aguas blandas y 5 aguas duras, los cuales corresponde a los pozos:

#17 con 174.7 ppm

#19 con 163.7 ppm

#21 con 152.4 ppm

#29 con 194.2 ppm

#36 con 186.3 ppm

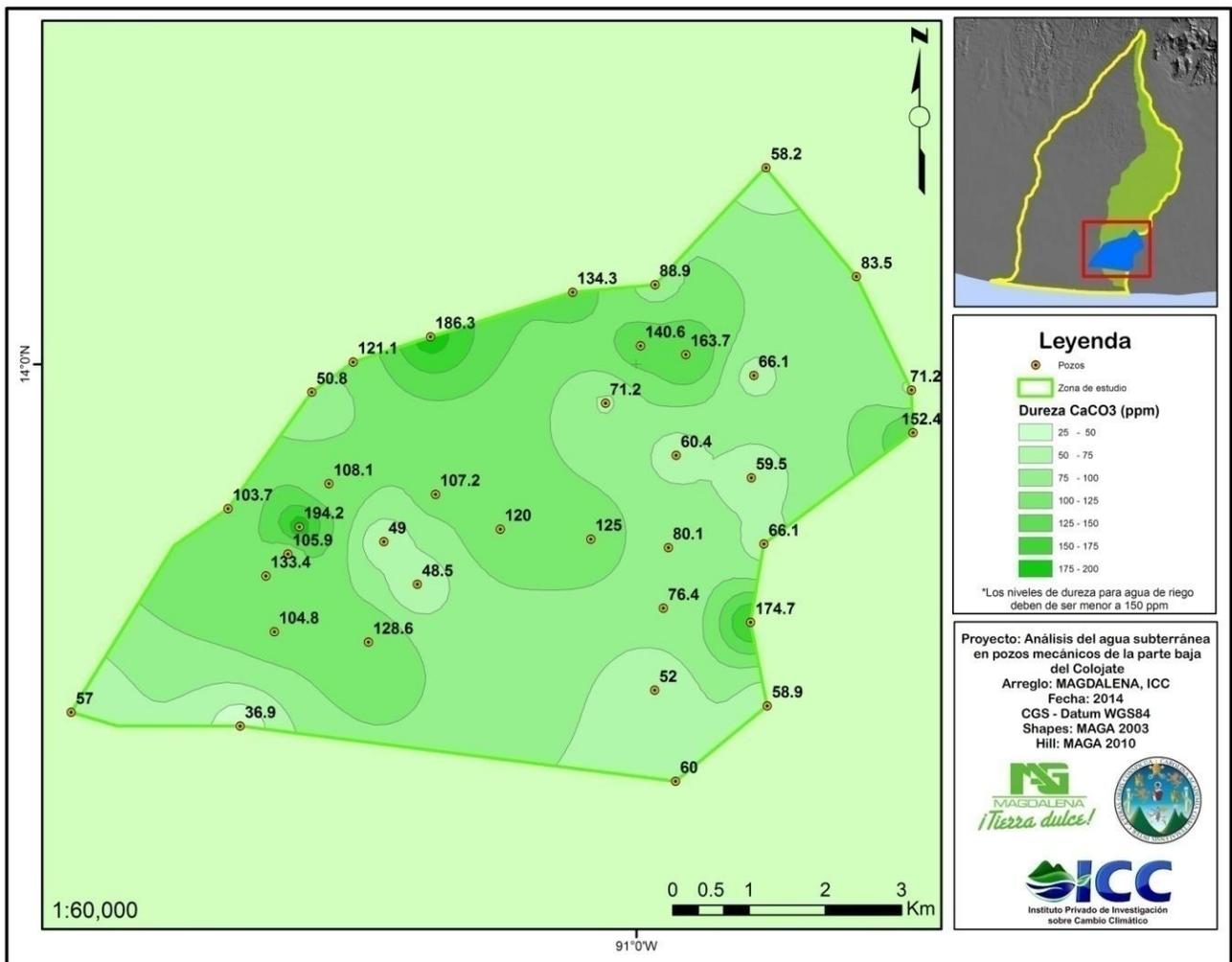
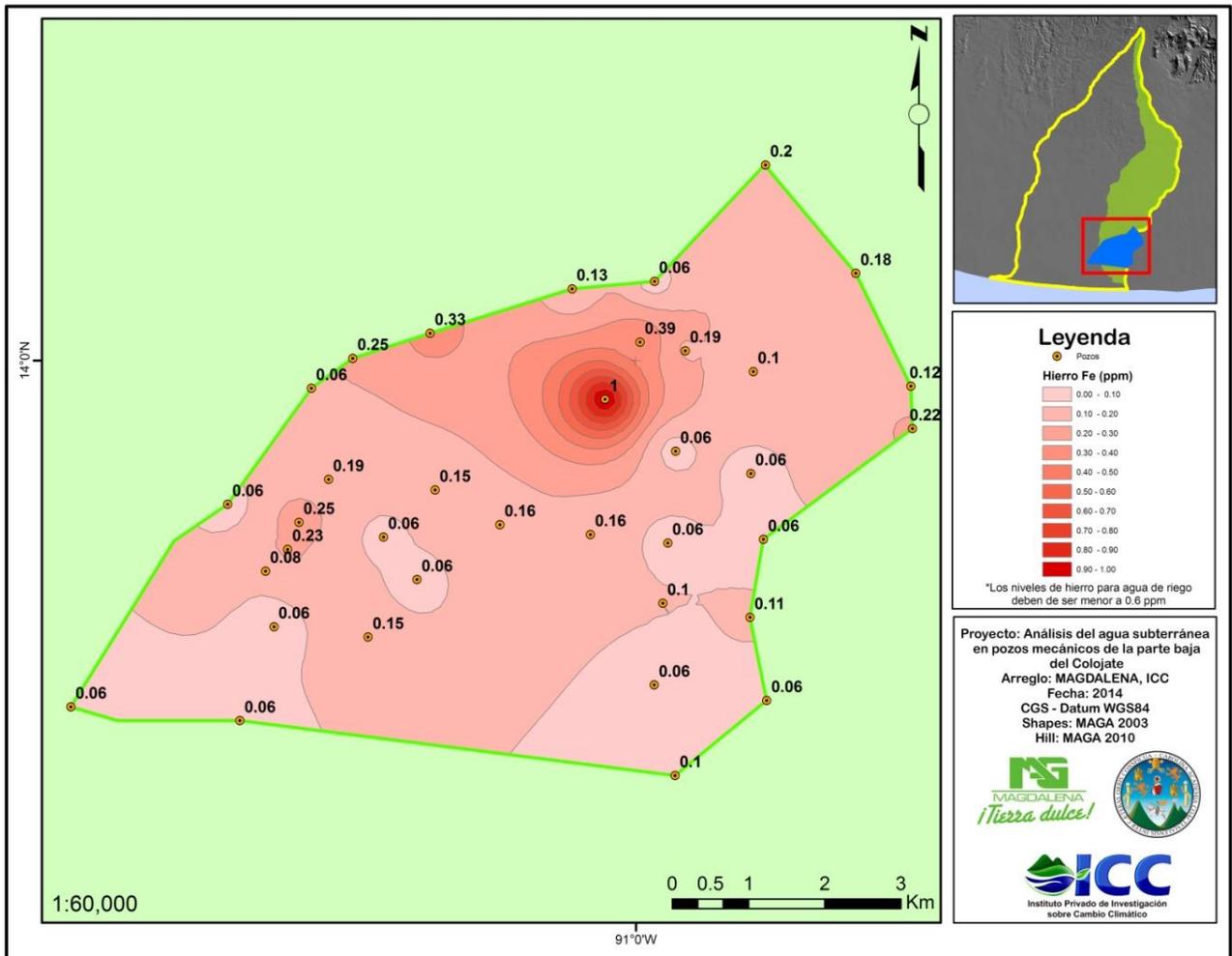


Figura 21. Dureza, parte baja subcuenca Colojate, cuenca Acomé, Escuintla, Guatemala, C.A.

2.7.1.3 Hierro

El hierro ocurre de manera natural en acuíferos pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente de color naranja. El hierro que es disuelto en las aguas subterráneas se reduce a su forma hierro II. Esta forma es soluble y normalmente no causa ningún problema por sí misma. El hierro II se oxida a formas de hierro III que son hidróxidos insolubles en agua. Estos son compuestos rojos corrosivos que tiñen y provocan el bloqueo de bombas, tuberías, entre otros. En el caso de las muestras analizadas solo un pozo es mayor a 0.6 ppm que es el rango permisible, por lo que existe una concentración en la parte central superior del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Hierro en parte baja subcuenca Colojate, cuenca Acomé, Escuintla, Guatemala, C.A.

2.7.2 Niveles estáticos

Los niveles estáticos se sondearon siete veces (abril – octubre), aproximadamente cada mes, en el mes de julio se realizó dos sondeos para visualizar el efecto pre y post canícula. Se separó los pozos en:

- Someros (no profundos)
- Semi confinados y confinados (profundos)

Esta clasificación se realizó debido a que los pozos someros presentan mayor variación en los niveles a comparación que los profundos Gil (2014). Para representar los niveles se procedió a trazarlos en gráficas y luego en mapas. Estos fueron los resultados

2.7.2.1 Pozos someros

En el cuadro 7. se detalla los pozos que son someros, la distancia en que se encontró la primera rejilla, fechas y niveles (m) de sondeos

Cuadro 7. Niveles encontrados en pozos someros

No. Pozo	Tecnología	Primera rejilla (metros)	Abril 22/4/14	Junio 02/6/14	Julio (pre) 02/7/14	Julio (post) 22/7/14	Agosto 15/8/14	Septiembre 16/8/14	Octubre 30/10/14	Noviembre 30/11/14
2	Antigua	24.4	6.1	9.2	9.2	8.6	9.2	9.2	9.2	6.1
3	Antigua	12.2	7.7	9.6	10.2	9.6	10.5	10.5	10.8	8.1
4	Antigua	3.0	-1.3	-0.6	-0.6	-1.3	-0.3	0.0	0.0	-2.5
9	Antigua	24.4	4.2	8.1	7.8	7.5	8.4	8.4	8.4	5.4
12	Antigua	6.1	7.7	9.9	9.9	9.3	10.2	10.5	10.8	7.7
13	Antigua	6.1	4.6	8.0	7.1	6.5	8.0	8.0	8.0	4.6
14	Antigua	6.1	16.0	16.6	15.7	10.8	16.6	16.9	17.2	14.1
15	Antigua	6.1	3.1	5.0	5.0	4.7	5.1	5.3	5.3	2.2
16	Antigua	6.1	5.9	7.5	7.8	7.8	8.1	8.4	8.4	5.0
17	Antigua	6.1	3.1	5.0	5.0	4.7	5.6	5.9	5.9	2.2
18	Antigua	6.1	4.5	6.0	5.1	5.1	6.0	6.3	6.6	4.5
19	Antigua	3.0	6.1	6.7	7.0	6.1	6.8	7.0	7.0	3.9
24	Antigua	6.1	-3.8	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-3.1
26	Antigua	6.1	0.4	2.6	3.2	2.9	3.2	3.2	3.2	0.1
27	Antigua	6.1	0.2	1.1	1.1	0.5	1.1	1.4	1.4	-1.7
28	Antigua	6.1	2.4	3.3	3.3	2.7	3.6	3.9	3.9	0.5
29	Nueva	6.1	0.4	2.6	2.6	2.0	2.9	2.9	3.2	0.1
30	Antigua	6.1	2.2	5.6	6.5	5.6	6.5	5.3	6.8	3.7
31	Antigua	6.1	-1.3	0.2	1.4	1.1	1.4	1.4	1.7	-1.3
32	Antigua	6.1	-0.9	1.9	1.6	1.0	2.2	2.2	2.2	-0.6
33	Antigua	6.1	-0.9	0.6	0.3	0.0	0.9	0.9	1.2	-1.9

No. Pozo	Tecnología	Primera rejilla (metros)	Abril 22/4/14	Junio 02/6/14	Julio (pre) 02/7/14	Julio (post) 22/7/14	Agosto 15/8/14	Septiembre 16/8/14	Octubre 30/10/14	Noviembre 30/11/14
34	Antigua	6.1	6.0	7.5	7.8	7.8	8.4	8.4	8.4	5.3
35	Antigua	36.5	5.0	6.0	7.5	6.3	6.9	7.2	7.5	4.7
36	Nueva	36.5	3.0	5.2	5.5	4.6	5.5	5.5	5.5	2.4

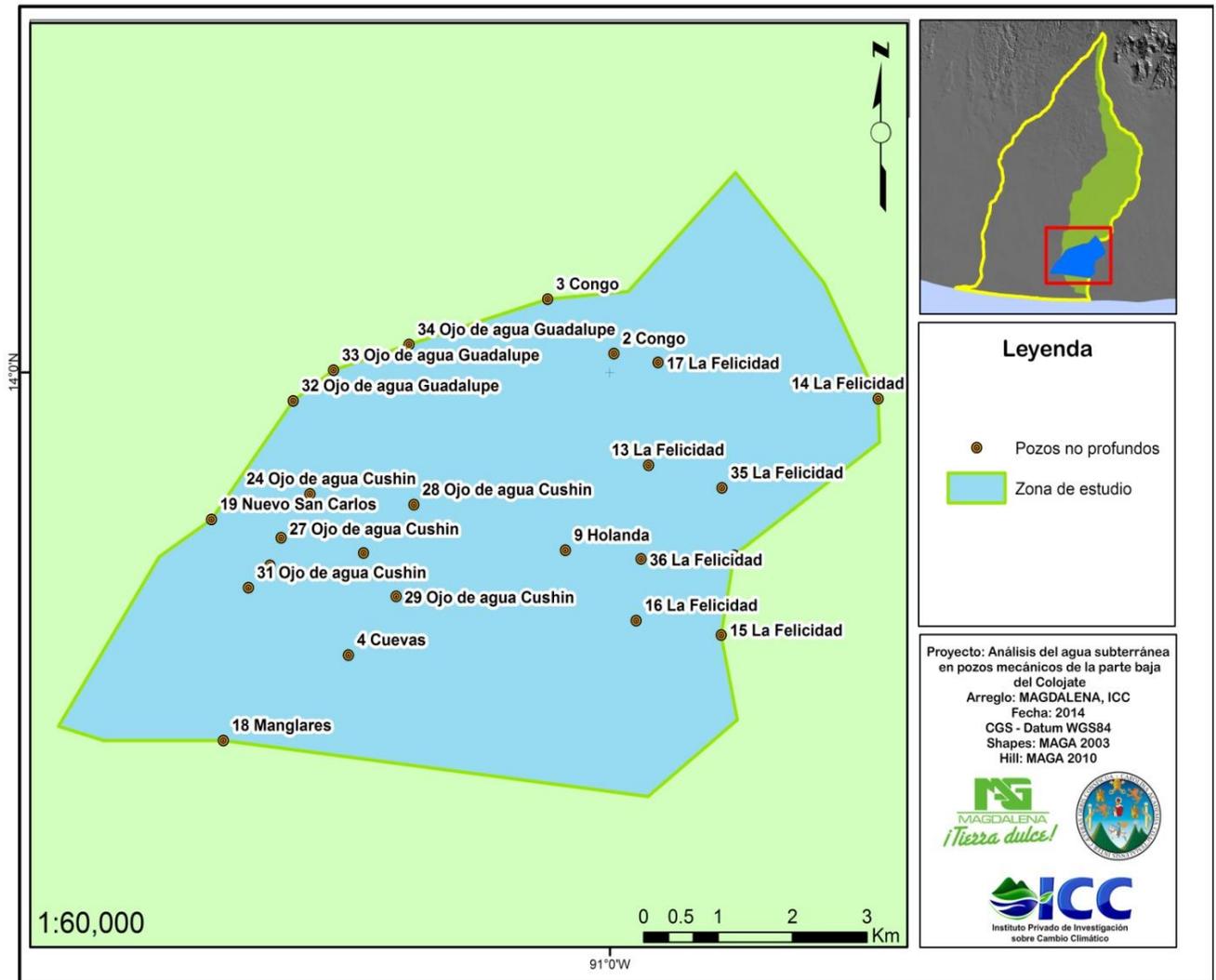


Figura 23. Numeración y ubicación de pozos mecánicos no profundos evaluados

En la figura 24 se detalla en gráfica algunos niveles de pozos someros que se tomó de los meses de abril a noviembre, se eligió algunos pozos representativos que en promedio tenía otros niveles de pozos.

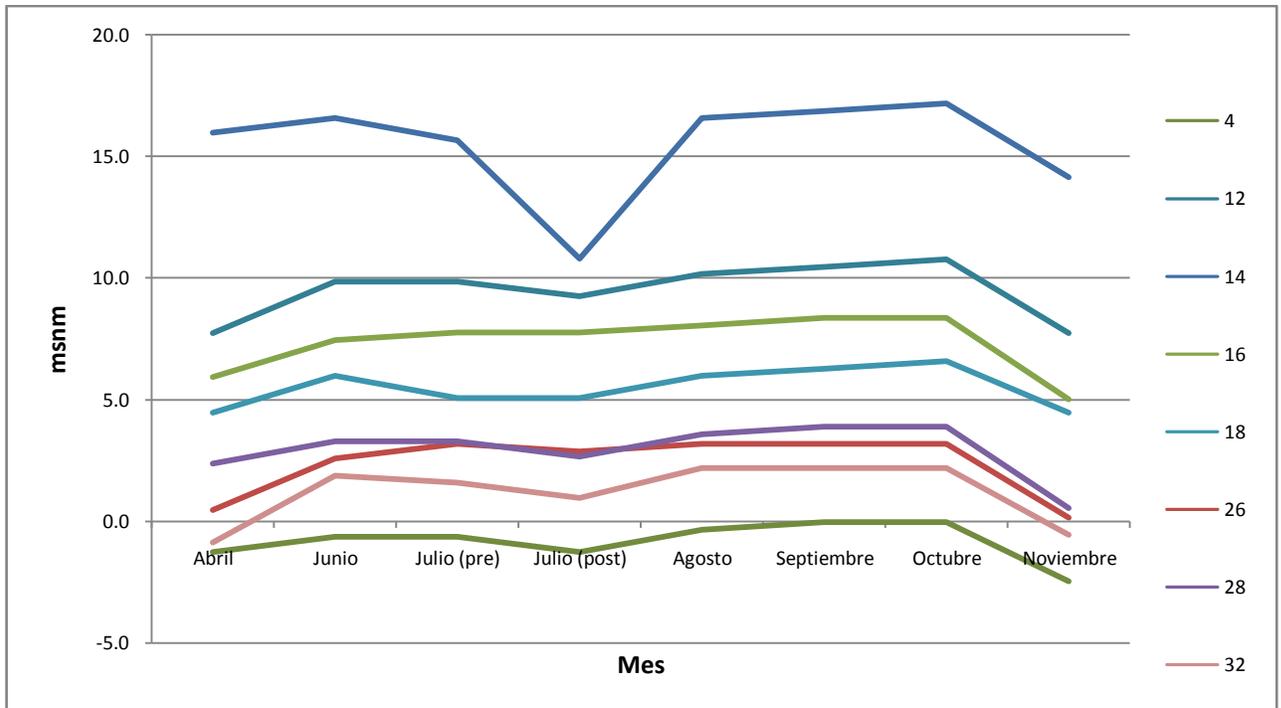


Figura 24. Niveles en pozos someros, Abril- Noviembre, subcuenca Colojate, cuenca Acomé

La tendencia de los niveles en la mayoría de pozos fue uniforme, el pozo # 14 tuvo una tendencia anormal, esto sucedió posiblemente por la altitud que se encontró el pozo (18.1 m) dado que los demás tenían una altitud menor. Durante los meses de abril a junio el nivel de agua ascendió, debido al aporte de la precipitación en la parte baja de la subcuenca, durante el período post canícula el nivel del agua tuvo a descender debido a que no existió recarga. En los próximos meses continuó ascendiendo por las lluvias hasta que el nivel del agua descendió en noviembre por el inicio de la época seca.

Para observar los cambios de niveles durante los meses del estudio, se tomó de referencia algunos pozos representativos del mes de abril, ya que en este mes los niveles se encuentran en los niveles más bajos, se toma como 0 (msnm) el mes de abril y con ello se sacó las diferencias por cada mes.

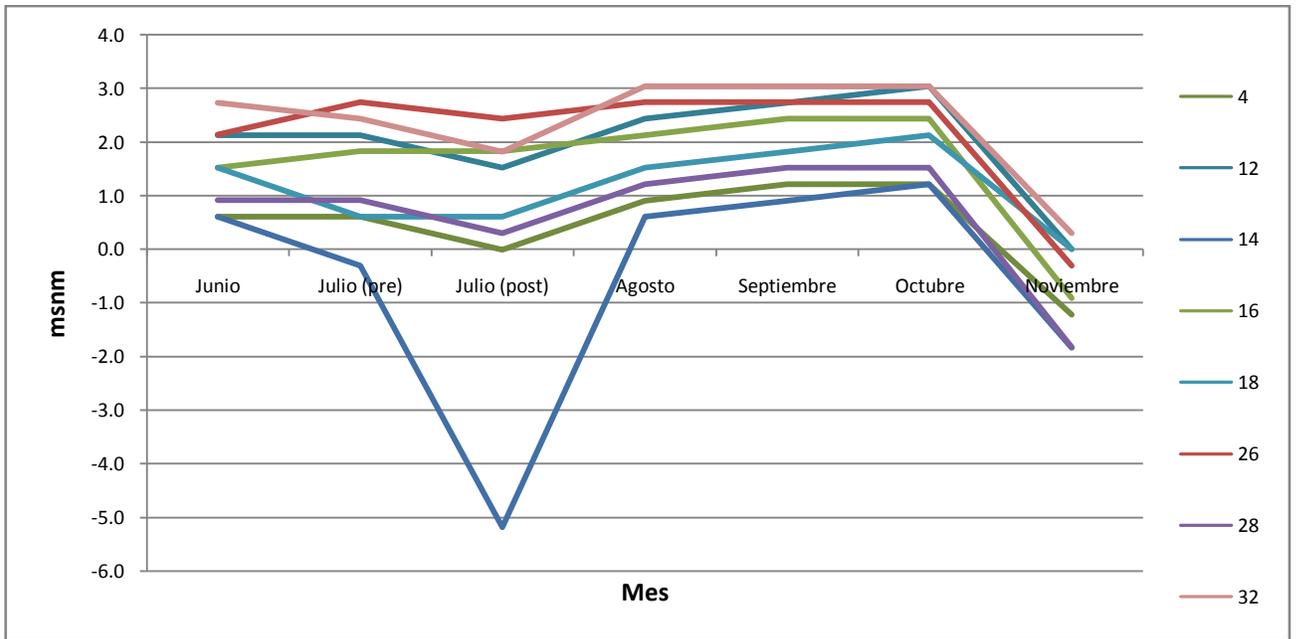


Figura 25. Diferencias de niveles estáticos en pozos someros comparados con el mes de abril, subcuenca Colojate, cuenca Acomé

El comportamiento es muy similar, se siguió observando una tendencia anormal en el pozo #14, posiblemente como se mencionó anteriormente es debido a la altitud.

Al observar los niveles de todos los pozos, se encontró que se debían separar, debido a que existía mucha variación en los niveles, se encontró varios pozos que tenían la primer rejilla por debajo de 36.5 metros y los otros la primer rejilla por arriba de 36.5 metros. Se separó en pozos no profundos (que tenían la primer rejilla antes de los 36.5 metros) estos correspondientes a pozos de antigua tecnología donde se perforaban los pozos no mayores a 91.44 metros, y en pozos profundos (que tenía la primer rejilla mayor a 36.5 m) que llegan hasta los 250 metros de profundidad. Los pozos no profundos encontrados en el área de estudio son 24 y los profundos son 12, lo que se pretendió en la separación era observar qué pozos tenían una mayor variación en los niveles, si los de tecnología antigua ó los de tecnología nueva, por lo que a continuación se presentan los resultados en mapas temáticos de los pozos no profundos

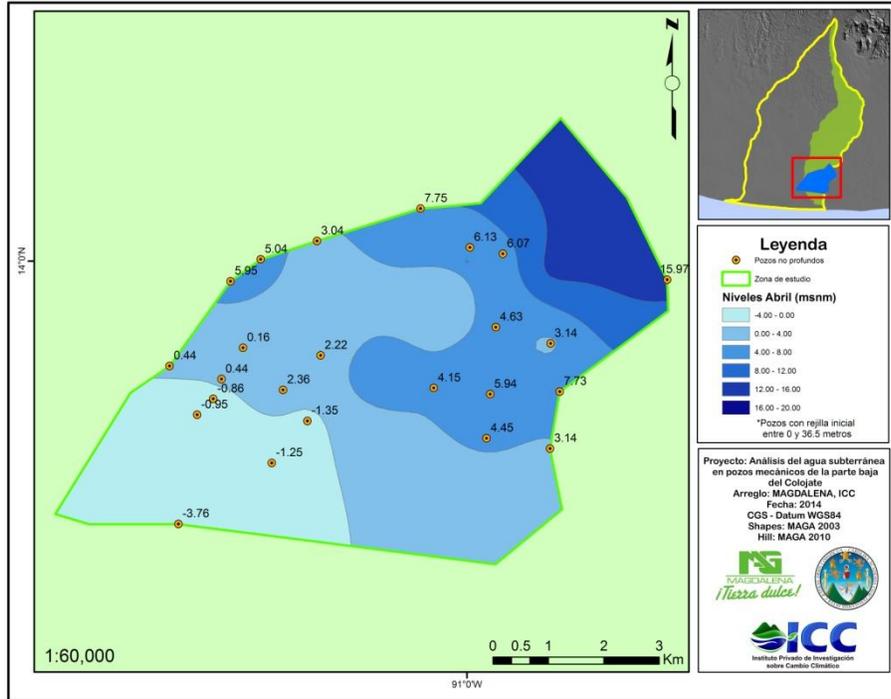


Figura 26. Nivel freático mes de Abril 2014 (pozos no profundos) parte baja subcuena Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.

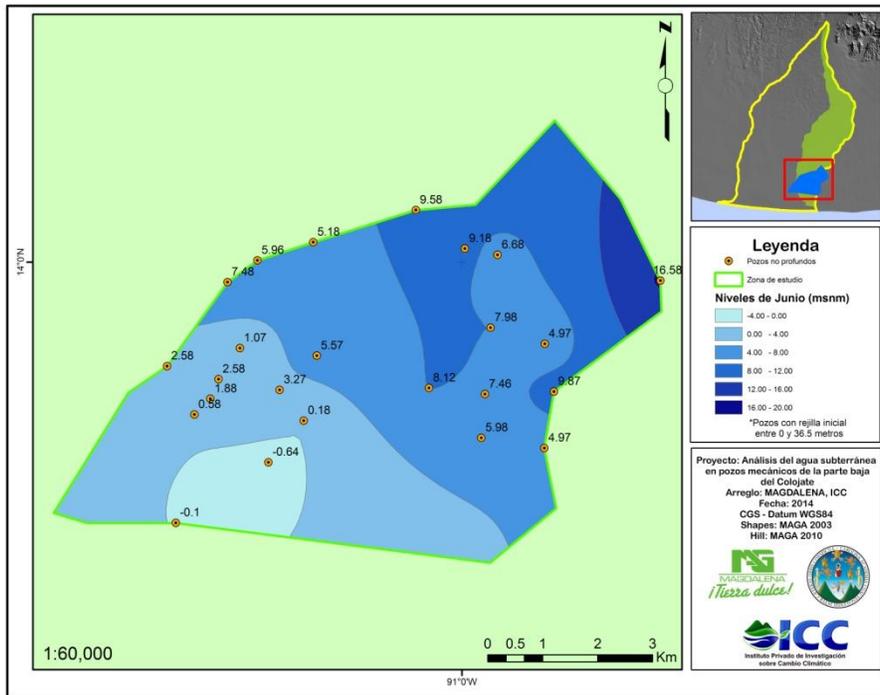


Figura 27. Nivel freático mes de Junio 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuena Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.

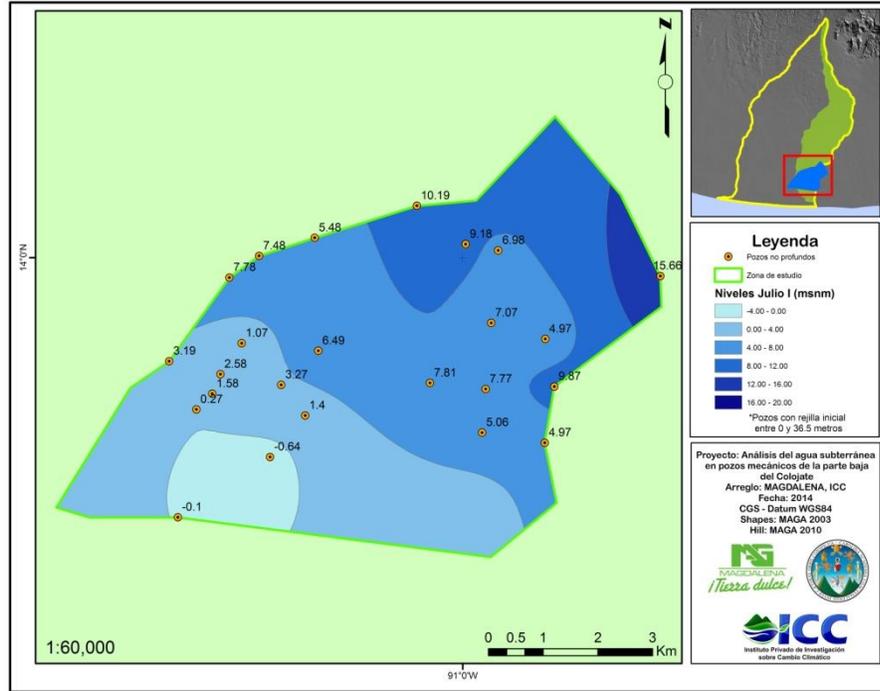


Figura 28. Nivel freático mes de Julio (pre canícula) 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuena Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.

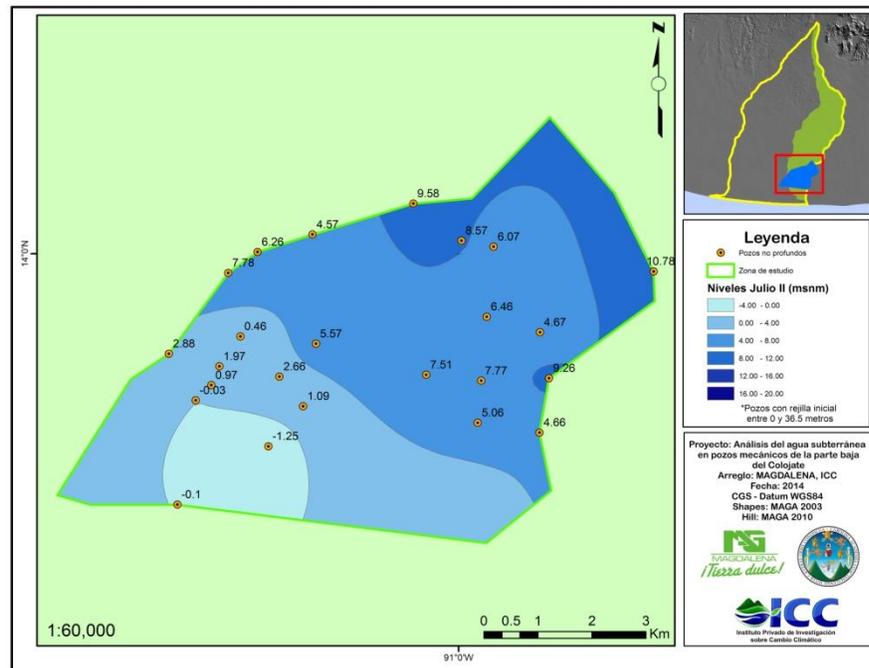


Figura 29. Nivel freático mes de Julio (post canícula) 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuena Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala.

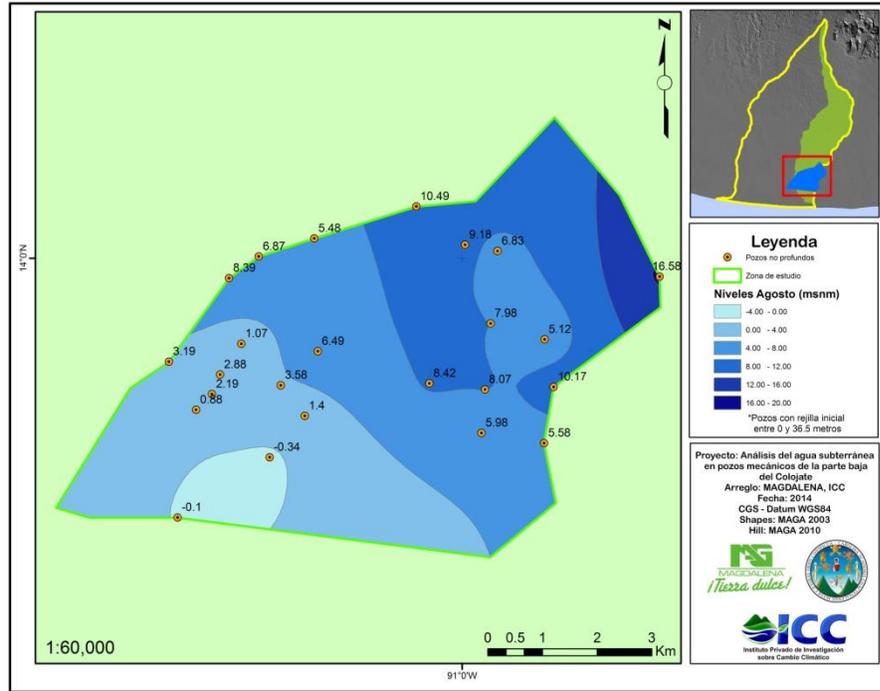


Figura 30. Nivel freático mes de Agosto 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Coloiate. Acomé. Escuintla. Guatemala.

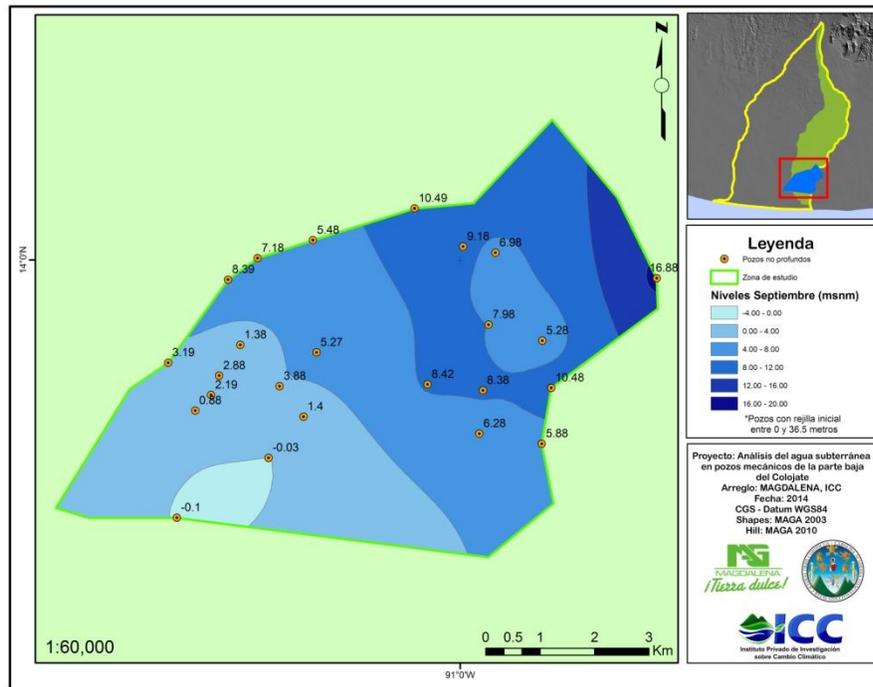


Figura 31. Nivel freático mes de Septiembre 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Coloiate, Acomé, Escuintla, Guatemala.

No. Pozo	Tecnología	Primera rejilla (metros)	Abril 22/4/14	Junio 2/6/14	Julio (pre) 02/7/14	Julio (post) 22/7/14	Agosto 15/8/14	Septiembre 16/8/14	Octubre 30/10/14	Noviembre 30/11/14
8	Nueva	91.9	3.07	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	2.46
10	Nueva	96.0	5.64	7.17	8.08	8.08	8.08	8.08	8.08	5.64
11	Nueva	64.0	16.08	16.08	16.38	16.08	16.69	16.99	16.99	13.94
20	Nueva	88.4	13.22	14.74	13.83	13.22	14.59	14.74	14.74	14.44
21	Nueva	70.1	10.22	11.44	13.27	12.66	12.50	12.96	13.27	10.22
22	Nueva	109.1	13.33	14.25	15.47	15.16	16.23	16.38	16.38	13.33
23	Nueva	67.1	-2.64	-0.81	-0.50	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-2.94
25	Nueva	75.7	3.07	3.38	3.38	3.68	4.29	4.29	4.90	2.16

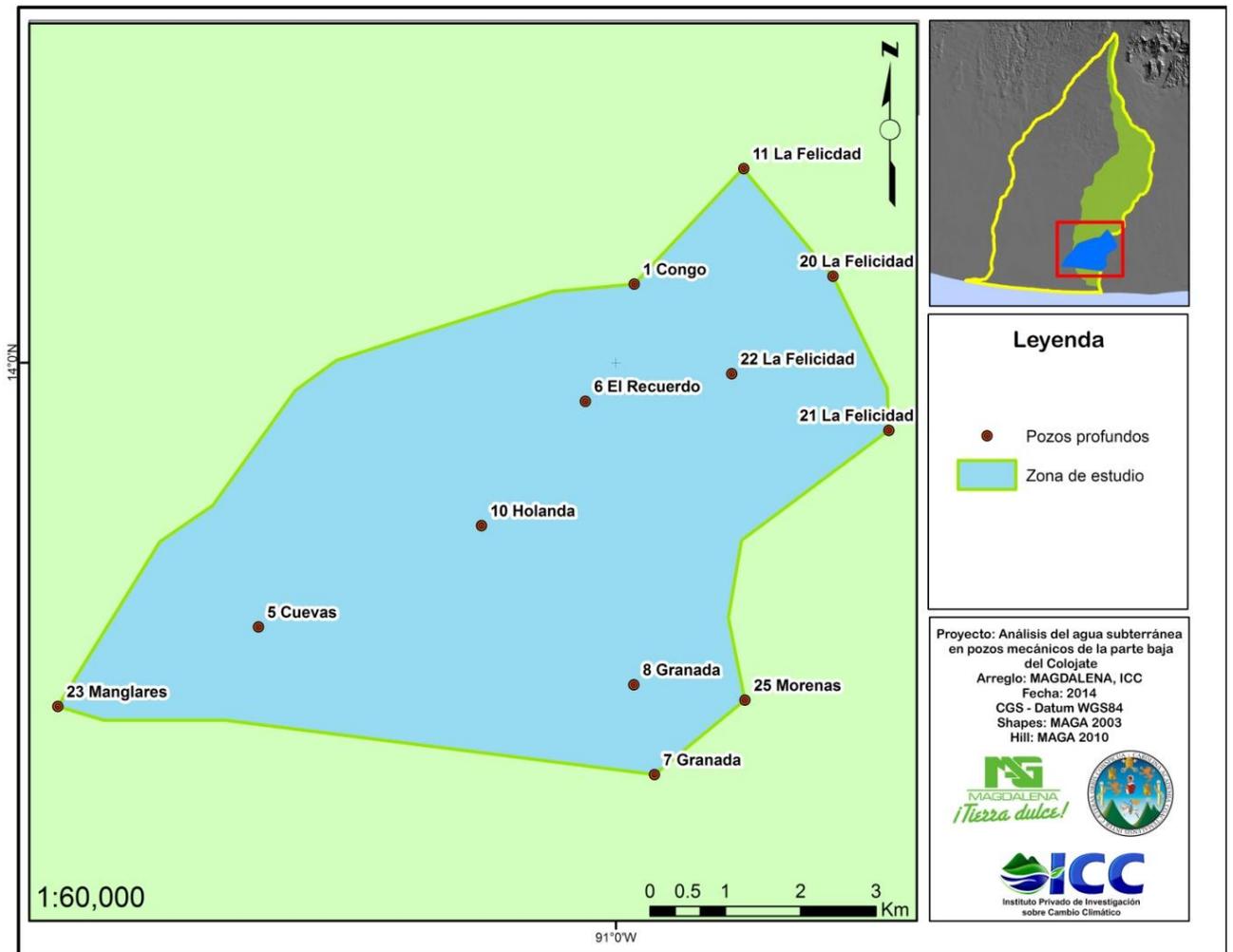


Figura 33. Numeración y ubicación de pozos mecánicos profundos evaluados

En la figura 34, se detalla en gráfica los niveles de pozos profundos que se tomó de los meses de abril a noviembre.

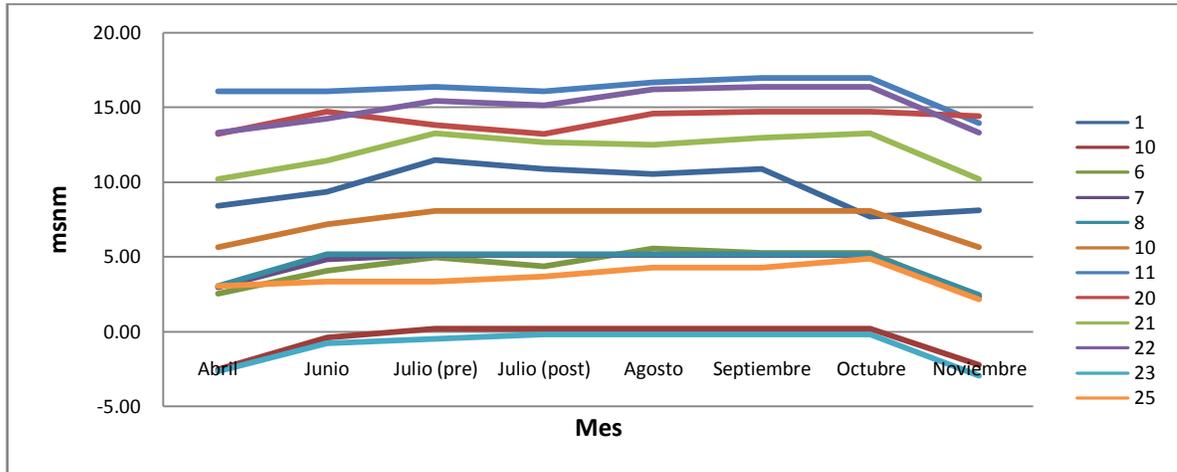


Figura 34. Niveles estáticos en pozos profundos, Abril- Noviembre, subcuenca Colojate, cuenca Acomé

La tendencia de los niveles en los pozos profundos es uniforme. Durante los meses de abril a junio el nivel de agua asciende, debido al aporte de la precipitación en la parte baja de la sub cuenca, durante el período post canícula el nivel del agua tuvo a descender debido a que no hubo recarga. En los próximos meses continuó ascendiendo por las lluvias hasta que el nivel del agua descendió en noviembre por el inicio de la época seca. Se tomó el nivel de noviembre para observar el comportamiento cuando ya no existe aporte de precipitación en la subcuenca.

Para observar los cambios de niveles durante los meses del estudio, se tomó de referencia el mes de abril y con ello se sacó las diferencias por cada mes. Esto debido a que el mes de abril es el comparador con los otros meses porque los niveles se encuentran más bajos y a partir de los siguientes meses empieza la época lluviosa.

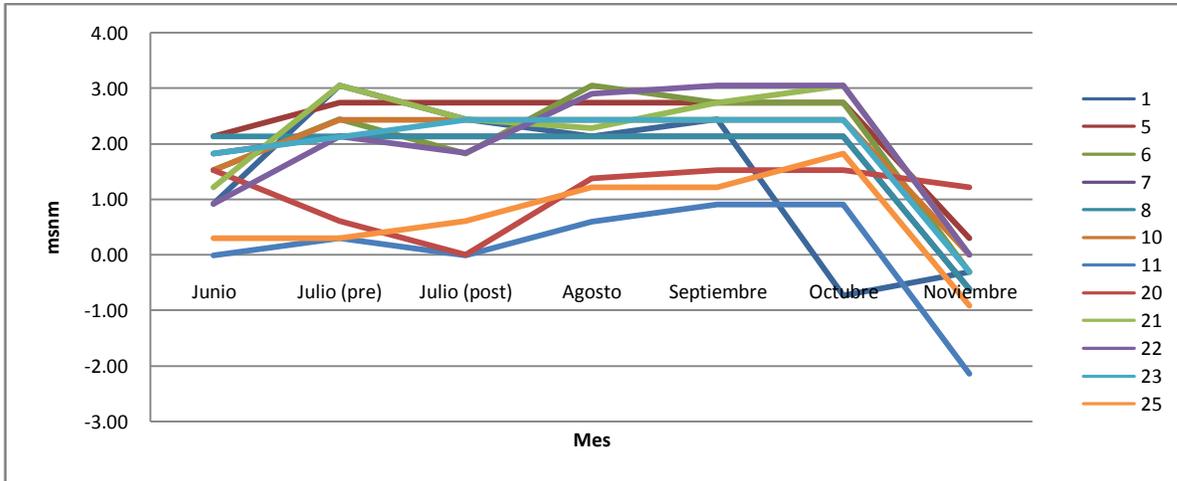


Figura 35. Diferencias de niveles estáticos en pozos profundos comparados con el mes de abril, subcuenca Colojate, cuenca Acomé

El comportamiento es muy similar, se observó una tendencia anormal en la gráfica pero es por la escala en que está presentada la gráfica, como comportamiento se observa el descenso en el mes de noviembre ya que descendió su nivel porque no existe aporte de precipitación.

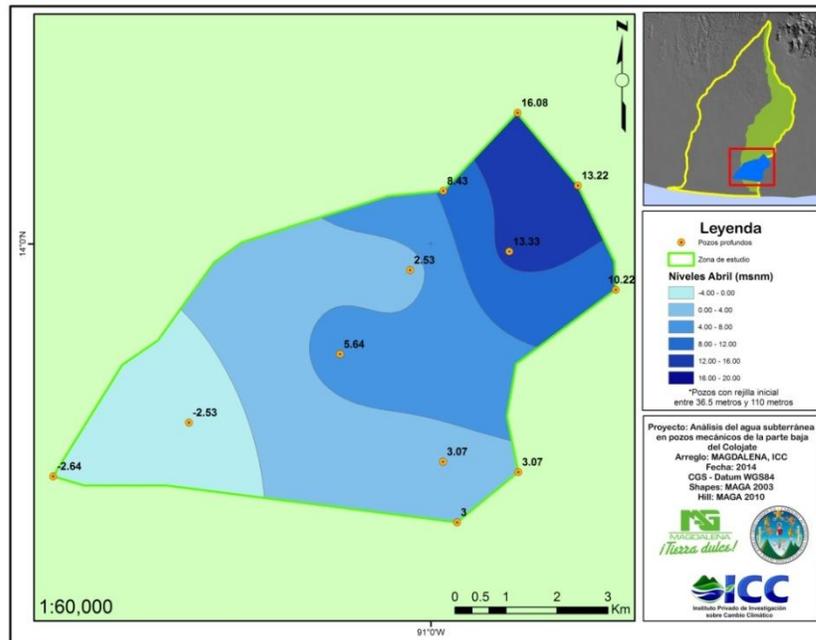


Figura 36. Nivel freático mes de Abril 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala

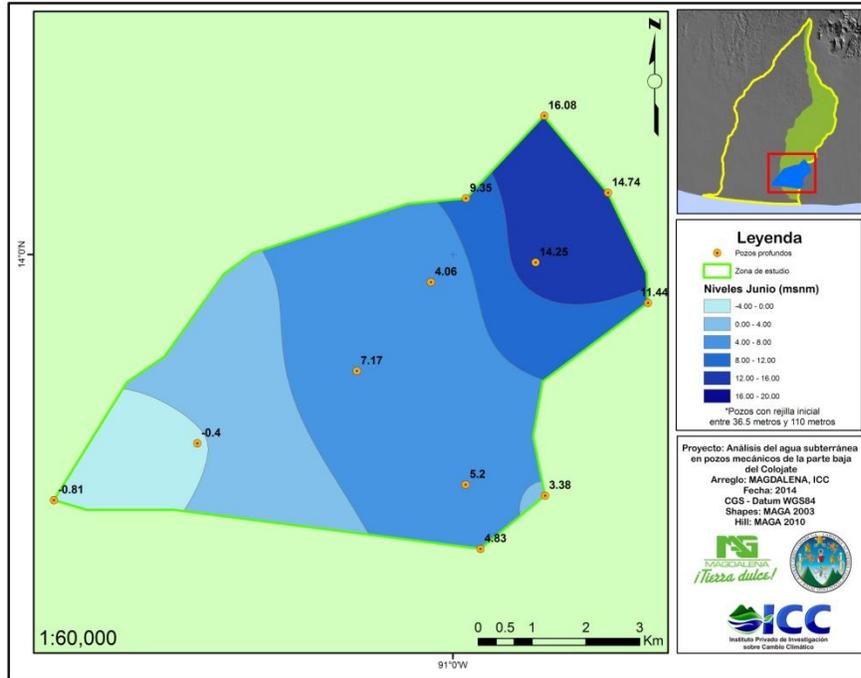


Figura 37. Nivel freático mes de Junio 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala

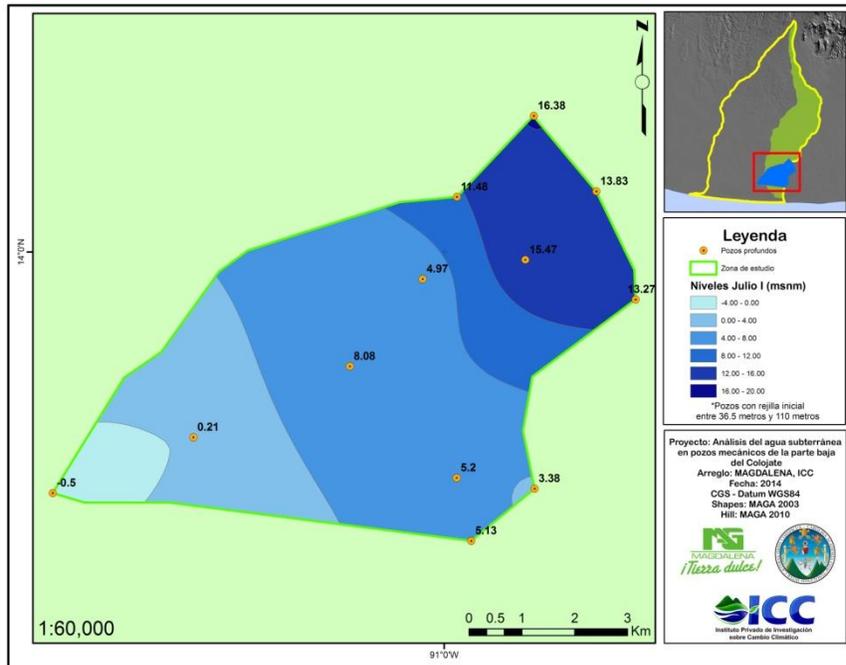


Figura 38. Nivel freático mes de Julio (pre cañícula) 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala

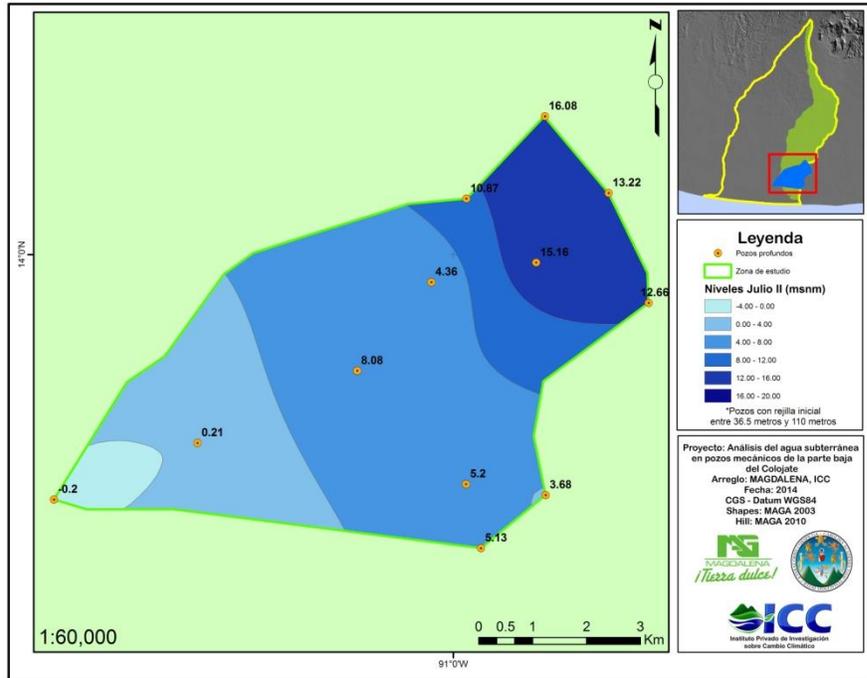


Figura 39. Nivel freático mes de Julio (post canícula) 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Coloiate. Acomé. Escuintla. Guatemala

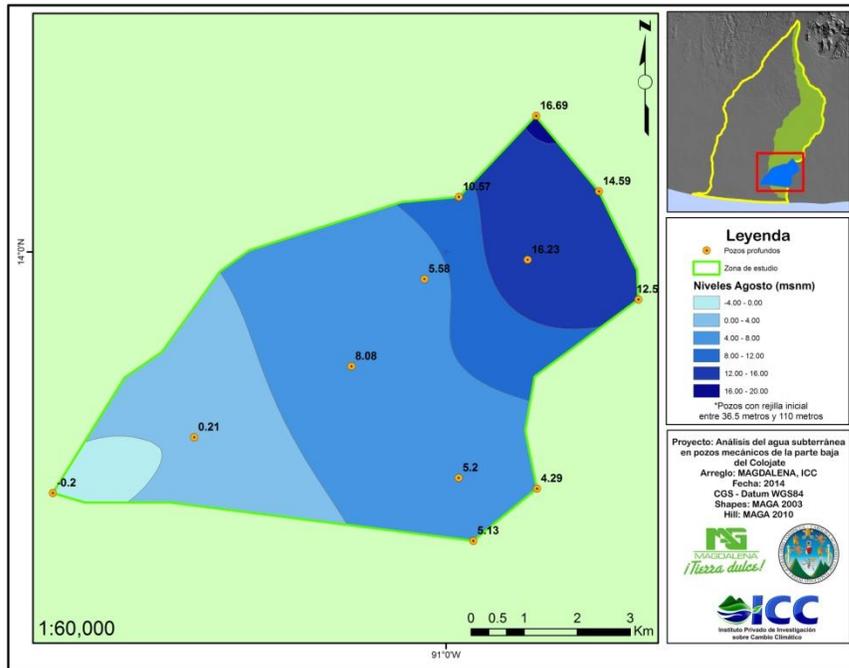


Figura 40. Nivel freático mes de Agosto (post canícula) 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Coloiate, Acomé, Escuintla, Guatemala

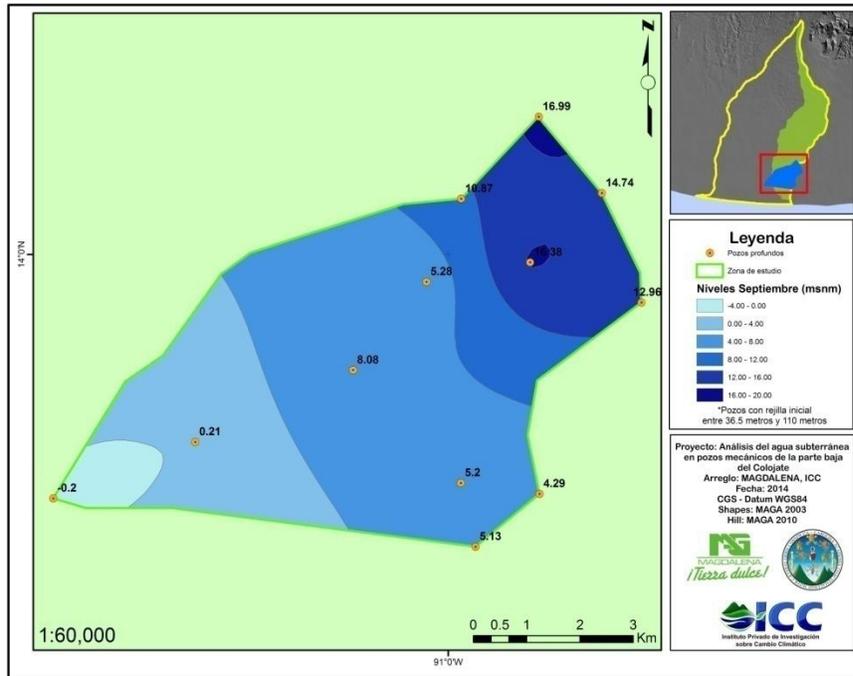


Figura 41. Nivel freático mes de Septiembre 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Coloiate. Acomé. Escuintla. Guatemala

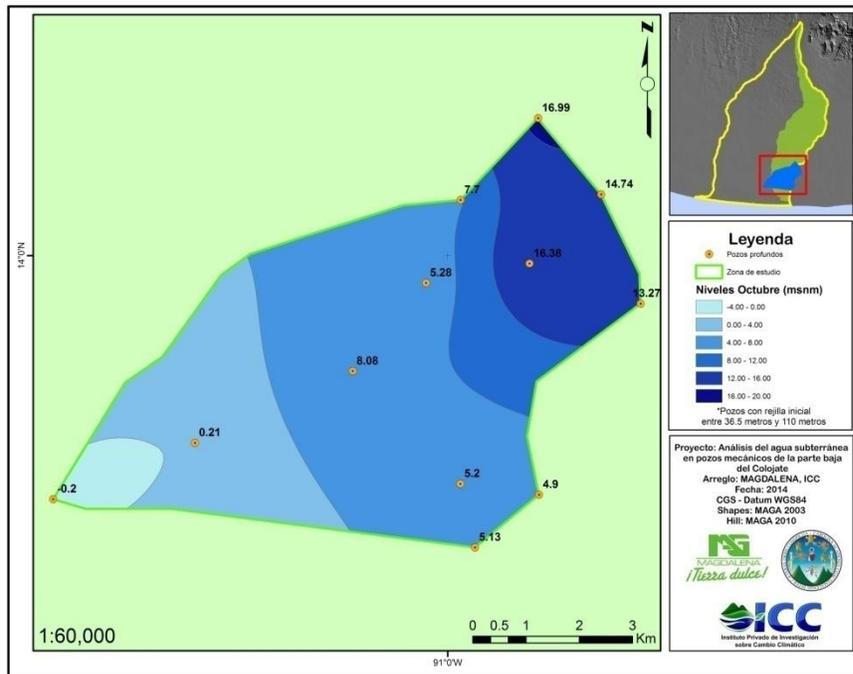
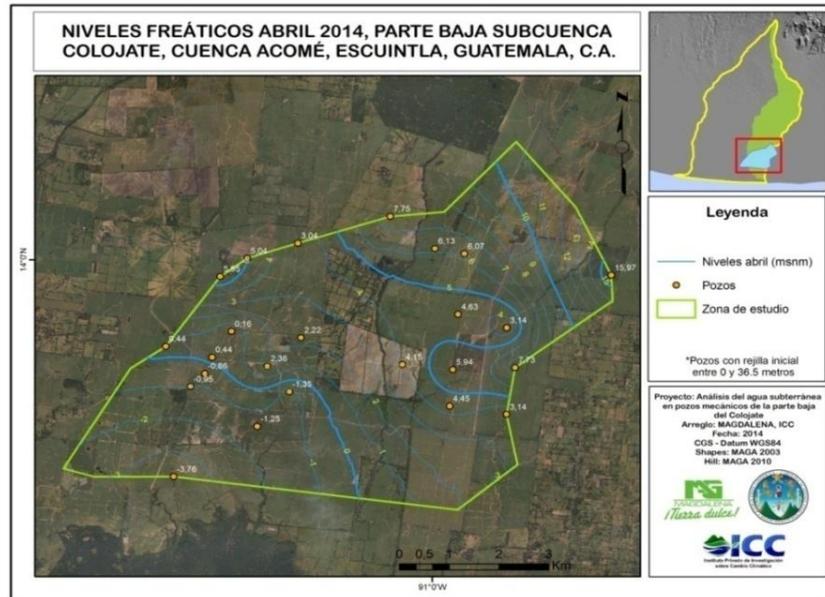


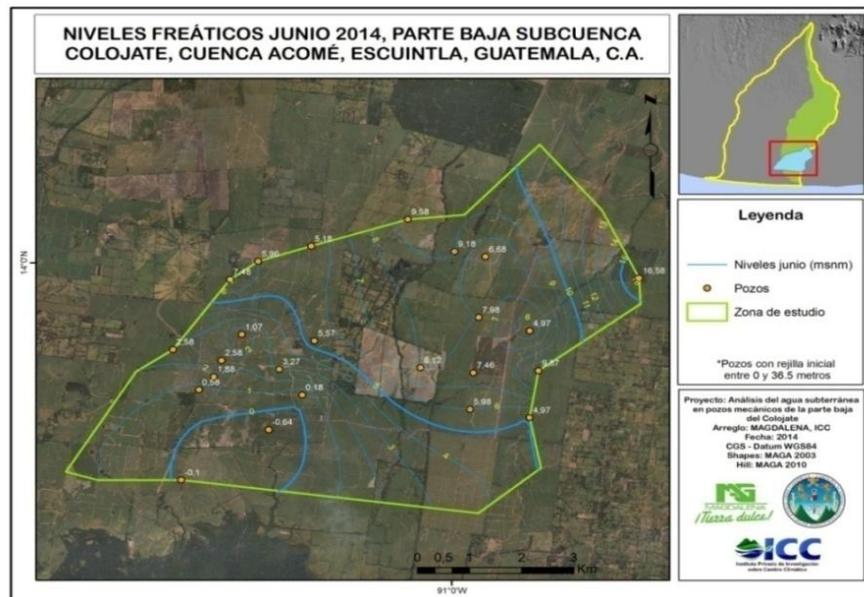
Figura 42. Nivel freático mes de Octubre 2014 (pozos profundos), parte baja subcuenca Coloiate, Acomé, Escuintla, Guatemala

Las figuras 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 49 muestran las curvas a nivel trazadas para observar el comportamiento de los niveles a través del acuífero y del río en pozos no profundos, debido a que se observó que estos presentaban más variación en sus niveles.



Fuente: Gil (2,014)

Figura 43. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Abril 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala



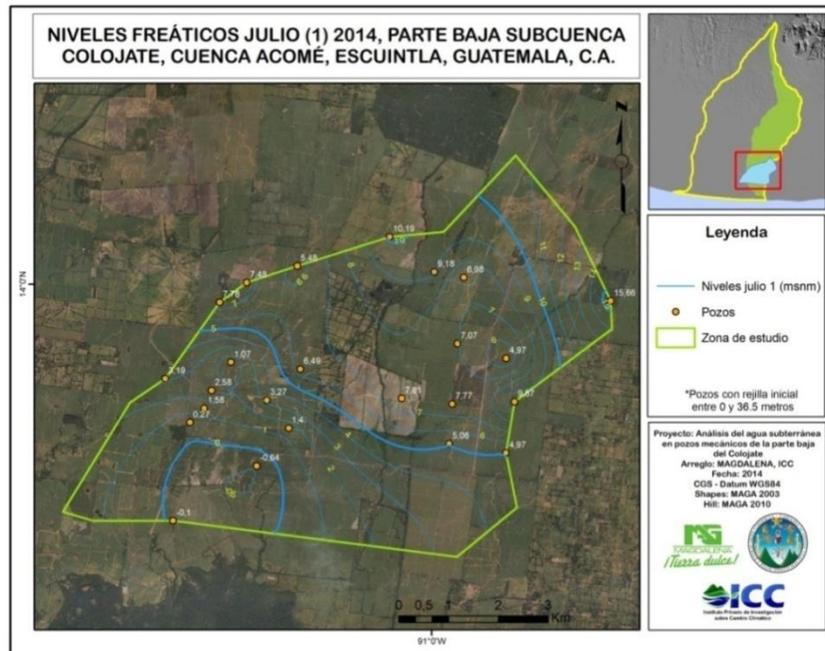
Fuente: Gil (2,014)

Figura 44. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Junio 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala



Fuente: Gil (2,014)

Figura 45. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Julio (pre canícula) 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuena Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala



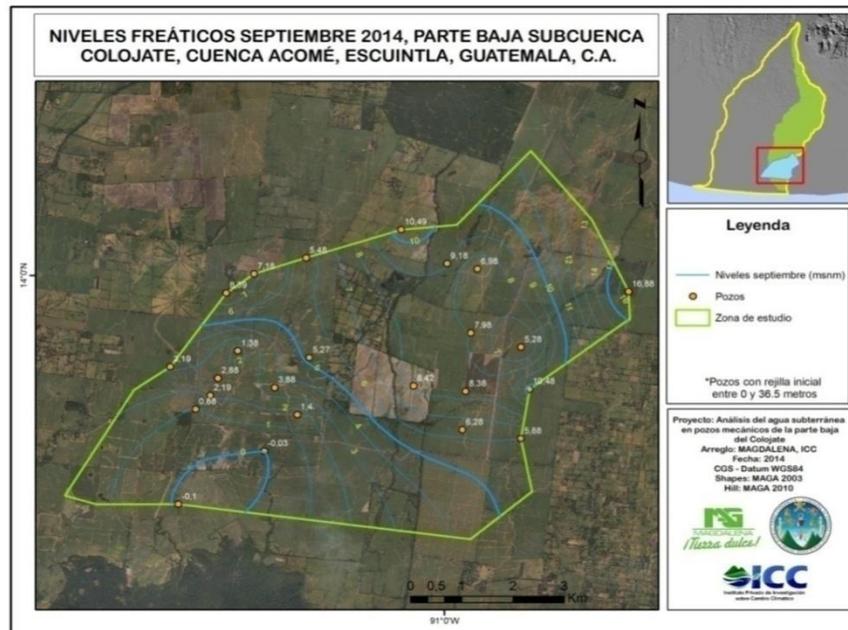
Fuente: Gil (2,014)

Figura 46. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Julio (post canícula) 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuena Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala



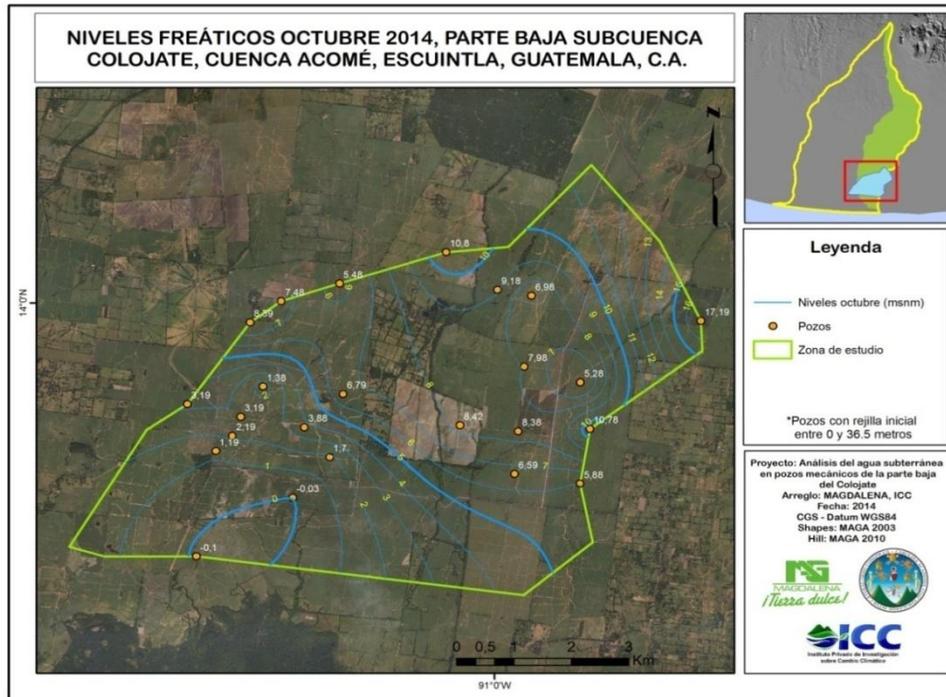
Fuente: Gil (2,014)

Figura 47. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Agosto 2014 (pozos no profundos) parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala



Fuente: Gil (2,014)

Figura 48. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Septiembre 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla,



Fuente: Gil (2,014)

Figura 49. Nivel freático a través de curvas de nivel mes de Octubre 2014 (pozos no profundos), parte baja subcuenca Colojate, Acomé, Escuintla, Guatemala

En el trazo de curvas a nivel se observó que existe crestas (convexo) y valle (cóncavo), cuando es valle el río alimenta al acuífero y cuando son crestas el acuífero alimenta al río, en los meses observados durante el mes de abril el acuífero alimenta de agua al río (cóncavo), mientras que cuando empieza la época lluviosa, por el tipo de formación de las curvas a nivel (valle) el río alimenta de agua al acuífero. Aunque para obtener datos más precisos lo recomendable es realizar un análisis piezométrico, pero debido a que en este estudio quitar los cabezales de descarga implicaba un mayor costo no se llevó a cabo esta prueba.

2.7.3 Recarga hídrica

Se obtuvo la siguiente información:

- Precipitación (mm): de 9 pluviómetros que abarcó el área de estudio
- Evapotranspiración (mm) en 2 estaciones: Buganvilla y del Puerto San José
- Escorrentía (mm): en aforos que se realizó en el río Colojate

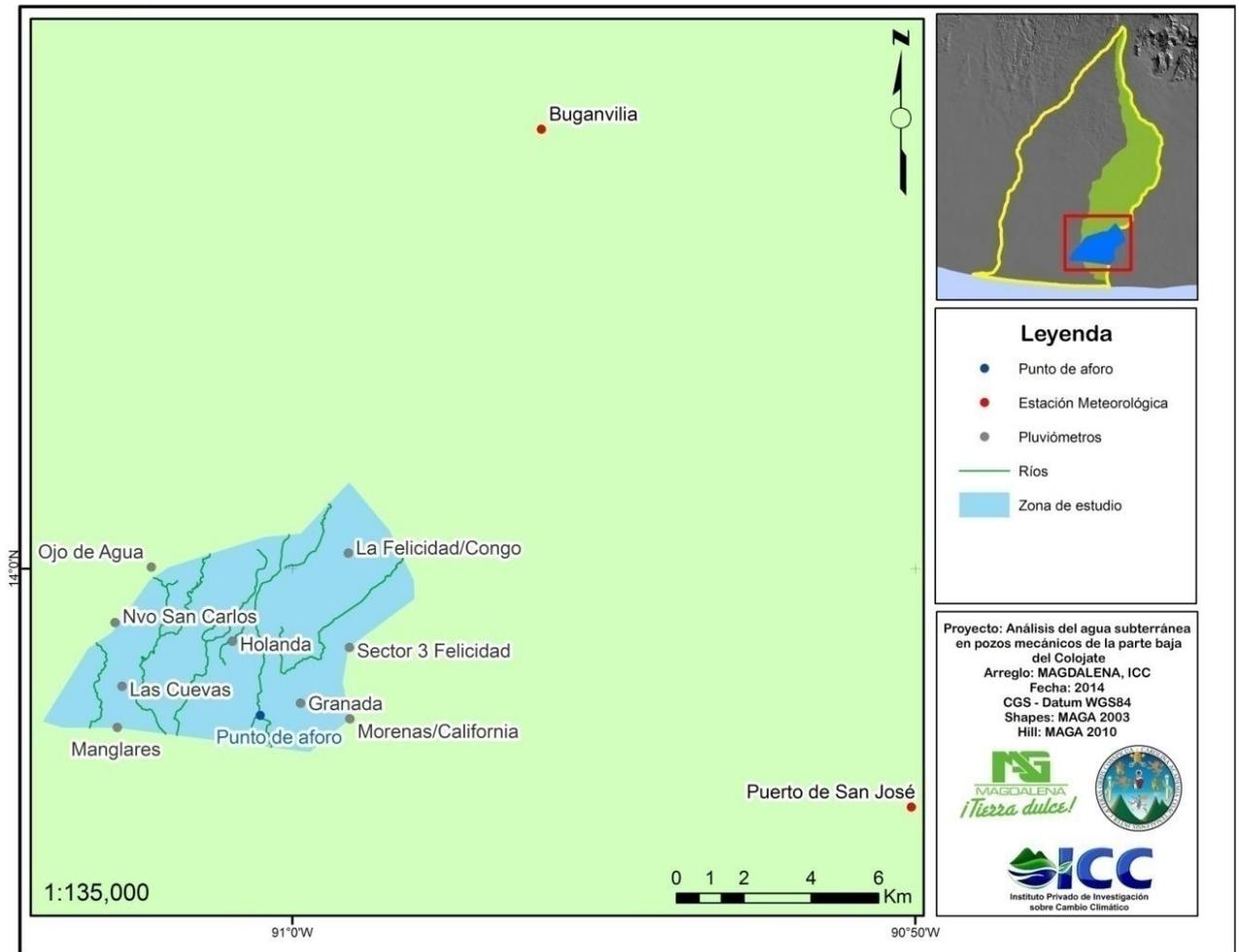


Figura 50. Ubicación de los pluviómetros, punto de aforo y estaciones meteorológicas

La fórmula de balance que se utilizó fue la siguiente:

$$\text{Balance} = \text{Entradas} - \text{salidas}$$

$$\text{Balance (mm)} = (\text{Precipitación}) - (\text{Evapotranspiración} + \text{Escorrentía})$$

Donde,

Los datos de precipitación (mm) que se obtuvo se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Datos de precipitación de 9 pluviómetros

Estación	Latitud	Longitud	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Ojo de Agua	14.000389	-91.037750	1	240	296	183	475	284	289
Manglares	13.957444	-91.046861	50	232	301	173	506	325	369
Nvo. San Carlos	13.985556	-91.047472	3	204	242	144	493	317	334
Las Cuevas	13.968472	-91.045583	50	288	257	181	506	326	335
Morenas	13.959778	-90.984583	73	160	241	116	479	244	318
Granada	13.963972	-90.997806	74	195	295	104	469	273	288
Congo	14.004167	-90.985028	28	154	227	73	345	246	335
La Felicidad	13.978861	-90.984722	100	168	283	97	381	337	339
Holanda	13.980583	-91.016083	72	214	310	155	474	262	290
Promedio			50.1	206.1	272.4	136.2	458.7	290.4	321.9

Los datos de evapotranspiración (mm) obtenido en 2 estaciones meteorológicas se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Datos de evapotranspiración de 2 estaciones meteorológicas

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Buganvilia	14.11769	-90.93335	144	172.5	183.4	174.5	180	175.5	159.2	147.4
Puerto de San José	13.93611	-90.83444	7	175	186.4	177.4	181.8	179.2	161.5	151.7
Promedio				173.75	184.9	175.95	180.9	177.35	160.35	149.55

Fuente: ICC, INSIVUMEH

Los datos de escorrentía (mm) que se obtuvo en el área de estudio se encuentra en la figura 11 y los datos del cálculo de escorrentía en la figura 12.

Cuadro 11. Datos de escorrentía del río Colojate

Área Colojate	256.7 km ²	256,700,000 m ²
Área de estudio	46.9 km ²	46,900,000 m ²
% área de estudio	18.27%	

Empleando la fórmula de caudal a escorrentía

$$\text{Escorrentía mm/mes} = \frac{\text{Caudal m}^3/\text{s}}{\text{Área cuenca m}^2} = \frac{\text{m} \cdot 1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \cdot \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}}$$

$$\text{Escorrentía área de estudio mm/mes} = (\text{Escorrentía mm/mes} \cdot \% \text{área de estudio}) / 100\%$$

Sustituyendo para el mes de abril,

$$\text{Escorrentía mm/abril} = \frac{0.53 \text{ m}^3/\text{s}}{256,700,000 \text{ m}^2} = \frac{2.06 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{\text{s}} \cdot \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \cdot \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 5.35 \text{ mm/mes abril colojate}$$

$$\text{Escorrentía área de estudio mm/mes} = (5.35 \text{ mm/mes} \cdot 18.27\%) / 100\% = 0.98 \text{ mm/mes abril área de estudio}$$

Cuadro 12. Cálculo de escorrentía, parte baja subcuenca Colojate

Mes	Caudal (m3/s)	Escorrentía Colojate mm/mes	Escorrentía Área de estudio mm/mes
Abril	0.53	5.351616673	0.98
Mayo	1.74	17.56945851	3.21
Junio	2.69	27.16197896	4.96
Julio	1.15	11.61199844	2.12
Agosto	3.93	39.6827425	7.25
Septiembre	4.42	44.63046358	8.15
Octubre	10.74	108.4459681	19.81

Ya obtenidos los datos se utilizó la fórmula de balance, la cual es la siguiente:

$$\text{Balance} = (\text{Precipitación}) - (\text{Evapotranspiración} + \text{Escorrentía})$$

Utilizando como ejemplo el balance hídrico del mes abril, se sustituye por números

$$\text{Balance (mm)} = (50.1 \text{ mm}) - (173.8 \text{ mm} + 0.98 \text{ mm})$$

$\begin{array}{ccc} \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \text{Precipitación} & \text{ETP} & \text{Escorrentía} \end{array}$

$$\text{Balance abril} = (50.1 \text{ mm}) - (174.78 \text{ mm})$$

$$\text{Balance abril} = -124.68 \text{ mm}$$

Se realizó por medio de una hoja el cálculo de balance hídrico para los siguientes meses, por lo que se realizó de los meses de abril a octubre, tomando en cuenta los datos ya obtenidos: precipitación pluvial, evapotranspiración y escorrentía, los resultados se muestran en el cuadro 13.

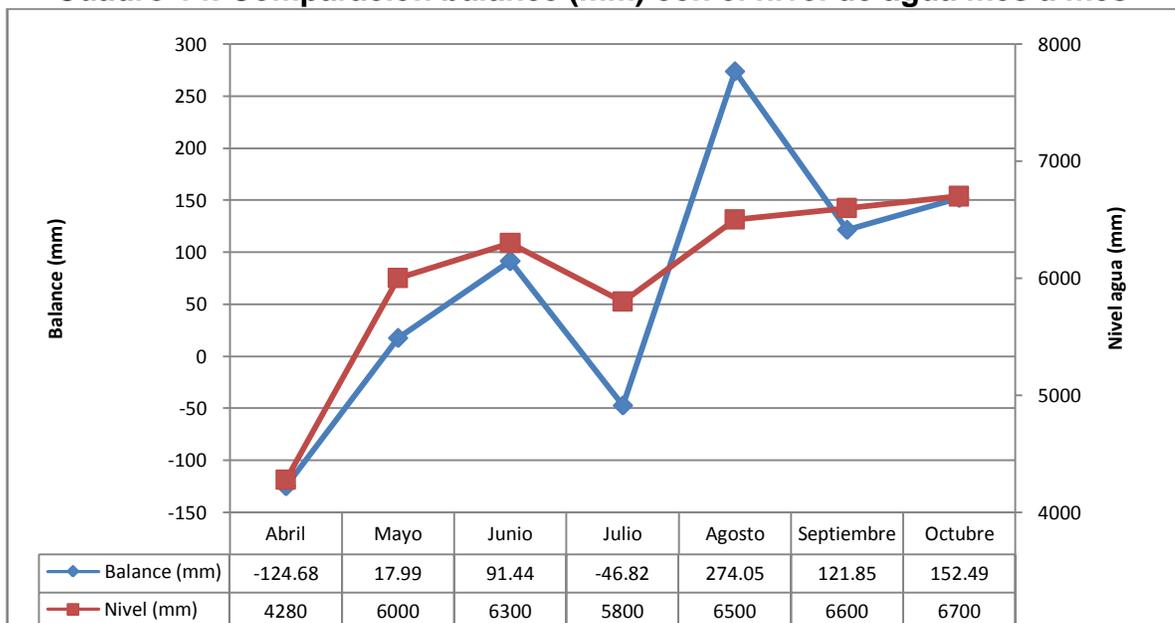
Dado el ejemplo, se procedió a realizar los demás cálculos, se obtuvo el balance hídrico para cada mes

Cuadro 13. Cálculo de balance hídrico, parte baja de la subcuenca Colojate

Mes	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Precipitación (mm)	50.1	206.1	272.4	136.2	458.7	290.4	321.9
(+) Entradas (mm)	50.1	206.1	272.4	136.2	458.7	290.4	321.9
Evapotranspiración (mm)	173.8	184.9	176	180.9	177.4	160.4	149.6
Escorrentía (mm)	0.98	3.21	4.96	2.12	7.25	8.15	19.81
(-) Salidas (mm)	174.78	188.11	180.96	183.02	184.65	168.55	169.41
Balance (mm)	-124.68	17.99	91.44	-46.82	274.05	121.85	152.49

Lo que indica el balance es que durante el mes de abril fue negativo (-124.68) mm, durante el mes de mayo (17.99 mm) y junio (91.44) el balance fue positivo debido a que existió una mayor entrada que salida, en el mes de julio (-46.82) fue negativo debido a que en ese mes ocurre la canícula y el año en el que se llevó el estudio la canícula se atrasó, durante los meses de agosto a octubre el balance fue positivo, habiendo una mayor recarga en el mes de agosto, por el aporte de mayor precipitación a comparación de los otros meses.

Cuadro 14. Comparación balance (mm) con el nivel de agua mes a mes



La comparación que se obtuvo del balance (milímetros) con el promedio de nivel de agua de los pozos mecánicos (milímetros) presenta una tendencia similar, ya que empezando de abril a mayo el balance tiende a aumentar por las lluvias por lo que el nivel de agua de los pozos también, durante el mes de junio se tiene un leve aumento y existe un declive en el mes de julio por el efecto canícula por medio del cual la precipitación disminuye. En el mes de agosto tanto el balance como el nivel del pozo aumenta, alcanzando la mayor cantidad de milímetros en el balance hídrico (274.05 mm), y el máximo nivel de agua (6,700 mm) se da en el mes de octubre.

2.7.4 Análisis estratigráfico

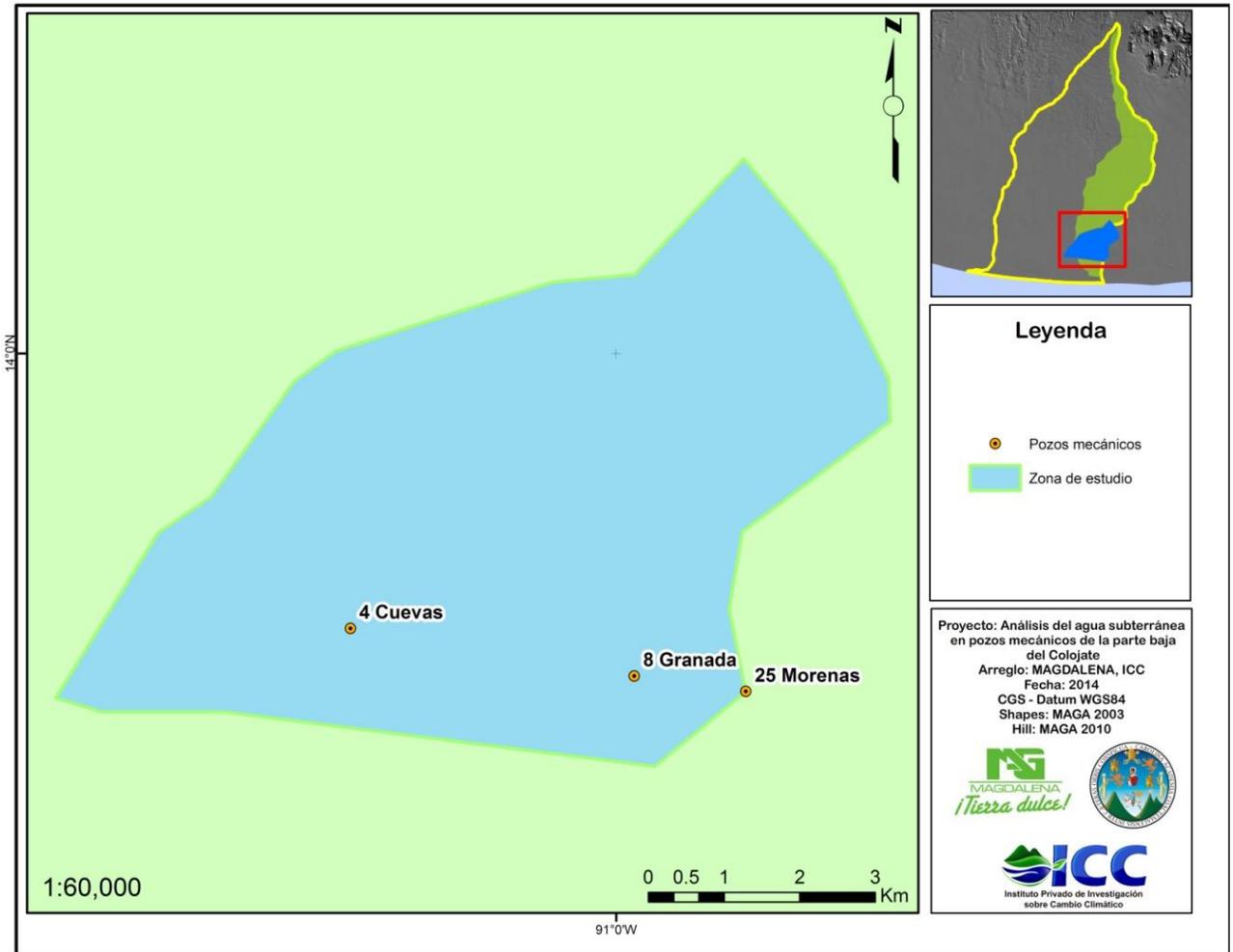


Figura 51. Ubicación de los pozos con análisis estratigráfico

Los perfiles estratigráficos a seleccionar fueron los que el ingenio permitió que se publicaran en este estudio ya que manejar y publicar todos era muy difícil por fines de privacidad y estos perfiles de pozos abarcan la parte transversal de la subcuenca, los pozos corresponden a los acuíferos semiconfinados y confinados, son pozos profundos.

Se obtuvo acceso para analizar 3 perfiles estratigráficos, correspondientes a la finca: Cuevas, Granada y Morenas, los cuales los análisis son los siguientes:

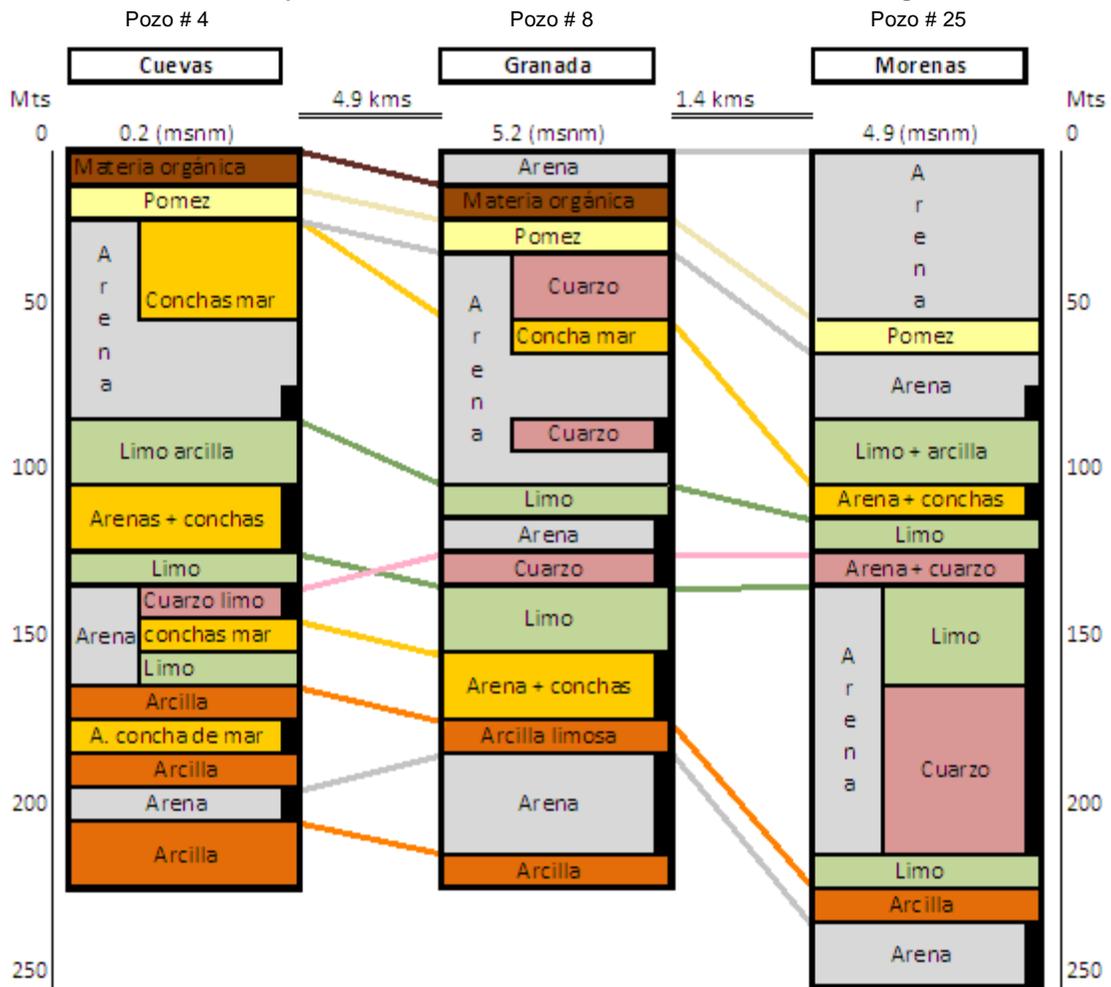


Figura 52. Análisis estratigráfico

Los suelos con estructuras estables son en general permeables, mientras que los suelos con estructuras inestables o degradadas, son poco permeables, sobre todo cuando la composición física del suelo, su granulometría, se encuentra mal equilibrada.

En el análisis estratigráfico se encontró varios elementos permeables e impermeables, entre los permeables se encontró material como conchas de mar, limo y arena; Aunque en ciertos casos la arena presenta una permeabilidad reducida, debido a la colmatación de los poros grandes por partículas de limo y por la ausencia casi total de materia orgánica.

Entre los impermeables se encontró pómez y arcilla, la impermeabilidad de los horizontes minerales puede conducir a una saturación total por el agua de lluvia, de los poros del suelo, sobre todo en periodos húmedos. Los medios desprovistos de aire, resultan asfixiantes o reductores; el hierro pasa parcialmente al estado ferroso y el suelo o el horizonte con exceso de agua toma propiedades particulares, son los llamados suelos hidromorfos.

2.8 CONCLUSIONES

- 2.8.1 Durante los meses de abril a junio el nivel de agua ascendió, debido al aporte de la precipitación en la parte baja de la sub cuenca, durante el período post canícula el nivel del agua tendió a descender debido a que no hubo recarga. En los siguientes meses continuó ascendiendo por las lluvias, hasta que el nivel del agua descendió en noviembre por el inicio de la época seca. Mientras que en los pozos profundos se registró un menor cambio debido a que a mayor profundidad el comportamiento del agua es más estable. El comportamiento de los niveles en la mayoría de pozos someros y profundos fue uniforme, el pozo # 14 mostró una tendencia anormal, esto sucedió posiblemente por la altitud que se encontraba el pozo (18.1 m) dado que los demás tienen una altitud menor.
- 2.8.2 De acuerdo a la clasificación USDA (U.S. Soil Salinity Laboratory) todas las calidades de agua corresponden a la clase C2-S1. Lo que indica que el agua de riego, tiene una peligrosidad salina media. Puede usarse para el riego de todos los cultivos en casi todos los suelos, salvo los extremadamente sensibles a la salinidad cuando éstos se hallan en suelos de alta a mediana permeabilidad. Con relación al sodio, este tipo de agua observa una peligrosidad baja. Puede emplearse en casi todos los suelos, sin peligro de que el nivel de sodio intercambiable suba demasiado. En la región debido a la alta presencia de precipitación pluvial también es favorable la lixiviación de los altos contenidos de sodio, ya que las lluvias (en promedio 280 mm al mes en época lluviosa) lavan las concentraciones altas de sodio. En base a los resultados químicos se obtuvo parámetros que se encontraban dentro del rango de lo permisible y algunos que salían de lo aceptado, De dureza 5 pozos presentaban un dato encima de lo permitido (150 ppm), lo que se clasifican en aguas duras, los cuales corresponden a los pozos #17, 19 y 21, 29 y 36, la mayoría perteneciente a la parte norte del área de estudio y de hierro solo un pozo (#6) marcó por encima de lo permitido (0.6 ppm). Perteneciente a la parte alta media del área de estudio. Lo alto del nivel de hierro en ese pozo es que se puede atribuir posiblemente a que geológicamente existen depósitos de arena ricos en hierro y que son algo natural de la zona.

- 2.8.3 Se realizó el balance hídrico, lo que indica es que durante el mes de abril fue negativo (-124.68 mm), no existió un buen aporte de precipitación en la zona, durante el mes de mayo (17.99 mm) y junio (91.44 mm) el balance fue positivo debido a que existió una mayor entrada que salida, por el inicio de la época lluviosa. En el mes de julio (-46.82 mm) fue negativo debido a que en ese mes ocurre la canícula y el año en el que se llevó el estudio la canícula se atrasó por más tiempo, durante los meses de agosto a octubre el balance fue positivo, habiendo una mayor recarga en el mes de agosto, por el aporte de mayor precipitación a comparación de los otros meses.
- 2.8.4 En el análisis estratigráfico se encontró varios elementos permeables tales como conchas de mar, limo y arena, entre los materiales impermeables se encontró pómez y arcilla. Los tres pozos mecánicos evaluados se relacionan conteniendo los mismos materiales.

2.9 RECOMENDACIONES

- 2.9.1 Durante el sondeo de niveles se encontró 7 pozos surgentes (0 msnm) que en los meses de junio, agosto, septiembre el agua salía del pozo, por lo que se podría realizar un análisis piezométrico para observar el comportamiento del acuífero, así como también evaluar y medir el aporte capilar del nivel freático a la zona radicular del cultivo.
- 2.9.2 En los pozos evaluados se encontró rangos fuera de lo permisible, para los rangos altos de hierro (Fe) y dureza (CaCO₃), lo que se recomienda es realizar una limpieza química para corregir los niveles. En hierro se recomienda cloro al 12%, compuesto de fosfatos o utilización de filtro de partículas (especialmente para riego por goteo). Para la dureza se puede emplear el método de cal-soda que precipita la dureza del agua.
- 2.9.3 Realizar una comparación de análisis químico al inicio de temporada (Noviembre-diciembre) versus fin de temporada (abril) para observar si existen diferencias en la composición química de aguas subterráneas.
- 2.9.4 Realizar los sondeos durante un año, mes a mes para observar el comportamiento de la subcuenca y así obtener los registros mensuales, y con ello en los meses de la época seca que se sacan los motores de riego, sondear los niveles dinámicos para calcular abatimiento y el caudal de explotación.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

1. Castillo, A. 2009. Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas ubicadas en los municipios de de La Paz y San Diego (en línea). Colombia, Universidad Popular del Cesar. Consultado 30 mar 2015. Disponible en <http://www.corpocesar.gov.co/files/EVALUACION%20MFQ.PDF>
2. Custodio, E; Llamas, M. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1-2, 2350 p.
3. Estefani, G. 2013. Tipos de acuíferos (en línea). México, Salvedad. Consultado 28 mar 2014. Disponible en <http://www.artinaid.com/2013/04/tipos-de-acuiferos/>
4. FAO, IT. 2010. Definición de pozo profundo (en línea). Roma, Italia. Consultado 24 mar 2014. Disponible en http://www.fao.org/fi/glossary/aquaculture/spec-term-n.asp?id_glo=18115&id_lang=TERMS_S&lang=es
5. Fuentes, J. 2003. Situación actual del agua en el municipio de Villa Nueva y diseño de la red de distribución para la colonia Marianita (en línea). Guatemala. 102 p. Consultado 30 mar 2014. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2314_C.pdf
6. Gil, S. 2014. Niveles de pozos mecánicos (entrevista). Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA, Instituto del Cambio Climático (ICC).
7. Gómez, T. 1997. Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos (en línea). Colombia, Sena. 153 p. Consultado 24 feb 2014. Disponible en http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/17651/operacion_pozos/pdf/OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20DE%20POZOS%20PROFUNDOS%20PARA%20ACUEDUCTOS.pdf
8. González, O. 2014. Niveles de pozos mecánicos (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Magdalena.
9. Guerrero, P. 2011. Abanico aluvial (en línea). Venezuela, Instituto de Geografía. Consultado 30 mar 2015. Disponible en <http://geografia.laguia2000.com/general/abanico-aluvial>
10. Jiménez, F. 2005. Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales (en línea). Guatemala. Consultado 17 jun 2014. Disponible en http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/2_cuencas_Hidrograficas.pdf

11. López, A. 2011. Modelación del abatimiento de pozos profundos (en línea). Chapingo, México, Terra Latinoamericana. 10 p. Consultado 31 mar 2014. Disponible en <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:F2122N3Yp0oJ:www.chapingo.mx/terra/download.php%3Ffile%3Dcompleto%26id%3DMjKxMDAx+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>
12. López, S. 2009. Cuenca Acomé (en línea). Guatemala. Consultado 10 de jul 2014. Disponible en <http://sergioald.blogspot.com/2009/11/cuenca-acome.html>
13. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. GT). 2011. Cuencas hidrográficas de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 17 jun 2014. Disponible en <http://www.sia.marn.gob.gt/Documentos/cuencashidrograficas.pdf>
14. Morales, C. 2010. Caracterización de acuíferos para irrigación agrícola en la cuenca baja del Río Acomé, La Gomera, Escuintla, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 69 p.
15. Noriega, J. 2005. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Sibacá, Chinique, Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 83 p.
16. Pérez, J. 2011. Manual para determinar la calidad del agua para riego agrícola (En línea). México. Consultado 06 feb 2015. Disponible en <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31418/1/josemanuelperezleon.pdf>
17. Reckmann, O. 2001. Pozos profundos (en línea). Chile, Comisión Nacional de Riego. 44 p. Consultado 24 mar 2014. Disponible en <http://documentos.dga.cl/SUB3094.pdf>
18. Rodríguez, I. 2012. Manual técnico para la ejecución de pozos (en línea). España, Gobierno de Canarias. 192 p. Consultado 28 mar 2014. Disponible en http://www.gobiernodecanarias.org/industria/temas/minas/Manual_Tecnico_Pozos.pdf
19. Rodríguez, S. 2010. La dureza del agua (en línea). Argentina, Universidad Tecnológica Nacional. 32 p. Consultado 19 nov 2014. Disponible en http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf
20. Sánchez, J. 2013. Principio de superposición (en línea). España, Universidad de Salamanca. 9 p. Consultado 15 abr 2014. Disponible en <http://hidrologia.usal.es/temas/superposicion.pdf>
21. Salguero, M. 2002. Estudio hidrogeológico con fines de riego, de la cuenca del río Acomé, Escuintla, Guatemala. Tesis MSc. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, 121 p.

CAPÍTULO III
SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA,
INGENIO MAGDALENA

3.1 PRESENTACIÓN

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado, se realizó una serie de actividades con la finalidad de apoyar al departamento de Ingeniería Agrícola, ya que este departamento es de suma importancia para la empresa, tiene la responsabilidad de establecer los sistemas de riego en las distintas fincas, mejorar las condiciones del cultivo por medio de elaboración de drenajes, evacuación de zonas inundadas y la medición del agua que corre a cargo del área de hidrometría. El primer servicio consistió en analizar químicamente el agua de pozos mecánicos de la región Central del Ingenio Magdalena, Implementado un Kit, para la medición de dureza (CaCO_3), hierro (Fe) y el potencial iones de hidronio, ya que son los elementos que dan más problemas en los pozos mecánicos y tubería. El segundo servicio fue de diseñar y ejecutar un proyecto de riego en miniaspersión, finca Montebello, sector 1 y 2, Aldea Botón Blanco, Puerto San José, Escuintla

El primer servicio fue enfocado en analizar químicamente muestras de agua de pozos mecánicos de la región central implementando un kit, para la medición de las variables de hierro, dureza y pH que son los elementos que más dañan, obstruyen y/o perjudican la tubería y turbinas de los pozos. Como resultado en lo que respecta a dureza, cinco muestras estaban por encima del parámetro aceptado (150 ppm), del elemento hierro cuatro muestras estaban por encima de lo permitido (0.6 ppm) y de pH dos muestras se encontraban por encima de lo permitido (8).

El segundo servicio consistió en el diseño y ejecución de un proyecto de riego en miniaspersión, finca Montebello, sector 1 y 2, aldea Botón Blanco, Puerto San José, Escuintla, perforando dos pozos de 830 pies, generando caudales de 1,800 a 1,900 GPM. Debido a los caudales generados el pozo del sector I tuvo la capacidad de cubrir 182 ha dejando 51 ha con un sistema de aspersión móvil con el que ya contaba la finca abasteciéndose de una noria, para el caso del sector II se cubrió 177 ha con el pozo mecánico y las 105 ha restantes fueron cubiertas por otro equipo de aspersión móvil siendo abastecido por otra noria ya establecida.

3.2 ÁREA DE INFLUENCIA

El área de influencia donde se llevó a cabo el primer servicio que consistió en analizar químicamente el agua de pozos mecánicos fue en la región central del Ingenio Magdalena, en donde se encuentran los municipios de La Democracia y La Gomera.

Cuadro 15. Georeferenciación de los pozos mecánicos evaluados

No	ID	Latitud	Longitud	Altitud metros	Finca	Zona
1	552	14.00938500	-90.997827000	13.00	Agropecuaria El Congo	Central
2	561	14.00219400	-90.999528000	12.00	El Congo	Central
3	714	14.00850000	-91.007556000	13.00	El Congo	Central
4	224	14.11986100	-90.982750000	50.00	Ilusiones	Central
5	462	13.96961100	-90.986556000	9.00	La Felicidad	Central
6	778	13.99194400	-90.967361000	13.00	La Felicidad	Central
7	777	14.01033300	-90.974056000	19.00	La Felicidad	Central
8	474	13.95161100	-91.081972000	5.00	La Paz	Central
9	476	13.94480600	-91.077944000	1.00	La Paz	Central
10	475	13.94702800	-91.084472000	3.00	La Paz	Central
11	367	13.96727800	-91.031667000	4.00	Las Cuevas	Central
12	544	14.02866700	-90.970806000	23.00	Luceros	Central
13	551	13.98086100	-91.039833000	10.00	Ojo De Agua Cushin	Central
14	531	14.00027800	-91.033472000	10.00	Ojo De Agua Guadalupe	Central
15	533	14.00325000	-91.024333000	11.00	Ojo De Agua Guadalupe	Central
16	366	14.00915900	-91.110443000	14.00	Retazo	Central
17	506	13.95211100	-91.091611000	4.00	San Antonio La Paz	Central
18	321	14.07516700	-90.977167000	33.00	San Carlos Arzú	Central
19	322	13.98316700	-91.128111000	8.00	San Francisco	Central
20	772	14.14094400	-90.955389000	67.00	Santa Cristina	Central
21	773	14.15358300	-90.954889000	76.00	Santa Cristina	Central
22	494	14.10186100	-90.965889000	46.00	Santa Rita	Central

Las muestras de agua y su análisis en los pozos mecánicos se llevaron a cabo a finales del mes de abril e inicios del mes de mayo del año 2,014 ya que en esta época los motores de los pozos mecánicos se encuentran trabajando y una de las condiciones para extraer la muestra es que tienen que estar operando con 24 horas de anticipación. En la figura 53 se representa la ubicación de los pozos mecánicos evaluados.

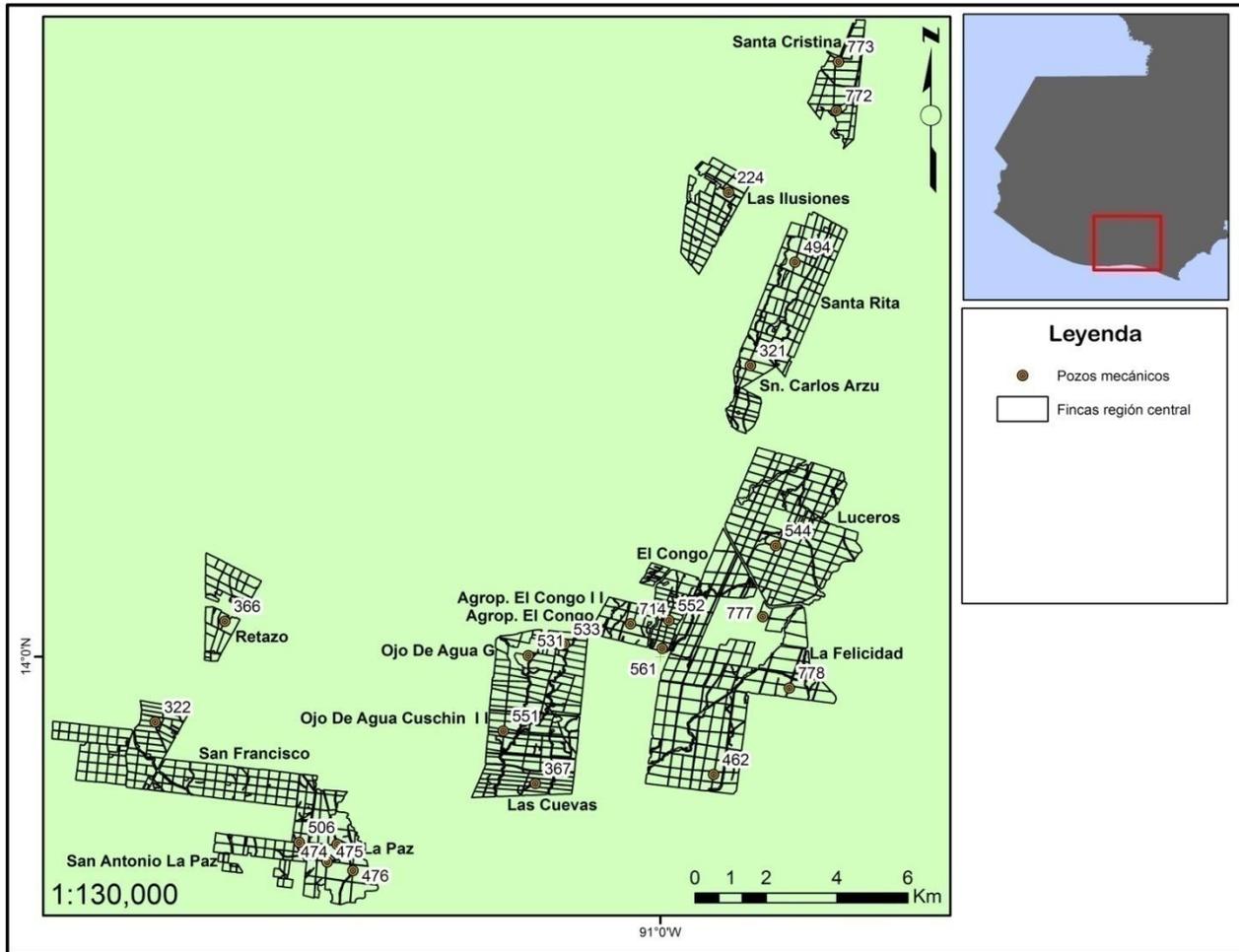


Figura 53. Ubicación de los pozos evaluados

El área de influencia donde se llevó a cabo el segundo servicio que consistió en el diseño y ejecución de un proyecto de riego en miniaspersión fue realizado en la finca Montebello que está localizada en aldea Botón Blanco, en el municipio de Puerto de San José, Escuintla. Sus coordenadas son latitud Norte $13^{\circ}59'01.3''$ y longitud Oeste $90^{\circ}50'40.1''$, con una altitud de 13 msnm. La finca colinda al Norte con Finca Santa María, al Este con Finca Matriz, al sur con parcelamiento Santa Izabel y al Oeste con la finca Botón Blanco. El área total del módulo I es de 182 ha y del módulo II de 177 ha. El área total de riego de la finca es de 359 ha. La temperatura media anual promedio es de 26.9 grados $^{\circ}\text{C}$ y la mínima, de 17 $^{\circ}\text{C}$. Las zonas de vida según el sistema de Holdridge, está clasificado como bosque húmedo subtropical (cálido), la topografía del lugar es plana.

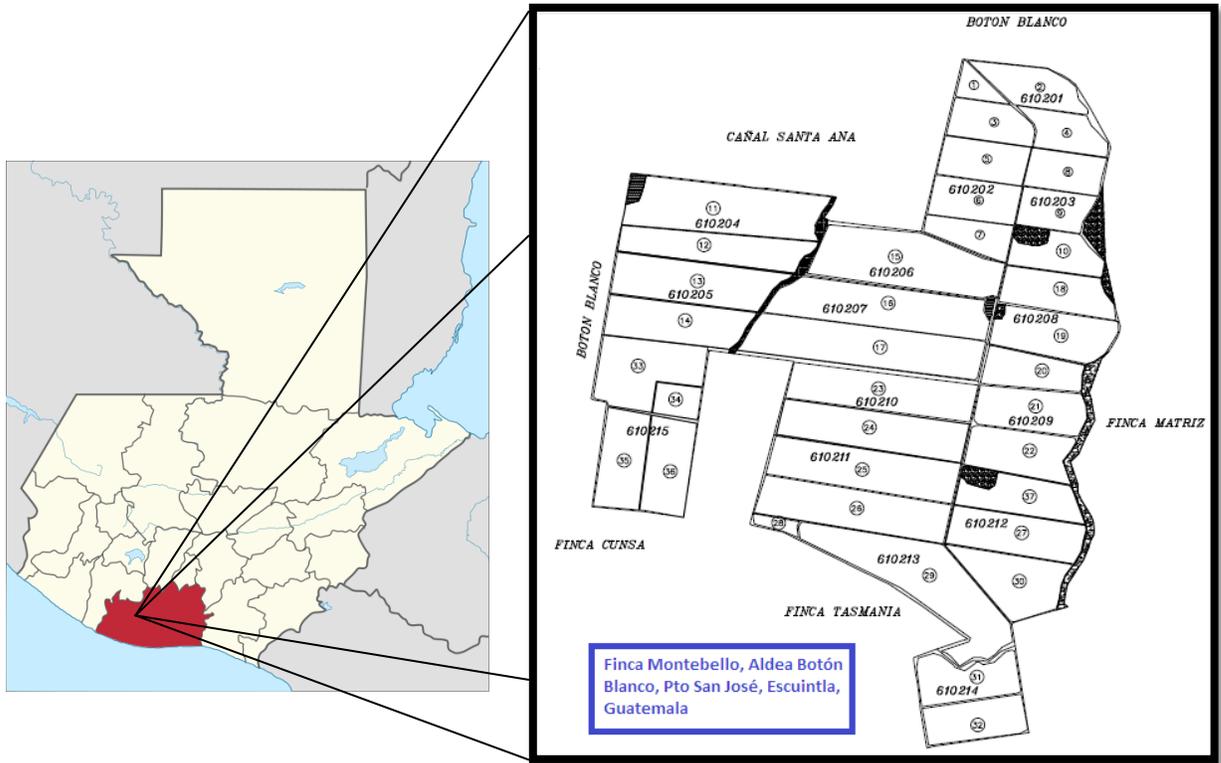


Figura 54. Ubicación finca Montebello, Puerto San José, Escuintla, Guatemala

3.3 OBJETIVO GENERAL

Apoyar al departamento de ingeniería agrícola en las actividades que realiza.

3.4 SERVICIOS PRESTADOS

3.4.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA DE POZOS MECÁNICOS DE LA REGIÓN CENTRAL, INGENIO MAGDALENA, IMPLEMENTADO UN KIT PARA LA MEDICIÓN DE DUREZA (CaCO_3), HIERRO (Fe) Y EL POTENCIAL DE IONES HIDRONIO (pH)

3.4.1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

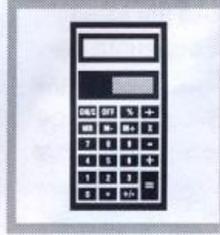
La calidad del agua de los pozos mecánicos del Ingenio Magdalena son muy variables, se tienen problemas principalmente en dureza (CaCO_3), hierro (Fe) y el potencial de iones hidronio, éstos forman depósitos calcáreos en las instalaciones de riego, manchas blancas en las plantas, obstrucción y deterioro en la tubería, por lo que se procedió a determinar los parámetros que se presentan de algunos pozos mecánicos de la región central por medio de un kit para su análisis.

3.4.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

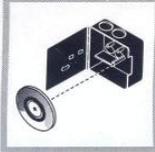
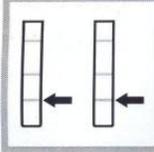
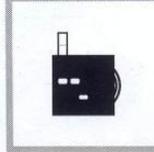
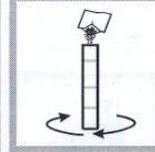
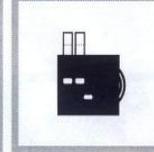
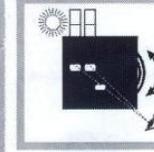
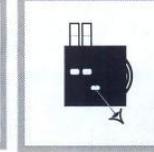
- A) Determinar la dureza (CaCO_3) de las muestras de agua.
- B) Determinar la presencia de hierro (Fe) de la muestras de agua.
- C) Determinar el potencial de iones hidronio (4 a 10) de las muestras de agua.

3.4.1.3 METODOLOGÍA

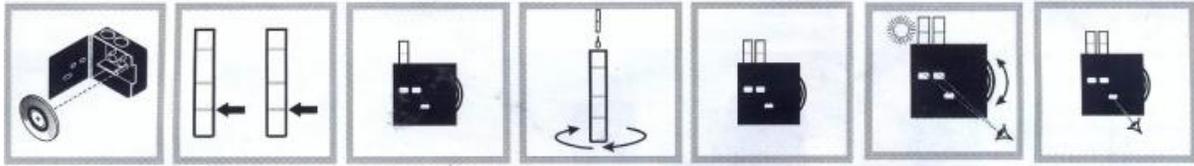
A) Procedimiento de análisis de determinación de dureza

				
<p>1.- Se llenó toda la probeta con la muestra de agua recolectada.</p> <p>-Se vertió la muestra en el frasco.</p>	<p>2.- Se agregaron tres gotas de solución reguladora de dureza 1 a la botella mezcladora.</p> <p>-Se mezcló haciendo girar la solución.</p>	<p>3.- Se agregaron a la botella mezcladora una gota del indicador de dureza 2.</p> <p>-Se mezcló haciendo girar la solución.</p>	<p>4.- Se agregaron en el reactivo de titulación de dureza 3 en gotas.</p> <p>-Se contaron las gotas hasta que el color rosa se volvió azul.</p> <p>-Se mezclaron haciendo girar la solución después de agregar cada gota.</p>	<p>5.- Se calcularon los resultados. Cada gota de reactivo de titulación de dureza 3 equivale a 1 grano por galón de dureza expresado como carbonato de calcio (CaCO₃). Un grano por galón (gpg) equivale a 17.1 mg/l.</p>

B) Procedimiento de análisis para determinar la presencia de hierro

						
<p>1. Se introdujo el disco cromático para determinar la presencia de hierro en el pasador central de la caja con el comparador de colores con la rotulación hacia afuera.</p>	<p>2.- Se cargó la muestra en dos tubos hasta la primera línea (5ml).</p>	<p>3.- Se introdujo un tubo en el orificio izquierdo del comparador.</p>	<p>4.- Se agregó un sobre de reactivo en polvo para determinar la presencia de hierro en el segundo tubo.</p> <p>-Se mezclaron haciendo girar la solución. Cuando se encontró hierro se tornó color naranja.</p>	<p>5.- Se introdujo el segundo tubo en el orificio derecho del comparador.</p>	<p>6.- Se sostuvo el comparador de manera que la fuente de luz quedara directamente detrás de los tubos.</p> <p>-Se giró el disco de color hasta que los colores coincidieran.</p>	<p>7.- Se consultó el resultado en mg/l. Si la coincidencia se encontró entre dos segmentos, se utilizó el valor medio de dichos segmentos.</p>

C) Procedimiento de análisis de determinación de pH



1.- Se introdujo el disco cromático para determinar el pH en el pasador central de la caja con el comparador de colores con la rotulación hacia afuera.	2.- Se cargaron las muestras en los dos tubos hasta la primera línea (5 ml).	3.- Se introdujo un tubo en el orificio izquierdo del comparador.	4.- Se agregaron 6 gotas de solución indicadora del pH de amplio espectro. Se mezcló haciendo girar la solución.	5.- Se introdujo el segundo tubo en el orificio derecho del comparador.	6.- Se sostuvo el comparador de manera que quedó una fuente de luz directamente detrás de los tubos. Se giró el disco de color hasta que los colores coincidieran.	7.- Se leyeron los resultados en unidades de pH. Si la coincidencia se encontró entre dos segmentos, se utilizó el valor medio de dichos segmentos.
---	--	---	--	---	--	---

3.4.1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A) Dureza (CaCO_3)

Las aguas duras en sí mismas no son perjudiciales para la mayoría de plantas, pero forman:

- ✓ Depósitos calcáreos en las instalaciones de riego
- ✓ Manchas blancas en las plantas.

El rango adecuado de dureza en agua debe de ser <150 ppm, las cuales se llaman aguas suaves o medias; Las que son >150 ppm se llaman aguas duras o muy duras.

La figura 55, detalla los niveles de dureza en (ppm) realizado la primera semana de mayo del año 2,014 en algunos pozos de la región central del Ingenio Magdalena.

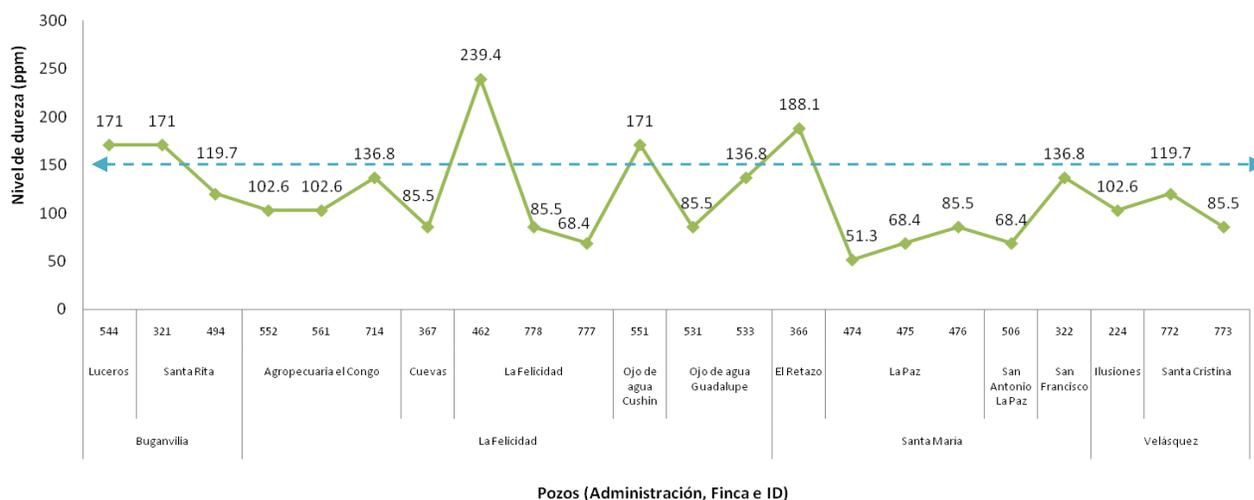


Figura 55. Nivel de dureza (ppm), Región Central, mayo (kit 2014)

Se analizaron las muestras de agua y en cuanto a dureza (CaCO_3) se encontraron que 5 muestras estaban por encima del parámetro aceptado (150 ppm) los cuales correspondían a los pozos con ID: 544 (171 ppm), 321 (171 ppm), 462 (239.4 ppm), 551 (171 ppm) y 366 (188.1 ppm). Las causas del alto contenido de dureza se debe a la presencia de calcio en las aguas naturales, tienen su origen en la lixiviación de los suelos con alto contenido de calcio que se incrusta en el agua. Las características climáticas de la zona cañera ubican a estos pozos en el estrato del litoral (< 40 msnm), y los pozos que se encontraban con alta presencia de dureza se encontraban entre la altitud media de la zona por lo que podría ser que existan reservorios de calcio propios del lugar.

B) Hierro

Las bacterias del hierro son los microorganismos que obtienen energía mediante la oxidación de hierro ferroso soluble en hierro férrico insoluble que se precipita de la solución.

El hierro provoca

- ✓ Obstrucción en las tuberías y deterioro en la tubería de riego.
- ✓ Daño en los componentes del pozo (turbinas, rejillas, etc).
- ✓ Disminución de la eficiencia de bombeo.

El rango adecuado de hierro en agua debe de ser <0.6 ppm para riego por aspersión y miniaspersión, mientras que para riego por goteo debe de <0.3 ppm.

La figura 56, Detalla los niveles de hierro en (ppm) realizado la primera semana de mayo del año 2,014 en algunos pozos de la región central del Ingenio Magdalena.

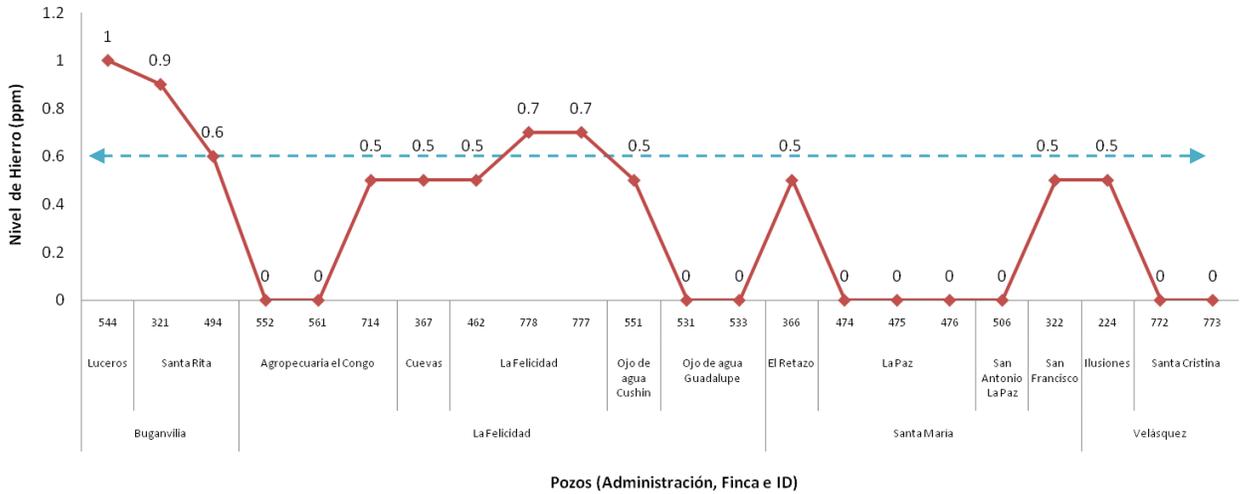


Figura 56. Nivel de hierro (ppm), Región Central, mayo (kit 2014)

Se analizaron las muestras de agua y en cuanto a hierro (Fe), se encontraron que 4 muestras estaban por encima del parámetro aceptado (0.6 ppm) las cuales correspondía a los pozos con ID 544 (1 ppm), 321 (0.9 ppm), 778 (0.7 ppm) y 777 (0.7 ppm). La alta presencia de hierro en estos cuatros pozos se debe a que geológicamente existen depósitos de arena ricos en hierro.

C) Potencial de iones hidronio

El potencial de iones hidronio (pH) es un índice de la concentración de los iones de hidrógeno (H) en el agua. Se define como $-\log(H^+)$. Cuanto mayor sea la concentración de los iones de hidrógeno en el agua, menor será el valor del pH.

Un agua o una solución del suelo con un pH demasiado alto, puede resultar en deficiencias de nutrientes, principalmente de micro-nutrientes, como el hierro. Mantener el pH del agua de riego por debajo de 7,0 es también importante para prevenir las obstrucciones de emisores, debido a la precipitación de sales. Por otra parte, un pH

demasiado bajo, podría dar lugar a la toxicidad de los micro-nutrientes y daños al sistema radicular de la planta.

En la figura 57, detalla el pH de las aguas analizadas, realizado la primera semana de mayo del año 2,014 en algunos pozos de la Región Central del Ingenio Magdalena.

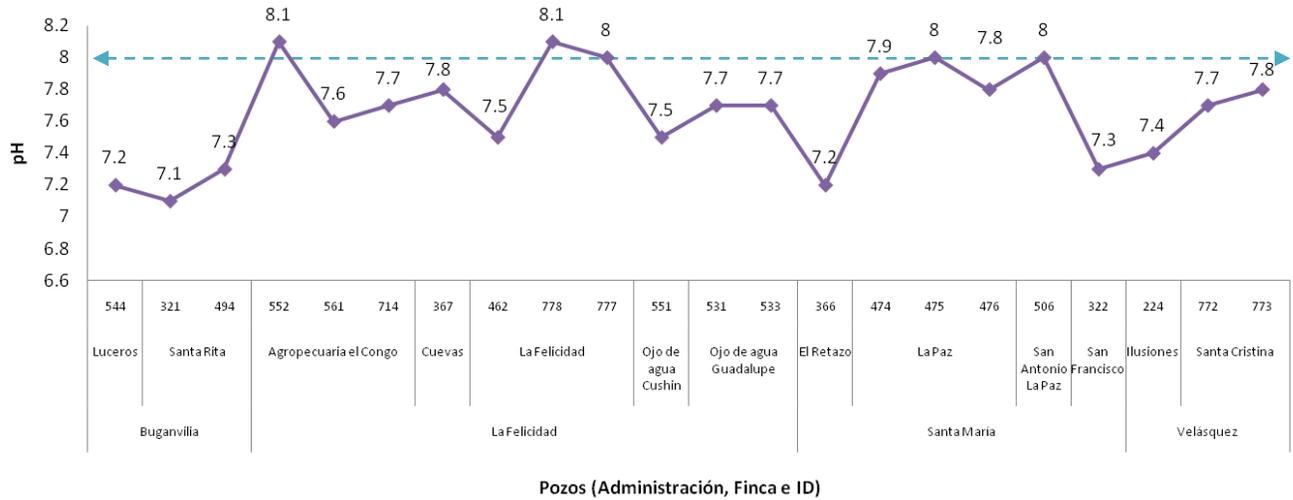


Figura 57. pH, Región Central, mayo (Kit 2014)

Se analizaron las muestras de agua y en cuanto a pH se encontraron que 2 muestras estaban por encima del parámetro aceptado (8) los cuales correspondía a los pozos con ID 552 (8.1) y 778 (8.1). Estos pozos tienen condiciones básicas, la concentración de iones de hidrógeno es baja y son consideradas aguas alcalinas, y se debe a que estas aguas producen una alta concentración de moléculas de minerales de carbono en suspensión.

3.4.1.5 EVALUACIÓN

A) Se analizó las muestras de agua y en cuanto a dureza (CaCO_3) se encontraron que 5 muestras estaban por encima del parámetro aceptado (150 ppm) los cuales correspondían a los pozos con ID: 544 (171 ppm), 321 (171 ppm), 462 (239.4 ppm), 551 (171 ppm) y 366 (188.1 ppm).

B) Se analizó las muestras de agua y en cuanto a hierro (Fe) se encontraron que 4 muestras estaban por encima del parámetro aceptado (0.6 ppm) las cuales correspondía a los pozos con ID 544 (1 ppm), 321 (0.9 ppm), 778 (0.7 ppm) y 777 (0.7 ppm).

C) Se analizó las muestras de agua y en cuanto a pH se encontraron que 2 muestras estaban por encima del parámetro aceptado (8) los cuales correspondía a los pozos con ID 552 (8.1) y 778 (8.1).

3.4.1.6 CONSTANCIAS



Figura 58. Frascos que servían para recolectar las muestras Figura 59 Kit de herramientas



Figura 60. Comparador de colores

3.4.2 SERVICIO 2. DISEÑO Y EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE RIEGO EN MINIASPERSIÓN, FINCA MONTEBELLO, SECTOR 1 Y 2, ALDEA BOTÓN BLANCO, PUERTO SAN JOSÉ, ESCUINTLA

3.4.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La finca Montebello regaba con riego por aspersión pero el alto costo operativo que representaba, el alto caudal demandando, la no uniformidad y la poca eficiencia de aplicación no eran las adecuadas para la finca, cada proyecto de riego es diferente en su totalidad y en particular la finca Montebello, se sometió a un análisis de toda la información recabada para determinar su forma más eficiente de regar y ésta fue por diseño miniaspersión, se procedió a diseñar y ejecutar por este tipo de riego ya que la idea principal era abastecer todo el sistema por medio de pozos y de norias y que el riego fuera más eficiente a comparación que el riego por aspersión.

3.4.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A) Realizar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego de mini aspersión a instalar
- B) Determinar los parámetros técnicos de instalación y operación de un sistema de riego por mini aspersión.

3.4.2.3 METODOLOGÍA

Metodología tomada de Pinto (2011).

A) Fase I: Recopilación de datos de información

- a) Se realizó la descripción del área de estudio: En esta fase se recopiló información necesaria para desarrollar el sistema de riego, tales como:
 - Plano de la parcela a transformar (con curvas de nivel) reflejando los límites, puntos de captación de agua, redes de caminos, cursos de agua, condicionantes del relieve, área total a regar, etc.
 - Caudal disponible y calidad del agua, con el caudal se realizó una estimación de la superficie regable, tomando en cuenta los pozos disponibles y norias

- Datos de cultivo: Se tuvo en cuenta la alternativa de cultivos, la profundidad radicular máxima, las necesidades hídricas punta durante el ciclo de cultivo, el marco de plantación, las labores a realizar, etc.
- Datos de clima: Se conoció todos aquellos datos climáticos que intervinieron en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos.

B) Fase II: Concepción del proyecto

Cada proyecto de riego es diferente en su totalidad y en particular la finca Montebello, se sometió a un análisis de toda la información recabada para determinar su forma más eficiente de regar y ésta fue por diseño miniaspersión, ya que la idea principal era abastecer todo el sistema por medio de pozos y de norias.

C) Fase III: Diseño del sistema de riego

Cálculo y elaboración del diseño agronómico: Se procedió a realizar el cálculo de las necesidades de agua del cultivo a desarrollar. La determinación de las necesidades de agua de los cultivos fue el paso previo para establecer los volúmenes de agua que fueron necesario aportar con el riego.

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen (la que usan para crecimiento y fotosíntesis). La transpiración puede considerarse, por lo tanto, como el consumo de agua de la planta. Además debemos de considerar que hay pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del suelo. Con ayuda de una hoja de cálculo los pasos para determinar el diseño agronómico fueron

- a) Determinar láminas de riego (lámina bruta, lámina neta de riego, lámina por evento de riego)
- b) Seleccionar el tipo de aspersor a usar (descarga, boquilla, diámetro de mojado, presión de operación, modelo).
- c) Calcular el número de aspersores que van a funcionar simultáneamente (7)
- d) Determinar intervalo de riego de diseño (Ird)
- e) Definir la intensidad de riego (Ir)
- f) Fijar el espaciamiento entre laterales (El) y aspersores (Ea)

La mano de obra para mover laterales es una variable que depende del tipo de sistema que se use. Para sistemas que se mueven a mano sobre cultivos de poca altura y hortalizas, el desplazamiento de la lateral requiere aproximadamente 1.25 a 1.5 horas-hombre por hectárea. Para cultivos altos tales como el maíz o la caña de azúcar bien pudiera requerirse el doble de horas-hombre.

En el ingenio Magdalena para una lateral de 20 aspersores (240 m) utilizando a 3 personas, el tiempo promedio necesario para trasladar una lateral a otra posición es de 30 minutos.

Debe considerarse que la tubería de aluminio se vende en longitudes de 20 pies para 63 y 75 mm y 30 pies para diámetros mayores (6.1 y 9.1 m) y la de PVC en 20 pies, por lo que es conveniente que el Espaciamiento entre laterales (EI) sea múltiplo de 20 o 30 pies y el espaciamiento entre aspersores múltiplo de 20 pies.

3.4.2.4 RESULTADOS

A) Cálculos

a) Cálculos del diseño (Sector I)

Todos estos datos se realizaron en una hoja de cálculo ya establecida. Los cálculos de lateral no uniforme fueron los siguientes (se presenta un solo ejemplo)

Las fórmulas para el cálculo fueron las siguientes:

1. Caudal Unitario (q)

$$q = \frac{10000 \text{ m}^2 * lb \left(\frac{mm}{\text{día}}\right)}{86400 \text{ seg}} * \frac{24 \text{ hr}}{X \text{ hr}} * \frac{7 \text{ días}}{x \text{ días}} * \text{No. Ha total (Ajustado)}$$

2. Lamina bruta.(LB)

$$\text{Lamina bruta} = \frac{\text{Lamina neta}}{\text{Eficiencia metodo de riego}} = \text{mm/día}$$

3. Lamina neta de riego (LN)

$$LN = \frac{(CC - PMP) * Dap * PMojado}{100} = \text{mm}$$

4. Lamina por evento de riego (LER)

$$LER(\text{ciclo}) = Lb * FRiego = \text{mm}$$

5. Tiempo de riego por turno (TRT)

$$TRT = \frac{LER}{IR} = \frac{mm/dia}{mm/hora}$$

6. Intervalo de riego (IR)

$$IR = \frac{Q \text{ emisor}}{\text{Area Mojado Emisor}} = \frac{mm}{hr}$$

7. Numero de Turno por Día (NTPD).

$$NTPD = \frac{\text{Horas de operacion equipo/dia}}{\text{Tiempo por turno}} = \frac{\text{Turnos}}{\text{dia}}$$

8. Numero de Turnos de Riego por Ciclo (NTRC)

$$NTRC = NTPD * FR$$

9. Área regada por Turno (ART).

$$ART = \frac{\text{Area Total}}{NTRC} = \frac{Ha}{\text{Turno}}$$

10. Caudal de Agua Por Turno (QAT)

$$QAT = \frac{ART * lb}{TRT}$$

11. Caudal de Agua por turno por Emisores

$$\frac{Q_{Total}}{emisor} = \frac{ART}{A. \text{emisor}} * Q. \text{emisor} = \frac{lbs}{seg}$$

12. Área de Regado por Válvula (ARV)

$$ARV = \frac{Q \text{ Valvula}}{Q \text{ Emisor}} * \text{Area Emisor}$$

13. Caudal por válvula (QV)

$$QV = Q_{emisor} * \text{No. emisores}$$

14. $P_{elc} = P_{emi} + \frac{3}{4} Hf \mp \Delta Z$

15. $P_{req \text{ val}} = P_{req \text{ lat}} + Hf_{manifol} \mp \Delta Z$

16. $Hf = \frac{1.21 * 10^{10}}{D^{4.872}} * \left(\frac{Q \text{ (lps)}}{C} \right)^{1.852} * L$

17. $Q_{lat} = \frac{\text{long de lat}}{\text{dist entre emisor}} * Q_{emisor}$

CALCULO DE LATERAL NO UNIFORME

sur izquierda

CAUDAL POR ASPERSOR	4.4	gpm.	PVC	150
PRESION ULTIMO ASPERSOR	45	psi.	ALUM	130
MARGEN DE SEGURIDAD	1		HG	110

DATOS VARIABLES

TRAMO numero	LONG. m.	ASPER un.	CAUDAL gpm	CAUDAL total	DIAM. mm.	FRICCION psi	PRESION psi	VELOCID m/s	COEF C de friccion
1	12	1	4.40	4.40	63.00	0.00	45.00	0.09	130.00
2	12	1	4.40	8.80	63.00	0.01	45.02	0.18	130.00
3	12	1	4.40	13.20	63.00	0.03	45.05	0.27	130.00
4	12	1	4.40	17.60	63.00	0.05	45.10	0.36	130.00
5	12	1	4.40	22.00	63.00	0.08	45.18	0.45	130.00
6	12	1	4.40	26.40	63.00	0.11	45.29	0.53	130.00
7	12	1	4.40	30.80	63.00	0.15	45.44	0.62	130.00
8	12	1	4.40	35.20	63.00	0.19	45.63	0.71	130.00
9	12	1	4.40	39.60	63.00	0.23	45.86	0.80	130.00
10	12	1	4.40	44.00	63.00	0.28	46.14	0.89	130.00
11	12	1	4.40	48.40	63.00	0.34	46.48	0.98	130.00
12	12	1	4.40	52.80	63.00	0.40	46.88	1.07	130.00
13	12	1	4.40	57.20	63.00	0.46	47.34	1.16	130.00
14	12	1	4.40	61.60	63.00	0.53	47.87	1.25	130.00
15	12	1	4.40	66.00	63.00	0.60	48.48	1.34	130.00
16	12	1	4.40	70.40	63.00	0.68	49.16	1.42	130.00
17	12	1	4.40	74.80	63.00	0.76	49.92	1.51	130.00
18	12	1	4.40	79.20	63.00	0.84	50.76	1.60	130.00
19	12	1	4.40	83.60	63.00	0.93	51.69	1.69	130.00
20	12	1	4.40	88.00	63.00	1.03	52.72	1.78	130.00
21	162	0	0.00	88.00	104.00	0.92	53.65	0.65	150.00
22	108	20	88.00	176.00	160.00	0.27	53.92	0.55	150.00
23	216	20	88.00	264.00	160.00	1.16	55.08	0.83	150.00
24	108	20	88.00	352.00	160.00	0.99	56.06	1.10	150.00
25	162	20	88.00	440.00	160.00	2.23	58.30	1.38	150.00
26	162	20	88.00	528.00	160.00	3.13	61.43	1.66	150.00
27	162	20	88.00	616.00	204.00	1.28	62.70	1.19	150.00
28	216	20	88.00	704.00	204.00	2.18	64.88	1.36	150.00
29	216	20	88.00	792.00	204.00	2.71	67.59	1.53	150.00
30	76	20	88.00	880.00	254.00	0.40	67.99	1.10	150.00
31	58	60	264.00	1144.00	254.00	0.49	68.48	1.42	150.00
32	31	0	0.00	1144.00	304.00	0.11	68.59	0.99	150.00
33	20	140	616.00	1760.00	304.00	0.16	68.75	1.53	150.00

b) Cálculos del motor

Los cálculos del motor fueron los siguientes en el sector I

CDT	pies	psi	mts	EF. BOMBA	83.0%	AREA: 182 Hectareas
Presion de Aspersor	103.32	45.00	31.50	GPM	1,820	
Perdidas x Friccion (HF) ramal	16.07	7.00	4.90	Q (LPS)	CDT	= BHP
Perdidas x Friccion (HF) pvc	29.85	13.00	9.10	114.83	96.63	
Diferencia de Altura del Terreno	9.84	4.20	3.00	Constante	Ef. Bomba	Potencia Requerida en Bomba
Carga de Succion (NPSH-d)	-	-	-	76.00	63.08	
Carga de la Turbina	150.00	64.94	45.45	BHp /	0.80	= MHP
HF Menores (Accesorios 3%)	8.79	3.81	2.67	Factor Real	0.66	220 Hp
CARGA DINAMICA TOTAL	317.87	137.95	96.63			Potencia Motor Requerida
Minima Presion de Operación del Sistema (psi)		65				267 Hp
						Potencia Motor Disponible

c) Cálculos de diseño (sector II)

CALCULO DE LATERAL NO UNIFORME

sur izquierda

CAUDAL POR ASPERSOR	4.4	gpm.	PVC	150
PRESION ULTIMO ASPERSOR	45	psi.	ALUM	130
MARGEN DE SEGURIDAD	1		HG	110

DATOS VARIABLES

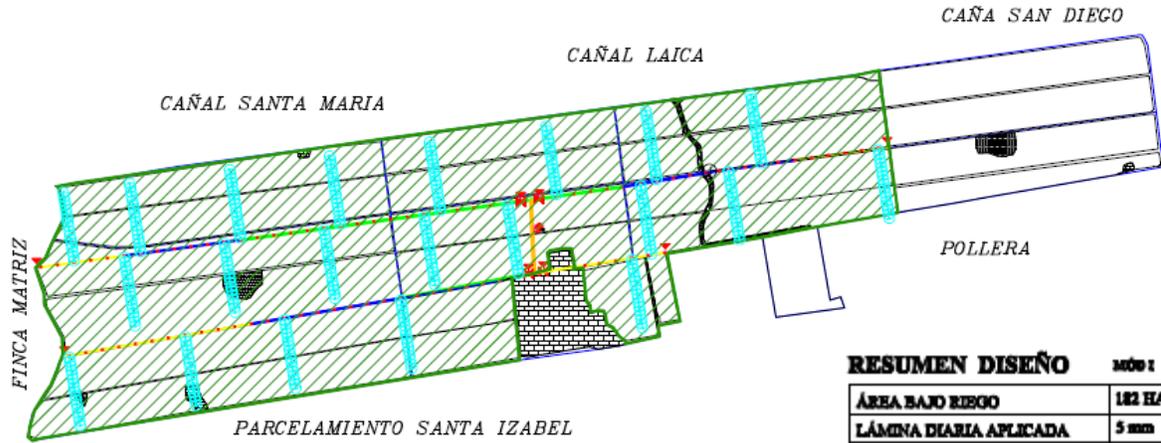
TRAMO numero	LONG. m.	ASPER un.	CAUDAL gpm	CAUDAL total	DIAM. mm.	FRICCION psi	PRESION psi	VELOCID m/s	COEF C de friccion
1	12	1	4.40	4.40	63.00	0.00	45.00	0.09	130.00
2	12	1	4.40	8.80	63.00	0.01	45.02	0.18	130.00
3	12	1	4.40	13.20	63.00	0.03	45.05	0.27	130.00
4	12	1	4.40	17.60	63.00	0.05	45.10	0.36	130.00
5	12	1	4.40	22.00	63.00	0.08	45.18	0.45	130.00
6	12	1	4.40	26.40	63.00	0.11	45.29	0.53	130.00
7	12	1	4.40	30.80	63.00	0.15	45.44	0.62	130.00
8	12	1	4.40	35.20	63.00	0.19	45.63	0.71	130.00
9	12	1	4.40	39.60	63.00	0.23	45.86	0.80	130.00
10	12	1	4.40	44.00	63.00	0.28	46.14	0.89	130.00
11	12	1	4.40	48.40	63.00	0.34	46.48	0.98	130.00
12	12	1	4.40	52.80	63.00	0.40	46.88	1.07	130.00
13	12	1	4.40	57.20	63.00	0.46	47.34	1.16	130.00
14	12	1	4.40	61.60	63.00	0.53	47.87	1.25	130.00
15	12	1	4.40	66.00	63.00	0.60	48.48	1.34	130.00
16	12	1	4.40	70.40	63.00	0.68	49.16	1.42	130.00
17	12	1	4.40	74.80	63.00	0.76	49.92	1.51	130.00
18	12	1	4.40	79.20	63.00	0.84	50.76	1.60	130.00
19	12	1	4.40	83.60	63.00	0.93	51.69	1.69	130.00
20	12	1	4.40	88.00	63.00	1.03	52.72	1.78	130.00
21	144	0	0.00	88.00	104.00	0.82	53.54	0.65	150.00
22	216	20	88.00	176.00	104.00	4.45	58.00	1.31	150.00
23	77	20	88.00	264.00	160.00	0.41	58.41	0.83	150.00
24	130	0	0.00	264.00	160.00	0.70	59.10	0.83	150.00
25	81	0	0.00	264.00	160.00	0.43	59.54	0.83	150.00
26	270	20	88.00	352.00	160.00	2.46	62.00	1.10	150.00
27	324	20	88.00	440.00	204.00	1.37	63.37	0.85	150.00
28	206	20	88.00	528.00	204.00	1.22	64.59	1.02	150.00
29	155	20	88.00	616.00	204.00	1.22	65.81	1.19	150.00
30	114	0	0.00	616.00	254.00	0.31	66.12	0.77	150.00

Los cálculos del motor fueron los siguientes en el sector II

CDT	pies	psi	mts	EF.	83.0%	AREA: 177 Hectareas	
Presion de Aspersor	103.32	45.00	31.50	GPM	1,770		
Perdidas x Friccion (HF) ramal	16.07	7.00	4.90	Q (LPS)	CDT	= BHP	
Perdidas x Friccion (HF) pvc	29.85	13.00	9.10	111.67	96.63		
Diferencia de Altura del Terreno	9.84	4.20	3.00	Constante	Ef. Bomba	= MHP	
Carga de Succion (NPSH-d)	-	-	-	76.00	63.08		
Carga de la Turbina	150.00	64.94	45.45	BHp /	0.80	←	
HF Menores (Accesorios 3%)	8.79	3.81	2.67	Factor Real	0.64		
CARGA DINAMICA TOTAL	317.87	137.95	96.63			214 Hp	Potencia Motor Requerida
Minima Presion de Operación del Sistema (psi)			65			267 Hp	Potencia Motor Disponible

3.4.2.5 Resumen de diseño

A) Sector I



RESUMEN DISEÑO

MODELO

ÁREA BAJO RIEGO	182 HAS
LÁMINA DIARIA APLICADA	5 mm
LÁMINA DE RIEGO	51 mm
FRECUENCIA DE RIEGO	10 DÍAS
CAUDAL DE DISEÑO	1800 GPM
ÁREA DE RIEGO / DÍA	18.14 HAS

SISTEMA DE BOMBEO

PROFUNDIDAD DE POZO	850 PIES
DIÁMETRO DE POZO	16"
MOTOR (DIESEL)	-
BOMBA (TURBINA)	-
COLUMNA (18")	150 PIES
NIVEL DINÁMICO MÁXIMO	100 PIES

CONDUCCIÓN PVC (m)

TUBERÍA 15"	-
TUBERÍA 12"	20
TUBERÍA 10"	234
TUBERÍA 08"	2,115
TUBERÍA 06"	1,149
TUBERÍA 04"	1,618
TOTAL TUBERÍA	5,136

ALUMINIO Y ACCESORIOS

LATERAL ALUMINIO 63mm	21
⊗ HIDRANTE 04"	-
⊗ HIDRANTE 06"	-
⊗ HIDRANTE 08"	-
⊗ HIDRANTE 10"	-
TOTAL HIDRANTES	-

PARÁMETROS DE OPERACIÓN

R.P.M. MOTOR	1,800
PRESIÓN DE OPERACIÓN	65 PSI
PRESIÓN ULTIMO ASPERSOR	45 PSI
NO. ASPERSORES OPERANDO	420
NO. ASPERSORES / LATERAL	20
TORNOS / DÍA	2
HORAS / TURNO	11

SIMBOLOGIA	
Pozo Mecánico	
Pozo Artesanal	
Pozo sin Uso	
Pluviómetro	
Punto Bombeo	
Eq. Mecanizado	
Lateral Aspersión	
Lateral 63mm	
Tub. PVC 15"	
Tub. PVC 12"	
Tub. PVC 10"	
Tub. PVC 08"	
Tub. PVC 06"	
Tub. PVC 04"	
Tub. Drenaje	
Hidrante PVC	
Valvula Aire	
Valvula Sectorizadora	
Caudalímetro	
Joice PVC	
Sifon PVC	
P. Aereo PVC	
Canal Revestido	
Drenaje 1rio.	
Drenaje 2rio.	
Drenaje 3rio.	
Drenaje 4rio.	
Ruta Cafiera	
Curvas Topograficas	
Banco de Marca	
Paso con Tubería	
Puente	

B) Sector II

RESUMEN DISEÑO

MÓD1

ÁREA BAJO RIEGO	177.24 HAS
LÁMINA DIARIA APLICADA	5 mm
LÁMINA DE RIEGO	51 mm
FRECUENCIA DE RIEGO	10 DÍAS
CAUDAL DE DISEÑO	1760 GPM
ÁREA DE RIEGO / DÍA	18.14 HAS

SISTEMA DE BOMBEO

PROFUNDIDAD DE POZO	850 PIES
DIÁMETRO DE POZO	16"
MOTOR (DIESEL)	-
BOMBA (TURBINA)	-
COLUMNA (10")	150 PIES
NIVEL DINÁMICO MÁXIMO	100 PIES

CONDUCCIÓN PVC (m)

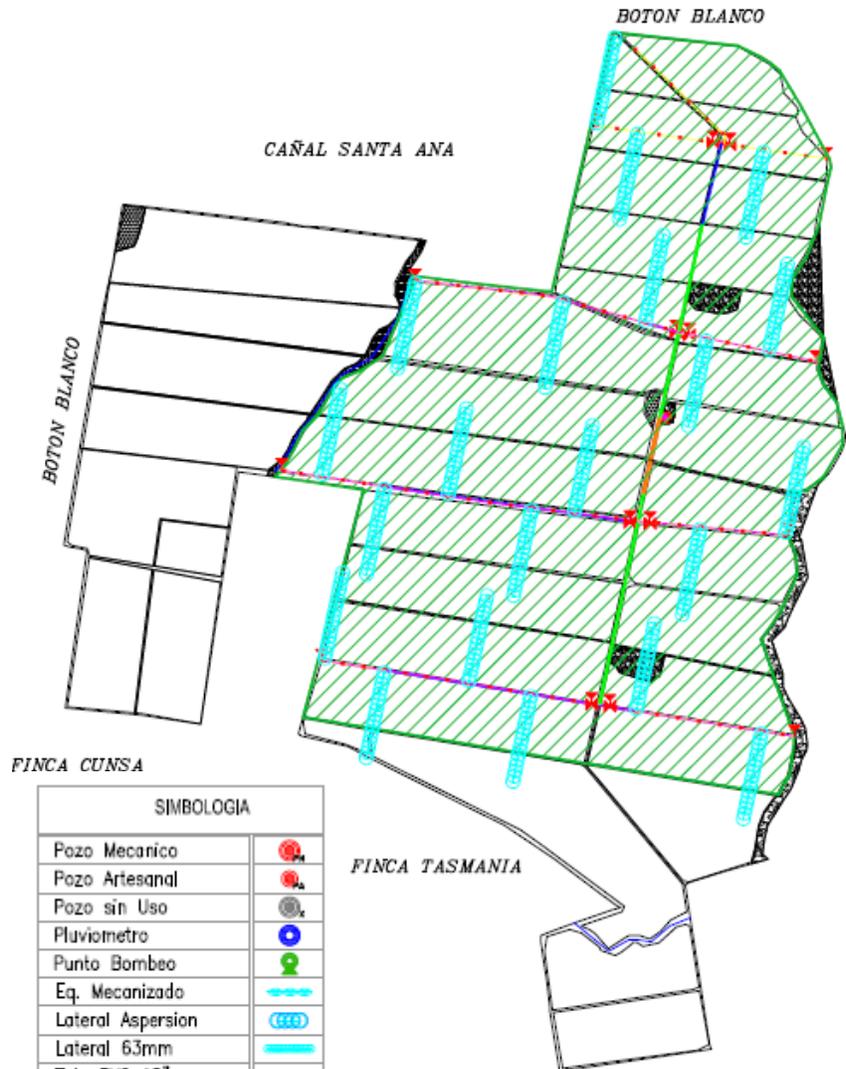
TUBERÍA 15"	-
TUBERÍA 12"	20
TUBERÍA 10"	203
TUBERÍA 08"	1,060
TUBERÍA 06"	1,598
TUBERÍA 04"	3,100
TOTAL TUBERÍA	5,981

ALUMINIO Y ACCESORIOS

LATERAL ALUMINIO 63mm	21
HIDRANTE 04"	-
HIDRANTE 06"	-
HIDRANTE 08"	-
HIDRANTE 10"	-
TOTAL HIDRANTES	-

PARÁMETROS DE OPERACIÓN

R.P.M. MOTOR	1,800
PRESIÓN DE OPERACIÓN	65 PSI
PRESIÓN ULTIMO ASPERSOR	45 PSI
NO. ASPERSORES OPERANDO	420
NO. ASPERSORES / LATERAL	21
TURNOS / DÍA	2
HORAS / TURNO	11



FINCA CUNSA

FINCA TASMANIA

SIMBOLOGIA	
Pozo Mecanico	
Pozo Artesanal	
Pozo sin Uso	
Pluviometro	
Punto Bombeo	
Eq. Mecanizado	
Lateral Aspersión	
Lateral 63mm	
Tub. PVC 15"	
Tub. PVC 12"	
Tub. PVC 10"	
Tub. PVC 08"	
Tub. PVC 06"	
Tub. PVC 04"	
Tub. Drenaje	
Hidrante PVC	
Valvula Aire	
Valvula Sectorizadora	
Caudalimetro	
Joice PVC	
Sifon PVC	
P. Aereo PVC	
Canal Revestido	
Drenaje 1rio.	
Drenaje 2rio.	
Drenaje 3rio.	
Drenaje 4rio.	
Ruta Cañera	
Curvas Topograficas	
Banco de Marca	
Paso con Tubería	
Puente	

3.4.2.6 Ejecución del Proyecto

A) Perforación de pozos

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente:

a) Marcar punto: Fue necesario marcar y georeferenciar el punto estratégico para la perforación.

b) Sondeo eléctrico vertical: (SEV) se realizó para determinar los distintos estratos litológicos del punto seleccionado. Para minimizar el rango de error de un punto erróneo.

c) Perforación del pozo: ya con la información anterior, se tomó la decisión de que tipo maquina podría efectuar el trabajo, de esta forma el proyecto se podría terminar en corto tiempo. Se recolectó muestreo del pozo cada 10 pies con la intención de identificar la geología del terreno para ir preparando el mejor diseño del entubado y sobre todo poder analizar en el futuro el pozo.

d) Registro eléctrico: tuvo la finalidad de medir la máxima permeabilidad de las capas con la intención siempre de ofrecer el mejor diseño del encamisado y disminuir los problemas de la falta de agua, con una mayor exactitud el diseño del entubado y determinar en donde se podía aprovechar mejor el acuífero colocando las rejillas en esos sectores.

e) Entubado: teniendo identificado el muestreo obtenido del pozo, diseño preliminar del entubado y el registro eléctrico, se procedió a introducir la tubería de acero dentro del pozo perforado, en este caso fue tubería de 12" de diámetro.

f) Instalación del filtro de grava: es el encargado de hacer que un pozo esté libre de impurezas y filtraciones de materiales no deseados en el momento de bombear el agua. Este se instaló entre el espacio anular del pozo perforado y el pozo entubado.

g) Desarrollo y limpieza: estos trabajos son necesarios para evacuar los materiales resultantes de la perforación, así como mantener la porosidad y permeabilidad del empaque y de las formaciones acuíferas circunvecinas al pozo, desalojando los materiales granulares muy finos que obstruyen los intersticios de las formaciones del acuífero. Para

realizar la limpieza se produjo agitación dentro del pozo para provocar el desarrollo en las formaciones acuíferas, esto se realizó por medio de un pistón ajustado al diámetro interno del tubo ademe, por aire comprimido.

h) Prueba de bombeo: Es la medida del rendimiento del mismo expresado en volumen por unidades de tiempo, es decir, medir el caudal obtenido correspondiente a un abatimiento máximo recomendable del nivel freático. Se efectuó con un equipo de bombeo adecuado con una duración mínima de 24 horas a caudal constante, tomando lecturas por cada hora al gasto que se estuvo bombeando y del nivel dinámico respectivo. El caudal obtenido fue de 2, 000 gpm, ya que era esta la capacidad máxima que tenía la bomba que se utilizó. El nivel dinámico de los mismos fue pozo 1= 126 pies, pozo 2=69 pies, estos resultaron satisfactorios para la demanda de agua que se tenía en cada módulo.

i) Sello sanitario: Se realizó a base de cemento y su fin fue impedir la introducción de medios contaminantes en la zona de rejilla y posteriormente en el pozo.

B) Instalación de la tubería de pvc

Con respecto a la instalación PVC, la empresa Durman Esquivel, fue la responsable directa de proveer el material e instalar los 2 módulos de riego. "llave en mano" (Venta, distribución e instalación del producto).

El primer paso fue delimitar las líneas de conducción, utilizando un plano topográfico ya establecido, del cual se procedió a medir y orientar con teodolito para mantener la líneas rectas de conducción, ya delimitadas la líneas, con una máquina excavadora de cucharón trapezoidal, con capacidad de 1 m³, se inició el zanqueo tomando en cuenta la profundidad que variaba entre 0.90 m para 4" y 1.2 m para 15", teniendo un rendimiento promedio de 75 m/hr y ya instalada la tubería PVC se procedió a tapar dicha zanja.

En el módulo I se instaló 254 metros de tubería principal, y 4882 metros de tubería secundaria, mientras que en el módulo II se instaló 238 metros de tubería principal y 5130 metros de tubería secundaria.



Figura 61. Drenaje



Figura 62. Colocación De Tubería Pvc



Figura 63. Instalación de la tubería de pvc



Figura 64. Instalación de la tubería pvc



Figura 65. Trepano para abrir tuberías



Figura 66. Hidrantes a 54 metros c/u

C) Instalación del sistema de bombeo (motores, turbinas y centrifugas)

En esta actividad participan varios departamentos del Ingenio Magdalena, ya que la construcción de las bases de concreto está a cargo de Obra Civil, y la instalación de

motores, bombas centrífugas y turbinas es a cargo del departamento de Maquinaria Agrícola S.A. Magrisa. Estas actividades las desarrollaron en promedio en 3 días por módulo de riego.



Figura 67. Instalación del equipo de bombeo

Figura 68. Instalación cuello de ganso

D) Prueba hidráulica

Esta actividad se realiza previo a la operación formal del sistema de riego, y a la entrega del proyecto al administrador de la finca, el objetivo principal es evaluar si el proyecto instalado cumple con los parámetros técnicos establecidos para la operación, para lo cual conlleva varios procedimientos como: lavado de tubería durante dos horas, donde se utilizan las purgas de lavado, quitando el tapón de 4", chequeo de la instalación de pvc para visualizar fugas; en caso que lo hubieran se enmiendan, chequeo de presiones del sistema de bombeo por medio del cual se trabajó a 65 PSI con 1800 Revoluciones por minuto y del primer y último aspersor del ramal crítico a 45 PSI, chequeo de caudal a 1300 gpm. Si evaluamos todos estos parámetros y coinciden con los establecidos, se procede a la entrega del proyecto al administrador.



Figura 69. Chequeo de presiones

Figura 70. Lavado de tubería el último aspersor

E) Entrega del proyecto

Por último se procedió a realizar un finiquito de entrega del proyecto con todas las firmas de las personas responsables de cada uno de los módulos de riego. Los criterios para recibir satisfactoriamente el proyecto fueron:

- a) Que no existieran fugas en el sistema
- b) Que la presión de operación fuera la requerida
- c) Que el caudal fuera el necesitado.

Tomando en cuenta las mismas variables de la prueba hidráulica.

3.4.2.7 EVALUACIÓN

A) En finca Montebello para la zafra 2,012-2,013 se realizó la perforación de dos pozos mecánicos, dichos pozos fueron perforados a 830 pies, generando caudales de 1,800 a 1,900 gpm. Para la zafra 2,013-2,014 se habilitó el uso de dichos pozos por lo que se implementó un sistema de miniaspersión semifijo en cada uno de los dos sectores productivos, para ello fue necesario invertir en la instalación de tubería y accesorios pvc para la conducción principal del sistema como también tubería y accesorio de aluminio de 2" para la distribución del agua en el cultivo.

B) Debido a los caudales generados el pozo del sector I tuvo la capacidad de cubrir 182 ha dejando 51 ha con un sistema de aspersión móvil con el que ya contaba la finca abasteciéndose de una noria, para el caso del sector II se cubrió 177 ha con el pozo mecánico y las 105 ha. restantes fueron cubiertas por otro equipo de aspersión móvil siendo abastecido por otra noria ya establecida.

3.4.2.8 CONSTANCIAS

En la figura 71 se presenta los planos de los módulos I y II, Finca Montebello, Aldea Botón Blanco, Puerto San José, Escuintla, Guatemala

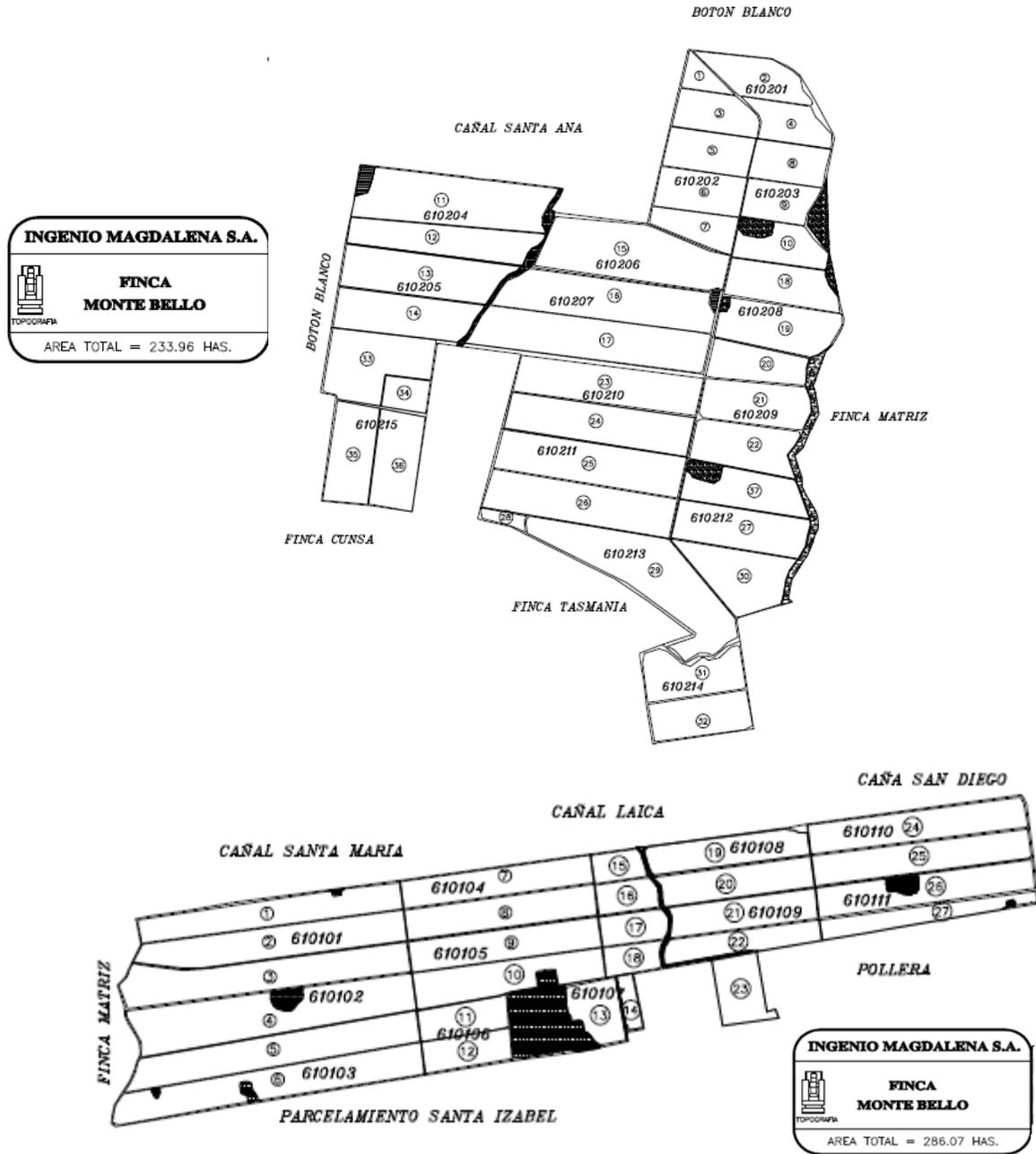


Figura 71. Planos finca Montebello, módulo I y II

3.4.3 BIBLIOGRAFÍA

1. Ingenio Magdalena, GT. (2014). Historia del Ingenio Magdalena (en línea). Guatemala. Consultado 14 mar 2014. Disponible en: http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page_historia
2. Moya, T. 2009. Riego localizado y fertirrigación. 4 ed. Madrid, España. Mundi-Prensa. 70 p.
3. Ortiz, Urbina, K.R. 2011. Centro artesanal, Puerto de San José, Escuintla (en línea). Tesis Arquitectura, Guatemala, USAC. 199 p. Consultado 19 mar 2014. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_2880.pdf
4. Pérez, J. 2011. Manual para determinar la calidad del agua para riego agrícola (en línea). México, Universidad Veracruzana. 49 p. Consultado 8 nov 2014. Disponible en <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31418/1/josemanuelperezleon.pdf>
5. Pinto, J. 2011. Diseño del sistema de riego por miniaspersión para caña de azúcar (*Saccharum spp.*), diagnóstico y servicios en la Finca San Nicolás, del Ingenio Magdalena, en el parcelamiento La Máquina, Cuyotenango, Guatemala, C.A. (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 124 p, Consultado 18 de mar 2014. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2679.pdf