

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DE
SUBSOLADO PROFUNDO PARA LA EMPRESA PALMAS
OLEAGINOSAS BUCARELIA S. A.**

**JAIME ENRIQUE ZARATE COLMENARES
CIRO ALFONSO VILLAMIZAR RIVERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.004

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DE
SUBSOLADO PROFUNDO PARA LA EMPRESA PALMAS
OLEAGINOSAS BUCARELIA S. A.**

**CIRO ALFONSO VILLAMIZAR RIVERA
JAIME ENRIQUE ZARATE COLMENARES**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

**RICARDO ALFONSO JAIMES ROLON.
Ingeniero Mecánico**

Codirector

**ADOLFO LEON ARENAS LANDINEZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.004

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico especialmente a 2 personas muy importantes en mi vida que sin importar las circunstancias siempre creyeron en mí.

A un hombre del campo, sencillo y trabajador que durante su vida mantuvo el apoyo incondicional a este sueño, que hoy es una realidad y a una gran mujer que dedico toda su vida al cuidado de su familia, especialmente sus nietos.

Con todo mi cariño para mi papa y mi nonita:

DON RAFAEL ANTONIO ZARATE RAMIREZ

(Q.E.P.D).

Y

DOÑA MICAELINA COLMENARES MARIN

(Q.E.P.D).

Donde quieran que estén: "GRACIAS POR TODO".

Este triunfo también es de ustedes.

A mi familia, especialmente a mi mamá: **Silvinia Colmenares** por toda su paciencia y amor, a mis hermanos por su apoyo, a Myriam y al ángel que DIOS me dio de compañía, mi hijo **Sebastian**.

A todos gracias por su apoyo y comprensión.

Jaime Enrique Zárate Colmenares

DEDICATORIA

A las personas que creyeron, se involucraron e hicieron posible el desarrollo del presente trabajo.

Ciro Alfonso Villamizar Rivera

“Por corona tengo la cara del Sol
es mi trono una piedra de amolar
es mi cetro el cabo de un azadón
y es mi capa una ruana sin cardar”

El Rey Pobre
Jorge Veloza

A todos los campesinos y
agricultores de Colombia

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer públicamente la ayuda de las siguientes personas:

Al Ing. Mecánico **Ricardo Alfonso Jaimes Rolón**, director del proyecto por su amistad, respaldo, paciencia y colaboración oportuna.

Al Ing. Mecánico **Adolfo León Arenas Landinez**, codirector del proyecto.

Al Dr. **Tito Eduardo Salcedo**, Gerente General Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.

Al Ing. Hugo Valderrama, director Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga.

Al Ing. Eduardo Castañeda, Palmas Oleaginosas Bucarelia S. A.

Al Ing. Guillermo Estrada, Palmas Oleaginosas Bucarelia S. A.

Al Ph. D. Eduardo Villaneda, Investigador Corpoica Tibaitata.

Al Ph. D. Gilberto Alonso Murcia Contreras, Corpoica Tibaitata.

Al Dr. Víctor Hugo Morales, Ex - director Corpoica Bucaramanga.

Al Dr. Hernando Méndez Aldana. Coordinador de Investigación CORPOICA.

Al Ing. Henry Mateus Echeverría, Investigador E. E. EL NUS Corpoica Antioquia.

Al Ing. Humberto Rangel Lizcano, Director Regional SENA.

Al Dr. Eduardo Rodríguez García, Jefe Centro Sector Agropecuario-SENA.

Al Dra. Esperanza Maldonado, Directora DIF - UIS

A todas aquellas personas que colaboraron en la realización de este proyecto, especialmente nuestros compañeros y amigos de la Escuela de Ingeniería Mecánica-UIS, Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga y Palmas Oleaginosas Bucarelia, Corregimiento El Pedral, Municipio de Puerto Wilches.

CONTENIDO

	pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>1. PREPARACIÓN DE SUELOS PARA EL CULTIVO</u>	5
1.1. RELACIÓN SUELO-LABRANZA	5
1.2. OBJETIVOS DE LA PREPARACIÓN DEL SUELO	8
1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA	8
1.4. LABRANZA DE SUBSOLACIÓN	13
1.4.1. Ventajas	14
1.4.2. Desventajas	15
1.4.3. Requisitos iniciales para Subsulado	15
1.4.4. Maquinaria para realizar Subsulado	16
1.4.5. Tipos de subsoladores	16
1.4.6. Componentes de un subsolador	19
1.4.7. Aditamentos especiales	21
1.4.8. Operación de subsulado	23
<u>2. INFLUENCIA DE LA MECANICA DE SUELO EN LA LABRANZA DE SUBSOLACION</u>	25
2.1. MARCO CONCEPTUAL DE LA MECÁNICA DE SUELOS	25
2.2. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO	26
2.2.1. Cohesión	26
2.2.2. Adhesión	28

2.2.3. La fricción interna del suelo	28
2.2.4. La fricción suelo/ herramienta	29
2.3. TEORÍA DE COULOMB APLICADA A PARÁMETROS SUELO/SUELO	30
2.4. TEORÍA DE COULOMB APLICADA A LOS PARÁMETROS SUELO / HERRAMIENTA	34
2.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS	36
2.5.1. Horizonte	37
2.5.2. Resistencia del suelo	38
2.5.3. Textura	40
2.5.4. Humedad	40
2.5.5. Densidad	43
2.5.6. Infiltración	43
2.6. INFLUENCIA DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN LAS HERRAMIENTAS DE LABRANZA	44
2.7. FUERZA DE ARRASTRE EN LAS OPERACIONES SIMPLES DE LABRANZA	45
2.8. INFLUENCIA DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN LA LABRANZA DE SUBSOLACIÓN	49
2.9. EFECTO DE LAS HERRAMIENTAS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL SUELO	51
<u>3. CULTIVO DE LA PALMA AFRICANA</u>	54
3.1. PALMA AFRICANA DE ACEITE	54
3.1.1. Conceptos Básicos	54
3.1.2. Requerimientos para el cultivo de palma africana	55

3.1.3. Caracterización de los suelos para cultivo de palma africana en el municipio de Puerto Wilches, Vereda El Pedral	58
3.1.4. Evaluación Edafoclimatica de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de Palma de Aceite	62
3.2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE SUELOS EN EL CULTIVO DE PALMA AFRICANA	66
3.2.1. Compactación de suelo en cultivos de palma africana	68
3.2.2. Renovación del cultivo	69
3.3. PRESENTACIÓN DEL SUBSOLADO COMO SOLUCIÓN	71
4. <u>VARIABLES DE DISEÑO EN EL SISTEMA DE LABRANZA POR SUBSOLADO</u>	72
4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO	72
4.2. CUANTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO MEDIANTE PRUEBAS A SUBSOLADORES EXISTENTES EN LA REGION	73
4.2.1. Materiales y métodos	75
4.3. REALIZACION DE PRUEBAS PROPIEDADES FÍSICAS DE SUELOS	76
4.4. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS PRUEBAS	77
4.4.1. Resistencia a la Penetración	77
4.4.2. Horizonte	78
4.4.3. Densidad Real y Densidad Aparente	79
4.4.4. Porosidad total (E)	79
4.4.5. Infiltración	81
4.4.6. Humedad	82
4.4.7. Textura	83

4.4.8. Limites de Atterberg	83
4.4.9. Pruebas de campo de las herramientas de subsolado existente en la región	84
4.5. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DISEÑO	85
4.5.1. Variables cuantificadas	87
4.5.2. Variables seleccionadas	88
4.5.3. Variables adicionales	89
4.5.4. Variables generadas por la geometría	92
4.6. MODELAMIENTO MATEMATICO DEL COMPORTAMIENTO DEL DIENTE	92
4.6.1. Análisis estático de las fuerzas resistivas en una cuña de falla de suelo.(Universal Equation Earth Moving (FEE))	93
4.6.2. Modelo matemático basado en la norma ASAE D497.4 Mar 1999 Numeral 4.1.1.	98
4.7. CALCULO DE LA FUERZA DE CORTE Y CONSUMO DE POTENCIA EN EL SUBSOLADOR PROTOTIPO	100
5. <u>DISEÑO EQUIPO SUBSOLADOR</u>	101
5.1. CONSIDERACIONES GENERALES	101
5.2. SUBSOLADOR	102
5.2.1. Tipos de canilla. Estudio por elementos finitos	104
5.2.2. Resultados Obtenidos	105
5.2.3. Diseño del puntero del subsolador	107
5.3. SISTEMA DE SEGURIDAD DEL SUBSOLADOR (FUSIBLE)	110
5.3.1. Funcionamiento del fusible	111
5.3.2. Diseño del fusible	112

5.3.1. Diseño del resorte	115
5.3.2. Diseño tornillo Fusible	120
5.3.3. Diseño pernos unión canilla – fusible	123
5.4. PORTAHERRAMIENTAS	124
5.5. DISCO DE CORTE	128
5.5.1. Análisis Cinemático	129
5.6. RODILLO DESTERRONADOR	134
5.7. SISTEMA DE ENGANCHE	135
5.8. SELECCIÓN DEL TRACTOR BASADO EN DATOS EXPERIMENTALES Y NORMAS ASAE	136
5.9. POTENCIA GENERADO POR IMPLEMENTOS ADICIONALES	143
5.10. MODELAMIENTO CAD COMPONENTES CONJUNTO SUBSOLADOR	144
6. <u>CONSTRUCCION, PUESTA EN FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS</u>	149
FINALES	
6.1. CONSTRUCCION Y PRUEBA SUBCONJUNTO CANILLA	149
6.1.1. Construcción	150
6.1.2. Montaje	152
6.1.3. Pruebas de campo	152
6.1.4. Resultados	153
6.2. CONSTRUCCIÓN ELEMENTOS RESTANTES DEL PROTOTIPO	160
6.2.1 Subconjunto Bastidor Portaherramientas	160
6.2.2. Construcción del Subconjunto Fusible Reposicionador	164
6.2.3. Construcción del Subconjunto Disco de Corte	167
6.2.4. Construcción del Subconjunto Rodillo Desterronador	169

6.3. ENSAMBLE Y PUESTA A PUNTO DEL PROTOTIPO	172
6.3.1. Prueba inicial del prototipo	172
6.3.2. Proceso de pintura	177
6.3.3. Pruebas finales en taller	178
6.4. PRUEBAS FINALES DEL PROTOTIPO EN LA PLANTACIÓN DE PALMAS OLEAGINOSAS BUCARELIA S.A.	183
6.4.1. Materiales y métodos	183
6.4.2. Resultados de las pruebas	186
6.4.3. Comparación y análisis de resultados de las pruebas finales del prototipo contra pruebas iniciales de subsolador recto	189
6.5. RECOMENDACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL EQUIPO	204
6.5.1. Preparación y mantenimiento del subsolador	204
6.5.2. Preparación del tractor	205
6.5.3. Recomendaciones para el transporte y seguridad	206
6.5.4. Soluciones para ciertos contratiempos	208
7. <u>COSTOS</u>	208
8. <u>CONCLUSIONES</u>	212
9. <u>RECOMENDACIONES</u>	214
<u>ANEXOS</u>	217
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	413

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación suelo labranza	5
Figura 2. Preparación de la cama de siembra	6
Figura 3. Siembra durante la inundación del Valle del Nilo	7
Figura 4. Degradación del suelo generada por el mal uso de maquinaria	7
Figura 5. Clasificación simplificada de labranza	9
Figura 6. Efecto generado por el trabajo en subsolador en el suelo	14
Figura 7. Estallamiento del suelo	14
Figura 8. Agregados de gran tamaño del suelo	15
Figura 9. Subsolador de arrastre	17
Figura 10. Subsolador Montado	17
Figura 11. Subsolador montado en la barra de herramientas	19
Figura 12. Componentes del subsolador	19
Figura 13. Subsolador unido a un cincel	22
Figura 14. Subsolador mas disco de corte	22
Figura 15. Subsolador con Hoja Zanjadora	22
Figura 16. Bala adicionada al subsolador	22
Figura 17. Sistema de aplicación de fertilizantes	22
Figura 18. Subsolador con alas	22
Figura 19. Sección triangular generada por el subsolador en el suelo	23

Figura 20. Profundidad de penetración de un subsolador	23
Figura 21. Suelos con problemas de drenaje	24
Figura 22. Cuña de Falla de Suelo generada por el ataque de la herramienta	26
Figura 23. Relación de la Cohesión Superficial con la Humedad	27
Figura 24. Efecto de la Cohesión Molecular con la Humedad	28
Figura 25. Curvas de esfuerzo de corte vs. Deformación para suelos	30
Figura 26. Suelo durante falla según Ecuación de Coulomb	32
Figura 27. Grafico esfuerzo máximo de corte con el esfuerzo normal	33
Figura 28. Esfuerzo de deslizamiento suelo/herramienta vs. Esfuerzo normal	34
Figura 29. Resistencia al corte para la masa del suelo	35
Figura 30. Componentes básicos del suelo	36
Figura 31. Representación esquemática del perfil de un suelo	37
Figura 32. Perfil del suelo	38
Figura 33. Perfil del suelo lote 10-97 Plantaciones Palmas Bucarelia S.A.	38
Figura 34. Estados característicos de un suelo	39
Figura 35. Sistemas de clasificación de suelos	41
Figura 36. Agua del suelo y su disponibilidad	42
Figura 37. Relación de la Infiltración instantánea con el tiempo	44
Figura 38. Relación de la velocidad de Infiltración contra el tiempo	45
Figura 39. Limites característicos del suelo	48
Figura 40. Efecto del pulimento sobre el ángulo de fricción	48

suelo/metal	
Figura 41. Efecto del deslizamiento suelo/herramienta con la humedad	48
Figura 42. Efecto del ángulo de ataque sobre la fuerza de arrastre	48
Figura 43. Sobrecarga generada por la mala posición de una rueda	49
Figura 44. Influencia del chasis de la herramienta en el flujo del suelo	49
Figura 45. Sobrecarga generada por un diente curvo	49
Figura 46. Subsolador con sistema de vibración	49
Figura 47. Representación esquemática del corte de una herramienta	50
Figura 48. Esquema del entallamiento generado por la herramienta	50
Figura 49. Modelo de falla de un diente angosto	52
Figura 50. Falla de suelo producido por un diente recto y ancho	52
Figura 51. Modelo de falla de diente inclinado hacia atrás	52
Figura 52. Modelo de falla de un diente curvo con restregamiento	52
Figura 53. Modelo de falla de un diente curvo sin restregamiento	52
Figura 54. Volumen del suelo alterado	53
Figura 55. Cultivo Agroindustrial de Palma Africana	54
Figura 56. Lote 10-79. Plantaciones Palma Oleaginosas Bucarelia S.A.	58
Figura 57. Mapa Evaluación Edafoclimática de las tierras para el cultivo de la palma	65
Figura 58. Lote 10-79. Plantaciones Palma Oleaginosas Bucarelia S.A.	68

Figura 59. Despeje del suelo para la implantación de cultivos de palma	69
Figura 60. Adecuación de tierras para la siembra de Palma Africana	71
Figura 61. Trabajo de subsolado	71
Figura 62. Zona de trabajo ideal para el proceso de subsolado	84
Figura 63. Variables del suelo identificadas en pruebas de Perfilometría	85
Figura 64. Estallamiento del suelo generado por el trabajo de subsolado	85
Figura 65. Representación del corte de una herramienta agrícola	95
Figura 66. Representación esquemática del trabajo de una herramienta	95
Figura 67. Representación de una cuña de falla de suelo	96
Figura 68. Diagrama de Cuerpo Libre de una Cuña de Falla de Suelo	96
Figura 69. Elemento del sistema de subsolado	102
Figura 70. Canilla Subsoladora diseñada	105
Figura 71. Puntero Subsolador diseñado	108
Figura 72. Pernos rompibles en tractor	111
Figura 73. Elementos del fusible	112
Figura 74. Simulación Cinemática utilizando Dynamic Designer Motion	113
Figura 75. Ubicación de cargas y restricciones en la canilla	114
Figura 76. Resultados de la fuerzas de reacción en los pasadores	114
Figura 77. Diagrama de cuerpo libre conjunto fusible	115

Figura 78. Curvas de condición contra pandeo critico	116
Figura 79. Diagrama S-N de fatiga	119
Figura 80. Plano Resorte fusible	120
Figura 81. Sistema seguridad del subsolador	121
Figura 82. Plano Tornillo Fusible	123
Figura 83. Plano Bastidor	126
Figura 84. Disco de corte	129
Figura 84. Análisis Cinemático del disco de corte	130
Figura 85. Plano Disco de corte	134
Figura 86. Plano Rodillo desterronador	135
Figura 87. Punto de acople virtual	136
Figura 88. Situación de equilibrio	136
Figura 89. Sistema de enganche	136
Figura 90. Montaje para la cuantificación de la fuerza de corte de un subsolador	137
Figura 91. Análisis estático del tractor utilizado en pruebas	140
Figura 92. Vista general del equipo de Subsulado Profundo	148
Figura 93. Elementos del conjunto canilla subsoladora	150
Figura 94. Elementos del puntero cortados en la Compañía de Aceros	151
Figura 95. Subconjunto montado sobre un bastidor rígido	153
Figura 96. Pase inicial del Subconjunto en un tractor de 50 Hp	153
Figura 97. Canilla a máxima capacidad de penetración	153
Figura 98. Determinación perfil de corte del puntero	153
Figura 99. Estallamiento del suelo generado por el subsolador	159
Figura 100. Sendero de trabajo dejado por el subsolador	159
Figura 101. Elementos del bastidor portaherramientas	160

Figura 102. Enganche posterior para rodillo desterronador	162
Figura 103. Enganche posterior para canilla subsoladora	162
Figura 104. Calentamiento platina para doblado	163
Figura 105. Doblado en prensa hidráulica de platina	163
Figura 106. Soldado enganche central	163
Figura 107. Soldado final del bastidor	163
Figura 108. Maquinado de piezas	163
Figura 109. Ruedas control de profundidad	163
Figura 110. Perfiles Cortados para Estructura fusible reposicionador	167
Figura 111. Manivela	167
Figura 112. Estructura fusible	167
Figura 113. Montaje subconjunto evaluación pares cinemáticos	167
Figura 114. Montaje para corte de aros	171
Figura 115. .Corte aros	171
Figura 116. Estructura Rodillo Desterronador	171
Figura 117. Ensamble conjunto Fusible Reposicionador	172
Figura 118. Equipo diseñado montado en el sistema de enganche tractor	172
Figura 119. Inicio corrida prototipo	173
Figura 120. Pase inicial del prototipo	173
Figura 121. Revisión distancias centros de giro	175
Figura 122. Revisión distancias centros de giro	175
Figura 123. Revisión apoyos para respuesta dinámica del sistema	175
Figura 124. Pandeo del Resorte Reposicionador	175
Figura 125. Prototipo con imprimante anticorrosivo	177
Figura 126. Prototipo con acabados de pintura	177
Figura 127. Subconjunto Canilla Subsoladora	178

Figura 128. Subconjunto Disco de Corte	178
Figura 129. Subconjunto Fusible Reposicionador	178
Figura 130. Subconjunto Rodillo Desterronador	178
Figura 131. Conjunto prototipo montado para pruebas	181
Figura 132. Corrida inicial conjunto	181
Figura 133. Prototipo en régimen de trabajo	181
Figura 134. Surcos y perfiles de suelo incrementado	181
Figura 135. Resorte a máxima compresión sin presentar pandeo	182
Figura 136. Correcta rotación de par cinemático Manivela-Tornillo	182
Figura 137. Detalle del giro y flexión del pasador soporte de la Manivela	182
Figura 138. Flexión Tornillo Fusible inducido por el giro del pasador	182
Figura 139. Subconjunto conservando su estructura después de la falla	182
Figura 140. Colisión interna entre Canilla y Estructura Fusible	182
Figura 141. Conjunto prototipo montado para pruebas	186
Figura 142. Calle de Lote 10-79	186
Figura 143. Prototipo iniciando régimen de trabajo	186
Figura 144. Prototipo en régimen de trabajo	186
Figura 145. Canilla realizando trabajo sobre el suelo	188
Figura 146. Surco trabajado, perfil de suelo incrementado	188
Figura 147. Evaluación del trabajo realizado por la herramienta	188
Figura 148. Perfiles de suelo trabajado	188
Figura 149. Perfil de corte de la Canilla	189
Figura 150. Perfil de suelo incrementado, rompimiento de grano, sin efectuar volteo	189
Figura 151. Perfiles de suelo trabajados, sin efectuar volteo	189

Figura 152. Perfiles de suelo trabajado	189
Figura 153. Esquema comparativo del comportamiento de la canilla recta y la canilla curva	195
Figura 154. Esquema comparativo sistemas de potencia utilizados	200
Figura 155. Esquema comparativo volteo del suelo	203

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación de los sistemas de labranza	9
Tabla 2. Labranza Convencional	10
Tabla 3. Labranza Reducida	11
Tabla 4. Labranza en Bandas	11
Tabla 5. Labranza vertical	12
Tabla 6. Labranza en Camellones	12
Tabla 7. Labranza Cero	13
Tabla 8. Tipos de subsoladores según el número de dientes	18
Tabla 9. Componentes del Subsolador	20
Tabla 10. Aditamentos especiales en el subsolador	21
Tabla 11. Figuras de aditamentos especiales en el subsolador	22
Tabla 12. Valores normales de la cohesión y el ángulo suelo/suelo	29
Tabla 13. Valores de la Adhesión y el ángulo de fricción suelo/herramienta	30
Tabla 14. Horizonte	37
Tabla 15. Rangos para interpretar la humedad	42
Tabla 16. Relación entre la densidad Aparente y la porosidad	43
Tabla 17. Efectos para reducir la fuerza de arrastre	46
Tabla 18. Figuras de efectos para reducir la fuerza de arrastre	48
Tabla 19. Modelo de falla en herramientas	51
Tabla 20. Modelo gráfico de falla en herramientas	52
Tabla 21. Efecto de las herramientas sobre la estructura del suelo	53

Tabla 22. Valores de requerimientos Edafoclimaticos para la Palma de Aceite	56
Tabla 23. Características de la zona Agroecológicas a nivel nacional	62
Tabla 24. Extensión y porcentajes de clases y subclases a nivel nacional	64
Tabla 25. Compactación de suelos agrícolas	70
Tabla 26. Identificación de las variables de diseño y comparación	74
Tabla 27. Resumen de las pruebas de Propiedades Físicas de suelos	77
Tabla 28. Conclusiones resistencia a la penetración	78
Tabla 29. Horizonte	80
Tabla 30. Evaluación de herramientas de subsolado existente en la región	86
Tabla 31. Variables diseño	87
Tabla 32. Valores y unidades utilizadas en las variables cuantificadas	88
Tabla 33. Resumen Variables seleccionadas	89
Tabla 34. Resumen Variables Adicionales	90
Tabla 35. Valores típicos de cohesión y el ángulo de fricción interna	90
Tabla 36. Valores de la adhesión y el ángulo de fricción	91
Suelo/herramienta	
Tabla 37. Variables generadas por la geometría	92
Tabla 38. Resultados norma ASAE de fuerza de corte	99
Tabla 39. Resultados gráficos del programa Cosmos Desing Star para canillas	106
Tabla 40. Resultados gráficos del programa Cosmos Desing Star para Punteros	109
Tabla 41. Tabla de resultados análisis de esfuerzo Puntero	110
Tabla 42. Diseño del resorte por carga y análisis por pandeo	117
Tabla 43. Diseño resorte fusible por fatiga	118
Tabla 44. Chequeo por pandeo del Tornillo fusible	122

Tabla 45. Parámetros de entrada y salida diseño de pernos unión canilla	125
Tabla 46. Resultados gráficos del programa Cosmos Desing Star para Portaherramientas	127
Tabla 47. Tabla de Resultados Análisis de esfuerzos Portaherramientas	128
Tabla 48. Parámetros de entrada y salida análisis cinemático del disco	130
Tabla 49. Resultados gráficos del programa Cosmos Desing Star para Disco de corte	132
Tabla 50. Tabla comparativa de resultados Análisis de esfuerzos Disco de corte	133
Tabla 51. Eficiencia en la barra de tiro	138
Tabla 52. Parámetros de entrada y salida selección del tractor	138
Tabla 53. Valores típicos de Cn para diferentes tipos de suelos	141
Tabla 54. Parámetros de entrada y salida calculo de la tracción del tractor	142
Tabla 55. Parámetros de entrada y salida potencia implementos adicionales	144
Tabla 56. Códigos de elementos del sistema de subsolado	145
Tabla 57. Fabricación elementos canilla subsoladora	150
Tabla 58. Proceso de maquinado canilla	151
Tabla 59. Ensamble canilla subsoladora	152
Tabla 60. Descripción de material, dimensiones, procesos de mecanizado del subconjunto bastidor portaherramientas	161
Tabla 61. Elementos del fusible	164
Tabla 62. Resumen construcción elementos fusible reposicionador	164
Tabla 63. Resumen maquinado y montaje elementos fusible reposicionador	165
Tabla 64. Elementos del disco de corte	169
Tabla 65. Resumen construcción elementos Disco de Corte	169
Tabla 66. Elementos del Rodillo Desterronador	170

Tabla 67. Resumen construcción elementos Rodillo Desterronador	170
Tabla 68. Resumen comportamiento Equipo Subsolador prueba inicial	173
Tabla 69. Resumen diseño sistema de centrado para el Resorte Reposicionador	176
Tabla 70. Resumen comportamiento Equipo Subsolador prueba final	179
Tabla 71. Resumen de pruebas y equipos utilizados en plantación Bucarelia	185
Tabla 72. Resumen de resultados de las pruebas	187
Tabla 73. Fotos prueba final prototipo subsolador	188
Tabla 74. Soluciones para ciertas averías en el subsolador	208

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Normas ASAE	217
Anexo B. Normas ASTM	229
Anexo C. Guía laboratorio de suelos. Ing. Civil- UIS	238
Anexo D. Ecuación de Reece	239
Anexo E. Documentos del proyecto	253
Anexo F. Catálogos técnicos	268
Anexo G. Formatos de pruebas	272
Anexo H. Resultados de pruebas	276
Anexo I. Resultado de pruebas finales prototipo	321
Anexo J. Fotos pruebas	351
Anexo K. Planos	463
Anexo L. Carta al Comité de Trabajos de Grado	----
Anexo M. Paper	409
Anexo N. Formato de Presentación	----

NOMENCLATURA

NOTACIÓN

A	Área, m ² .
D	Diámetro, m.
e	Espesor, m.
g	Aceleración gravitacional, m/s ² .
Ca	Adhesión
C	Cohesión
F	Fuerza
Nc	Coefficiente de cohesión
Nca	Coefficiente de adhesión
Nq	Coefficiente de presión normal.
Na	Coefficiente de Inercia.
Nφ	Coefficiente de peso
P	Fuerza de penetración al corte
q	Recarga
T	Fuerza de corte resultante
V	Velocidad de la herramienta.

GLOSARIO

ANALISIS DE VOLTEO: Reconocimiento del cambio de perfil del suelo al pasar la herramienta sobre el.

ARADO DE CINCEL: Tipo de arado que permite romper el suelo sin invertirlo.

ARADO: instrumento agrícola para labrar la tierra.

AREA DE RUPTURA: área del suelo estallada al subsolar.

ASAE: Asociación Americana de Ingenieros Agrónomos.

BARRA PORTAHERRAMIENTAS: Viga cuadrada o rectangular en la cual pueden montarse las barras de trabajo a la separación deseada.

BARRA SOPORTE o CANILLA: Herramienta de trabajo que produce la fragmentación del suelo, generalmente está construida de una platina de una pulgada de espesor, al frente lleva una cuña intercambiable llamada canillera y es la que sufre el desgaste, pudiéndose cambiar cuando esto ocurre.

BARRENO: Sonda para la toma de muestras del suelo.

CALICATA: Perforación para identificar el horizonte de un suelo.

CANILLA: Barra vertical, inclinada o curva donde se monta la herramienta de ataque.

CENIPALMA: Centro de Investigación en Palma de Aceite.

COMPACTACION: Pérdida del espacio poroso del suelo producida por fuerzas externas que actúan sobre su superficie.

DENSIDAD APARENTE: Relación entre el peso por unidad de volumen, incluyéndose en este el espacio poroso.

DENSIDAD REAL: Densidad real de las partículas sin incluir el volumen de los poros.

DESARROLLO RADICULAR: Desarrollo o crecimiento de las raíces.

DESARROLLO VEGETATIVO: Desarrollo de la planta como un sistema.

DIENTE: Ver subsolador.

ENGANCHE TRES PUNTOS: Acople mas común para el tractor con tres brazos que convergen hacia el.

EROSION: Pérdida del suelo producida por agentes naturales y manejo inadecuado.

ESTALLAMIENTO DEL SUELO: Ver área de ruptura.

ESTRUCTURA: Características físicas determinadas por el ordenamiento en los suelos de las partículas arenas limos y arcillas.

FEDEPALMA: Federación Nacional de Cultivadores de Palma Africana.

HORIZONTE: Disposición de las diferentes capas del suelo.

HUMEDAD: Cantidad de agua retenida en un volumen de suelo.

INDICE DE CONO: Ver Resistencia a la Penetración.

INDICE DE TIRO: Cantidad total de fuerza, energía o potencia que demanda la operación de un implemento en condiciones determinadas de suelo.

LABRANZA DE SUBSOLACIÓN: Práctica de recuperación de suelos degradados debido a problemas graves de compactación.

NIVEL FREÁTICO: Profundidad a la que se encuentra en el suelo el primer manto o capa de agua.

NUTRICIÓN VEGETAL: Conjunto de procesos que contribuyen a la conservación, crecimiento y desarrollo de las plantas.

PATINAMIENTO: Reducción de la velocidad de avance de la máquina.

PENETROMETRO: Instrumento para medir la resistencia a la penetración del suelo.

PERFIL DE HERRAMIENTA: Angulo de ataque de la cuchilla o el pie de un subsolador.

PERFIL DEL SUELO: ver horizonte.

PIE: Prolongación del extremo inferior de la canilla sobre el que se monta la punta antidesgaste.

PROFUNDIDAD REAL DE PENETRACION: Profundidad máxima del subsolador al realizar trabajo sobre el suelo.

RESISTENCIA A LA PENETRACION: Esfuerzo que realiza el suelo al sufrir esfuerzo de corte.

RESISTENCIA A LA RODADURA: Fuerza de fricción paralela a la dirección de trabajo requerida para vencer la resistencia del suelo causada por el avance de una máquina al remolcar un implemento sobre la superficie del suelo.

SEMOVIENTE: Animales utilizados en las labores de plantación.

SUBSOLADOR CANILLA PARABOLICA: Subsolador con su canilla curvada en forma parabólica inclinada hacia atrás.

SUBSOLADOR CANILLA RECTA: Subsolador con su canilla en forma recta.

SUBSOLADOR: Arado que realiza labores de rotulación a mayores profundidades, mejorando la infiltración del agua, aireación, drenaje y penetración de las raíces.

TAXONOMIA DE SUELOS: Ciencia que ocupa de la clasificación de los suelos.

TEXTURA: Características físicas de los suelos determinada por la proporción relativa de las partículas arena limos y arcillas.

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DE SUBSOLADO PROFUNDO PARA LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS BUCARELIA S.A.*

AUTORES:

Jaime Enrique Zárate Colmenares.

Ciro Alfonso Villamizar Rivera. **

PALABRAS CLAVES:

Subsolador, Subsulado, Labranza Profunda, Suelo, Compactación, Palma Africana.

DESCRIPCIÓN:

La empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. cuenta con programas orientados al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, a partir de estudios se determinó la presencia de compactación en sectores específicos de la plantación.

Las inquietudes son planteadas a la Escuela de Ingeniería Mecánica y a partir de ellas se inicia el proceso de investigación preliminar, que involucró entes oficiales tales como Corpoica, el SENA y la Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga. En esta etapa se orientó la solución a partir de la identificación y cuantificación de las variables mecánicas y agrológicas que influyen en el diseño y construcción de una herramienta agrícola, tipo subsolador. Para ello se determinó la realización de una serie de pruebas fundamentadas en normas técnicas, y procedimientos establecidos por la ASAE.

En la etapa de diseño, estas variables fueron utilizadas en la formulación matemática recomendada por las normas internacionales, que rigen el desarrollo de maquinaria agrícola; y para la cuantificación y comparación de los resultados obtenidos. El modelamiento matemático utilizó programas basados en elementos

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Ricardo Jaimes

finitos, tales como: Solid Edge V-11 Academic Copy, Dynamic Designer Motion y COSMOS DesingSTAR 3.0

Con base en la evaluación de los modelos se procedió a la etapa de construcción, fundamentada en el correcto seguimiento de los procesos y procedimientos desarrollados para la fabricación y maquinado de las piezas. Lo anterior para garantizar que cada uno de los componentes cumpla con los requerimientos de diseño.

Finalmente, después de una serie de pruebas preliminares orientadas al reconocimiento de las potenciales fallas, se procedió a la realización de las pruebas finales en plantación, bajo una metodología similar a la seguida en las pruebas iniciales. Realizando los respectivos análisis y comparaciones a los resultados, se concluyó por parte de la Empresa y la Escuela la versatilidad del diseño.

SUMMARY

TITLE:

DESING AND CONSTRUCTION THAN SUBSOILING PROFUNDING EQUIPMENT TO PALMAS OLEAGINOSAS BUCARELIA S.A ENTERPRISE*

AUTHORS:

Jaime Enrique Zárate Colmenares.
Ciro Alfonso Villamizar Rivera. **

KEY WORDS:

Subsoiler, Sub soiling, Deep Tillage, Soil, Compaction, African Palm-tree.

DESCRIPTION:

Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. enterprise has many programs to adjust of soil's physical properties; from studies they found Compaction problems in some specific areas.

The problem has been presented to Mechanical Engineering School, and it began the preliminary investigation process, these process involved official's entities, i.e. Corpoica, SENA and Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga. This stage oriented the solution from identification and quantification of agrologicals and physics variables that have incidence in the design and construction of an agricultural tool, like a Subsoiler. For do this was determined the realization of any series of proves based in country's technical norms and procedures.

Desing stage these variables has been utilized in the mathematical formulation recommended by international norms, who directs agricultural machinery development; additionally to comparison and quantification of results. Mathematical modeling used software based on finite elements i.e. Solid Edge V-11 Academic Copy, Dynamic Designer Motion y COSMOS DesingSTAR 3.0

* Degree Work.

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Ricardo Jaimes.

Regents by models evaluation, start construction stage, which was based in the correct following of development proceeding and process to pieces' fabricate and machinate. All to guarantee each one of components fulfill with designs requirements.

Finally, after of many series preliminary probes oriented to recognition that potential fails, has been started final probes in the farming, under very similar methodology, like an initial probes. Doing respectably result's analysis and comparisons has been concluded by Enterprise and School the design versatile.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país de vocación agroindustrial, su economía esta basada fundamentalmente en la exportación de productos primarios tales como el café, la caña de azúcar, el banano, el aceite de palma africana entre otros.

Las nuevas políticas macroeconómicas que gobiernan la gran mayoría de países, han conllevado a la aplicación de la tecnología en todas las etapas del cultivo, tales como en la siembra, la cosecha, procesamiento y comercialización de los productos, esto con el objeto de hacerlos mas competitivos en el orden mundial.

El cultivo de palma africana no se quedado atrás, la Federación Nacional de Cultivadores de Palma Africana FEDEPALMA, creó un ente investigativo llamado CENIPALMA, Centro de Investigación de Palma Africana, donde se han estudiado la gran mayoría de variables que influyen directa e indirectamente en la eficiencia de los cultivos, dando recomendaciones a los cultivadores para así aumentar la producción neta por hectárea, el propósito no es tener grandes extensiones de cultivo, sino aumentar el nivel de producción de los cultivos existentes.

Este sector, viene dando una alta prioridad a la investigación y la tecnología mediante programas de mejoramiento genético, sanidad, fisiología y nutrición del cultivo; riego; productividad de los procesos extractivos del aceite de palma y sus derivados; beneficios en la salud y nutrición humana y reducción del impacto ambiental.

Para su consolidación futura, esta cadena productiva requiere un mayor dinamismo en nuevas siembras y renovación de plantaciones viejas; profundizar el proceso de

generación y adopción de nuevas tecnologías y la modernización de las plantas extractoras.

En la parte de suelos se han llevado, gracias a convenios con otras entidades publicas, estudios de requerimientos edafológicos¹ mínimos para el cultivo de palma africana, así como la valoración de los suelos colombianos para este cultivo* *. Con respecto a la degradación poco se ha estudiado sobre el tema, no hay criterios de comparación técnicos que permitan concluir cuando un suelo con cultivos de palma africana se encuentra degradado.

Empíricamente se sabe que la compactación del suelo es un problema de degradación influyente en los resultados de producción de un cultivo, generado por el uso irracional de maquinaria agrícola.

El presente trabajo pretende solucionar o al menos minimizar este problema, buscando además que los palmeros utilicen criterios técnicos e ingeniérriles para la utilización o no del subsolador, eliminando la cultura de realizar subsolado por costumbre.

La primera etapa se basó en la identificación de las necesidades de la empresa, cuantificando el problema a solucionar, por medio de visitas realizadas a la plantación. El proceso de recopilación, procesamiento y valoración de la información fue la base fundamental del proyecto, las relaciones creadas con entidades del orden regional y nacional permitieron dar un enfoque de investigación al presente trabajo de grado. Las entidades que se vincularon y aportaron conocimientos fueron: Palmas Oleaginosa Bucarelia S.A.; Instituto Colombiano Agropecuario-Corpoica, regionales Bucaramanga, Barrancabermeja y Tibaitata-Cundinamarca; Servicio Nacional de

¹ Para mayor claridad ver la siguiente bibliografía **STALLINGS, J. H.** *El Suelo, su Uso y Mejoramiento.* México. Compañía Editorial Continental. 1972.

* * Para mayor claridad ver la siguiente bibliografía, **ROMERO, Mandius.** *Evaluación Edafológica de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de palma de aceite.* Bogota. 1999.

Aprendizaje SENA, centros Girón, Piedecuesta y El Playón; Federación Nacional de Cultivadores de Palma Africana FEDEPALMA; Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional-Bogotá DC; Instituto de Educación a Distancia-INSED-UIS

Con todo lo anterior y obteniendo el apoyo logístico de la Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga, se planearon y realizaron pruebas de campo en los lotes 10-79 y 10-97 , perteneciente a la empresa palmas Oleaginosas Bucarelia, localizadas en el corregimiento el Pedral del municipio de Puerto Wilches- Santander. Estas pruebas fueron divididas en dos grandes grupos, el primero denominado pruebas de diseño, en las cuales fueron cuantificadas propiedades físicas del suelo y herramientas de subsolado utilizadas en la región, los datos suministrados por estas pruebas fueron utilizadas en la formulación matemática y fueron base fundamental en el diseño de los elementos del subsolador, las segundas denominadas pruebas de comparación, en las cuales se cuantificaron propiedades físicas que servirían mas adelante en la comparación y valoración de los resultados obtenidos en el subsolado.

El siguiente paso consistió en la valoración matemática, queríamos obtener modelos que relacionaran la gran mayoría de variables identificadas y cuantificadas en las pruebas de campo, fue así como se siguieron dos modelos matemáticos suministrados por la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas ASAE, la Ecuación de Universal del movimiento del suelo (Reece, 1965)² y la norma ASAE D497.4 MAR99* *, se buscaba obtener el valor de la fuerza generada por la herramienta sobre el suelo, que junto con la velocidad de operación obteníamos la potencia necesaria en la barra de tiro y con la formulación dada por la ASAE conocer la potencia en la salida del motor.

² Para mayor claridad ver Anexo D.

** Para mayor claridad ver Anexo A

La sistematización utilizada en el procesamiento, valoración de los datos, diseño de la herramienta y valoración de los esfuerzos generados, se dio utilizando para ello programas de computador tales como Excel, Mathcad, Solid Edge, Dynamic Designer Motion y Cosmos Desing Star.

La construcción de la máquina implicó la elaboración inicial de un prototipo de canilla, en el cual se evaluaron y corrigieron las diferentes variables presentes en el diseño. Con los datos obtenidos se construyó la máquina en los talleres de la Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga, ubicadas en Piedecuesta, esta máquina fue probada en las plantaciones de la empresa en Puerto Wilches, entrando a valorar los resultados obtenidos por comparación directa, entre los datos antes y después del subsolado.

1. PREPARACIÓN DE SUELOS PARA EL CULTIVO

En este capítulo se estudiarán los conceptos y los objetivos básicos de la preparación del suelo, la clasificación de los sistemas de labranza dada por la FAO, llevando por último al desarrollo de la teoría de subsolado y la maquinaria utilizada para esta labor.

1.1. RELACIÓN SUELO-LABRANZA

Desde el punto de vista agrícola, el suelo es el medio donde se desarrollan las plantas, es el sitio también donde las plantas toman los nutrientes, el agua y el aire necesario. El suelo cumple varias funciones importantes en el desarrollo de un cultivo, tales como:

- Su estructuración granular facilita los procesos fisiológicos de respiración y crecimiento radicular, permitiendo el arraigamiento de las raíces y el movimiento de oxígeno y anhídrido carbónico.
- Almacena los alimentos que la planta necesita para su desarrollo.
- Constituye el medio ambiente necesario para que se produzcan los procesos químicos de intercambio y absorción de elementos nutritivos y agua (Ver Fig 1).

Figura 1. Una buena relación suelo labranza, permite crear medios óptimos para la agricultura



Fuente: Apuntes del Ing. Alfredo Parada Corrales. Diseño Maquinas III.

La preparación del suelo es una de las labores que tiene mayor influencia en la producción de cultivos. Con las labores de preparación se va generando una capa de suelo llamada cama de siembra, cuyas características influyen directamente sobre la buena germinación de la planta. Una buena cama de siembra resulta de fundamental importancia para la obtención de rendimientos adecuados para cualquier tipo de cultivo (ver Fig. 2).

Figura 2. La preparación de la cama de siembra como parte fundamental en cualquier tipo de cultivo



Fuente: Apuntes del Ing. Alfredo Parada Corrales. Diseño Maquinas III.

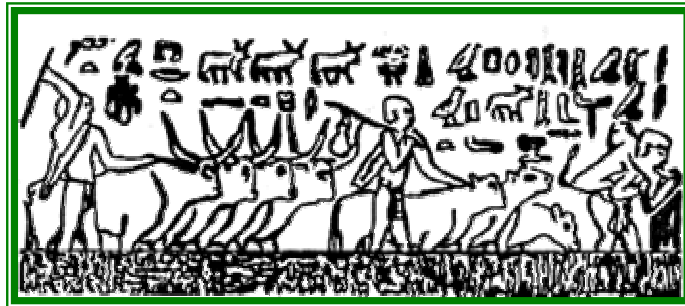
Las características de la cama de siembra son:

- Permitir fácil penetración del agua.
- Retención de humedad favorable.
- Capacidad de aire adecuada.
- Resistente a los agentes erosivos.
- No debe oponer mucha resistencia a la penetración radical.

A pesar de que se trata de una de las tareas más antiguas que utiliza la agricultura (Ver Fig. 3), la preparación del suelo no siempre corresponde a tecnologías derivadas del estudio específico de un problema, sino a costumbres heredadas de

generaciones anteriores. Sin embargo, no se puede justificar ninguna operación de cultivo, basándose solamente en tradiciones y costumbres.

Figura 3. Siembra durante la inundación del Valle del Nilo.



Fuente: Apuntes del Ing. Alfredo Parada Corrales. Diseño Maquinas III.

Una buena preparación del suelo requiere la participación de equipos apropiados, y de metodología de uso adecuada a las condiciones del medio. El uso inapropiado de una herramienta puede causar daños al suelo (degradación) y no conseguir las condiciones favorables para el establecimiento del cultivo. (Ver Fig. 4)

Figura 4. Degradación del suelo generada por el mal uso de maquinaria (compactación).



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 194.

1.2. OBJETIVOS DE LA PREPARACIÓN DEL SUELO

Los principales objetivos para preparación de suelo son:

- Crear condiciones favorables a la circulación de agua y gases en el perfil arable, facilitando el desarrollo radicular del cultivo.
- Dejar el suelo en condición óptima para la germinación.
- Controlar y destruir las malezas que compiten con el cultivo.
- Aumentar la capacidad de retención de agua del suelo.
- Destruir los insectos que constituyen plagas, sus larvas, huevos y lugares de desarrollo.
- Incorporar residuos vegetales y fertilizantes promoviendo un aumento de la materia orgánica.

1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA

Constituyen las variadas formas de acondicionar el suelo para establecer un cultivo determinado. Los criterios para determinar los métodos de preparación de suelos incluyen, entre otros:

- El tipo de energía.
- La maquinaria y el tiempo disponible para realizar cada labor.
- La cantidad de labores involucradas, la secuencia y el distanciamiento.
- La superficie a ser trabajada, características físicas y tipo de cubierta.
- Las condiciones del tiempo y el clima.
- La disponibilidad de mano de obra.
- La época del año.

Existe confusión en la literatura acerca de la terminología de la labranza, porque muchos de los términos utilizados son muy generales, y porque además existe un

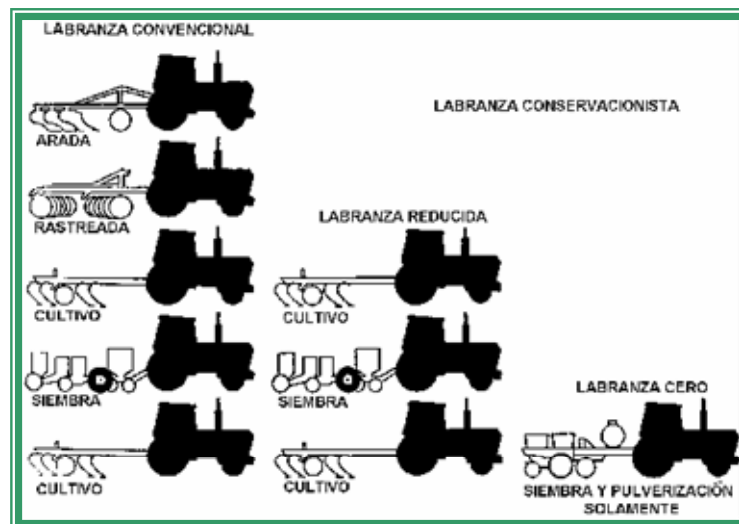
gran número de diferentes sistemas que varían en los implementos, las combinaciones de los implementos y las intensidades de laboreo. La Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO presenta un boletín con la clasificación de los sistemas de labranza. (Ver Tabla 1), la cual puede ser resumida en la figura 5.

Tabla 1. Clasificación de los sistemas de labranza.

CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA	
<p>LABRANZA CONVENCIONAL</p> <p>(ver tabla 2)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Labranza Primaria 2. Labranza Secundaria 	<p>LABRANZA CONSERVACIONISTA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Labranza Reducida (Ver tabla 3) 2. Labranza Cero (Ver tabla 7) 3. Labranza Vertical (Ver tabla 5) 4. Labranza en Camellones(Ver tabla 6) 5. Labranza Mínima 6. Labranza en Bandas (Ver tabla 4)

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 5. Clasificación simplificada de labranza.



Fuente: FAO. Los principales tipos de labranza. 2001.

Tabla 2. Labranza Convencional.

LABRANZA CONVENCIONAL		
CONCEPTO	El principio de la labranza convencional se basa en la inversión del suelo con el objetivo de controlar las malezas.	
VENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Controla muy bien las malezas, menor costo de herbicidas. 2. Permite el control de enfermedades e insectos al enterrar los rastrojos de los cultivos. 3. Facilita la incorporación de fertilizantes, cal, pesticidas y herbicidas pre-siembra. 4. Facilita el aflojamiento del perfil, de capas compactadas. 5. Apto para la incorporación de pastos. 6. Crea una superficie rugosa que mejora la infiltración. 	
DESVENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los suelos quedan desnudos, y por lo tanto susceptibles al encostramiento y a la erosión hídrica y eólica. 2. Requieren muchos equipos para las diferentes operaciones. 3. Para ahorrar tiempo a menudo se utilizan tractores pesados y grandes que aumentan la compactación. 4. Mayor consumo de combustible. 5. El subsuelo puede eventualmente llegar a la superficie lo cual a su vez podría provocar problemas de germinación y del crecimiento inicial del cultivo 6. La inversión y las muchas labranzas del suelo resultan en un suelo blando y susceptible a la compactación. 7. La base de la vertedera alisa el suelo resultando en el tapado de los poros lo que perjudica la permeabilidad de la capa superficial. 8. Al arar cada año a la misma profundidad se forma una zona compactada, el "piso de arado" 	
MAQUINARIA	PRIMARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Arado de vertedera • Arado de discos
	SEGUNDARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Rastra de discos • Rastra de dientes

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 3. Labranza Reducida.

LABRANZA REDUCIDA	
CONCEPTO	Sistema de labranza donde hay menor frecuencia o menor intensidad de labranza en comparación con el sistema convencional.
VENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1.Reduce el consumo de combustible. 2.Reduce el tiempo de trabajo 3.Reduce los equipos requeridos. 4.Las condiciones de germinación de las semillas son mejor que en labranza cero. 5.Además hay mayor flexibilidad en el control de malezas.
DESVENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muchas veces queda una baja cobertura de rastrojos 2. La formación de un piso de arado 3. Las ondulaciones superficiales dificultan la siembra y por lo tanto la germinación 4. Dificultad para incorporar uniformemente los herbicidas pre-siembra. 5. Tiende a pulverizar los suelos
MAQUINARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Con arado de cincel • Con rastra de discos • Con rotocultor

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 4. Labranza en Bandas.

LABRANZA EN BANDAS	
CONCEPTO	En este sistema se preparan hileras para la siembra de sólo 5 a 20 cm de ancho y 5 a 10 cm de profundidad. El suelo entre las hileras no es disturbado, solamente se controlan las malezas y queda con una cobertura protectora de malezas muertas y rastrojos.
VENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. El aflojamiento del suelo en las bandas da buenas condiciones para la siembra y germinación de la semilla. 2. Se puede usar una sembradora convencional. 3. La presencia de una cobertura protectora sobre el suelo entre las bandas facilita la infiltración de la lluvia. 4. Hay menos problemas de erosión y encostramiento en el suelo. 5. Menor uso de combustible, gasto de equipos y menos tiempo para preparar las tierras. 6. No se requieren tractores de gran potencia. 7. Es fácil colocar fertilizantes en las bandas de suelo removido. 8. El sistema es apto para suelos compactados y suelos endurecidos
DESVENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es más difícil preparar las bandas con implementos convencionales 2. Es necesario maquinaria especial 3. Puede formar costras
MAQUINARIA	Hay variaciones en el tipo de maquinaria, pero la mayoría tiene adelante un disco cortador, luego un fleje o disco para aflojar el suelo y atrás una unidad de siembra como en las sembradoras directas. A veces hay ruedas pesadas sobre la punta del cincel para evitar la formación de agregados grandes.

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 5. Labranza vertical.

LABRANZA VERTICAL	
CONCEPTO	Utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo
VENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mejora la productividad de los suelos. 2. Causan poca compactación. 3. Hay menos descomposición de la materia orgánica
DESVENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dificultad de controlar mecánicamente las malezas 2. Incide en incrementos de plagas y enfermedades 3. Alto consumo de potencia y por lo tanto de combustible 4. No es aconsejable su implementación en suelos muy enmalezados
MAQUINARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Arado cincel con discos cortadores • Subsolador • Arado cincel vibrador

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 6. Labranza en Camellones.

LABRANZA EN CAMELLONES	
CONCEPTO	En este sistema los camellones pueden ser anchos o angostos, y los surcos pueden funcionar de dos maneras: atrapar y acumular la lluvia en zonas semiáridas, o drenar el exceso de agua en zonas húmedas.
VENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conservan la humedad en zonas semi-áridas 2. La lluvia queda atrapada entre los surcos donde se infiltra 3. Drenan el exceso de humedad en suelos con problemas de drenaje. 4. mejor germinación y un crecimiento más profundo de las raíces 5. El suelo en los camellones no sufre compactación 6. El sistema de camellones y surcos facilita la combinación de diferentes cultivos sembrados en el surco y en los camellones al mismo tiempo.
DESVENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema no es apto para pendientes mayores de 7% debido a los riesgos de la acumulación de exceso de agua en los surcos 2. Requiere mucha mano de obra para construir los camellones en 3. Requiere más tiempo para el mantenimiento de los camellones y surcos. 4. En los camellones semi-permanentes se pueden sembrar sólo cultivos con el mismo espaciamiento que en sistemas mecanizados. 5. Los suelos se vuelven susceptibles a la erosión después de las obras de mantenimiento de los camellones o de las cultivaciones para controlar las malezas.
MAQUINARIA	Equipo especial que en una sola operación se remueven el suelo y los residuos de la cumbre de los camellones angostos formados en la época anterior, y se colocan las semillas dentro de las hileras limpias, planas y lisas de los camellones

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 7. Labranza Cero.



LABRANZA CERO	
CONCEPTO	Se refiere a la siembra dentro de los rastrojos del cultivo sin ninguna labranza o disturbio del suelo, salvo lo necesario para colocar la semilla a la profundidad deseada.
VENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumenta la tasa de infiltración de la lluvia, reduce la evaporación y por ello aumenta la retención de humedad en el suelo. 2. Aumenta el contenido de materia orgánica, mejorando la estructura del suelo. 3. Estimula la actividad biológica. 4. Reduce las temperaturas muy altas de la semilla. 5. Reduce el consumo de combustible. 6. Reduce el tiempo y la mano de obra. 7. Reduce el número de maquinaria, el tamaño de los tractores y los costos de reparación y mantenimiento de la maquinaria. 8. Frecuentemente, los rendimientos son mayores. 9. Es apta para suelos livianos y medianos, suelos bien drenados, suelos volcánicos, y para áreas subhúmedas y húmedas.
DESVENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. No es apta para suelos degradados o severamente erosionados. 2. No es apta para suelos muy susceptibles a la compactación. 3. No es apta para suelos mal drenados o arcillosos. 4. No son aptas para suelos recién desmontados. 5. Requiere un buen conocimiento sobre el control de malezas. 6. Puede haber un incremento en la población de las malezas. 7. No es apta para suelos infestados con malezas. 8. Requiere maquinaria específica y cara. 9. Es más difícil incorporar pesticidas contra insectos del suelo. 10. No es apta cuando no se puede tener una buena cobertura de rastrojos sobre el suelo. 11. Este sistema requiere operadores más capacitados
MAQUINARIA	Desbrozadora, sembradoras de siembra directa para granos gruesos y granos finos, aspersora y cosechadora.

Fuente: Autores del proyecto.

1.4. LABRANZA DE SUBSOLACIÓN

La labranza de subsolación se considera como una práctica de recuperación de suelos degradados debido a problemas graves de compactación. Por lo general, la subsolación no es una labranza que se puede usar cada año en la rutina de la preparación de suelos. La labranza de subsolación tiene un efecto de

levantamiento, de rompimiento, entallamiento y de aflojamiento del suelo (Ver Fig. 6 y 7). Esto resulta en un mejor desarrollo de las raíces y muchas veces también mejora el drenaje del suelo.

<p>Figura 6. Efecto generado por el trabajo en subsolador en el suelo.</p>	<p>Figura 7. Estallamiento del suelo.</p>
 <p>Fuente: Autores del proyecto</p>	 <p>Fuente: TORRES, Jorge. Labores culturales y subsolación. Avances de Investigación. CENICAÑA. 2001.</p>

1.4.1. Ventajas.

- La ventaja principal es que rompe las capas compactadas y afloja el suelo sin invertirlo como en las aradas, no lleva el subsuelo a la superficie y deja la mayoría de los rastrojos sobre el suelo.
- En suelos bien drenados puede aumentar los rendimientos, especialmente en áreas con déficit de humedad.
- Mejora el drenaje de los suelos y la infiltración del agua.
- Beneficia el enraizamiento del cultivo.
- Aumenta la producción de los cultivos.
- Sus efectos sobre el suelo duran largos periodos de tiempo.
- Aumenta la el numero de grano del suelo y por ende la porosidad.

1.4.2. Desventajas.

- La subsolación se puede hacer solamente cuando el suelo está seco hasta ligeramente húmedo lo cual es más difícil en suelos arcillosos.
- La subsolación en el estado seco requiere mucha potencia.
- Frecuentemente deja agregados y vacíos grandes entre ellos o sea, condiciones no favorables para la germinación y crecimiento de las plantas.
- La subsolación de suelos arcillosos en estado húmedo crea un hueco donde pasa la punta del subsolador sin aflojar el perfil o romper la capa compactada.
- Donde se hicieron los cortes, la subsolación deja el suelo muy suelto, lo que puede perjudicar el establecimiento de los cultivos.
- La subsolación en el estado seco a veces deja agregados muy grandes lo que requiere labranzas secundarias para formar condiciones para la siembra (ver fig. 8).

Figura 8. Terrones de gran tamaño, generados por el estado seco del suelo



Fuente: TORRES, Jorge. Labores culturales y subsolación. Avances de Investigación. CENICAÑA. 2001.

1.4.3. Requisitos iniciales para Subsulado. Los requisitos básicos para realizar el subsulado son los siguientes:

- El suelo debe estar seco o ligeramente húmedo.
- La presencia de muchos rastros puede causar atascamientos.
- En suelos con problemas de drenaje se requieren canales de drenaje a una profundidad mayor que la de la subsolación.
- Se debe tener criterios técnicos de evaluación de suelos tales como la densidad aparente o los niveles de infiltración para entrar realmente a valorar la solución.

1.4.4. Maquinaria para realizar Subsulado. El maquina consta de uno o más subsoladores montados sobre una barra de herramientas (Ver tabla 8), el número de subsoladores depende exclusivamente del nivel de potencia que se maneje y de los requerimientos del cultivo. Los brazos deberían tener una inclinación vertical mayor de 25-30°, preferentemente de 45°, y es aconsejable que la altura sea regulable. Las puntas de los brazos normalmente son de 1,5 pulgadas de ancho, y deben ser de fácil recalzado. La condición de la punta es muy importante y muchas veces la subsolación no da buenos resultados debido a la mala condición de las mismas. El acoplamiento de otros discos o rodillos puede ser útil; un disco cortador delante del subsolador facilita la operación en sistemas de labranza conservacionista; un rodillo desterronador acoplado detrás de los brazos ayuda a desmenuzar los agregados grandes, y la combinación de ruedas o discos ayuda a cerrar las hendiduras.

1.4.5. Tipos de subsoladores. Los tipos de subsoladores que se presentan normalmente en el mercado son:

1. Subsolador de arrastre. Esta soportado por dos ruedas de transporte y puede ser enganchado a cualquier tipo de tractor (Ver Fig. 9). Posee una a más unidades

subsoladoras, dependiendo del tamaño del tractor, tipo de suelo y profundidad de trabajo.

2. Subsolador montado. En general posee una sola unidad subsoladora que se monta en el enganche de tres puntos del tractor (Ver Fig. 10). La profundidad de trabajo generalmente no excede los 60 cm. y es controlado por el sistema hidráulico del tractor.

3. Subsolador montado en la barra de herramientas. Este subsolador es similar al montado en lo que respecta a la profundidad de trabajo y ajuste de la misma, sin embargo este sistema posee la ventaja que se puede desmontar el subsolador de la barra de herramientas e instalar en su lugar cinceles, discos u otros tipos de implementos (ver Fig. 11).

Figura 9. Subsolador de arrastre.








Fuente: Catalogo técnico de productos. <http://www.starlinesales.com>

Figura 10. Subsolador Montado.



Fuente: Autores del proyecto. Propietario Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga.

Tabla 8. Tipos de subsoladores según el número de dientes.

NUMERO DE DIENTES	FIGURA
1	
2	
3	
5	
7	

Fuente: Autores del proyecto

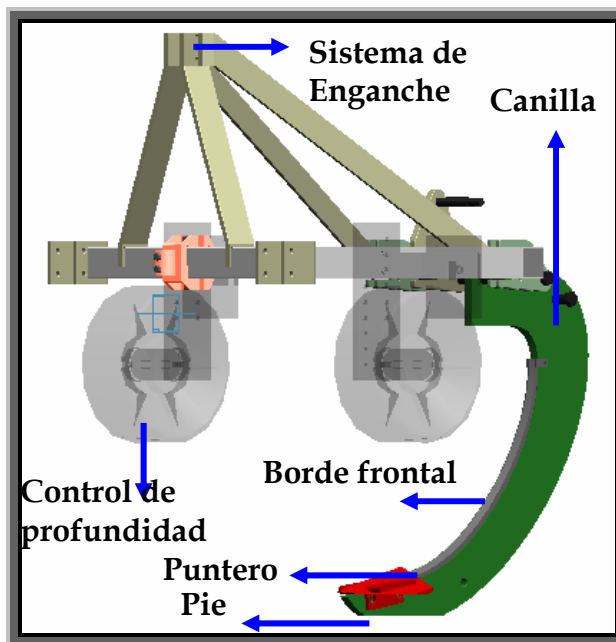
Figura 11. Subsolador montado en la barra portaherramientas.



Fuente. <http://www.aigacos.it>

1.4.6. Componentes de un subsolador. Un subsolador consta básicamente de los componentes (Ver Fig. 12) mostrados en la tabla N° 9.

Figura 12. Componentes del subsolador.



Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 9. Componentes del Subsolador

COMPONENTES DE UN SUBSOLADOR	
LA UNIDAD SUBSOLADORA	Llamada comúnmente canilla, puede ser una barra vertical o inclinada hacia delante o también una barra curva inclinada hacia delante, es una barra angosta en sentido transversal, pero ancha en sentido longitudinal, con una punta en forma de cuña. Normalmente para subsolado a gran profundidad se utiliza una sola unidad y a medida que se reduce la profundidad se incrementa el número de unidades subsoladoras. Es común que los brazos del subsolador posean algunos agujeros adicionales para colocar aditamentos especiales. La parte superior del brazo se une con una placa de hierro que forma parte del bastidor. La unión se asegura por medio de tornillos. También se suele instalar las unidades subsoladoras en la barra portaherramientas.
PIE	El pie es la prolongación del extremo inferior del soporte, sobre el que se coloca la punta. Este no existe en todos los subsoladores y puede ser remplazado por una punta de acero, que se cambia cuando sufra desgaste.
PUNTA (PUNTERO)	La punta levanta partes inferiores del suelo, haciendo que las partes superiores se quiebren y aflojen (entallamiento). El soporte contribuye a la tarea de disgregación del suelo y el esfuerzo de tiro. En muchos subsoladores la punta es de tipo reversible, cuando uno de sus extremos se ha desgastado.
BORDE FRONTAL	El soporte generalmente posee un borde frontal reemplazable y reversible. En algunos casos este borde posee 4 caras, con lo que se alarga la vida útil del implemento.
RUEDA CONTROLADORA DE PROFUNDIDAD	Elemento para controlar la profundidad real de la herramienta y para su desplazamiento hacia el lugar de trabajo.

Fuente: Autores del proyecto







1.4.7. Aditamentos especiales. Son elementos alternos que le permiten al subsolador realizar otras operaciones de labranza, aumentado por ende su utilización y eficiencia. Los principales aditamentos que utiliza un subsolador para las diferentes operaciones de labranza se muestran en la tabla N° 10 y 11.

Tabla 10. Aditamentos especiales en el subsolador.

ADITAMENTOS ESPECIALES EN EL SUBSOLADOR	
CUCHILLA	En presencia de abundante material vegetal, se puede emplear una cuchilla para evitar que el material se acumule entorno al soporte.
CINCELES	Se usan muchas veces como aditamento de los subsoladores, para reducir el consumo de potencia trabajando capas de suelo, que ya el subsolador no tienen que trabajar en todo el perfil (ver Fig. 13).
HOJA DEMALEZADORA	Esta unidad se instala sobre el elemento subsolador de manera que corte las raíces de la maleza en las proximidades de la superficie del suelo. También se puede utilizar un disco plano adelante del subsolador dependiendo del tipo de cultivo, la utilización de este disco trae la ventaja adicional que disminuye el consumo de potencia del tractor. (Ver Fig. 14).
ZANJADORA.	Esta se instala en la unidad subsoladora para la construcción de canales o la limpieza de canales previamente construidos (ver Fig. 15).
TORPEDO, TOPO O BALA	Esta bala posee una forma oval, con un diámetro que varía entre 3 a 20 cm. La unidad subsoladora arrastra la bala detrás de la punta dejando un túnel en el suelo, principalmente si el suelo es arcilloso. Es preferible que al instalar la bala a la canilla, sea por medio de una cadena, lo cual favorece el aplanado interior del túnel (Ver Fig. 16).
ADITAMENTO PARA EL TENDIDO DE TUBERÍA	Este aditamento permite incorporar al suelo cables con tubería a medida que avanza el subsolador.
ADITAMENTO FERTILIZADOR	Se adapta para aplicación de fertilizantes a profundidades mayores que las normales. Durante la época de sequía la raíz de la planta penetra a mayor profundidad en busca de agua, pero empleando este sistema encontrara también los correspondientes nutrientes a mayor profundidad (ver Fig. 17)
ALETAS	Estos dispositivos se instalan a los lados del subsolador, en la parte del pie para producir lateralmente grietas grandes, aumentando así su alcance, (Ver Fig. 18) la desventaja que presenta es el aumento del consumo de potencia.

Fuente: Autores del proyecto

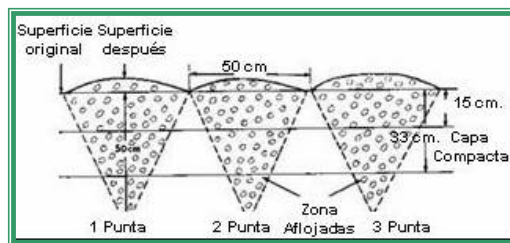
Tabla 11. Figuras de aditamentos especiales en el subsolador.

ADITAMENTOS ESPECIALES EN EL SUBSOLADOR	
<p>Figura 13. Subsolador unido a un cincel para disminuir el consumo de potencia.</p>  <p>Fuente: TORRES, Jorge. Labores culturales y subsolación. Avances de Investigación. CENICAÑA. 2001.</p>	<p>Figura 14. Subsolador mas disco de corte.</p>  <p>Fuente: Catalogo técnico productos. www.tricorpusa.com</p>
<p>Figura 15. Hoja Zanjadora utilizada para la construcción de zanjas.</p>  <p>Fuente: Catalogo técnico productos. http://www.mipeviani.it</p>	<p>Figura 16. Bala adicionada al subsolador para crear drenajes.</p>  <p>Fuente: TORRES, Jorge. Labores culturales y subsolación. Avances de Investigación. CENICAÑA. 2001.</p>
<p>Figura 17. Sistema de aplicación de fertilizantes.</p>  <p>Fuente: Catalogo técnico de productos. http://www.aigacos.it</p>	<p>Figura 18. Subsolador con alas, para aumentar el área de entallamiento.</p>  <p>Fuente: Catalogo técnico de productos. http://www.metaltecnica.com.ar</p>

Fuente: Autores del Proyecto

1.4.8. Operación de subsolado. El número de brazos (dientes) y el espaciamiento entre ellos dependerán de la potencia del tractor y de la profundidad de penetración deseada. Cuando el brazo del subsolador pasa a través del suelo, afloja un volumen de suelo que tiene una sección triangular (Ver Fig. 19)

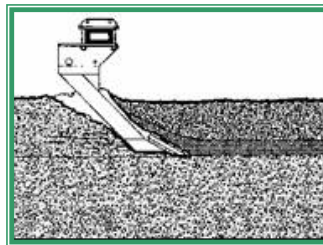
Figura 19. Sección triangular generada por el subsolador en el suelo.



Fuente: FAO. Los principales tipos de labranza. 2001.

El ancho del área de aflojamiento en la superficie se aproxima a la profundidad de penetración, la profundidad de penetración de los brazos debe ser igual a 1,5 veces la profundidad del límite inferior de la capa compacta. Para asegurar el aflojamiento en la parte superior y en la parte inferior, el espaciamiento entre los brazos no debe ser mayor que la profundidad de trabajo (ver Fig. 20).

Figura 20. Profundidad de penetración de un subsolador.



Fuente: FAO. Los principales tipos de labranza. 2001.

Para un tractor de 90 HP, donde el límite inferior de la capa compactada se encuentra a unos 26 cm de profundidad, se requiere que el subsolador llegue hasta 39 cm. En suelos con problemas de drenaje se debería hacer la subsolación en una

dirección perpendicular a la de los canales de drenaje para facilitar el flujo de agua hacia los drenes (Ver Fig. 21). Para sistemas de labranza convencional, se debería hacer el laboreo de la subsolación en la época seca después de la cosecha. En el caso de que se haga la subsolación después de haber preparado el suelo, las llantas del tractor pueden no adherir bien y habrá mayores problemas de patinaje. Se debería hacer un desbrozamiento de los rastrojos antes de la subsolación para evitar problemas de atascamiento. Después de la subsolación podría ser necesario hacer otras labranzas para desmenuzar los agregados grandes y preparar el terreno para la siembra. Si se pueden acoplar discos y ruedas al subsolador para tapar las hendiduras.

Figura 21. En suelos con problemas de drenaje el subsolado es una buena solución.



Fuente: TORRES, Jorge. Labores culturales y subsolación. Avances de Investigación. CENICAÑA. 2001.

Para sistemas de labranza conservacionista es necesario hacer un desbrozamiento de los rastrojos, especialmente en el caso de maíz y sorgo, y es aconsejable que el subsolador tenga discos cortadores delanteros para cortar los rastrojos para evitar problemas de atascamiento. Luego será necesario desmenuzar los agregados grandes. En este caso la combinación del subsolador con discos y rodillos y acoplado con una sembradora de siembra directa es más apropiada.

2. INFLUENCIA DE LA MECANICA DE SUELO EN LA LABRANZA DE SUBSOLACION

En el siguiente capitulo se pretende explicar los conceptos básicos de la mecánica de suelos y su influencia fundamental en el diseño de herramientas para la labranza especialmente para el subsolado. Se utilizara la Ecuación de Coulomb para relacionar los parámetros adhesión, cohesión, relación suelo/suelo y suelo herramienta, de igual forma se pretende explicar los conceptos básicos de la caracterización de los suelos agrícolas las cuales permitieron la valoración real de propiedades físicas de los suelos de las plantaciones de Palma Africana en el municipio de Puerto Wilches. Por ultimo se estudiaran los diferentes factores que influyen en el diseño del subsolador.

2.1. MARCO CONCEPTUAL DE LA MECÁNICA DE SUELOS

Desde el punto de vista mecánico es conveniente definir los esfuerzos a los que esta sujeto el suelo, respecto a la tensión, compresión y corte por una cizalla. Normalmente lo suelos fallan por esfuerzos de corte (ver Fig 22), debido a que en el limite de falla presentan una alta resistencia a la compresión y difícilmente pueden ser sometidos a esfuerzos de tensión.

La falla del suelo debida a una herramienta de labranza depende de los parámetros de resistencia en la superficie de falla, que consiste de una interfase suelo/suelo y otra normalmente suelo/metal.

Los principales parámetros suelo/suelo son:

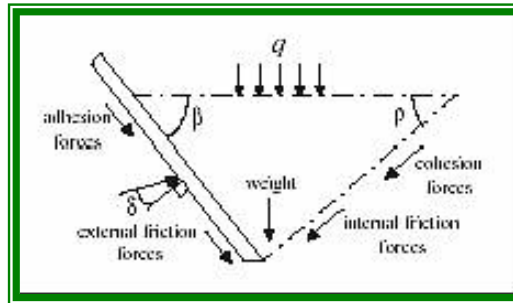
- Cohesión (c)
- Fricción suelo/suelo(ángulo de fricción interna ρ)

- Densidad en masa del suelo D_b (densidad aparente)

En forma similar los parámetros suelo/herramienta son:

- Adhesión ($c\alpha$)
- Fricción suelo/interfaz (ángulo de fricción suelo interfaz δ)

Figura 22. Cuña de Falla de Suelo generada por el la herramienta al suelo.



Fuente: Ver ANEXO D

2.2. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO

Las propiedades dinámicas más importantes que se toman en cuenta en este estudio determinan en gran parte la resistencia del suelo y dependen fundamentalmente de la cantidad de arcilla y contenido de humedad del suelo, son:

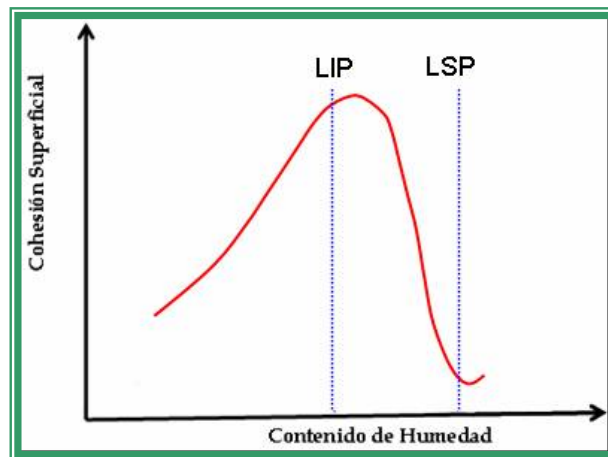
- Cohesión = c
- Adhesión = C_a
- Ángulo interfase suelo/suelo = ρ
- Ángulo interfase suelo/herramienta = δ

2.2.1. Cohesión. La cohesión de un suelo depende generalmente del contenido de humedad y de la cantidad y el tipo de arcilla, Se divide en dos clases:

1. Cohesión Superficial. Las partículas pequeñas de la fracción arcillosa normalmente forman uniones fuertes entre ellas, y hasta cierto punto con las

partículas más grandes de la fracción limosa y arenosa; así se producen agregados como los terrones. El agua se acomoda en gotas debido a la tensión superficial, ésta ejerce una fuerza de atracción, que es la cohesión molecular. Suelos con baja humedad tienen poca cohesión, la cual aumenta proporcionalmente con la cantidad de agua. Con una humedad más alta del suelo se funden las gotas (ver Fig. 23), disminuyendo el número de interfaces y por consiguiente disminuye la cohesión superficial.

Figura 23. Relación de la Cohesión Superficial con el contenido de Humedad.

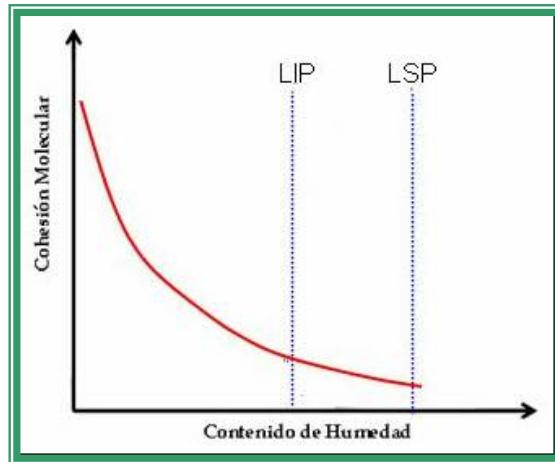


Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 50.

2. Cohesión Molecular. Es la fuerza que existe entre la unión de las partículas de arcilla a baja humedad, este factor influye en gran proporción en la resistencia de los terrones. Las partículas de arcilla poseen cargas negativas y por lo tanto atraen iones positivos. El dipolo de agua es positivo y puede formar una unión fuerte que amarra las moléculas. Con poca cantidad de agua las moléculas de arcilla se acomodan en forma cercana entre ellas y permanecen unidas entre ellas con gran fuerza, esto significa que la cohesión molecular es alta. La cohesión molecular disminuye al aumentar la cantidad de humedad debido a que las moléculas de

arcilla se separan, en tanto que disminuye la atracción ocasionada por el agua (ver Fig. 24).

Figura 24. Efecto de la Cohesión Molecular por el Contenido de Humedad.



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 52.

2.2.2. Adhesión. La adhesión representa las fuerzas de atracción que se desarrollan entre el suelo y la herramienta y que tiende a evitar el deslizamiento entre ellos. La adhesión suelo/herramienta representa las fuerzas de atracción generadas principalmente por la presencia de agua en el suelo. Con un valor alto de humedad el agua produce una succión dentro de la estructura del suelo, que en forma similar atrae el interfaz, si hay poca humedad la atracción la genera la tensión superficial, si el material no es humedecible como los plásticos, no se desarrolla en la interfaz esta tensión superficial y el valor de la adhesión prácticamente es cero. Si aumentamos el valor de la humedad de un suelo seco el efecto de la tensión superficial también se incrementa, hasta alcanzar un máximo, este punto se denomina punto de atascamiento.

2.2.3. La fricción interna del suelo. Está dada por el ángulo de fricción interna, el cual es función de la aspereza de las superficies al cizallar y del grado de enlace, o

sea la compactación de las partículas y los agregados (Ver tabla 12), siendo ésta función de la densidad aparente D_b . En general la fricción suelo/suelo depende de dos factores físicos:

- La naturaleza de la superficie de las partículas.
- El grado de compactación, que afecta directamente el grado de enlace de las partículas.

Tabla 12. Valores normales de la cohesión y el ángulo de fricción suelo/suelo.

Tipo de suelo	Tamaño típico de las partículas mm	Estado	Angulo de fricción	Cohesión KN/m ²
Arenas con partículas medianas	1.1	Compactado	33° - 40°	0
		Suelto	32° - 35°	0
Arena fina con materia orgánica	0.5-0.8	Compactado	25° - 30°	0
		Suelto	18° - 22°	0
Franco Arenoso	0.02-0.2	Friable	24° - 28°	20-25
		Plástico	24° - 28°	10-15
Franco	0.01	Friable	22° - 26°	25-30
		Plástico	15° - 19°	15-20
Arcilloso	0.002	Friable	17° - 19°	40-60
		Plástico	10° - 14°	25-30

Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 17.

2.2.4. La fricción suelo/ herramienta. La mayor parte de las herramientas de labranza realizan trabajo sobre el suelo por deslizamiento, y de allí que la fuerza y el esfuerzo de deslizamiento son función del Angulo de fricción suelo/herramienta, llamado generalmente ángulo de fricción suelo herramienta δ . La fricción representa la fuerza de rozamiento en la interfase que depende del grado de pulido del material y de la rugosidad de las partículas de suelo, ésta también puede ser afectada por cualquier tipo de lubricación sobre la herramienta. Una forma de reducir el ángulo de fricción consiste en eliminar la oxidación de la herramienta, pero no es recomendable pulir en exceso el material pues la reducción en el ángulo de fricción es muy poca (Ver tabla 13).

Tabla 13. Valores normales de la Adhesión y el ángulo de fricción suelo/herramienta.

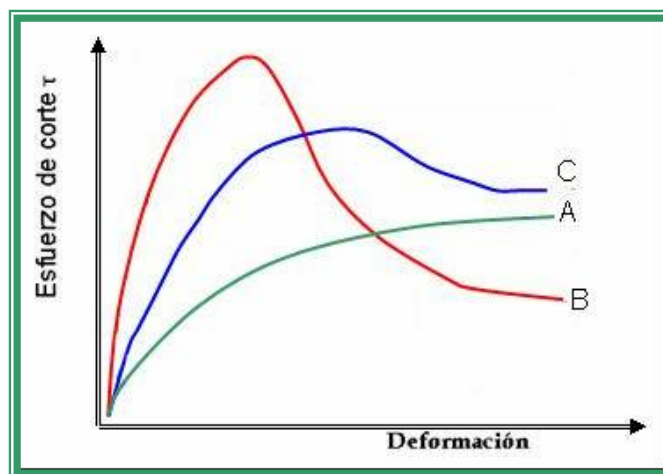
Adhesión	Angulo de fricción suelo/metal
Insignificante en la mayoría de los casos Arcilla plásticas con alta humedad 10-30 kN/m ²	Superficie pulida 5°
	Superficie limpia 5° a 15°
	Superficie oxidada a 15° a 25°

Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 21.

2.3. TEORÍA DE COULOMB APLICADA A PARÁMETROS SUELO/SUELO

La resistencia a la falla de un suelo depende del esfuerzo de corte máximo que éste puede resistir, por lo tanto, es función de la magnitud de la deformación y del esfuerzo normal sobre la superficie de falla. La forma de las curvas de esfuerzo de corte-deformación depende del tipo de suelo (ver Fig. 25).

Figura 25. Curvas de esfuerzo de corte vs. Deformación para diferentes tipos de suelo. Suelo A: arenosos seco; suelo B: arcilloso compacto; suelo C: suelo franco.



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 9.

La curva A se refiere a un suelo suelto con propiedades friccionales, como las de un **suelo arenoso-seco**. La curva B es típica de un suelo sólido o cementado con propiedades de cohesión, por ejemplo un **suelo arcilloso seco** y no labrado. En la mayoría de los suelos agrícolas la curva esfuerzo de corte/deformación es como la curva C(**suelo franco**), que se eleva hasta un valor máximo equivalente a la máxima resistencia que puede desarrollar antes de fallar y luego desciende para estabilizarse en un valor intermedio que equivale a la resistencia residual. La máxima resistencia a la deformación que puede desarrollar un suelo depende del esfuerzo normal en la superficie de falla.

Al graficar los valores del esfuerzo máximo de corte con los valores respectivos de esfuerzo normal se obtienen una relación que teóricamente es lineal (Fig. 26). La ecuación de la línea lleva el nombre de **Coulomb**, quien originalmente la desarrollo e indico que la resistencia máxima al cizallar depende de los componentes de **adhesión y cohesión** del suelo.

$$\text{Maximo Esfuerzo de Corte} = \frac{\text{Fuerza de Corte}}{\text{Area de Superficie}} = \text{Cohesión} + \text{Adhesión}$$

$$\tau \max = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde:

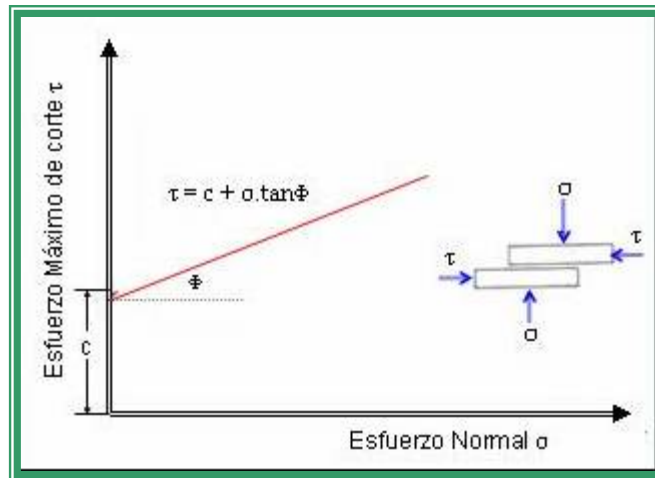
$\tau \text{ máx.}$ = Máximo esfuerzo de corte

c = Cohesión del suelo

σ = Esfuerzo normal a la superficie de falla

Φ = Angulo de fricción interna suelo/suelo

Figura 26. Comportamiento del suelo durante falla según Ecuación de Coulomb.



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 356.

En estudios posteriores, **Micklethwaite** expuso la ecuación de Coulomb en términos de fuerza al multiplicar por el área superficial:

$$\tau \cdot A = A \cdot (c + \sigma \tan \phi) \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Pero:

$$\sigma \cdot A = Q \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$\tau \max \cdot A = H \max \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Entonces:

$$H \max = c \cdot A + Q \cdot \tan \phi \quad \text{(Ecuación 5)}$$

En donde:

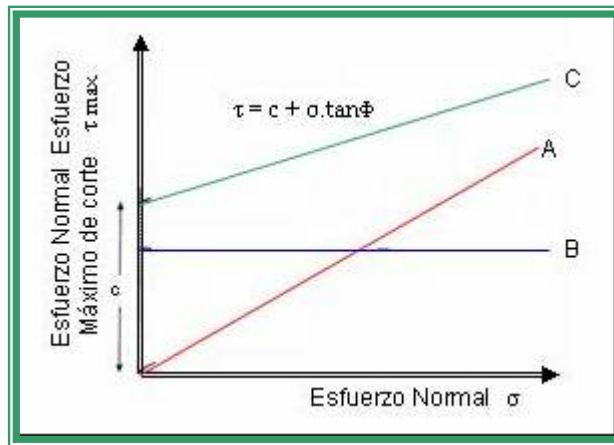
H_{max} = Fuerza de corte máxima

A = Área de la superficie de falla

Q = Carga normal en la superficie

Se puede concluir que para un suelo con cierto valor de cohesión y fricción, la fuerza máxima de corte para ocasionar la falla en el suelo depende además de la superficie de contacto (A) para el componente de cohesión y de la carga normal (Q) para el componente de fricción. En la figura 27 se muestran los gráficos de la ecuación de Coulomb para diferentes suelos.

Figura 27. Grafico de esfuerzo máximo de corte con el esfuerzo normal sobre la superficie de falla, para diferentes tipos de suelos.



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 13.

De la grafica se puede concluir:

- La línea A representa un suelo liviano seco llamado comúnmente arenoso que demuestra propiedades friccionales pero sin cohesión. ($c = 0$)
- La línea B corresponde a una arcilla en estado plástico que demuestra alta cohesión pero ninguna fricción. ($\Phi = 0$)
- La línea C representa un suelo franco tanto con características friccionales como cohesivas, es muy típico de suelos agrícolas.

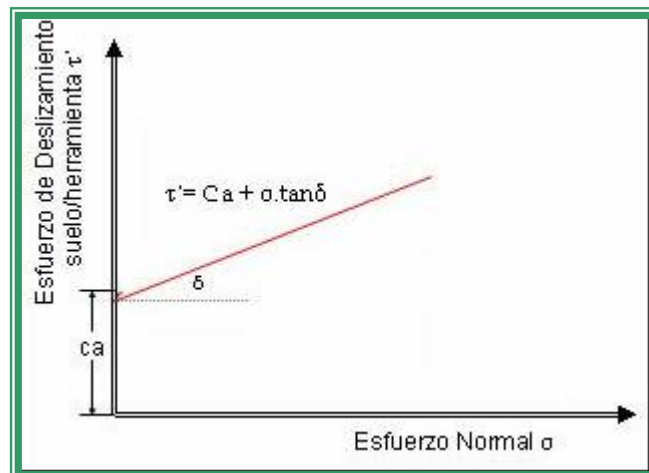
2.4. TEORÍA DE COULOMB APLICADA A LOS PARÁMETROS SUELO / HERRAMIENTA

Utilizando la teoría de Coulomb, con aplicación directa a la herramienta, el esfuerzo de deslizamiento suelo/herramienta por (ver Fig. 28), esta dado:

$$\tau' = Ca + \sigma \cdot \tan \delta \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Existe una relación directa entre la resistencia al deslizamiento con la humedad, dependiendo del tipo de suelo. El suelo en estado cementado no tiene la humedad necesaria para desarrollar adhesión y la resistencia al deslizamiento es netamente de naturaleza fraccional. En los estados friable y plástico la adhesión aumenta progresivamente por la razón de las fuerzas de tensión superficial. La adición de más agua hace pasar el suelo al estado líquido y el exceso de agua tiene el efecto de lubricación bajando dramáticamente la resistencia al deslizamiento.

Figura 28. Esfuerzo de deslizamiento suelo/herramienta vs. Esfuerzo normal siguiendo los parámetros de la Ecuación de Coulomb.



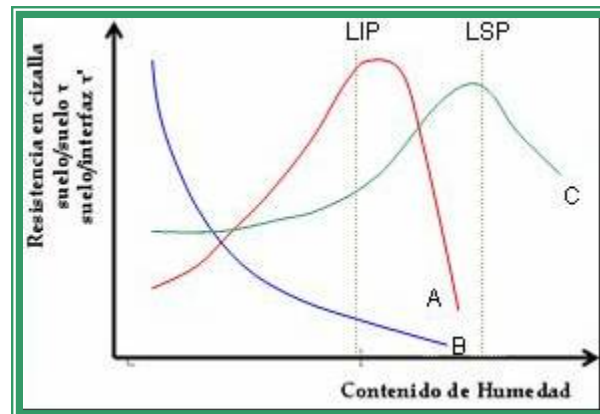
Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 21.

En la práctica existen dos componentes de la resistencia al corte del suelo:

- Resistencia en corte de los terrones
- Resistencia en corte de la masa del suelo

La resistencia de los terrones depende de las fuerzas que amaran las partículas y los agregados, lo que esta determinado básicamente por la cohesión molecular. La resistencia de la masa del suelo, en cambio, depende de la cizalla de los aglomerados o terrones amarrados con fuerza debida principalmente a la cohesión molecular y a la fricción entre ellos (ver Fig. 29). Para un suelo en estado plástico existe una buena posibilidad de que la resistencia al deslizamiento sea mayor que la resistencia que la masa del suelo, esto significa que una herramienta ocasiona una falla dentro del suelo pero que se atasca en la superficie metálica por razón de $\tau' \geq \tau$

Figura 29. Resistencia al corte para la masa del suelo (A), los terrones (B) y el deslizamiento suelo / herramienta(C).

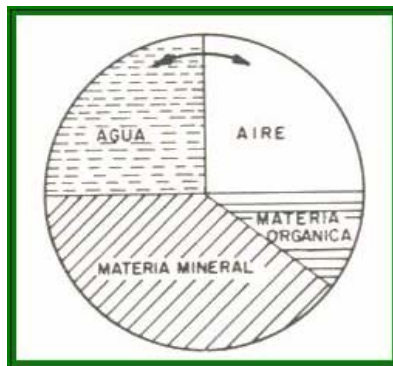


Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 23.

2.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

El suelo es la resultante de numerosas interacciones dinámicas tanto de componentes orgánicos como inorgánicos (ver Fig. 30), de cuya integración se deriva este cuerpo natural, cuya función mas sobresaliente ha sido la de constituir el medio para el desarrollo vegetal. El comportamiento mecánico de la fase sólida determina a su vez, las propiedades físicas del suelo, las cuales en asociación con las características químicas, generan la habilidad para producir cosechas, dependiendo de los nutrientes presentes en el. La física de los suelos es una parte del estudio de la ciencia del suelo que se encarga de evaluar sus propiedades físicas, así como de la descripción, medición y control de los procesos físicos que ocurren en el.

Figura 30. Componentes básicos del suelo.



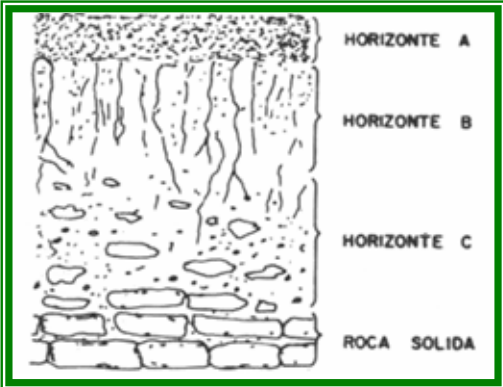
Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990. pagina 40.

La **física de suelos** estudia los estados y movimientos de la materia, así como los flujos y transformaciones de la energía en el suelo. El conocimiento de las propiedades físicas permite, entonces, conocer mejor la importancia y efectos de las actividades agrícolas fundamentales, tales como la mecanización de las tierras, el

drenaje, el riego, la conservación de los suelos y el agua, el manejo de los cultivos y de los residuos de cosecha.

2.5.1. Horizonte (Perfil del suelo). A medida que ocurre la meteorización y estas partículas minerales se agrupan con la fracción orgánica, líquida y gaseosa, se forman capas u horizontes que difieren una de otras más o menos en forma notable por su color, textura, estructura y en general de características físico-químicas (ver figura 31 y 32). Un horizonte se puede diferenciar de adyacente, por lo menos en forma parcial, sobre la base de las características que pueden ser apreciadas en el campo (color, textura, estructura): sin embargo, a veces se requieren datos complementarios para caracterizarlo y definirlo con más precisión. Una representación esquemática de un perfil del suelo se presenta en la tabla 14.

Tabla 14. Horizonte.

HORIZONTE	
<p>Figura 31. Representación esquemática del perfil de un suelo.</p>  <p>El diagrama muestra un perfil de suelo con cuatro niveles verticales etiquetados a la derecha: HORIZONTE A (superficie superior con raíces), HORIZONTE B (zona de acumulación de arcillas y materia orgánica), HORIZONTE C (material parental) y ROCA SOLIDA (base inferior).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El HORIZONTE A es zona de mayor actividad biológica, generalmente enriquecida con materia orgánica y de color oscuro • El HORIZONTE B es la zona de acumulación de algunos materiales que migran desde el horizonte A, tales como arcillas, materia orgánica, entre otros y que tienden a acumularse en él. • El HORIZONTE C corresponde al material parental del suelo
<p>Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990. página 40.</p>	

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 32. Perfil del suelo.



Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990. pagina 42.

La realización de una buena calicata nos permite valorar esta propiedad, verificando problemas de degradación de suelos tales como la compactación, permitiendo cuantificar cual debe ser la profundidad real de trabajo en operaciones tales como el subsolado. Esta variable fue identificada y cuantificada en los terrenos de la plantación de palmas Bucarelia como se puede ver en la figura 33.

Figura 33. Perfil del suelo lote 10-97 Plantaciones Palmas Bucarelia S.A.



Fuente: Autores del proyecto.

2.5.2. Resistencia del suelo a la penetración. La resistencia de un suelo a la deformación por compresión o deformación por cizalla, esta determinada por su resistencia mecánica, la que consiste de dos componentes: resistencia cohesiva y

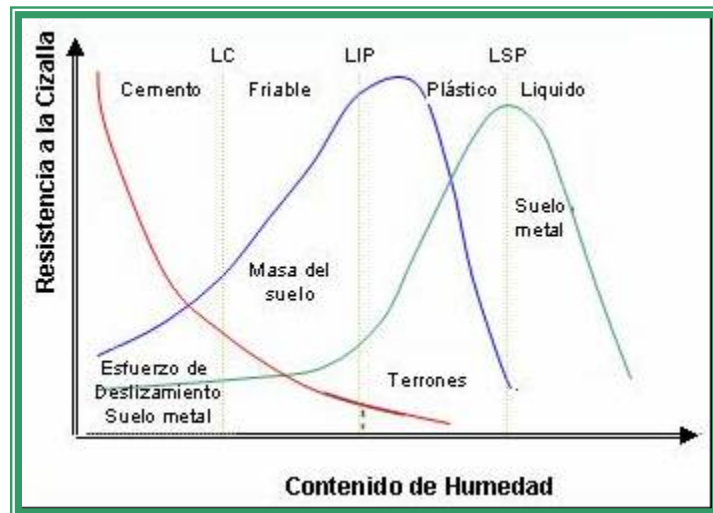
resistencia fraccional. Los valores varían considerablemente y depende del contenido de humedad, tamaño de las partículas, tamaño y forma de los agregados y el grado de consolidación.

El suelo tiene estados físicos definidos, los cuales son (ver Fig. 34):

- Sólido o cementado
- Sólido elástico.
- Líquido viscoso.

Un suelo en **estado cementado** presenta una elevada resistencia a la deformación y se caracteriza por su muy poca deformación elástica antes que ocurra la desintegración de su estructura. El **estado friable** demuestra un rango de elasticidad mucho mayor, en la cual la deformación es proporcional a la carga aplicada y se recupera rápidamente al remover la carga.

Figura 34. Estados característicos de un suelo.



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 64.

El **estado plástico** se caracteriza por que la masa del suelo se sigue deformando lentamente bajo la acción de la carga aplicada y no se recupera cuando esta es removida; la magnitud de la deformación depende de la duración y la magnitud de

la carga. El estado líquido del suelo demuestra una resistencia proporcional a la rapidez de la aplicación de la carga; el suelo tiene alta humedad y actúa como un fluido viscoso.

2.5.3. Textura. El término textura hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran en una masa de suelo varios grupos individuales asociados por tamaño. Se refiere específicamente a las proporciones relativas de las partículas o fracciones de **arena, limo y arcilla** en la tierra fina del suelo, es decir en la tierra tamizada y diámetro inferior a 2 mm (Ver Fig. 35).

La importancia del estudio de la textura radica en el papel que esta juega en la cantidad de agua que puede almacenar un suelo, su movimiento a través del perfil y la facilidad de abastecimiento de los nutrientes y aire, la textura también es importante en la clasificación de tierra con fines de riego y drenaje y en la conservación de suelos. Existen muchos sistemas de clasificación de partículas de acuerdo con el tamaño, sin embargo, en suelos agrícolas los 2 sistemas predominantes son el internacional y el norteamericano (ver tabla 4).

2.5.4. Humedad (w). La humedad o contenido relativo de agua en el suelo para una muestra dada se puede expresar como:

- Humedad Gravimétrica: Con relación a la masa de los sólidos.
- Humedad Volumétrica. Con relación al volumen total.
- Grado de saturación. Con relación al volumen de los poros.

Para el presente trabajo se siguió el procedimiento establecido para este tipo de pruebas por el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil, con el cual se calcula la Humedad Gravimétrica.

Figura 35. Sistemas de clasificación de suelos utilizados en USA, Gran Bretaña y la Sociedad Internacional de suelos.

		Tamaño de la partícula (mm)							
		0.002	0.02	0.2	2				
SICS	Arcilla	Limo	Arena Fina	Arcilla Gruesa	Cascajo				
USDA	Arcilla			0.06	0.1	0.25	0.5	1.0	Cascajo
		Muy Fino	Fino	Mediana	Gruesa	Muy gruesa	Arena		
BSI	Arcilla	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6			Cascajo
		Fino	Mediano	Grueso	Fina	Mediana	Gruesa	Arena	

Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 44.

SICS. Sociedad Internacional de Ciencias de suelo.

USDA. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

BSI. Sociedad Internacional de Ciencias del Suelo.

La Humedad Gravimétrica es la relación entre la masa de agua y la masa seca de los sólidos del suelo de una muestra dada. También se le conoce como el contenido de agua Gravimétrica. El termino masa seca de los sólidos, se refiere a la muestra del suelo, secada en horno a 105 °C. Conociendo su valor podemos tener un criterio de comparación con los valores normales. (Ver tabla 15).

$$\omega = \frac{wh - ws}{ws} \cdot 100 \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

w = Porcentaje de Humedad.

wh = Peso suelo húmedo.

ws = Peso suelo seco.

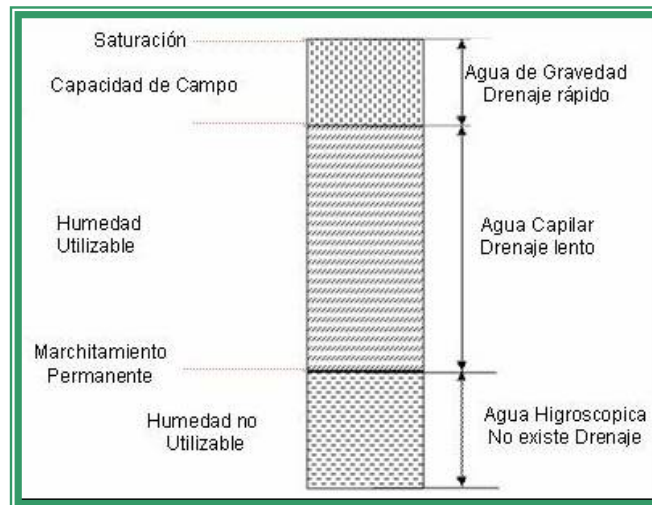
Conociendo la cantidad de agua en el suelo podremos conocer la cantidad de agua disponible para la planta y así diseñar sistemas de riego y drenaje eficientes (ver Fig. 36).

Tabla 15. Rangos para interpretar la humedad.

Contenido de Humedad %	Interpretación
< 5	Muy baja
5 - 15	Baja
15 - 25	Media
25 - 35	Alta
> 35	Muy Alta

Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990.

Figura 36. Agua del suelo y su disponibilidad.



Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990.

2.5.5. Densidad. Es la resultante de la relación masa a volumen. Se reconocen en el suelo la densidad aparente y densidad real o específica.

- **Densidad Aparente.** Si determinación conocer la masa del suelo seco y el volumen total del suelo, es decir, el volumen de las partículas y espacios vacíos entre ellas (macro y micro poros).
- **Densidad Real.** En la densidad real, el volumen cuantificado es el correspondiente a las partículas del suelo, omitiendo el volumen ocupado por los poros. La diferencia aritmética entre ellas se asocia directamente con la **Porosidad del suelo** (ver tabla 16).

Tabla 16. Relación entre la densidad Aparente y la porosidad.

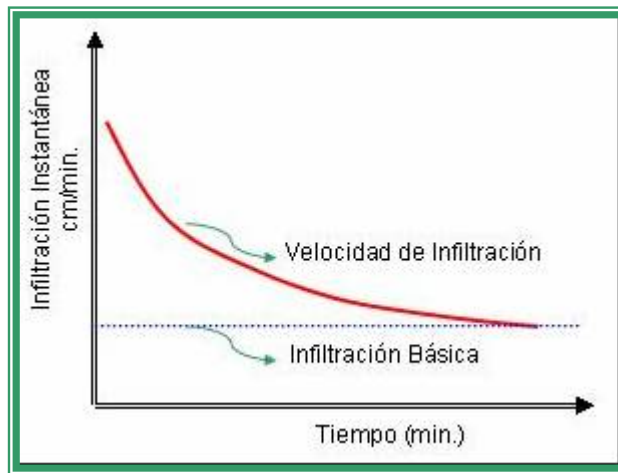
DENSIDAD APARENTE g/cc	POROSIDAD TOTAL %
< 1.0	> 63
1.0 - 1.2	55 - 62
1.2 - 1.4	47 - 54
1.4 - 1.6	40 - 46
1.6 - 1.8	32 - 39
> 1.8	< 31

Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990.

2.5.6. Infiltración. Este parámetro se conoce comúnmente como tasa de infiltración y determina la longitud de tiempo que el agua debe permanecer sobre la superficie del suelo para permitir un humedecimiento adecuado hasta la profundidad deseada. La tasa de infiltración esta comúnmente influenciada por las propiedades del suelo y también por el gradiente de humedad del mismo. En las primeras etapas de aplicación de agua al suelo, la infiltración es gobernada por las fuerzas de tensión de humedad, acompañada por la fuerza de la gravedad. A medida que las

fuerzas de tensión van disminuyendo con el tiempo de aplicación del agua, la fuerza de gravedad se va convirtiendo en un factor determinante en el proceso. En estas condiciones se puede esperar que en general la velocidad de infiltración vaya disminuyendo gradualmente con el tiempo de aplicación del agua, hasta llegar a valores relativamente bajos que tienden a ser constantes y que se conocen comúnmente como **la tasa básica de infiltración** (ver Fig. 37).

Figura 37. Relación de la Infiltración instantánea con el tiempo y con la infiltración básica.



Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990. .

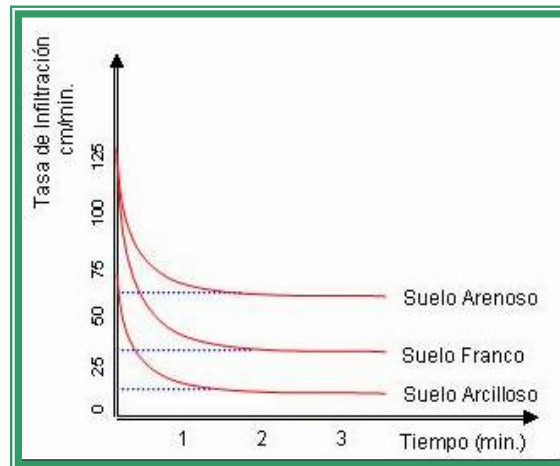
- **Velocidad de infiltración.** Una propiedad de los suelos, de gran importancia, es la velocidad a la que el agua percola o se filtra por ellos (ver Fig. 38). La velocidad de filtración es normalmente mucho mayor al principio de un riego o lluvia que varias horas después y está influida por las propiedades del suelo y por el gradiente de humedad.

2.6. INFLUENCIA DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN LA HERRAMIENTA DE LABRANZA

La situación ideal de la labranza se alcanzara cuando se puedan seleccionar los suelos que cumpla el requisito de tener un alto límite inferior de plasticidad LIP y

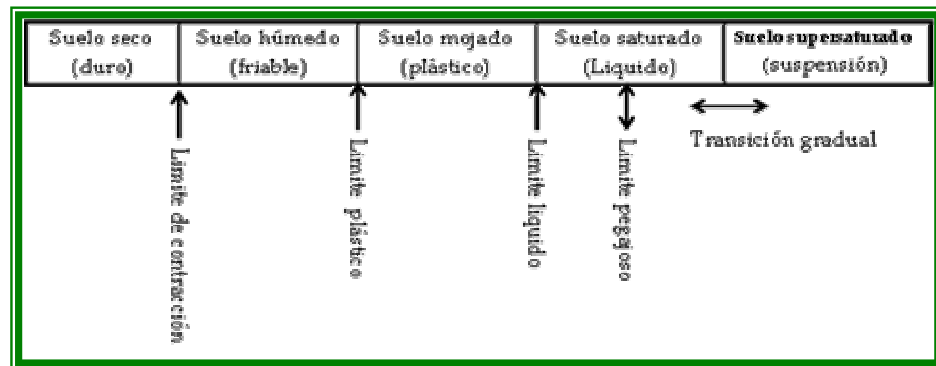
Bajo Índice de Plasticidad. Las operaciones de labranza se deben llevar a cabo en condiciones de humedad óptimas (normalmente entre LC y LIP) (ver Fig.39 y 34).

Figura 38. Velocidad de Infiltración contra el tiempo en diferentes suelo.



Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990.

Figura 39. Límites característicos del suelo



Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990.

2.7. FUERZA DE ARRASTRE EN LAS OPERACIONES SIMPLES DE LABRANZA

La fuerza de arrastre generada por un trabajo de labranza, depende de los parámetros suelo/suelo y parámetros suelo/herramienta

Dado que el valor de una operación de labranza depende fundamentalmente de la fuerza de arrastre, es necesario reducir la resistencia al deslizamiento suelo/interfase, este objetivo es tratado prácticamente o reduciendo la adhesión o la cohesión. Al manipular la ecuación de Coulomb (ecuación N° 6), identificando cada uno de sus componentes se pueden presentar casos para reducir la fuerza de arrastre en una herramienta de subsolado (ver tabla 17).

Tabla 17. Efectos para reducir la fuerza de arrastre.

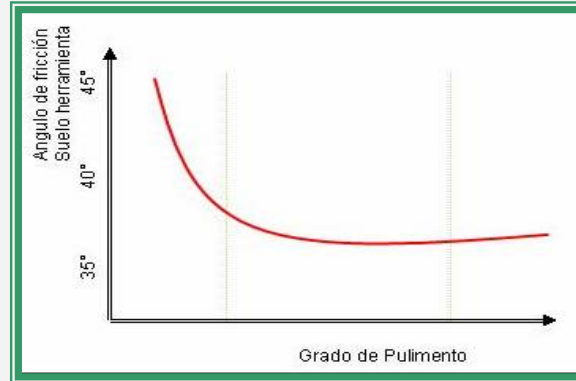
EFFECTOS PARA REDUCIR LA FUERZA DE ARRASTRE	
1. REDUCCIÓN DEL COMPONENTE FRICCIÓN SUELO/INTERFASE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eliminación de la oxidación de la cara metálica que sufrirá el ataque en la herramienta (Ver Fig. 40). 2. La ecuación 8, muestra que la reducción del esfuerzo normal disminuye también la resistencia al deslizamiento. 3. Generalmente una forma con curvas ligeras ayuda a eliminar la concentración de la presión del suelo. 4. El Angulo de ataque de la herramienta. 5. Utilizar vibración en la herramienta.
2. REDUCCIÓN DEL COMPONENTE DE LA ADHESIÓN	<ol style="list-style-type: none"> 1. La utilización de materiales no humedecibles, como los plásticos que no demuestran propiedades adhesivas. 2. Cambiar las propiedades dinámicas en forma local, el requisito es que el contenido de humedad este cerca del límite LIP. 3. Bajar la humedad del suelo en contacto con la interfase para eliminar el componente adhesivo, dejando el componente friccional. 4. Aumentar considerablemente la humedad en contacto hasta alcanzar lubricación.
3. REDUCCIÓN DEL ÁREA DE CONTACTO SUELO/INTERFASE	<p>La fuerza de deslizamiento Fd dada por:</p> $Fd = \tau \cdot A = c + \sigma \cdot A \cdot \tan \delta$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Una reducción en el valor del área de contacto puede disminuir el componente adhesivo, que será de beneficio en el caso de suelos pesados y con mucha plasticidad.

<p>4. GEOMETRÍA DE LA HERRAMIENTA</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. La fuerza de arrastre es función del Angulo de ataque y el ancho de la herramienta, ya que estos afectan directamente el volumen de suelo alterado. 2. Generalmente la fuerza de arrastre se aumenta en el rango de los ángulos de ataque de 10° a 50°, se debe seleccionar un ángulo menor de 50° (ver Fig. 42). 3. La carga de la superficie y fenómenos de compactación aumentan la resistencia del suelo. 4. El diseño de la herramienta puede disminuir los efectos necesarios de sobrecarga por una selección cuidadosa del espacio entre los dientes, el diseño de la estructura y la ubicación de las ruedas de profundidad (ver Fig. 43 y 44). 5. Se puede generar problemas en el trabajo, mostrando la correcta profundidad de trabajo. 6. En referencia al restregamiento, el diseño debe permitir el deslizamiento del suelo por el diente. 7. La resistencia suelo/suelo se incrementa más rápido que la resistencia suelo/herramienta debido a que el ángulo de fricción suelo/suelo es mayor que el ángulo suelo/herramienta, por lo que es importante disminuir las curvaturas del diente que pudieran dar origen a regiones de baja presión en el suelo(ver Fig. 45).
<p>4. VELOCIDAD DE AVANCE</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Una mayor velocidad de avance de la herramienta ocasiona un incremento en la aceleración de las partículas y agregados del suelo. 2. Con referente al contenido de humedad y su relación con el efecto resistencia/velocidad, los estudios han propuestos que la humedad algo menor que LIP, genera una resistencia proporcional a la velocidad al cuadrado, 3. Para un mayor contenido de humedad la relación es exponencial, mostrando muy poco aumento en los valores de resistencia a medida que se aumenta la velocidad el suelo se comporta como un liquido viscoso. 4. Una mayor velocidad de avance genera también al alto consumo en la potencia ya que esta relacionada directamente con la fuerza y la velocidad de operación.
<p>5. VIBRACIÓN DEL DIENTE</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. En suelos arenosos la vibración disminuye la reacción suelo/herramienta y quizás también la reacción entre las partículas y agregados del suelo, reduciendo también el componente de resistencia debido a la fricción. 2. En suelo arcilloso se ha sugerido que la vibración produce una migración del agua del suelo hacia la punta del diente. 3. La vibración puede ser longitudinal, en la dirección de avance, que aparentemente de una reducción de fuerza comparada con la vibración vertical. La frecuencia de la vibración debe estar relacionada con la velocidad de avance para asegurar que durante parte del ciclo el diente se mueva hacia atrás respecto al suelo (ver Fig. 46).

Fuente: Autores del proyecto

Tabla N° 18. Figuras de efectos para reducir la fuerza de arrastre.

Figura 40. Efecto del pulimento de la superficie de contacto sobre el ángulo de fricción suelo/herramienta.



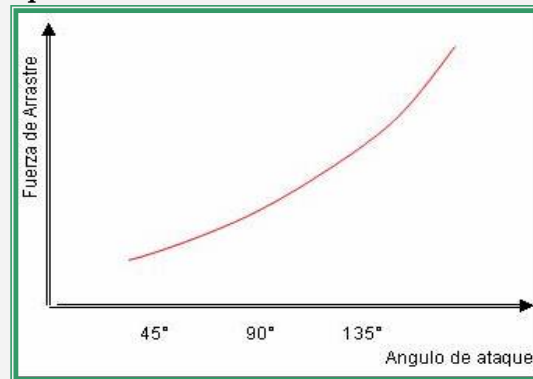
Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 62.

Figura 41. Efecto del deslizamiento suelo/herramienta con la humedad.



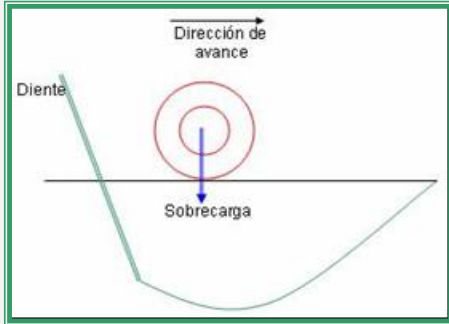
Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 63.

Figura 42. Ángulo de ataque de un diente sobre la fuerza de arrastre.



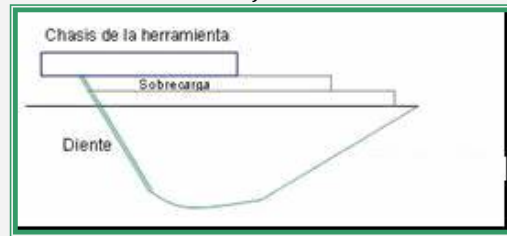
Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 67.

Figura 43. Sobrecarga generada por la mala posición de una rueda.



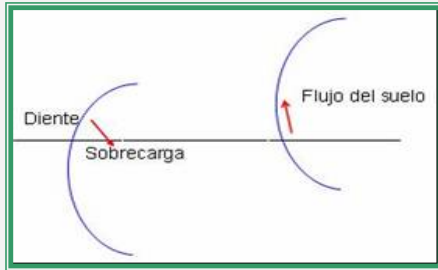
Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 91.

Figura 44. Influencia del chasis de la herramienta en el flujo del suelo.



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 92.

Figura 45. Sobrecarga generada por un diente curvo trabajando a demasiada profundidad.



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 92.

Figura 46. Subsolar con sistema de vibración



Fuente: <http://www.moropietro.it/cpaen.html>

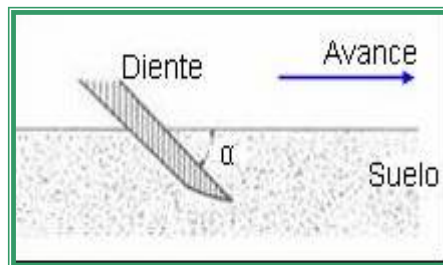
Fuente: Autores del proyecto.

2.8. INFLUENCIA DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN LA LABRANZA DE SUBSOLACIÓN

Durante la labranza los suelos normalmente fallan por esfuerzo de corte (ver figura 47) ya que su resistencia depende de los parámetros suelo/suelo y suelo/interfase. La labranza de suelos a diferencia con la teoría clásica de la mecánica de suelos, le interesa calcular tanto la incidencia de los movimientos sustanciales del suelo como los cambios efectuados en su estructura. La naturaleza de la falla del suelo nos permitirá conocer matemáticamente como se comportara un suelo en el momento

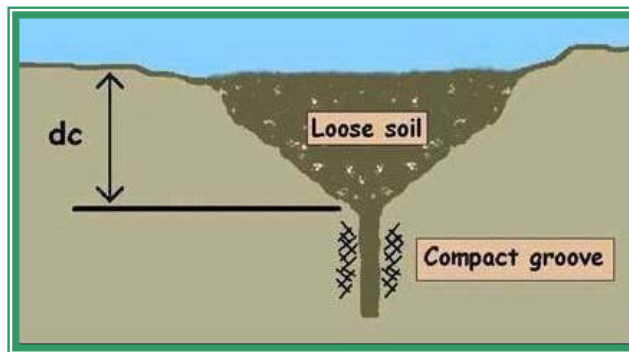
de ser sometido a corte. La labranza de subsolación le interesa el entallamiento (ver figura 48), es decir romper y abrir el suelo con un movimiento de abajo hacia arriba. Al efectuar la labor a gran profundidad se busca el rompimiento de los estratos o capas impermeables, como consecuencia de la compactación que impiden el desarrollo vegetativo de la planta.

Figura 47. Representación esquemática del corte de una herramienta en el suelo.



Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 67.

Figura 48. Esquema en el suelo del estallamiento generado por la herramienta.



Fuente: <http://www.ianr.unl.edu>

En la siguiente sección se pretende el estudio de la falla del suelo generada por los diferentes tipos de herramientas según la geometría del diente. Su estudio permitirá mas adelante tomar una decisión para la selección del tipo de canilla respectivo para el prototipo.

Tabla N° 19. Modelo de falla en herramientas.

MODELO DE FALLA EN HERRAMIENTAS	
DIENTES ANGOSTOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Básicamente se forma un prisma (cuña) de suelo frente al diente y el suelo se altera en forma de una creciente (ver figura 49). 2. Con un ángulo de ataque hasta de 45 °, el componente vertical de la resistencia del suelo ayuda la penetración de la herramienta. 3. Para ángulos mayores que 45°, la componente vertical de la resistencia del suelo, facilita la salida del diente del suelo.
DIENTES ANCHOS.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El modelo de falla para un diente recto cuya forma tiene un ancho mucho mayor que su profundidad (ver Fig. 50). 2. El ángulo de ruptura de la cuña del suelo $\delta = 45 - \Phi/2$, en donde Φ es el ángulo de fricción interna del suelo. 3. Durante el avance el suelo se amontona sucesivamente al frente del diente, sobrecargando la superficie la superficie de falla suelo/suelo, lo que significa que la fuerza de resistencia aumenta durante el avance.
DIENTES INCLINADOS HACIA ATRÁS	<ol style="list-style-type: none"> 1. El modelo de falla es similar al de los dientes hacia delante, pero con la diferencia que un prisma del suelo se desarrolla al frente del diente y avanza como parte integral del mismo (ver figura 51). 2. La fuerza de resistencia se aumenta con mayor inclinación hacia atrás y el diente provoca mayor sobrecarga durante el avance. 3. La resistencia se incrementa mas al avanzar que en el caso de los dientes hacia delante, actuando en dirección hacia arriba, dificultando la penetración del diente.
DIENTES CURVOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. El comportamiento de un diente curvo depende si hay o no deslizamiento en la cara suelo interfase. 2. Sin el deslizamiento la cara del diente se llena con suelo y el modelo de falla es similar que un diente recto, pero con algo de aumento en la fuerza de resistencia (ver Fig. 53). 3. Con restregamiento (deslizamiento) el suelo se desliza por la cara influyendo sobre el movimiento al salir hacia arriba del diente, generalmente el efecto de sobrecarga y la resistencia disminuyen (ver Fig. 52).

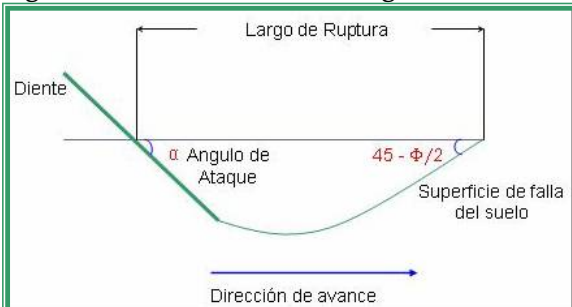
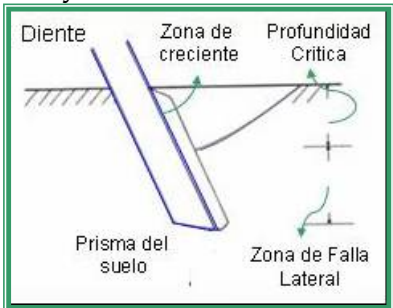
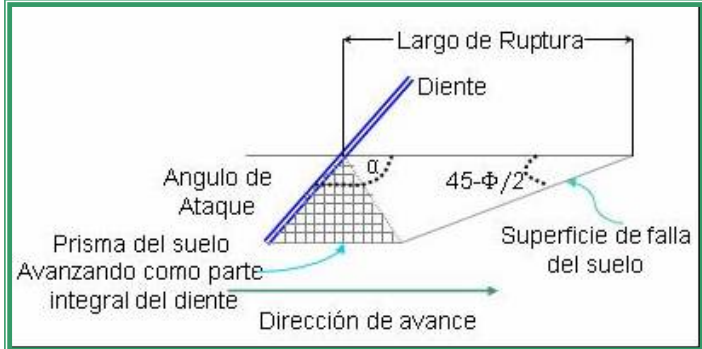
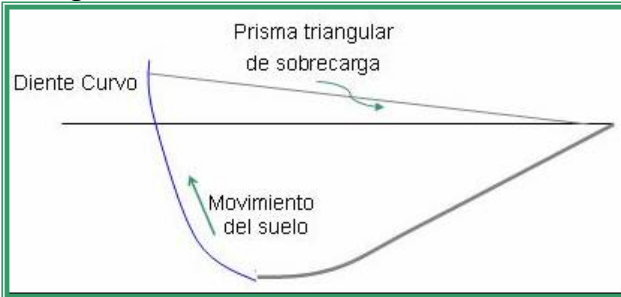
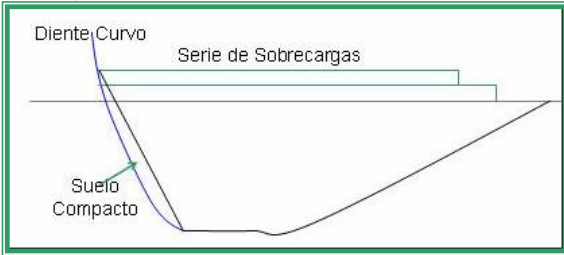
Fuente: Autores del proyecto

2.9. EFECTO DE LAS HERRAMIENTAS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL SUELO

Las herramientas influyen directamente sobre la estructura del suelo en fenómenos mostrados en la tabla 21, estos fenómenos aumentan o disminuyen

dependiendo de los diferentes los diferentes tipos de labranza que se utiliza sobre el suelo.

Tabla N° 20. Modelo grafico de falla en herramientas.

MODELO GRAFICO DE FALLA EN HERRAMIENTAS	
<p>Figura 49. Falla de un diente angosto.</p>  <p>Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 77.</p>	<p>Figura 50. Falla de suelo producido por un diente recto y ancho.</p>  <p>Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 84.</p>
<p>Figura 51. Falla de diente inclinado hacia atrás.</p>  <p>Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 78.</p>	
<p>Figura 52. Falla de un diente curvo con restregamiento.</p>  <p>Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 79.</p>	<p>Figura 53. Falla de un diente curvo sin restregamiento.</p>  <p>Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág. 79.</p>

Fuente: Autores del proyecto.

El sistema de subsolado es uno de los tipos de labranza que provoca un gran aumento de volumen alterado sin producir volteo del suelo, fenómeno denominado estallamiento. Esta variable fue identificada y cuantificada en las pruebas realizadas en plantación los resultados pueden ser vistos en el anexo H.

Tabla 21. Efecto de las herramientas sobre la estructura del suelo.

EFEECTO DE LAS HERRAMIENTAS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL SUELO.	
VOLUMEN DEL SUELO ALTERADO(ver Fig. 54)	<ol style="list-style-type: none"> 1. El volumen del suelo alterado por un diente depende de Profundidad de trabajo, largo y ancho de la zona alterada. 2. Para los dientes anchos, un ángulo de ataque pequeño (hasta 30 °) y una buena profundidad de trabajo provocan un mayor largo de ruptura y un mayor volumen alterado. 3. En los dientes angostos a mayores profundidades el volumen del suelo alterado no aumenta en forma correspondiente, este depende de la compactación.
CAMBIO EN LA DENSIDAD DEL SUELO.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estos cambios dependen en gran magnitud de la dirección de la fuerza resultante del diente que actúa sobre el suelo. 2. Para los ángulos de ataque menores que los 45 °, la fuerza resultante actúa hacia arriba en la mayoría de los suelos y tiende a si a moverse de igual manera, en apoyo al mullimiento del mismo. 3. Con ángulos mayores de ataque la fuerza actúa hacia abajo compactando el suelo y aumentando la carga normal entre las partículas y agregados, a la vez que incrementa significativamente la fuerza de resistencia.
REORDENAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS Y AGREGADOS DEL SUELO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los dientes angostos de ataque menor que los 60 ° tienden a levantar los agregados grandes hacia la superficie, mientras que con un Angulo de 90 ° ocasiona una mezcla dentro del perfil del suelo. 2. El prisma del suelo frente al diente angosto se levanta desde el pie del diente hacia la superficie, la forma del perfil también depende de factores tales como ancho e inclinación del diente y la humedad del suelo.

Fuente: Autores del proyecto

Figura 54. Volumen del suelo alterado.



Fuente: Autores del proyecto.

3. CULTIVO E INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE

En el presente capítulo se pretende explicar los conceptos básicos de la Palma Africana de Aceite en referente a los suelos, la caracterización de los suelos en las plantaciones de Palmas Oleaginosas Bucarelia del municipio de Puerto Wilches Santander y los estudio Edafológicos de los suelos a nivel nacional realizados conjuntamente por CORPOICA y CENIPALMA para el posibles cultivos de Palma Africana.

3.1. PALMA AFICANA DE ACEITE

3.1.1. Conceptos Básicos. La palma africana de aceite es un vegetal perenne. Cuando se le cultiva con propósitos comerciales (Ver Fig. 55), tiene un promedio de vida de 24 a 28 años. Durante lapso cada palma emite racimos de frutos oleaginosos de palma, que pueden alcanzar producciones de 4.2 toneladas durante toda su vida productiva. Esto representa un total de 600 toneladas por hectárea cuando el proceso se desarrolla en condiciones óptimas de suelo, clima, nutrición, mantenimiento, sanidad y administración. Colombia ocupa el cuarto lugar en el concierto mundial y es el primer productor del continente americano.

Figura 55. Cultivo Agroindustrial de Palma Africana.



Fuente: El cultivo de palma africana y su beneficio. CENIPALMA. 2002. Pág. 49

La palma se desarrolla bien y expresa mejor su potencial de producción en condiciones de alta temperatura, buena radiación solar, alta precipitación y humedad relativa. A pesar de la gran adaptabilidad del cultivo, la palma prefiere suelos aluviales, sueltos, profundos, bien drenados, con texturas francas y topografía plana o con pendientes susceptibles de ser sembradas en terrazas siguiendo las curvas de nivel.

La competitividad de muchas de las empresas palmicultoras colombianas es relativamente baja debido a:

- Cuentan con costos de producción altos.
- Por ineficiencia en algunas labores de campo.
- Bajas productividades de cultivo.
- Bajas tasas de extracción de aceite.
- Altos costos en el proceso de extracción.

3.1.2. Requerimientos para el cultivo de palma africana. Desde el punto de vista de ubicación geográfica los cultivos de palma de aceite se encuentran establecidos en muchos países de trópico húmedos entre los 15° de latitud Norte y los 15° de latitud sur, y en cuanto a la altitud la palma de aceite se adapta bien hasta una altura de 500 msnm. Según Hartley (1976, 1983) las condiciones óptimas de clima para el crecimiento y el desarrollo de un cultivo de palma de aceite son las siguientes:

- Precipitación: Una precipitación mensual de 150 a 200 mm se considera apropiada, totalizando de 1800 a 2400 mm anuales distribuidos de manera uniforme sin estaciones secas notables. Cuando hay dos o más meses con lluvias inferiores a 100 mm se produce desequilibrio en la producción.
- Temperatura máxima: 29-33° C

- Temperatura mínima: 22-24° C
- Brillo Solar: 5.0 hr/día, en todos los meses del año.

Respecto al nivel freático, la palma africana no tolera mantos freáticos permanentemente altos en suelos impermeables pero parece tolerable mantos freáticos fluctuantes y al agua en movimiento en suelos arenosos o limosos, cerca de los causes fluviales. La palma africana no crece ni fructifica bien en suelos inundados, ya sea que el nivel del agua esta en la superficie del suelo o bajo el mismo. La mayoría de las plantaciones están situadas en suelos relativamente livianos, de gran profundidad o en tierras onduladas con suelos de composición física variada, en donde la permeabilidad del suelo y los cursos de drenaje natural son adecuados. Se puede observar un resumen de estas condiciones en la tabla 22.

Tabla 22. Valores de requerimientos Edafoclimaticos para Palma de Aceite.

REQUERIMIENTO		CLASIFICACION POR FACTORES		
Factor Diagnostico	Unidad	Optimo	Moderado	Severo
Precipitación Anual	mm	2000-4000	1000-2000 4000-8000	500-1000
Clase de drenaje		Moderado a bien drenado	Imperfecto	Pobre o excesivo
Pendiente	%	<7	7-12	12-25
Profundidad Efectiva	cm	<75	75-50	<50

Fuente: ROMERO C. Mandius. Evaluación Edafoclimatica de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de la palma de aceite. Ministerio de Medio Ambiente CORPOICA, Cenipalma, 1990. Pág. 10.

Con base en las condiciones descritas anteriormente se seleccionaron para cada zona productora de aceite de palma, las áreas agroecológicas homogéneas localizadas en el piso térmico calido(o-1000 msnm y temperatura mayor de 24° C) que correspondan a provincias de humedad de Subhumedad(precipitación entre 500 y 2000 mm anuales), con relieves de plano a ondulado(pendientes menores de 12°), suelos de moderadamente a Muy profundos(profundidad mayor a 50 cm.), de moderadamente a bien drenados y con niveles de fertilidad de moderada a alta.

En referencia a los **Suelos**, las palmas necesitan nutrientes en cantidad suficiente y en equilibrio adecuado para su crecimiento y desarrollo normales. Del aire y del agua ellas toman carbono, oxígeno e hidrógeno. Del suelo toman grandes cantidades de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio; y en menores proporciones, azufre, hierro, cobre, zinc, manganeso, sodio, cloro, molibdeno y boro. Aun cuando se dice que este cultivo se adapta a una variada gama de suelos tropicales, sólo pueden clasificar como suelos óptimos esos que tienen una adecuada composición de arenas, limos y arcillas, una buena estructura granular, buena capacidad para retener agua aprovechable, apropiado drenaje, aceptable grado de fertilidad y ausencia de sustancias tóxicas e inhibitoras. Por eso es común oír decir que los suelos francos a franco-arcillosos, sueltos, profundos y de origen aluvial o volcánico, son los más deseables para el cultivo de la palma de aceite. De igual manera se afirma que suelos mal drenados, lateríticos, pesados, de turba profunda, salinos y con pendientes superiores al 10%, tienen algún grado de limitación para el cultivo de esta especie.

Si el suelo presenta degradación por parte de la compactación generada por la maquinaria, se genera el fenómeno denominado escorrentía. En la visita realizada a las plantaciones de Palmas Oleaginosas Bucarelia se encontró el lote 10-79(ver

Fig. 56) con altos grado de compactación lo que genera escorrentía en época de lluvia.

Figura 56. Lote 10-79 plantaciones de Palmas Oleaginosas Bucarelia.



Fuente: Autores del proyecto.

También es fundamental tener en cuenta que en la misma forma como el déficit de agua es un serio limitante para el desarrollo del cultivo, su exceso le resulta igualmente perjudicial. Por tanto, un adecuado sistema de drenaje debe obedecer al tipo de suelo, al relieve del lote y a la cantidad de agua que deba ser evacuada oportunamente.

3.1.3. Caracterización de los suelos para cultivo de palma africana en el municipio de Puerto Wilches, Vereda El Pedral. Para la caracterización de las propiedades físicas de los suelos de las plantaciones de Palma Africana en el corregimiento El Pedral, del municipio de Puerto Wilches se tomaron dos enfoques diferentes:

- Recopilación y utilización de los estudios anteriores realizados en la zona por entidades oficiales o privadas.
- Identificación y cuantificación de las propiedades físicas de suelos en el momento de realizar las pruebas.

Debido a los diferentes enfoques con los cuales se trabajaron algunos estudios de suelos y por antigüedad de ellos, se tomo la determinación de cuantificar personalmente estas variables, utilizando para esto la siguiente metodología:

1. Recopilación de información de propiedades físicas de suelos.
2. Selección de las propiedades a ser cuantificadas.
3. Estudio de los procedimientos utilizados para el cálculo de las variables seleccionadas.
4. Selección de las entidades que prestarían la asesoría y laboratorios para toma de muestras y cuantificación de ellas.
5. Selección de los tipos de lotes en los cuales se realizarían las pruebas.
6. Toma de muestras en plantación.
7. Calculo de las propiedades seleccionadas.
8. Análisis de los resultados obtenidos.

En referencia a los estudios edafológicos realizados en plantación, se tomara el hecho por CENIPALMA en asocio con CORPOICA, donde se valoraron las zonas en Colombia en las cuales se podrá en un futuro remoto cultivar palma africana, se tomara en cuenta debido a la gran posibilidad de utilización de equipos de subsolado tanto en el cultivo de zonas propicias para esto, como para el cultivo de zonas con moderadas restricciones. El creciente interés nacional e internacional por la expansión de la agroindustria de la palma africana ha determino la necesidad de estimar cuantitativa y cualitativamente la disponibilidad de tierras que tiene Colombia para el cultivo de esta especie, lo cual ha llevado la vinculación de expertos de otros países orientadas al logro de esa finalidad. CENIPALMA adelanto este estudio de carácter preliminar para que los resultados sean tomados como base para el diseño de estudios posteriores que evalúen progresivamente la aptitud de las tierras identificadas como de mayor potencialidad con un mayor nivel de detalle y bases técnicas más sólidas.

El estudio Zonificación Agroecológica de Colombia (IGAC-ICA), estableció como criterios para la definición de zonas agroecológicas homogéneas las variables clima, geomorfología, material parental y suelos entre otras (ver tabla 23), las cuales permiten definir áreas similares para ser consideradas homogéneas al nivel de escala de trabajo utilizada. A continuación serán estudiadas cada una de ellas.

A. Clima. Se utilizaron los factores altitud, temperatura, provincias de humedad y valores de precipitación para evaluar esta variable. Se establecieron cuatro pisos térmicos, con base en los factores altitud y temperatura desde el calido (0-1000 m de altura y temperatura > 24 °C) hasta el Nivel (> 4000 m de altura y $< 6^{\circ}$ de temperatura). La precipitación permitió clasificar las provincias de humedad en los diferentes pisos térmicos desde Peraridas ($<$ de 500 mm en el piso térmico calido) hasta superhúmedo (con precipitación $>$ a 8 mm en el mismo piso térmico).

B. Aspectos Geomorfológicos. Se utilizo la unidad espacial denominada Paisaje, que esta constituido por repeticiones de tipos de relieve idénticos o por asociación de tipos de relieve diferentes. Los paisajes identificados incluyen: Valles, Planicies, Altiplanicies, Altillanuras, Montillas, Sierras, Piedemonte y Colinados. De acuerdo a su forma y pendiente, los relieves se agruparon en cinco clases, desde Planos a Ligeramente Planos (pendiente $<$ de 3%) hasta Escarpados hasta muy Escarpados (pendientes $>50^{\circ}$).

C. Material Parental. El aspecto geológico más importante es el Material Parental o masa consolidada de la cual se forman los suelos. La clasificación se hizo con base en el origen de las rocas, sedimentario, Ígneo o Metamórfico.

D. Suelo. Las características contempladas para esta variable fue el grado de evolución que permitió agrupar los suelos en seis clases, de Muy Alta a Muy Baja Evolución.

E. Profundidad efectiva. Definida como la distancia vertical a la cual pueden llegar las raíces de las diferentes plantas sin obstáculos físicos o químicos, indica la potencialidad del suelo como medio para el desarrollo de las plantas. Los suelos se clasifican de acuerdo a la profundidad en cinco clases, de Muy superficiales (< de 25 cm.) a Muy Profundos (> de 150 cm.)

F. Drenaje. Este criterio hace referencia a la rapidez con que el agua pasa a través del suelo hacia espacios subterráneos. Los suelos se clasifican en tres grandes clases: Mal, Moderadamente y Bien Drenados.

G. Erosión. Este factor evalúa la pérdida de materiales de la superficie terrestre por medio de las fuerzas individuales o combinadas de agua, viento y gravedad, tanto en el estado actual del proceso como la susceptibilidad al mismo.

H. Fertilidad. Este factor se relaciona con el nivel de elementos nutrientes para las plantas, su disponibilidad, relaciones adecuadas y ausencia de sustancias perjudiciales a las mismas. Esta propiedad condiciona la productividad de una zona si no hay limitantes físicos. Los suelos se clasifican en cuatro grupos en relación con la fertilidad, de Muy Baja a Alta, las cuales determinan a su vez los requerimientos de fertilizantes y enmiendas de Altos y Muy Altos en el primer grupo, a Bajo y Muy Bajos para la mayoría de los cultivos en el último.

I. Salinidad. Este factor negativo de la fertilidad limita en muchas ocasiones la productividad de las tierras. El estudio zonifica las tierras del trópico bajo colombiana a escala 1:500.000 en función de su potencialidad para el cultivo de palma africana de aceite, teniendo en cuenta solamente algunas características de los suelos y del clima.

Tabla 23. Características de la zona Agroecológicas a nivel nacional.

ZONA AGROE	PISO TERMIC	PROVINCIA HUMEDAD	PRECIP mm	PRO-GEOM	PAISAJE	PEN	DRENAJE
Ch	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Acumulación	Planicie eólica	<3	Pob. Drenado
Ci	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Acumulación	Planicie eólica	<3	Pob. Drenado
Cj	Cálido	Subhúmedo	de 1000 a 2000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Bien Drenado
Ck	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Denudación	Altilanura	<3	Excesivo
Cm	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Pob. Drenado
Cn	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Acumulación	Planicie fluviolacustre	7 - 12	Bien Drenado
Co	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Denudación	Altilanura	0 - 7	Bien Drenado
Cp	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Bien Drenado
Cq	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Denudación	Altilanura	<3	Pob Drenado
Cr	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Denudación	Altilanura Ondulada	7 - 12	Bien Drenado
Cu	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Denudación	Colinado	12 - 25	Bien Drenado
Cy	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Acumulación	Planicies marinas y Piedemonte	7 - 12	Bien Drenado
Cz	Cálido	Subhúmedo	de 500 a 2000	Denudación	Colinas	12-25	Bien Drenado
Cj(S)	Cálido	Subhúmedo	de 2000 a 4000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Bien Drenado
Kb	Cálido	Húmedo	de 2000 a 8000	Acumulación	Planicie fluviolacustre	<3	Bien Drenado
Kd	Cálido	Húmedo	de 2000 a 8000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Bien Drenado
Ke	Cálido	Subhúmedo	de 2000 a 8000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Bien Drenado
Kf	Cálido	Húmedo	de 2000 a 8000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Pob. Drenado
Kg	Cálido	Húmedo	de 2000 a 8000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Pob. Drenado
Ki	Cálido	Perhúmedo	de 2000 a 8000	Denudación	Altilanura Ondulada	3 - 7	Excesivo
Kj	Cálido	Subhúmedo	de 2000 a 8000	Denudación	Altilanura Plana	<3	Pob. Drenado
Kk	Cálido	Perhúmedo	de 2000 a 8000	Acumulación	Piedemonte	7 - 12	Imperfecto
Kn	Cálido	Subhúmedo	de 2000 a 8000	Denudación	Altilanura Ondulada	12 - 25	Bien Drenado
Kp	Cálido	Subhúmedo	de 2000 a 8000	Denudación	Colinado	12 - 25	Bien Drenado
Kq	Cálido	Húmedo	de 2000 a 8000	Denudación	Colinado	7 - 12	Mod. Bien Drenado
Kr	Cálido	Húmedo	de 2000 a 8000	Denudación	Colinado	12 - 25	Bien Drenado
Kd(s)	Cálido	Húmedo	de 2000 a 8000	Denudación	Planicie aluvial	<3	Bien Drenado
Ka(p)	Cálido	Perhúmedo	de 2000 a 8000	Acumulación	Depresión aluvial	<3	Pob Drenado
Kc(1)	Cálido	Perhúmedo	de 2000 a 4000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Pob Drenado
Kc(1)	Cálido	Perhúmedo	de 2000 a 8000	Acumulación	Planicie aluvial	<3	Pob Drenado

Fuente: Fuente: Fuente: ROMERO C. Mandius. Evaluación Edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de la palma de aceite. Ministerio de Medio Ambiente CORPOICA, Cenipalma, 1990. Pág. 12.

3.1.4. Evaluación Edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de Palma de Aceite. El proceso de evaluación utilizado se fundamenta en una confrontación entre los requerimientos del cultivo (demanda edafoclimática) y la oferta

ambiental que presentan las múltiples unidades de tierra que conforman el trópico bajo de Colombia. Las zonas productoras de aceite de palma en nuestro país para su estudio fueron divididas en:

- Zona Norte
- Zona Central
- Zona Oriental

Este estudio muestra la potencialidad de nuestro país con referente a los suelos, así como la posible utilización de medidas tales como el subsolado que tiendan a mejorar las propiedades físicas del suelo para un posible cultivo en suelos con moderadas restricciones (ver Fig. 57). Para nuestro estudio nos limitaremos a conocer los resultados globales y nos enfocaremos a los resultados de la zona central, en la cual hace parte el Municipio de Puerto Wilches.

Resultados generales. La tabla de requerimientos de cultivo se construyó a partir de criterios de provincia de humedad, pendientes, drenaje natural y profundidad efectiva del suelo. Con dichos requerimientos se estableció una clasificación en la cual se expresan en tres clases (ver tabla 24): Sin restricciones, con restricciones moderadas y restricciones severas.

Como producto del trabajo se encontró que:

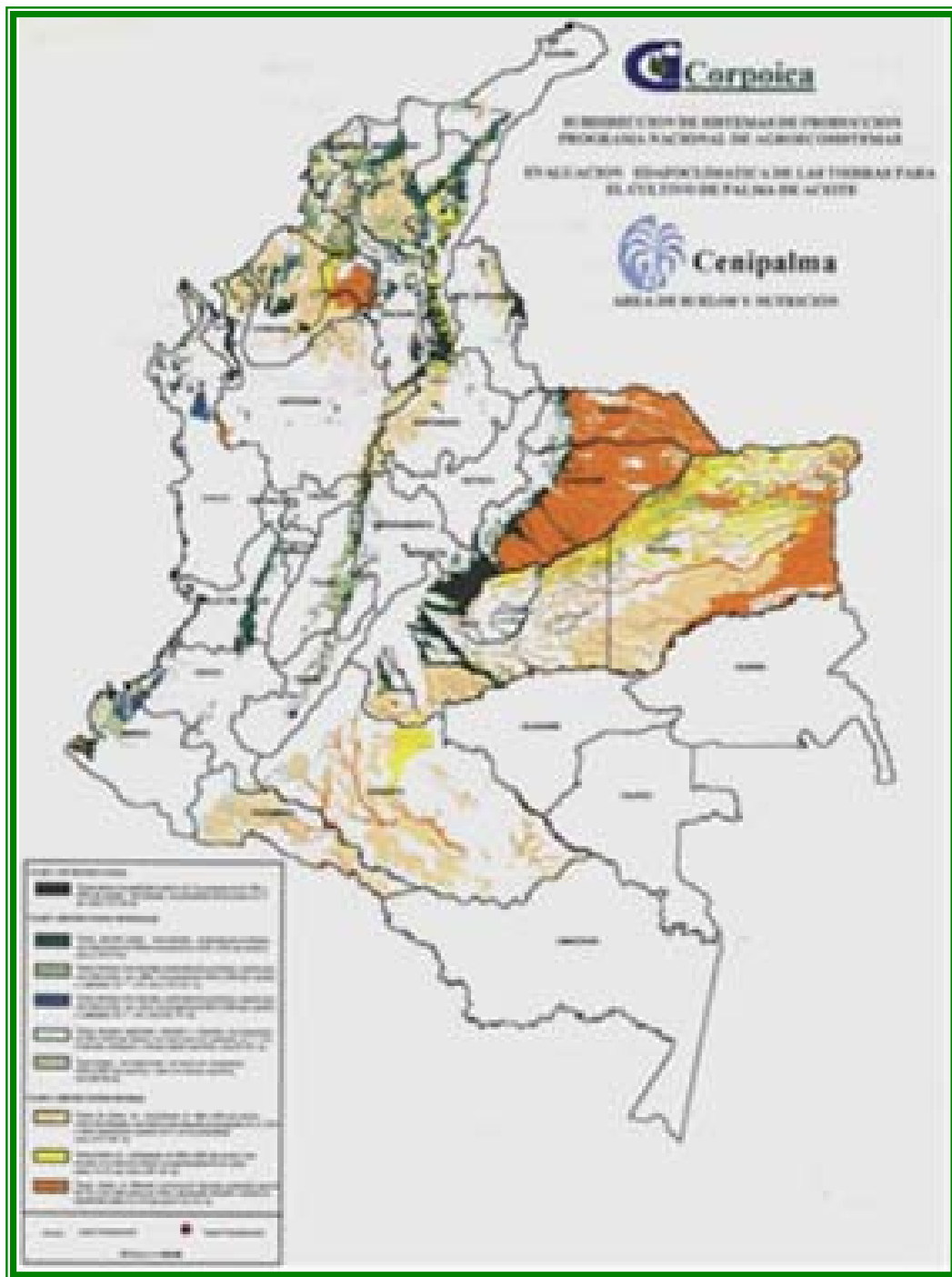
- **30531.381** hectáreas del trópico bajo tienen potencialidad alta para el cultivo.
- **6.133.381** hectáreas presentan restricciones moderadas para el cultivo.
- **23.032.885** hectáreas tienen restricciones severas para el cultivo de palma.

Tabla 24. Extensión y porcentajes de clases y subclases a nivel nacional.

	ANDEN PACIFICO		MAGDALENA MEDIO		ORINOQUIA		ATLANTICO SUCRE, CORDOBA, BOLIVAR	
	Extensión (Ha)	(%)	Extensión (Ha)	(%)	Extensión (Ha)	(%)	Extensión (Ha)	(%)
SIN RESTRICCIONES	66865	9.50	693103	27.82	1933821	16.45	579493	9.79
RESTRICCIONES MODERADAS	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitación Deficitaria	-	-	471442	18.92	140429	1.19	866843	14.64
Precipitación Déficit y pendiente	-	-	248132	9.96	464393	3.95	568498	9.60
Exceso Precipitación y pend. 7-12%	204827	29.10	-	-	647081	5.51	--	
Drenaje Natural Imperf y Pend 7-12%	-	58.91	-	-	332953	2.83	-	-
Exceso Precipitación y dren. Imperfec.	-	414613	-	-	-	-	-	-
Subtotal	619440	88.01	719574	28.88	1584856	13.48	1435341	24.24
RESTRICCIONES SEVERAS	-	-	-	-	-	-	-	-
Pendiente 12 - 25% suelos superficial	-	-	702168	28.18	1623556	13.81	3261262	55.09
Suelos superficiales			376882	15.13	1076220	9.16	223750	3.78
Drenaje natural pobre a muy pobre	17547	2.49			5535093	47,09	420395	7,10
Subtotal	17547	2.49	1079050	43.31	8234874	70.06	3905407	65.97
TOTAL	703852	100	2491727	100	1.2 E +07	100	5920241	100

Fuente: Fuente: ROMERO C. Mandius. Evaluación Edafoclimatica de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de la palma de aceite. Ministerio de Medio Ambiente CORPOICA, Cenipalma, 1990. Pág. 23.

Figura 57. Mapa Evaluación Edafoclimatica de las tierras para el cultivo de la palma de aceite.



Fuente:

ROMERO C. Mandius. Evaluación Edafoclimatica de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de la palma de aceite. Ministerio de Medio Ambiente CORPOICA, Cenipalma, 1990. Pág. 15.

3.2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE SUELOS EN EL CULTIVO DE PALMA AFRICANA

Algunas características físicas del suelo, su manejo inadecuado y las restricciones en el desarrollo del sistema radical, son factores que limitan el potencial productivo de las plantas. En el cultivo de la palma africana de aceite, el flujo del agua durante el riego por gravedad y el uso permanente de maquinaria agrícola y de animales de tiro dentro de los lotes, generan fuerzas mecánicas que generan el proceso de compactación del suelo, esto está creando condiciones desfavorables para la absorción de agua y nutrientes por las raíces que afectan el crecimiento y desarrollo de las palmas. Para el análisis de este problema se deben tener en cuenta variables fundamentales tales como edad de cultivo, tipo de suelo, características físicas del suelo y el proceso de mecanización a que ha sido tratado. En el desarrollo de alternativas que permitan manejar las condiciones físicas de suelos sin disminución de la productividad de cultivo, se han hecho en el país pocos estudios, el sector palmero no tiene al suelo como generador de la baja de producción. Cuando un suelo presenta compactación o drenaje interno impedido, el crecimiento de las raíces es restringido, se limita la captura de humedad y se incrementa la escorrentía y la erosión. Rice (1983), señaló que los cultivos con un desarrollo radicular restringido en el horizonte superficial, nunca llegan a alcanzar su potencial de producción. En palma africana se acostumbra a evaluar la resistencia a la penetración como indicativo del grado de compactación, ya que esta conlleva a un descenso en la infiltración, se encuentra una estrecha relación entre los factores: manejo agronómico, compactación y movimiento de agua. En condiciones tropicales, la incidencia de los factores climáticos y el manejo agronómico de los cultivos sobre las características físicas-químicas de los suelos es bien marcada y si no se toman las medidas preventivas necesarias, esto puede

originar problemas de manejo y conservación de suelos con su evidente influencia sobre la rentabilidad de un cultivo. En el caso de palma africana de aceite, se ha observado en otras zonas con una tradición mas arraigada del cultivo una disminución del potencial productivo de los suelos, sobre todo en plantaciones de segunda generación (Caliman 1990). Las causas de este problema deben buscarse en el manejo inadecuado de suelos mantenidos bajo cultivo, durante el periodo de crecimiento y desarrollo de una plantación.

La reducción de la productividad se ha asociado con un desarrollo vegetativo pobre de las palmas y de la planta de cobertura, la cual tiende a desaparecer, fenómenos que resultan de una leve acidificación de los y principalmente de la formación de un horizonte compacto que no permite un buen desarrollo radical (Caliman, 1987) Dufour y Olivin (1985) observaron en sus experimentos una deficiencia en la nutrición hídrica que se debe a una capacidad de retención inferior de los suelos y a un desarrollo deficiente del sistema radical, también se señala una pérdida de la estructura como consecuencia del paso de vehículos en la parcelas y de alteración de la estabilidad estructural por el desequilibrio cationico en el suelo como consecuencia de las fertilizaciones.

Se debe evaluar la compactación y la infiltración de los suelos cultivados con palma africana en diferentes áreas, generando una visión de la problemática en cuanto a la utilización de prácticas de manejo que pudieran afectar la productividad y la rentabilidad de las plantaciones de palma africana.

A partir del análisis técnico realizado en los lotes 10-79 y 10-97, donde se tuvieron en cuenta variables que pudieran ser cuantificadas y comparadas, el primer problema identificado es el grado de compactación superficial en que se encuentran los suelos

estudiados especialmente el lote 10-79(ver Fig. 58), este tipo de degradación es llamado generalmente **pie de pezuña**.

Figura 58. Lote 10-79. Plantaciones Palma Oleaginosas Bucarelia S.A.



Fuente: Autores del proyecto.

El segundo problema se refiere a la renovación de cultivos, generado por el dificultad de cosechar los frutos que se encuentran a gran altura o cuando se establecerán cultivos jóvenes en tierras ya trabajadas. Estas tierras trabajadas pueden presentar degradación de su estructura ya sea por el pisoteo de animales o por la mecanización del cultivo anterior. La adecuación y preparación de tierras donde antes hubo potreros, rastrojos u otros cultivos, difiere bastante de la requerida para tierras de selva o bosque, pues las condiciones físicas y químicas de estos suelos son bastante diferentes de las de aquéllos

Debido a que la compactación del suelo es el principal problema de degradación, se tratara de explicar en las siguientes páginas este problema, enfocado en el cultivo de palma africana.

3.2.1. Compactación de suelo en cultivos de palma africana. La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada

masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. La compactación del suelo reduce el volumen ocupado por los poros, especialmente aquellos de diámetro grande. El aumento de la densidad del suelo es función de compactación y el contenido de agua. La fuerza necesaria para compactar un suelo a una densidad dada decrece exponencialmente al aumentar la fuerza aplicada. La mayoría de los suelos se compactan mas severamente si se trabajan cuando están húmedos y el problema aumenta cuando la humedad aumenta. La fuerza necesaria para compactar un suelo de una densidad dada, decrece exponencialmente al aumentar la humedad. La máxima compactación o reducción de la porosidad del suelo no puede lograrse en suelo seco, porque la fuerza de cohesión entre partículas impide que estos se acomoden para condicionar el mínimo espacio poroso. El origen, efectos y solución de la compactación puede verse en la tabla 25.

3.2.2. Renovación del cultivo. Las plantaciones de palma de aceite nuevas se desarrollan en terrenos donde antes había selva primaria o secundaria, rastrojos, praderas dedicadas a la ganadería. De acuerdo con el anterior estado o uso de la tierra, se determinan las labores a desarrollar para adecuar las condiciones del terreno (ver Fig. 59), no sólo para recibir las palmitas provenientes de un vivero desarrollado con un año de antelación, sino para posibilitar que el cultivo exprese su máximo potencial de producción.

Figura 59. Despeje del suelo para la implantación de cultivos de palma



Fuente: El cultivo de palma africana y su beneficio. CENIPALMA. 2002. Pág. 83.

Tabla 25. Compactación de suelos agrícolas.

COMPACTACION DE SUELOS AGRICOLAS	
ORIGEN	<ol style="list-style-type: none"> 1. Implementos de labranza 2. Pisoteo de personas y animales 3. Peso de los tractores 4. Efectos ambientales 5. Tipo de suelo
EFFECTOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento en al Densidad Aparente 2. Aumento en la Resistencia a la Penetración 3. Disminución de la Porosidad 4. Disminución del desarrollo Radicular 5. Disminución de la Infiltración
PREVENCION	<ol style="list-style-type: none"> 1. Practicas de manejo de suelos. 2. Evaluación periódica de las propiedades físicas de suelos 3. Disminución del peso de la maquinaria. 4. Distribución del peso de la maquinaria. 5. Aumentar el ancho de los neumáticos. 6. Disminuir la presión de inflado de los neumáticos. 7. Disminuir el patinaje de las ruedas. 8. Aumentar la velocidad de trabajo. 9. Disminuir el número de pasadas de la maquinaria. 10. Disminuir la profundidad de trabajo del implemento.
SOLUCION	<ol style="list-style-type: none"> 1. Subsolado. 2. Arado 3. Incorporación de materia orgánica al suelo 4. Uso de cubiertas vegetales

Fuente: Autores del proyecto.

Adecuar y preparar un suelo implica por tanto, hacer lo necesario para que las palmas queden despejadas esto es, sin árboles o bosques que les den sombra, en suelos sueltos y bien aireados, que cuenten con los canales necesarios para el

manejo de los excesos y deficiencias de agua, y estén sembrados con una leguminosa eficiente, para fijar en el suelo el nitrógeno del aire (ver Fig. 60). Las labores de adecuación y preparación incluyen también el establecimiento de las vías de acceso, la distribución o diseño de los lotes en lo referido a su tamaño y orientación, según los sistemas de producción seleccionados, y con la señalización perfectamente alineada y orientada de los sitios exactos en donde se sembrará cada palma.

Figura 60. Adecuación de tierras para la siembra de Palma Africana.



Fuente: El cultivo de palma africana y su beneficio. CENIPALMA. 2002. Pág. 83.

3.3. PRESENTACIÓN DEL SUBSOLADO COMO SOLUCIÓN.

Conociendo y valorando técnicamente el problema de compactación en los cultivos de palma africana en los lotes de la Empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A., entro a determinar las posibles soluciones a él. Estas soluciones están resumidas en la tabla 25. Para abordar el problema de la compactación se pueden tomar medidas correctivas e inmediatas, como es el caso del subsolado (ver Fig. 61).

Figura 61. Trabajo de subsolado.



Fuente: <http://www.howard-int.com>

4. VARIABLES DE DISEÑO EN EL SISTEMA DE LABRANZA POR SUBSOLADO

En este capítulo se explicaran las variables de diseño del equipo de subsolado profundo, en relación a los suelos de las plantaciones de Palmas Oleaginosas Bucarelia, las variables relacionadas con el cultivo y las relacionadas al tipo de herramienta, por lo tanto se explicaran los procedimientos utilizados para la cuantificación o selección de cada una de ellas y por ultimo se trabajara un modelo matemático destinado a la valoración de la fuerza de corte de la herramienta, para esta sección se utilizara la Ecuación fundamental del movimiento de suelos, llamada comúnmente Ecuación de Reece y la ecuación de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos ASAE.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO

A partir del análisis de la bibliografía existente y por los resultados obtenidos en las visitas técnica, el enfoque que se tenia del proyecto tomo otra dimensión ya que paso a ser de carácter investigativo. Las mayoría de variables de diseño eran inicialmente desconocidas (ver tabla 26), nos encontrábamos con una cantidad de temas que no eran competencia de la Ingeniería Mecánica sino de las Ingeniería Agrónoma, se tratada de busca la real incidencia tanto de cultivo como del suelo en el diseño de la herramienta, se busco encontrar una interfase entre las dos carreras obteniéndose entonces dos posibles soluciones:

1. Diseñar el subsolador únicamente con variables de tipo mecánico.
2. Diseñar todo el elemento subsolador teniendo en cuenta todas las variables incluyendo las del tipo de suelo, las generadas por el cultivo de palma africana y las variables mecánicas.

La elección de la solución N° 2, nos permitió hacer uso de la gestión realizada ante entidades de carácter oficial y privado, definiendo unas pruebas iniciales de subsoladores existentes en la región de las plantaciones de palma de aceite, donde realmente se pudiera identificar y cuantificar las variables de diseño necesarias para el proyecto.

De igual forma se plantearon unas pruebas adicionales de comparación del trabajo efectuado antes y después del realizar el subsolado para cuantificar la real incidencias sobre el suelo de la solución presentada, tanto para las variables de diseño como para las variables de comparación no se contaba con ninguna información actualizada pudiera dar a conocer su valor, por lo tanto se tomo la decisión de cuantificarlas o seleccionarlas directamente.

4.2 CUANTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO MEDIANTE PRUEBAS A SUBSOLADORES EXISTENTES EN LA REGION

Las variables de diseño identificadas en el numeral anterior deben ser cuantificadas en la plantación utilizando los implementos agrícolas de subsolación actuales, mediante pruebas de campo regidas bajo la normatividad internacional emitida por autoridades en ésta rama de la ingeniería como lo son la American Society of Agricultural Engineers ASAE STANDAR y American Society for Testing and Materials ASTM.

Adicionalmente se contó con la asesoría de personas con experiencia en medición de variables del suelo y de maquinaria agrícola como son el Ph.D Gilberto Murcia Contreras, adscrito al Instituto Nacional de Suelos Corpoica- Tibaitata, experto en valoración de maquinaria importada a Colombia, y el Ing. Henry Mateus, adscrito a Corpoica Barrancabermeja, experto en el manejo y recuperación de suelos degradados, especialmente por la compactación generadas por los semovientes, de igual forma se contó con la asesoria de los diferentes instructores del Servicio

Nacional de Aprendizaje SENA e investigadores del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, regional Santander. Por parte de la Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga se prestó asesoría y equipos para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 26. Identificación de las variables de diseño y comparación

IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO Y COMPARACION	
ENTIDADES ASESORAS	<ul style="list-style-type: none"> • Instituto Colombiano Agropecuario. ICA. • Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. • Servicio Nacional de Aprendizaje. SENA. Regional Santander. • Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga. • INSED • Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. • CORPOICA Tibaitata. Instituto Nacional de Suelos.
VARIABLES DE DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de subsolador. • Tipo de Enganche al tractor. • Tipo de portaherramientas. • Fuerza generada por la herramienta. • Velocidad de Operación. • Relación de velocidad del tractor. • Potencia en la barra de tiro. • Potencia a la salida del motor en el tractor. • Resistencia del suelo a la penetración. • Densidad Real y Densidad Aparente. • Humedad del suelo. • Textura. • Perfil del suelo (Horizonte). • Profundidad de trabajo de la herramienta. • Ancho de trabajo de la herramienta. • Área de suelo trabajada por la herramienta. • Área de suelo incrementado por la herramienta. • Tipo de lote. • Pendiente del suelo.
VARIABLES DE COMPARACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltración. • Densidad aparente. • Área de suelo trabajada por la herramienta. • Área de suelo incrementado por la herramienta.

Fuente: Autores del proyecto.

4.2.1. Materiales y métodos. Las pruebas de campo de las herramientas de subsolado fueron realizadas el 15 y 16 de Febrero del 2003, naciendo estas de la necesidad del estudio de los parámetro fundamentales en la mecanización agrícola, como lo es la profundidad de trabajo, la velocidad de avance y el tipo de suelo, ya que ellos generan propiedades derivadas como el consumo de potencia y tipo de herramienta.

El sitio destinado para la realización de las pruebas fue el lote 10-79 y 10-97 pertenecientes a las plantaciones de palma de aceite de la empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A., en el corregimiento el pedral del municipio de Puerto Wilches. En referente a los tipos de lotes en los cuales se realizaría las pruebas inicialmente se tenía una lista de 10 lotes para ello, en una reunión sostenida en las instalaciones de Corpoica Barrancabermeja, en la cual se diseñaría la metodología a seguir se planteo la necesidad de reducir el numero de lotes, debido a la gran cantidad de muestras que se tendrían. El objetivo era cuantificar unas variables y no la caracterización de todos los suelos de las plantaciones de Bucarelia. Debido a esto se tomo la decisión de carácter técnico de seleccionar 2 lotes que cumplieran con las siguientes características:

- Lote de palma Adulta.
- Lote de palma joven.
- Lote con problemas altos de compactación.
- Lote con propiedades homogéneas en sus condiciones físicas.
- Lote sin pendientes elevadas.

Bajo estos parámetros los lotes seleccionados por el Departamento Agronómico de la Empresa Bucarelia para el estudio fue el lote 10-79 y el 10 97. El equipo de trabajo e investigación estaba conformado por las siguientes personas:

- Ing. Eduardo Castañeda. Palmas Oleaginosas Bucarelia.
- Ing. Guillermo Estrada. . Palmas Oleaginosas Bucarelia.

- Jaime Enrique Zarate Colmenares.
- Ciro Alfonso Villamizar Rivera.
- Personal de la empresa.

El objetivo de la prueba era la valoración directa y real de variables involucradas en el proceso de subsolado, que fueran posteriormente utilizadas el proceso de diseño de la herramienta.

Inicialmente se plantearon las siguientes etapas:

1. Análisis bibliográfico de equipos de subsolado.
2. Estudio de las herramientas utilizadas en la región para subsolado.
3. Gestión para el préstamo de equipos.
4. Recolección y adecuación de equipos de subsolado.
5. Selección de pruebas y elaboración de formatos de toma de datos.
6. Pruebas en plantación.
7. Análisis de las pruebas y resultados.

Después de analizar los diferentes tipos de subsoladores e investigando los utilizados en la región, se gestiono el préstamo bajo los siguientes parámetros:

- Como se trataba de un proyecto de investigación con pocos recursos no se pagaría ningún tipo de alquiler.
- Los equipos eran puesto a punto para las pruebas, para esto se valoraban las condiciones iniciales en que se encontraban, remplazando las piezas defectuosas.
- Los gastos de recolección, entrega y puesta apunto de los equipos era asumido directamente por la empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.

4.3. REALIZACION DE PRUEBAS PROPIEDADES FÍSICAS DE SUELOS

Las pruebas seleccionadas en referente a propiedades físicas de los suelos fueron separadas en dos grupos: pruebas de campo y pruebas de laboratorio (ver tabla

27). Para su cuantificación fueron seleccionados el Laboratorio de Ingeniería Civil y el Laboratorio de Corpoica Barrancabermeja.

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS PRUEBAS

4.4.1. Resistencia a la Penetración. Con los datos tomados directamente por el penetrómetro a diferentes profundidades en los lotes 10-79 y 10-97 de las plantaciones de palma de aceite de la empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. se toman los valores promedios para muestra y se grafica Resistencia a la Penetración vs. Profundidad (ver tabla 11) utilizando el programa Microsoft Excel, a partir del análisis de esta grafica y de la visita a plantación se obtienen las conclusiones dadas en la tabla 28.

Tabla 27. Resumen de las pruebas de Propiedades Físicas de suelos.

PRUEBA	SITIO DE REALIZACION	ENTIDAD	Persona responsable
Resistencia a la Penetración.	Campo	UIS	Jaime Z. Ciro V.
Horizonte	Campo	UIS	Jaime Z. Ciro V.
Humedad del suelo.	Laboratorio Ing. Civil	UIS	Jaime Z. Ciro V.
Textura	Laboratorio Ing. Civil	UIS	Jaime Z. Ciro V.
Límites de Atterberg.	Laboratorio Ing. Civil	UIS	Jaime Z. Ciro V.
Densidad Real Densidad Aparente	Campo	Corpoica	Henry M.
Porosidad.	Campo	Corpoica	Henry M.
Infiltración.	Campo	Corpoica	Henry M.

Fuente: Autores del proyecto. 2002

Los datos y resultados obtenidos pueden ser vistos en el anexo H.20 Y H.21.

Las fotos de esta prueba pueden ser vistas en el anexo I.1.

Tabla 28. Conclusiones Resistencia a la Penetración.

CONCLUSIONES RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	
N°	CONCLUSION
1	Que el suelo estudiado (lote 10-79 y lote 10-97), presenta signos de degradación con respecto a la compactación, debido a la aplicación continua de fuertes presiones generadas por el uso de maquinaria agrícola y el pisoteo de animales.
2	El problema de compactación es superficial, presentándose el llamado pie de pezuña , en los primeros 30 cm. de profundidad. Después de ésta profundidad se presenta una disminución en los valores de resistencia a la penetración, debido probablemente al aumento de la humedad.
3	Aunque no se tienen parámetros de comparación con otros estudios similares respecto a palma africana en Colombia, los valores obtenidos en el lote 10-79 pueden ser tomados como criterio de evaluación de una compactación superficial, de igual forma los valores del lote 10-97 aunque comparados con el lote 10-79 son menores, si presumen la presencia de compactación superficial.
4	El lote 10-79 presenta secciones en las cuales es casi imposible manualmente introducir el penetrometro a grandes profundidades.
5	La ventaja de este método radica en la facilidad y rapidez de obtener datos de resistencia a la penetración, característica que le permite ser tomada por diferentes autores como indicador de problemas de compactación.
6	Los datos de penetrometría permitieron generar de manera rápida, la localización de las capas compactas (hard pan) (Ver tabla 11)
7	A raíz del problema de compactación y ausencia de materia orgánica en el lote 10-79, se presumen problemas derivados de esta tales como escorrentía y bajo nivel de infiltración.
8	En referencia a los tipos de calle, se concluye que la calle de tránsito presenta una compactación mayor que en la calle de palera, debido a que en ésta última la presencia de materia orgánica, ayuda a disminuir el problema, además de esto el no tránsito de maquinaria y semovientes por un periodo de tiempo incide en que no se forme dicha capa.

Fuente: Autores del proyecto

4.4.2. Horizonte. Este estudio permite identificar el perfil del suelo por apreciación directa, el perfil del suelo es la secuencia de ubicación de las capas del suelo. Para realizar dicha apreciación se debe cavar un hueco llamado comúnmente **calicata** hasta la profundidad deseada, siguiendo la metodología dada en la tabla 29.

De acuerdo a los lotes seleccionados y basados en la experiencia de los trabajadores se determinó el sitio, la cantidad y las dimensiones de la calicata, para obtener una muestra bien representativa y homogénea del terreno, los lotes seleccionados por el Departamento de Agronomía de la empresa Bucarelia fueron el lote 10-79 y 10-97 y

de estos fueron seleccionados las respectivas calles de tráfico mostradas en las fotos. Adicional a la prueba de resistencia a la penetración, la prueba de horizonte nos permitió verificar visualmente el problema de degradación de suelo en referente a la compactación sacando de este estudio las conclusiones dadas en la tabla 29. Las fotos de esta prueba pueden ser vistas en el anexo I.2.

4.4.3. Densidad Real y Densidad Aparente. Los resultados obtenidos para el cálculo de la Densidad Aparente y Densidad Real, están suministrados en los anexos del presente trabajo. El análisis de los resultado permitió concluir que el lote 10-79 presenta un alto grado de compactación superficial, este análisis se basa en la documentación bibliografica del tema de igual forma comparando los valores de Densidad Aparente con los datos Densidad Aparente suministrados por el ICA, en el estudio de suelos de la zona de Puerto Wilches en 1970 se observa unos valores menores, como consecuencia de la degradación de los suelos producida por la maquinaria utilizada y por el transito de semovientes.

Los datos de las densidades fueron también utilizados en la formulación matemática, para el cálculo de las fuerzas de corte generadas por la herramienta. Los datos y resultados obtenidos pueden ser vistos en el anexo H.1. Las fotos de esta prueba pueden ser vistas en el anexo I.3 Y I.6.

4.4.4. Porosidad total (E). Con base en los estudios obtenidos en la determinación de la densidad Aparente y Densidad Real se calculo la porosidad total utilizando la siguiente expresión:

$$E = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \cdot 100 \text{ (Ecuación 10)}$$

Donde:

E = porosidad total %.

Da = Densidad Aparente g/cm³.

D_r = Densidad real g/cm³.

Tabla 29. Horizonte.

HORIZONTE	
METODOLOGÍA	1. Ubicación de un sector representativo del lote.
	2. Demarcación del área de trabajo (1 x 1 [m]).
	3. Excavación de la calicata hasta la profundidad deseada (0.6 [m]).
	4. Afinamiento de las paredes de la calicata, utilizando para ello cepillo metálico y de fibra sintética.
	5. Inspección visual de las capas y determinación de la presencia radicular.
	6. Inspección de la resistencia a la penetración utilizando un elemento cortante (navaja).
	7. Demarcación manual del horizonte presentado
	8. Medición del espesor de las capas del horizonte del suelo.
	9. Muestreo de suelo de cada capa, para su posterior análisis.
	10. Registro grafico.
	11. Tabulación de datos.
	12. Relleno y apasionamiento de calicata.
CONCLUSIONES	<p>1. Las calicatas construidas en cada lote permitieron apreciar directamente las capas que componen el suelo de la plantación.</p> <p>2. Se apreciaron diferencias como: color, textura y estructura de los diferentes horizontes, sin embargo para hacer un estudio complementario se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades para realizar pruebas de laboratorio tales como humedad y densidades que corroboraron las diferencias entre ellas.</p> <p>3. En los lotes la presencia o no de materia orgánica, es fundamental en el color del suelo en el horizonte A. En el lote 10-79 el color amarillo claro demuestra la no presencia de materia orgánica en la superficie del suelo, de igual forma en el lote 10-97 el color gris oscuro determina la presencia de materia orgánica en la superficie del suelo.</p> <p>4. En ambos lotes a profundidades mayores, el color tiende a rojizo, explicándose esto por la presencia de óxidos de hierro, generados por la gran cantidad de oxígeno disuelto en el agua subterránea, demostrando el alto nivel freático de los terrenos por su cercanía a los ríos Sogamoso y Magdalena.</p> <p>5. Respecto al desarrollo radicular, la calicata mostró en el lote 10-79 una presencia mínima de raíces en el primer horizonte, a profundidades mayores se observó la presencia de raíces semisecas.</p> <p>6. En el lote 10-97 debido a la edad joven del cultivo y al sitio donde se hizo la calicata (mitad de la calle) la presencia radicular fue nula.</p>

Fuente: Autores del proyecto.

Estos datos obtenidos en esta prueba permitieron una valoración directa del problema de compactación en los suelos. Los datos y resultados obtenidos pueden ser vistos en el anexo I.3.

4.4.5. Infiltración. Utilizando el procedimiento de los anillos concéntricos con asesoría del Ingeniero Henry Mateus se valoró esta prueba en los lotes 10-79 y 10-97 de las plantaciones de Palmas Oleaginosas Bucarelia. Los datos obtenidos para cada una de las pruebas fueron tabulados, procesados y graficados sistemáticamente por Microsoft Excel.

Los cálculos de infiltración acumulada, infiltración instantánea e infiltración básica, se basan en el modelo de Kostiakov, el cual propuso una ecuación empírica para el cálculo de la velocidad de infiltración, de la siguiente forma:

$$I = c \cdot t^{-m}$$

Donde:

I = velocidad de infiltración, cm/h

c = infiltración inicial, cm/h

t = tiempo, min.

m = pendiente de la curva

Luego de graficar velocidad de infiltración vs. Tiempo acumulado, en papel logarítmico, se encontró la tasa de infiltración básica. Al comparar los valores del lote 10-79 con los del lote 10-97 se encuentra que el lote 10-79 presenta una alta compactación que deriva en la disminución considerable de la infiltración o aprovechamiento del agua o fertilizantes, en el lote 10-97 aunque se presentan también fenómenos de compactación estos no son tan severos, gracias a la presencia de materia orgánica y por ser un cultivo joven, por lo tanto la tasa de

infiltración es normal. Esta variable también sirve para comparar si un suelo con problemas de compactación al ser sometido al cualquier tipo de labranza presenta recuperación. Los datos y resultados obtenidos pueden ser vistos desde el anexo H.2 hasta H.7. Las fotos de esta prueba pueden ser vistas en el anexo I.4.

4.4.6. Humedad. Se calcularon los valores de humedad (ver anexos) a diferente profundidad, con el fin de cuantificar la verdadera incidencia de la cantidad de agua en el proceso de subsolado, buscábamos obtener parámetros recomendados para ello, es decir obtener valores de humedad por debajo del límite inferior de plasticidad. Se utilizaron las instalaciones y los equipos del laboratorio de suelos y pavimentos de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. Las muestra seleccionadas se tomaron el mismo instante en que se realizaba la prueba de resistencia a la penetración, las muestras fueron transportadas en el menor tiempo a Bucaramanga para evitar errores en la medición. Los datos obtenidos para cada una de las pruebas fueron tabulados, procesados y graficados sistemáticamente por Microsoft Excel. Los datos calculados de humedad fueron también importantes en la valoración de otras variables de diseño, utilizando para ello la formulación matemática que las relaciona, de igual forma la valoración de la fuerza de corte generada por la herramienta en el suelo. Era importante para nosotros que el suelo estuviera en estado friable, es decir en porcentajes menores de límite inferior plástico, las condiciones para el entallamiento fueron encontradas óptimas ya que además de porcentaje de humedad por debajo de límite inferior, el valor de plasticidad calculado también fue bajo (7% y 11%), como podemos ver en la siguiente figura que relaciona la humedad con los diferentes estados del suelo. Los datos y resultados obtenidos pueden ser vistos en el anexo H.8 Y H.15. Las fotos de esta prueba pueden ser vistas en el anexo I.5. Y I.6.

4.4.7. Textura. Los datos obtenidos para cada una de las pruebas fueron tabulados, procesados y graficados sistemáticamente por Microsoft Excel. Se calculo los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla) para poder reconocer técnicamente el suelo en que se realizaron las pruebas. Luego de calcular los porcentajes con la metodología utilizada por el laboratorio de Ingeniería Civil la cual puede ser vista el anexo C, los resultados de clasificación de los suelos del lote 10-79 y 10-97 fue dado gracias a la utilización de triangulo de textura de clasificación de suelos del USDA (1975) obteniéndose los resultados que pueden ser vistos desde el anexo H.9 hasta el anexo H.12. Las fotos de esta prueba pueden ser vistas en el anexo I.6.

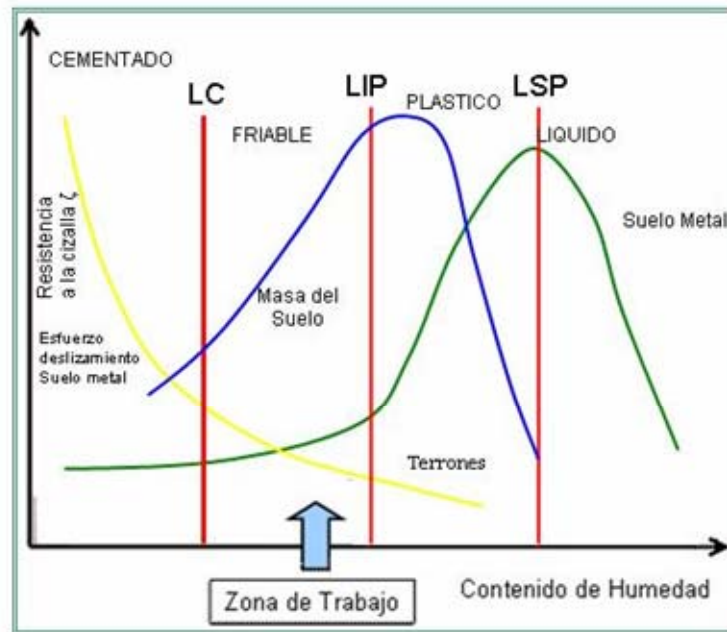
4.4.8. Limites de Atterberg. El calculo de los limites de consistencia nos permitió calcular el índice de plasticidad, parámetro muy importante en los procesos de mecanización agrícola (ver Fig. 62) ya que al obtener un valor bajo, el suelo podría trabajarse sin correr peligro de sufrir un amasamiento, caso contrario si hubiéramos obtenido un valor alto de índice de plasticidad las consecuencias de degradación generadas por el subsolado serian mucho mayores que la que tenia inicialmente en referente a la compactación. Estos límites nos definieron los estados máximo y mínimo del contenido de humedad del suelo en el estado plástico, los datos obtenidos y los cálculos desarrollados pueden ser vistos en los anexos. Los datos obtenidos para cada una de las pruebas fueron tabulados, procesados y graficados sistemáticamente por Microsoft Excel los cuales pueden ser vistos en el anexo H.13 y H.14. Las muestras del suelo utilizadas son las mismas que se utilizaron en la prueba de humedad.

El procedimiento utilizado para su cuantificación es el seguido por el laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil-UIS el cual puede ser consultado el anexo C.1. Las fotos de esta prueba pueden ser vistas en el anexo I.6.

4.4.9. Pruebas de campo de las herramientas de subsolado existente en la región.

La metodología de evaluación de los implementos se basa en el documento FAO “Principios y practicas de prueba y evaluación de maquinas y equipos agrícolas”, seguido por el Instituto Nacional de Suelos. División Maquinaria de Corpoica Tibaitata. Se evaluaron parámetros de rendimiento, en cada uno de los subsoladores existentes en la región, en los suelos de la plantación los cuales pueden ser vistos en las figuras 63 y en la tabla 30.

Figura 62. Zona de trabajo ideal para el proceso de subsolado.



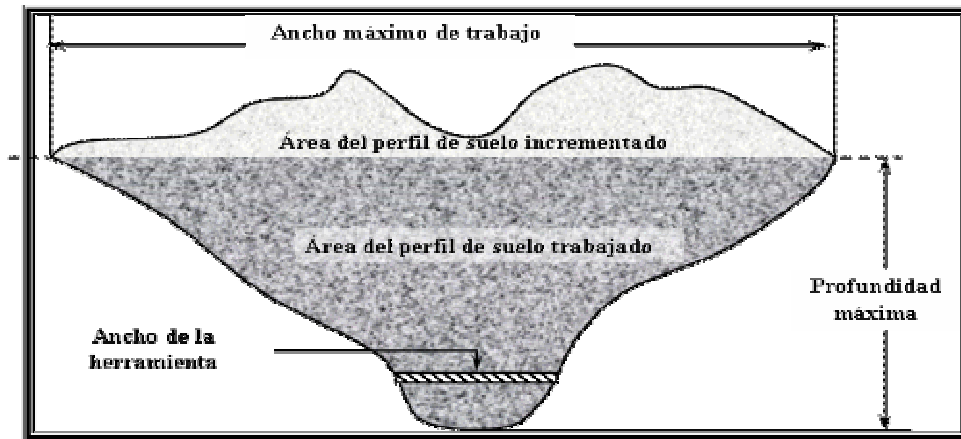
Fuente: MONTENEGRO, Hugo. Propiedades Físicas de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990. pagina 40.

Los equipos utilizados para estas pruebas pueden ser vistos en el anexo I.7.

Los datos obtenidos para cada una de las pruebas fueron tabulados, procesados y graficados sistemáticamente por Microsoft Excel. De igual forma los resultados obtenidos en las pruebas fueron utilizados en las relaciones matemáticas para el cálculo de la fuerza de corte de la herramienta, el análisis estático del tractor-herramienta, estallamiento del suelo (ver Fig. 64) y como criterio de comparación

para el mejoramiento de la degradación del suelo. Las fotos de esta prueba pueden ser vistas en el anexo I.8.

Figura 63. Variables del suelo identificadas en pruebas de Perfilometría.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 64. Estallamiento del suelo generado por el trabajo de subsolado.



Fuente: Autores del proyecto

4.5. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DISEÑO

Las variables que se utilizaran para el diseño tanto del diente del subsolador como del conjunto en general ser vista en la tabla 31, estas a su vez fueron divididas en cuantificadas, seleccionadas, generadas por la geometría de la

herramienta y variables adicionales dependiendo de la manera como fueron cuantificadas.

Tabla 30. Evaluación de herramientas de subsolado existente en la región

EVALUACION DE HERRAMIENTAS DE SUBSOLADO EXISTENTE EN LA REGIÓN		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Área del perfil de suelo trabajado	cm ²	Ver Anexo H.22 y H.24, H.31-H.34
Área del perfil de suelo incrementado	cm ²	Ver Anexo H.22 y H.23, H.31 - H.34
Área total de suelo disturbado	cm ²	Ver Anexo H.22, H.31 - H.34
Tasa de pérdida de suelo del implemento	%	Ver Anexo H.22 y H.29
Tiro por unidad (brazo)	N	Ver Anexo H.22
Tiro específico por unidad	kPa	Ver Anexo H.22 y H.28
Índice de cono	kPa	Ver Anexo H.22
Índice de tiro específico	-	Ver Anexo H.22
Profundidad de trabajo	cm	Ver Anexo H.22 y H.27
Ancho máximo de trabajo	cm	Ver Anexo H.22 y H.25
Ancho de la herramienta	cm	Ver Anexo H.22 y H.26
Profundidad media de trabajo	cm	Ver Anexo H.22 y H.27
Ancho medio de trabajo	cm	Ver Anexo H.22
Relación profundidad media / ancho de corte de suelo	-	Ver Anexo H.22
Potencia requerida en barra de tiro por unidad de cincel	Hp	Ver Anexo H.22 y H.17
Potencia del tractor al 80 % del régimen por unidad de cincel	Hp	Ver Anexo H.22 y H.17
Velocidad operación	m/s	Ver Anexo H.22, H.18 y H.19
Patinamiento	%	Ver Anexo H.22, H.18 y H.19
EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Subsolador monodiente. • Subsolador 2 dientes. • Arado de cinceles. • Dinamómetro. • Perfilómetro. • Cinta métrica de 20 m de longitud. • Cronómetro digital. • Nivel de construcción. • Cadena de hierro. • Dos (2) tractores de 100 Hp. 	

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 31. Variables diseño.

VARIABLES DISEÑO	
DIENTE DEL SUBSOLADOR	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza de corte generada por la herramienta • Velocidad de operación • Relación de velocidad del tractor • Potencia en la barra de tiro • Potencia a la salida del motor • Resistencia del suelo a la penetración • Densidad real • Densidad aparente • Textura • Profundidad de trabajo • Ancho de trabajo • Area de suelo trabajado • Area de suelo incrementado • Tipo de subsolador • Cohesión • Adhesión • Carga de Sobrepresión • Peso de la cuña de falla del suelo • Fuerza resistiva al movimiento lateral de la cuña de falla • Angulo de ataque de la herramienta • Angulo de fricción suelo/herramienta • Angulo de ruptura de la cuña de falla de suelo • Angulo de fricción interna del suelo • Longitud de la herramienta de trabajo • Longitud de la superficie del plano de falla
CONJUNTO GENERAL	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza de corte generada por la herramienta • Velocidad de operación • Potencia en la barra de tiro • Ancho de trabajo • Tipo de enganche • Tipo de portaherramientas

Fuente: Autores del proyecto.

4.5.1. Variables cuantificadas. A partir del análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de propiedades físicas de suelos y de los subsoladores existentes en la región, se obtuvieron las variables cuantificadas vistas en la tabla 32.

Tabla 32. Valores y unidades utilizadas en las variables cuantificadas

VARIABLE	UNIDAD	VALOR					
Fuerza de corte generada por la herramienta	N	73575					
Velocidad de operación	Km/h	3.2					
Relación de velocidad del tractor	-	Tercera con bajo					
Potencia en la barra de tiro	Hp	88					
Potencia a la salida del motor	Hp						
Resistencia del suelo a la penetración	Psi	Lote 10-79			Lote 10-97		
		Profundidad	Valor	Profundidad	Valor	Profundidad	Valor
		0-5 cm	170	0-5 cm	170	0-5 cm	170
		5-10 cm	160	5-10 cm	160	5-10 cm	160
		10-20 cm	150	10-20 cm	150	10-20 cm	150
		> 20 cm	140	> 20 cm	140	> 20 cm	140
Densidad Real	g/cm ³	Lote 10-79			Lote 10-97		
		2.0775			2.345		
Densidad Aparente	g/cm ³	Lote 10-79			Lote 10-97		
		1.375			1.515		
Textura	%	Lote 10-79			Lote 10-97		
		Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena
		41.87	40.16	17.47	24.48	22.39	51.19
Humedad del suelo	%	Lote 10-79			Lote 10-97		
		9.59			10.995		
Profundidad de trabajo	cm	0-60					
Ancho de trabajo	cm	100					
Area de suelo trabajado	cm ²	> 1192					
Area de suelo incrementado	cm ²	< 492					

Fuente: Autores del proyecto

4.5.2. Variables seleccionadas. Estas variables ya están normalizadas por instituciones internacionales tales como la ASAE y utilizadas por la gran mayoría de constructores de tractores, por lo tanto se seleccionan a partir de las necesidades del cliente y la potencia en la barra de tiro (ver tabla 33). Con respecto al subsolador su selección parte de la necesidad del cliente y principalmente del grado y profundidad de la compactación del suelo, el diseño seleccionado parte de la necesidad de disminuir potencia en la labor de subsolado. El acople seleccionado para unir la herramienta con el tractor es el acople de tres puntos, este es el mas común, su construcción es muy sencilla debido a que las distancias

ya están normalizadas. La ventaja de este sistema es que de los tres brazos que convergen al tractor, los brazos inferiores limitan el movimiento lateral de la herramienta y los brazos de levante están acoplados al sistema hidráulico para permitir bajar o subir la herramienta. El resumen de estas variables puede ser visto en la tabla 33.

Tabla 33. Resumen Variables seleccionadas.

VARIABLE	TIPO	CRITERIO DE SELECCION
TIPO DE SUBSOLADOR	Parabólico	Consumo de Potencia
TIPO DE ENGANCHE	Tres puntos Categoría III	Normalizado
TIPO DE PORTAHERRAMIENTAS	Rectangular	Necesidad del sistema Normalizado

Fuente: Autores del proyecto

4.5.3. Variables adicionales. A partir de los datos obtenidos de las pruebas iniciales en plantación, se adicionaron unas variables que inicialmente no se tenían en cuenta, estas variables se necesitaron cuando se buscaba obtener un modelo matemático que pudiera explicar el fenómeno generado por el subsolado, en referente a al fuerza de corte generada por la herramienta sin necesidad de hacer experimentación. El resumen de estas variables puede ser visto en la tabla 34.

Selección y cuantificación de variables adicionales. La selección y cuantificación de las variables adicionales se dio cuando las necesidades, especialmente en el cálculo de la fuerza sobre la herramienta las involucraron.

Su selección o cálculo fue muy sencilla ya que en ese momento se tenían identificadas muchas variables tales como la textura y las densidades que dependían directamente de ellas.

Tabla 34. Resumen Variables Adicionales.

VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
COHESION	c	Kpa	25
ADHESION	Ca	Kpa	15
CARGA DE SOBREPRESIÓN	Q	N/m	2012.84
PESO DE LA CUÑA DE FALLA DEL SUELO	W	N/m	2054.16
FUERZA RESISTIVA AL MOVIMIENTO LATERAL DE LA CUÑA DE FALLA	R	N	R=f(F)

Fuente: Autores del proyecto

- **Cohesión.**

Tabla 35. Valores típicos de cohesión y el ángulo de fricción interna.

Tipo de suelo	Tamaño típico de las partículas mm	Estado	Angulo de fricción	Cohesión KN/m ²
Arenas con partículas medianas	1.1	Compactado	38° - 40°	0
		Suelto	32° - 35°	0
Arena fina con materia orgánica	0.5-0.8	Compactado	25° - 30°	0
		Suelto	18° - 22°	0
Franco Arenoso	0.02-0.2	Friable	24° - 28°	20-25
		Plástico	24° - 28°	10-15
Franco	0.01	Friable	22° - 26°	25-30
		Plástico	15° - 19°	15-20
Arcilloso	0.002	Friable	17° - 19°	40-60
		Plástico	10° - 14°	25-30

Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 17.

- **Carga de Sobrepresión: Q**

$$Q = \gamma * A * g$$

Donde:

γ = Densidad del suelo (kg/m³)

A = Area de suelo incrementado (cm²)

g = Gravedad (9.81m/s²)

Tanto el valor del área incrementada como el valor de densidad fueron cuantificados en plantación, el valor que se tomo es un promedio aritmético de los valores calculados.

Area Incrementada promedio: $947[\text{cm}^2] = 0.0947 [\text{m}^2]$

Densidad promedio: 2166.66 kg/m^3

$$Q = 2012.84 [\text{N/m}]$$

- **Adhesión.**

Tabla 36. Valores típicos de la adhesión y el ángulo de fricción Suelo / herramienta.

Adhesión	Angulo de fricción suelo/metal
Insuficiente en la mayoría de los casos	Superficie pulida 5°
Arcilla plásticas con alta humedad $10-30 \text{ kN/m}^2$	Superficie limpia 5° a 15°
	Superficie oxidada a 15° a 25°

Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pag 17.

- **Peso de la cuña de falla del suelo. W**

$$W = \gamma \cdot A \cdot g$$

Donde:

γ = Densidad del suelo (kg/m^3)

A = Area de suelo trabajado. (cm^2)

g = gravedad (9.81 m/s^2)

Tanto el valor del área trabajada como el valor de densidad fueron cuantificados en plantación, el valor que se tomo es un promedio aritmético de los valores calculados.

Area trabajada promedio: $966.44 [\text{cm}^2] = 0.09644 [\text{m}^2]$

Densidad promedio: 2166.66 kg/m^3

$$W = 2054.16 [\text{N/m}]$$

4.5.4. Variables generadas por la geometría. Estas variables están dadas por las conclusiones generadas por el estudio de la bibliografía recopilada en especial al ángulo de ataque vs. Fuerza de arrastre. De igual forma generado por la acción de la herramienta sobre el tipo de suelo dado por el valor de la Adhesión y el ángulo de fricción suelo / herramienta, los cuales son seleccionados de la tabla 36, utilizando para ello el tipo de textura del suelo, identificada y cuantificada en estudios anteriores en este mismo proyecto. El valor de la Cohesión y el ángulo de fricción suelo/suelo son seleccionados de igual manera en la tabla 35. El resumen de estas variables puede ser visto en la tabla 37.

4.6. MODELAMIENTO MATEMATICO DEL COMPORTAMIENTO DEL DIENTE.

La importancia de utilizar un modelo matemático a seguir, fue desde un principio del proyecto una prioridad, la búsqueda de normas estandarizadas internacionales para la utilización de herramientas agrícolas en nuestro país es casi nula, la gran mayoría de elementos diseñados y construidos en otros países con climas y suelos diferentes al nuestro no son valorados bajo ningún criterio técnico, lo importante es el precio y que el elemento sirva, sin importar la incidencia real sobre el tipo de cultivo y sobre el suelo.

Tabla 37. Variables generadas por la geometría.

VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
Angulo de ataque de la herramienta	β	°	15
Angulo de fricción suelo/herramienta	δ	°	25
Angulo de ruptura de la cuña de falla de suelo	ρ	°	$45-\Phi/2$
Angulo de fricción interna del suelo	Φ	°	28
longitud de la herramienta de trabajo	Lt	m	0.25
longitud de la superficie del plano de falla	Lf	m	0.43

Fuente: Autores del proyecto

La cuantificación de la fuerza generada por la herramienta en el suelo fue una gran experiencia, debido a que se tenían en cuenta todas las variables incidentes en el proyecto, y estas fueron tomadas directamente en el terreno, pero se necesitaba necesariamente seguir un modelo matemático para poder aproximar el valor de la fuerza del subsolador haciendo por ejemplo cambiante alguna de las variables como por ejemplo:

- Profundidad de trabajo.
- Velocidad de operación.
- Tipo de suelo.
- Ancho de trabajo.
- Geometría de la herramienta.

Se busca con esto tener un criterio técnico que junto con la cuantificación de las propiedades físicas del suelo, sean realmente un buen parámetro de selección de maquinaria agrícola.

Los modelos utilizados para el cálculo de la fuerza de corte utilizados en este proyecto de grado fueron:

- Modelamiento matemático basado en la Ecuación Fundamental para el Movimiento de Tierra (Universal Equation Earth Moving (FEE)), desarrollado por Reece y Equipo de Investigadores 1964. Adaptada por la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas ASAE 1969)
- Norma ASAE D497.4 Mar 1999 Numeral 4.1.1

4.6.1. Análisis estático de las fuerzas resistivas en una cuña de falla de suelo. (Universal Equation Earth Moving (FEE)). Modelamiento matemático basado en la Ecuación Fundamental para el Movimiento de Tierra (FEE), desarrollado por

Reece y Equipo de Investigadores 1964. Adaptada por la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas ASAE 1969)

Este modelo analiza la mecánica de las herramientas del cultivo considerando factores como cohesión, adhesión, ángulo de fricción suelo/suelo y suelo/herramienta, y densidad. Las fuerzas de corte pueden variar significativamente dependiendo también de la geometría de la herramienta, la compactación del suelo y el tipo de clima presente.

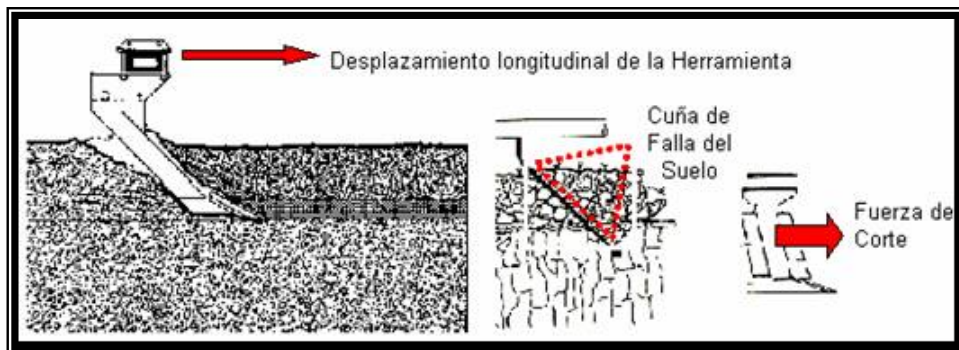
Consideraciones iniciales.

- La Ecuación FEE no toma en cuenta las cargas dinámicas requeridas para acelerar una masa específica de suelo.
- Esta ecuación aproxima a una superficie plana, la superficie de falla no uniforme de la cuña de suelo.
- Esta ecuación asume que la fuerza de sobrecarga ocasionada por el suelo desplazado hacia arriba por la herramienta, es uniforme, se concentra y actúa sobre el perfil de la herramienta.
- Se asume que el suelo disturbado se aloja en su totalidad sobre la cuña de falla, es decir no hay desplazamiento lateral de suelo.
- En estos modelos la fuerza actuante se considera inminente para inducir la falla en el suelo; es decir asemeja un modelo casi estático.
- El corte de la herramienta es la Fuerza total paralela a la dirección de desplazamiento del elemento motriz. (ver ASAE EP496.2 DEC99 clause 4.1.1; ASAE D497.2 MAR99 clause 4.1.
- Todos los análisis se hacen por unidad de espesor de la herramienta (w).

Para desarrollar la Ecuación FEE iniciamos con la presentación gráfica de una herramienta agrícola tipo Subsolador realizando trabajo sobre el suelo. El

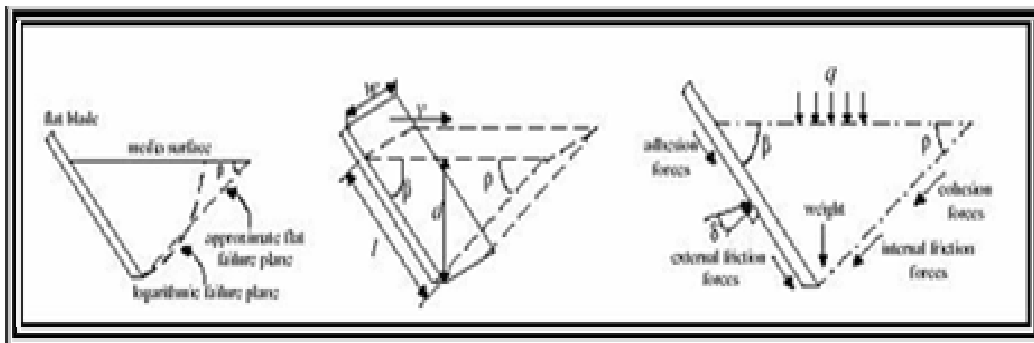
subsolador se desplaza longitudinalmente y ocasiona una ruptura en el suelo "cuña de falla del suelo", sobre un plano perpendicular al desplazamiento (Ver Fig. 65). El desarrollo de la ecuación se basa en el modelamiento de las fuerzas en dicho plano (Ver Fig. 66), siguiendo las recomendaciones dadas en las condiciones iniciales, se aproxima un modelo de cuña de falla de suelo, con el sentido de acción de la fuerza como reacción de la cuña de falla se presenta (Ver Fig. 67), y se desarrolla un Diagrama de Cuerpo Libre para solucionar la Ecuación (Ver Fig. 68).

Figura 65. Representación del corte de una herramienta agrícola.



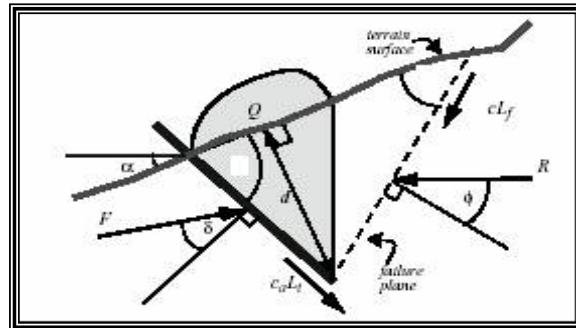
Fuente: Autores del proyecto

Figura 66. Representación esquemática de la cuña de falla de suelo y su diagrama de cuerpo libre.



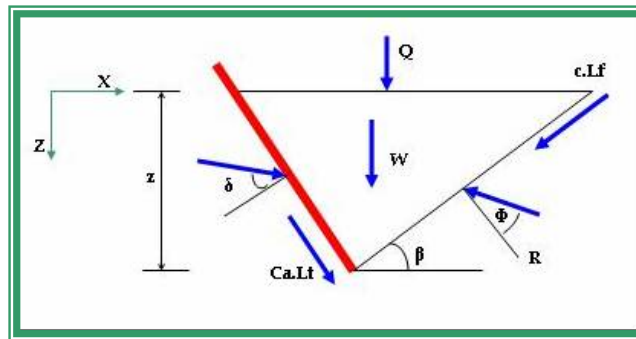
Fuente: Autores del proyecto

Figura 67. Representación de una cuña de falla de suelo con las fuerzas de carga y sobrecarga que actúan sobre el perfil de la herramienta.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 68. Diagrama de Cuerpo Libre de una Cuña de Falla de Suelo.



Fuente: Autores del proyecto

La cuña de falla de suelo se muestra para diferentes profundidades de trabajo del perfil de la herramienta. **P** es la fuerza de reacción de la cuña de falla de suelo sobre la herramienta de trabajo; de igual magnitud a la fuerza de corte **F**, que actúa en un plano paralelo al perfil de corte de la herramienta.

La Ecuación Fundamental para el Movimiento de Tierra se expresa como:

$$P = \gamma z^2 \cdot N_{\gamma} + czN_c + QzN_Q + Ca \cdot zN_{Ca}$$

Donde:

P: Reacción Total del Suelo (Fuerza de Corte) [N/m]

γ : Densidad del Suelo [Kg/m³]

z : Profundidad [m]

c : Cohesión (kPa)

C_a : Adhesión (kPa)

Q : Carga de Sobrepresión (Peso del área de suelo incrementado) (kPa)

ρ = Angulo de Ruptura de la Cuña de Suelo.

Con base en el Diagrama de Cuerpo Libre de la figura 5, tenemos:

$$\sum F_x = 0$$

$$F \cdot \text{Sen}(\beta + \delta) + C_a \cdot L_t \cdot \text{Cos}(\beta) - R \cdot \text{Sen}(\rho + \phi) - c \cdot L_f \cdot \text{Cos}(\rho) = 0$$

$$\sum F_z = 0$$

$$-F \cdot \text{Cos}(\beta + \delta) + C_a \cdot L_t \cdot \text{Sen}(\beta) - R \cdot \text{Cos}(\rho + \phi) + c \cdot L_f \cdot \text{Sen}(\rho) + W + Q = 0$$

Mediante el desarrollo de la Ecuación Fundamental para el Movimiento de Tierra, se utilizaron valores para las variables obtenidos de las cuantificadas en plantación, de datos presentados por investigadores, avalados por la ASAE y por datos y modelos matemáticos propios de la ASAE. Se pretende comprobar teóricamente el resultado obtenido para la Fuerza de Corte de la Herramienta la cual, en las pruebas fue transducida por un Dinamómetro adaptado a un arreglo de dos tractores. En el arreglo mostrado en la figura, el Dinamómetro es la interfase entre los dos tractores y transduce la Fuerza de Corte de la Herramienta. El primer tractor (rojo) realiza todo el trabajo, el segundo tractor se comporta como soporte a la herramienta, únicamente realiza trabajo de rodadura generada por el peso del mismo y la fricción con el suelo. Este montaje se realiza debido a que en la actualidad en nuestro país no hay elementos especializados para medir las fuerza de la herramienta en diferentes ejes, para nuestro estudio se selecciono únicamente la fuerza horizontal que es paralela al movimiento del tractor. La teoría acerca del modelo de la ecuación de Reece puede ser consultada en el anexo

D. Los datos y resultados de la utilización de este modelo matemático pueden ser consultados en los anexos H.35 y H.36.

4.6.2. Modelo matemático basado en la norma ASAE D497.4 Mar 1999 Numeral

4.1.1. Esta ecuación es utilizada por la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos. La fuerza de corte requerida para tirar muchos de los implementos de siembra y herramientas de labranza mínima, operadas como una canilla de profundidad es función del ancho del implemento y la velocidad con la cual es tirada, para herramientas de labranza operadas a profundidades mayores el corte, además depende de la textura del suelo, profundidad y geometría de la herramienta. Esta ecuación nos va permitir comprobar los valores obtenidos a partir de la Ecuación de Reece para el Movimiento de suelo.

$$D = F_i \cdot (A + B + C(S)^2) \cdot W \cdot T$$
$$P(x) = \left(\frac{D(x) \cdot S}{M} \right)$$

Donde:

D: Corte del Implemento en [N] o [lbf]

F: Es el parámetro de ajuste dimensional de la textura del suelo.

i: 1 para textura fina; 2 para textura media y 3 para textura de grano gruesa.

A, B y C: Son los parámetros específicos para cada máquina.

S: Velocidad de Campo [Km/h] o [Mill/h]

W: Es la anchura de la máquina o número de dientes o de herramientas.

T: Profundidad de labranza [cm] o [plg]

Los factores anteriores se obtienen de la Tabla 1 de la Norma ASAE D497.1 o de variables cuantificadas en los suelos de la plantación de Palmas Bucarelia.

Los resultados obtenidos para la fuerza de corte y el consumo de potencia están resumidos en la tabla 38, los cálculos y graficas esta ecuación pueden ser vistos desde el anexo H.37 y H.41. La ecuación anterior según las recomendaciones de la Norma tiene un porcentaje de Corrección de (+ -) 50 % debido a la variación de las propiedades físicas en los diferentes tipos de suelos. Basados en el principio de la norma expresado en la Cláusula 4.1 que expresa que la Fuerza de Corte de una Herramienta es Paralela al desplazamiento de la unidad motriz; podemos concluir que la Fuerza medida en el Dinamómetro es la Fuerza de Corte de la Herramienta sobre el suelo.

Fuerza: 5000 [Kgf] = 49050 [N]

Potencia: 60.132 [Hp]

Tabla 38. Resultados Norma ASAE de Fuerza de corte y consumo de Potencia.

RESULTADOS NORMA ASAE			
FUERZA DE CORTE (N)	PRUEBA N°	LOTE N°	VALOR
	1	10-79	49953
	2	10-79	51886
	1	10-97	49926
	2	10-97	51093
	3	10-97	55256
POTENCIA (Hp)	PRUEBA N°	LOTE N°	VALOR
	1	10-79	31.73
	2	10-79	54.16
	1	10-97	54.16
	2	10-97	45.93
	3	10-97	83.54

Fuente: Autores del proyecto.

4.7. CALCULO DE LA FUERZA DE CORTE Y CONSUMO DE POTENCIA EN EL SUBSOLADOR PROTOTIPO

Luego de la verificación de la ecuación Fundamental para el Movimiento de Tierra (Universal Equation Earth Moving (FEE)) y la dada por Norma ASAE D497.4 Mar 1999 Numeral 4.1.1 se utilizaron nuevamente las ecuaciones para el calculo de la fuerza de corte generada por el tipo de diente seleccionado haciendo variaciones en ellas de variables tales como profundidad de trabajo, velocidad de operación, ancho de trabajo, cohesión, adhesión, requerimientos de la empresa, etc. Se dan los siguientes resultados tanto para fuerza de corte como para potencia consumida.

Fuerza: 7500 [Kgf] = 49050 [N]

Potencia: 87.464 [Hp]

Los cuales se encuentra en el rango admisible de los tractores de la empresa, la cual solicitaba que la potencia necesaria para desarrollar la labor de subsolado no podía ser superior a 100 Hp. Los datos y resultados de la utilización de este modelo matemático para las alternativas de diseño pueden ser consultados en el anexo H.42 y H.43.

5. DISEÑO DEL EQUIPO DE SUBSOLADO

En este capítulo se presenta los procedimientos y resultados utilizados para el diseño o selección del equipo de subsolado profundo para esto se dividieron cada una de los elementos que lo conforman diseñando o seleccionando según corresponda.

5.1. CONSIDERACIONES GENERALES

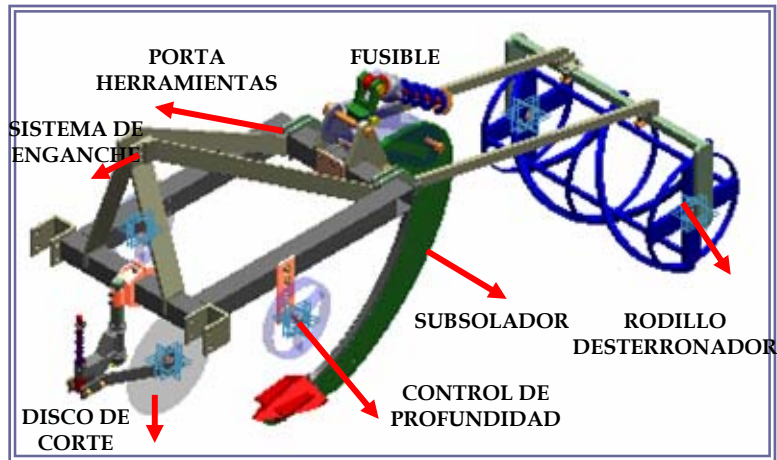
Los elementos pertenecientes al sistema de subsolado pueden ser vistos en la figura 69. El diseño de los elementos subsolador esta basado en:

- Los resultados obtenidos en las pruebas de campo de los equipos de subsolado existentes en la región.
- La pruebas de campo de la canilla prototipo.
- De los resultados obtenidos en el análisis CAE, utilizando para ello el software COSMOS DesingSTAR 3.0.
- Las necesidades del cliente, facilidad de reemplazo y adquisición de piezas del subsolador.

Las necesidades de la empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. se refieren específicamente a los siguientes parámetros:

- Utilizar el sistema de enganche de tres puntos, debido a que es el sistema más utilizado en los tractores de la plantación.
- Diseñar el subsolador de tal forma que el consumo de potencia no exceda los 100 Hp, debido a que los tractores utilizados en las plantaciones de palma en la región son de baja capacidad en potencia (Potencia < 100 Hp).
- El equipo diseñado debe tratar de eliminar la menor cantidad de raíz de palma en lotes de palma adulta.

Figura 69. Elemento del sistema de subsolado.



Fuente: Autores del proyecto.

5.2. SUBSOLADOR

El tipo de subsolador necesario para realizar el trabajo partió de los resultados obtenidos en las pruebas de campo de las herramientas de subsolado existentes en Santander. Los parámetros fundamentales en la selección del tipo y geometría de la herramienta fueron:

- Bajo consumo de potencia.
- Alta área del perfil de suelo trabajado.
- Baja área del perfil de suelo incrementado.

En referencia al consumo de potencia se cuantificaron las variables, fuerza de corte y velocidad de operación en los diferentes lotes, obteniéndose un alto consumo de potencia (100 Hp) para un solo diente debido a las condiciones físicas del suelo y de degradación donde se realizaron las pruebas, por lo cual se buscó la manera de disminuir esta, obteniéndose las siguientes recomendaciones:

- Disminuir la profundidad de trabajo.
- Disminuir la velocidad de operación.
- Realizar varias pasadas con la herramienta a diferentes profundidades.
- Cambiar la geometría de la herramienta.
- Colocar sistema de vibración al subsolador.

Los parámetros profundidad de trabajo, velocidad de operación ya estaban cuantificados por lo tanto no se alteraron los valores. En referencia al número de pasadas de la herramienta depende exclusivamente del cliente ya que esto aumentaría significativamente el consumo de combustible del tractor, pero trae como beneficio la disminución del consumo de potencia al realizar el subsolado profundo. Para el sistema de vibración que inicialmente se tenía en el diseño, se elimino debido a que la bibliografía especializada (ver anexos) mostraba la baja disminución del consumo de potencia (alrededor del 10%) cuando se utilizaba vibración en el diente, este parámetro debido a su poca información y a su grado de complejidad es recomendable para un proyecto de grado posterior a este.

Por ultimo la geometría de la herramienta si era un parámetro que se podía cambiar fácilmente, por lo cual utilizando el análisis por elementos finitos realizado por medio del Software Cosmos/DesignStar 3.0, donde se observan los diferentes tipos de herramientas utilizados y los resultados relacionados con esfuerzos y deformaciones que sufren cada uno ellos cuando son sometidos a carga. En referencia al ángulo de ataque de la herramienta, la fuerza de arrastre es función de este y el ancho de la herramienta, ya que estos afectan directamente el volumen de suelo alterado. Generalmente la fuerza de arrastre se aumenta ligeramente en el rango de los ángulos de ataque de 10° a 50° pero para ángulos mayores producen un aumento rápido en su tasa de incremento, esto significa que se debe seleccionar un ángulo menor de 50°, que sea capaz de efectuar el

laboreo deseado. En referencia al restregamiento, el diseño debe permitir el deslizamiento del suelo por el diente. La resistencia suelo/suelo se incrementa más rápido que la resistencia suelo/herramienta debido a que el ángulo de fricción suelo/suelo es mayor que el ángulo suelo/herramienta, por lo que es importante disminuir las curvaturas del diente que pudieran dar origen a regiones de baja presión en el suelo, esto significa que las curvas deben ser ligeras, empezando óptimamente con un ángulo de ataque pequeño y luego aumentándose.

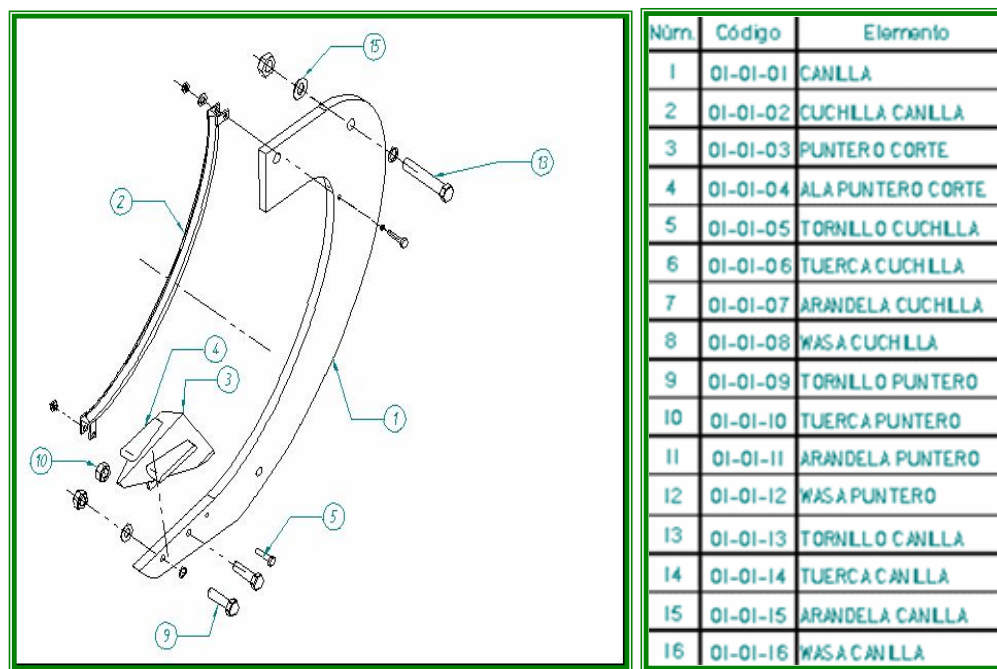
5.2.1. Tipos de canilla. La valoración del tipo de canilla se dio utilizando el software **COSMOS Desing Star** utilizando para esto los datos tomados de la Resistencia a la Penetración del suelo a diferentes profundidades en los lotes seleccionados y colocado restricciones en los puntos donde son ubicados los tornillos de ajuste de la canilla. Se valoraron tres canillas:

- **Canilla recta.** La valoración de esta canilla se da debido a que la mas conocida en el medio, por su geometría y proceso de construcción sencillo, tiene las desventaja que presenta un alto grado de resistencia al movimiento lo cual conlleva a elevados consumos de potencia y por ende de combustible.
- **Canilla recta 110°.** Esta canilla presenta muy similares características que la canilla anterior teniendo como diferencia fundamental el grado de inclinación de 110 ° con respecto a la horizontal. Este tipo de canilla fue valorado en plantación, es propiedad el Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga.
- **Canilla curva.** Es el tipo de canilla seleccionado para el diseño ya que por sus características geométricas presenta un bajo consumo de potencia comparado con las anteriores.

El material seleccionado para las canillas en el modelamiento fue Acero estructural A-36, el cual es suministrado por la Compañía General de Aceros, sus propiedades mecánicas pueden ser consultadas en los anexos de este proyecto.

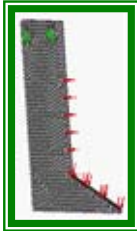
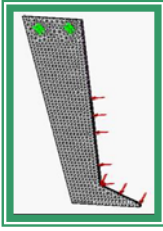

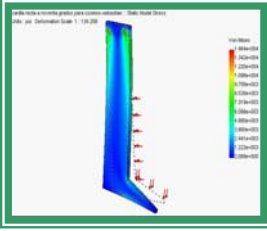
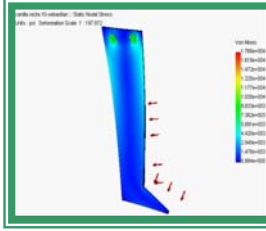
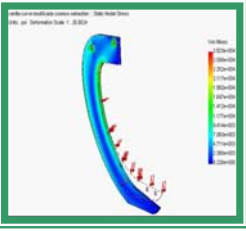
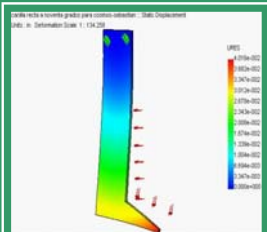
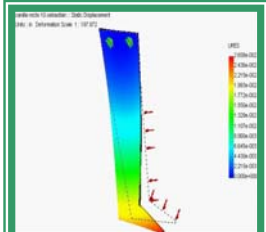
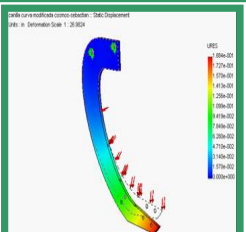
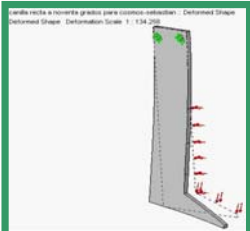
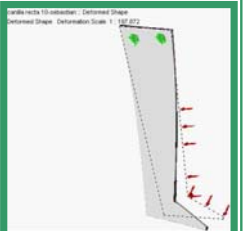
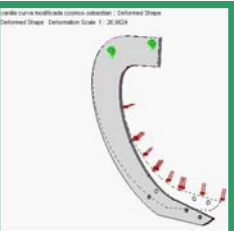
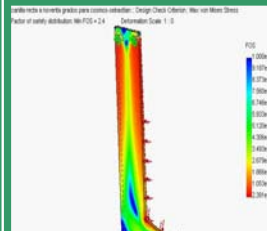
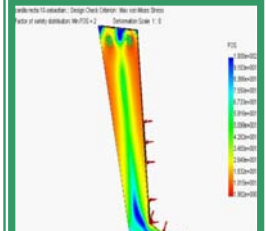
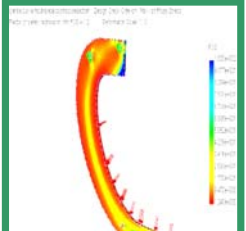
5.2.2. Resultados Obtenidos. Los resultados gráficos que presenta el programa pueden ser vistos en la tabla 39 siendo los mas importante para la selección de la canilla los valores de las reacciones en los puntos en los cuales se ubican los pernos y el factor de seguridad mínimo que debía asumirse para el diseño (Ver tabla 40). Además de esto, la experiencia de las personas que trabajan en la valoración de maquinaria agrícola nos permitió recoger mucha información que al ser valorada nos permitió identificar que la canilla curva permite realizar el trabajo con un consumo de potencia menor al compararla con las otros tipos de canilla. El modelamiento de la canilla fue realizado el programa Solid Edge (ver Fig. 70), el cual permite variar fácilmente cualquier dimensión de esta. Las dimensiones de la canilla pueden ser vistas en el anexo K.

Figura 70. Canilla Subsoladora diseñada.



Fuente: Autores del proyecto Solid Edge.

Tabla 39. Resultados gráficos programa Cosmos Desing Star para Canillas.

	CANILLA RECTA 90°	CANILLA RECTA 110°	CANILLA CURVA
CARGAS, RESTRICCIÓN ES Y ENMALLADO			
ESFUERZO			
DESPLAZAMIENTO			
DEFORMACION N			
CRITERIO DE DISEÑO			

Fuente: Autores del proyecto.

5.2.3. Diseño del puntero del subsolador. Realizado el estudio de la canilla del subsolador, uno de los parámetros básicos de este diseño es la geometría que se utilizara en el puntero. Su estudio se basa los lineamientos del documento de Machado, Antonio Lilles, con respecto a la influencia de la geometría de punteros en escariadores adaptándolos obviamente al uso del subsolador (ver anexo N). Todo diseño de un arado implica el estudio mecánico y agronómico del suelo que determine la forma geométrica mas apropiada de los punteros. Las punteras aladas proporcionan una anchura de corte más alta que la puntera sin alas, de igual forma la puntera con alas proporciona una buena relación entre el área de corte del suelo y el consumo de energía.

Los factores de nuestro proyecto que influyeron directamente sobre el diseño del puntero fueron la resistencia a la penetración, desgaste de la herramienta, el consumo de potencia, área incrementada y área trabajada, la profundidad de trabajo, el ángulo de ataque, el ángulo de punta y la altura libre del puntero.

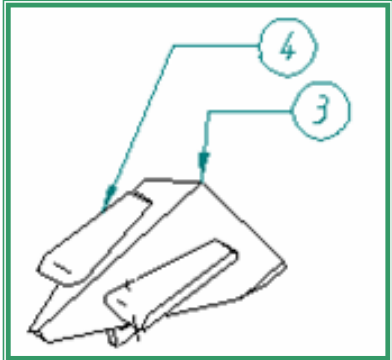
La variación de los parámetros geométricos del puntero influye directamente en el desempeño del subsolador, ya que los ángulos de ataque menor presentan un esfuerzo mínimo de tracción y la mayor fuerza vertical. La geometría del implemento es importante para dimensionar su capacidad y para hace posible una anchura de trabajo mas grande.

A partir de la revisión bibliografica se diseño un puntero para el subsolador que generara un bajo consumo de potencia, una gran área de trabajo y una pequeña área incrementada y que el implemento sufriera mínimo desgaste. El ángulo de ataque es el factor de mayor influencia en el esfuerzo de tracción y que el valor más conveniente para que este ángulo proporcione un mínimo esfuerzo a la tracción y máxima fuerza vertical hacia abajo, según se localiza entre 10° y 20°. Las

dimensiones básicas de los parámetros geométricos del puntero están mostrados en la figura 71 de igual forma las partes del puntero que fueron dibujadas en Solid Edge se muestran en la figura 71.

La valoración del tipo de puntero con respecto a los esfuerzos que será sometido se dio utilizando el software **COSMOS Desing Star** utilizando para esto los datos tomados de la Resistencia a la Penetración del suelo a diferentes profundidades en los lotes seleccionados y colocado restricciones en los puntos donde son ubicados los tornillos de ajuste del puntero a la canilla. El estudio de los punteros se dio bajo 2 parámetros, el primero utilizando los valores máximos de Resistencia a la Penetración identificados y cuantificados en la plantación y segundo la utilización o no de alas en el puntero. Para poder cuantificar el aumento en el consumo de potencia generado por la utilización de las alas se tomo un punto de referencia para calcular los valores de las reacciones generadas en los pernos. Obviamente a mayor valor de las reacciones mayor va a ser el consumo de potencia por el implemento. Los resultados del estudio se presentan en la tabla 40 y 41.

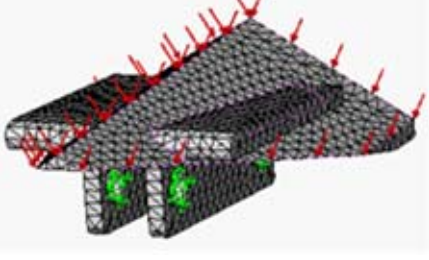
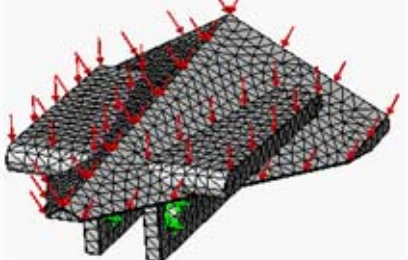
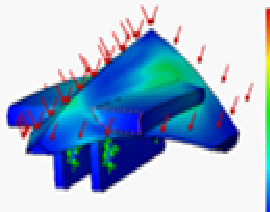
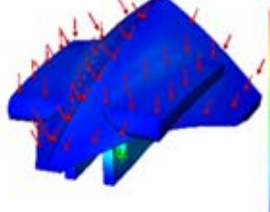
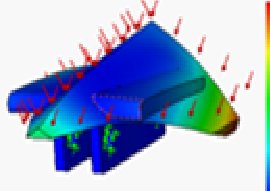
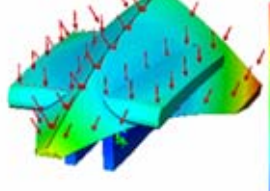
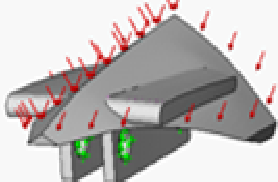
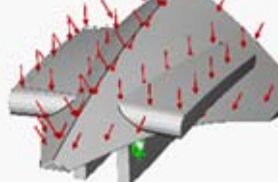
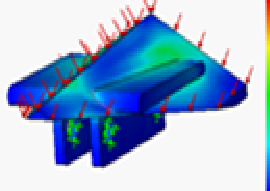
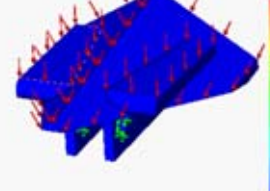
Figura 71. Puntero Subsolador diseñado.

Parámetro	Valor					
Largo (mm)	250					
Angulo lateral (°)	30					
Angulo de punta (°)	60					
Angulo de penetración (°)	15					
Angulo de succión (°)	5					
Altura libre (mm)	15					

3	01-01-03	PUNTERO CORTE	ACERO DILLIDUR 400Y	2	240 x 400 [mm]
4	01-01-04	ALA PUNTERO CORTE	ACERO DILLIDUR 400Y	2	160 x 150 [mm]

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 40. Resultados gráficos programa Cosmos Desing Star para Punteros.

PARAMETROS	PUNTERO	
<p>CARGAS, RESTRICCIONES Y ENMALLADO</p>		
<p>ESFUERZO</p>	<p>puntero con alas trasladas - Static Node Stress Units: psi Deformation Scale 1: 100.000</p> 	<p>puntero con alas terminado reducido a escocajero7-puntero - Static Node Stress Units: psi Deformation Scale 1: 215.774</p> 
<p>DESPLAZAMIENTO</p>	<p>puntero con alas trasladas - Static Displacement Units: in Deformation Scale 1: 100.000</p> 	<p>puntero con alas terminado reducido a escocajero7-puntero - Static Displacement Units: in Deformation Scale 1: 215.774</p> 
<p>DEFORMACION</p>	<p>puntero con alas trasladas - Deformed Shape Deformed Shape Deformation Scale 1: 100.000</p> 	<p>puntero con alas terminado reducido a escocajero7-puntero - Deformed Shape Deformed Shape Deformation Scale 1: 215.774</p> 
<p>CRITERIO DE DISEÑO</p>	<p>puntero con alas trasladas - Design Check Criterion: Max von Mises Stress Non-dimensional stress distribution Min:POG=1.3 Deformation Scale 1: 0</p> 	<p>puntero con alas terminado reducido a escocajero7-puntero - Design Check Criterion: Max von Mises Stress Non-dimensional stress distribution Min:POG=1.2 Deformation Scale 1: 0</p> 

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 41. Tabla de resultados análisis de esfuerzo Puntero.

ESTUDIO	UNIDAD	<i>PUNTERO CON ALAS</i>	<i>PUNTERO SIN ALAS</i>
ESFUERZO	N/m ²	5.3036e+008	1.844e+008
DESPLAZAMIE NTO	mm	0.1467	0.32926
REACCION ES	X	N	1397
	Y	N	-15155
	Z	N	-1701.9
	R	N	15315
STRAIN	Adimensional.	0.0012287	0.00041873
FACTOR DE SEGURIDAD	Adimensional.	1.2	1.3

Fuente: Autores del proyecto.

5.3. SISTEMA DE SEGURIDAD DEL SUBSOLADOR (FUSIBLE)

El diseño de este sistema se dio debido a la necesidad de contar con un sistema que protegiera el tractor en el momento de encontrar un gran obstáculo en la trayectoria del subsolador. El sistema de seguridad del subsolador esta formado por tres elementos:

1. Pernos rompibles.
2. El fusible.
3. Manivela.

Los pernos rompibles no son fueron diseñados ya que normalmente los fabricantes de los tractores los suministran, el funcionamiento de estos pernos es muy sencillo. Cuando un tractor que realiza un trabajo de arado o subsolado encuentra un obstáculo los pernos se rompen permitiendo que el tractor continúe su marcha mientras que la herramienta queda enterrada, este perno es muy importante para la seguridad e integridad tanto del tractor como del operario, ya que impide que el

tractor se levante por una excesiva carga. En la figura 72 se muestran la ubicación de los pernos rompibles en un tractor. En referencia al fusible, este es un sistema de protección de la unidad subsoladora y que además cumple con la función de producir vibración al sistema. Los elementos principales del fusible son vistos en la figura 73.

Figura 72. Pernos rompibles en tractor.

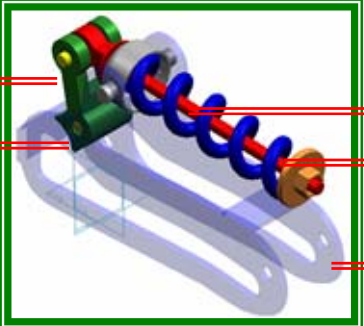


Fuente: Autores del proyecto

5.3.1. Funcionamiento del fusible. Su funcionamiento se basa en el principio de un mecanismo biela-manivela, el cual al encontrar un obstáculo en el camino de trabajo del subsolador hace que la manivela gire en torno al pasador soporte, induciendo un giro al perno fusible, la cual actúa en contra del taraje de un resorte, que induce la precarga máxima de trabajo.

Una vez superado el obstáculo, la precarga del resorte hace que el mecanismo recupere la posición inicial. Para el presente diseño se modeló el sistema utilizando la aplicación Dynamic Designer Motion (Ver Fig. 74).

Figura 73. Elementos del fusible.

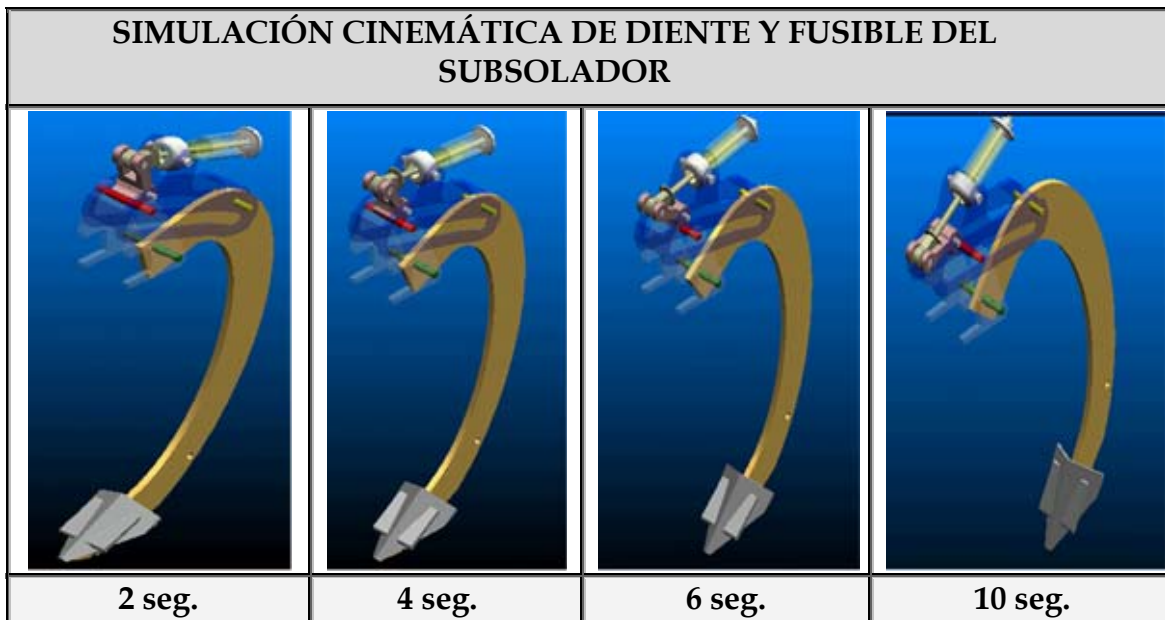
ELEMENTOS DEL FUSIBLE	GRAFICA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Resorte. 2. Chasis. 3. Manivela. 4. Soporte del resorte. 5. Perno fusible. 	

Fuente: Autores del proyecto

5.3.2. Diseño del fusible. El diseño del dispositivo se fundamenta esencialmente en el diseño del resorte y el perno fusible, las fuerzas que actúan directamente sobre el sistema fueron calculadas por el Software Cosmos/Design Star 3.0. De igual forma se valoraron estas fuerzas utilizando los principios básicos de la Estática, luego de cuantificar las fuerzas en la herramienta con la ecuación de Reece y las normas ASAE. Al realizar el análisis estático convencional de la canilla-subsoladora, para encontrar las fuerzas que se generan sobre los pasadores que la unen al sistema portaherramientas y fusible reposicionador se determinó la necesidad de seguir con el lineamiento de diseño seguido para el diseño de la canilla, como es sabido, su sección transversal varía con la longitud terminando en una sección aguda.

En la herramienta canilla-subsoladora las cargas de resistencia a la penetración varían con la profundidad y en este caso su distribución varía con la sección transversal de la viga, razón por la cual es dispendioso determinar su punto de acción y el valor como carga puntual para determinar los valores de esfuerzos inducidos por cada uno de ellos. Por lo tanto se recurre al software COSMOS Desing STAR 3.0 para determinar las fuerzas resultantes en los pasadores que unen la canilla subsoladora a los demás componentes del sistema.

Figura 74. Simulación Cinemática utilizando Dynamic Designer Motion.



Fuente: Autores del proyecto

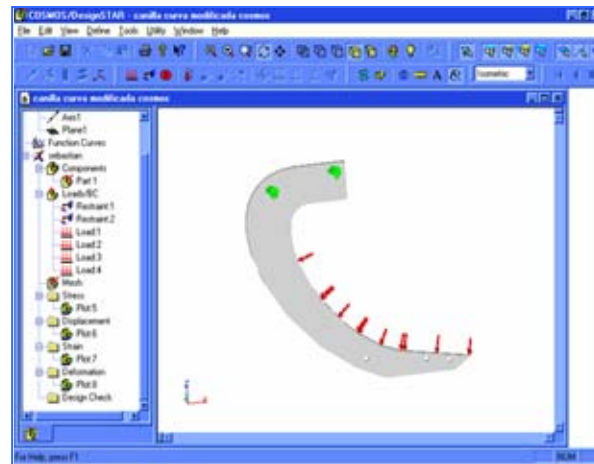
El procedimiento seguido para el análisis de la fuerza generada en el pasador que une la canilla con el portaherramientas fue el siguiente:

1. Conexión al CAD en el cual fue diseñada previamente la pieza.
2. Identificación del estudio a realizar, en nuestro caso estático.
3. Identificación del material de la pieza.
4. Ubicación de las cargas aplicadas a la pieza, para el caso particular de la canilla se ubicaron a diferentes profundidades los valores de la Resistencia a la Penetración, propiedad física del suelo cuantificada en plantación (ver Fig. 75).
5. Ubicación de los puntos fijos, para el caso particular se colocaron restricciones en los puntos en los cuales están ubicados los pasadores.
6. Realización del tipo de enmallado.
7. Se ejecuta el secuenciador de operaciones internas propias del software.

8. Para la cuantificación de las reacciones se seleccionan las caras donde estarán ubicados los pasadores y el sistema entrega las reacciones en los tres ejes principales y la fuerza resultante (ver Fig. 76).

Con el valor obtenido de la resultante se procede a efectuar el diseño del resorte, el perno fusible y la manivela, del sistema de seguridad; con base en los procedimientos de diseño convencionales del plan de estudio de la Escuela.

Figura 75. Ubicación de cargas y restricciones en la canilla.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 76. Resultados de la fuerzas de reacción en los pasadores.

Reaction Force		
Step Number:	<input type="text"/>	
Units:	N	
Selected Items:	Face, 170	
Component	Selection	Entire Model
Force X:	-26558	15440
Force Y:	0.32755	0.36692
Force Z:	-44324	21901
Force Result...	51671	26797

Fuente: Autores del proyecto

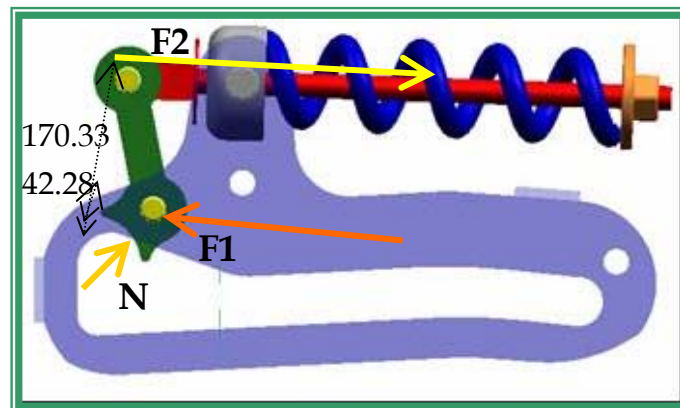
5.3.1. Diseño del resorte. El Cálculo de fuerza axial que actúa en el resorte se calcula a partir del diagrama de cuerpo libre de la figura 77 y tomando Sumatoria de momento alrededor del punto donde se encuentra actuando la normal.

$$51675 \cdot (0.04228) = F_2 \cdot (0.17033)$$

$$F_2 = 12826.9 \approx 13000 \cdot [N]$$

Las distancias utilizadas para el presente cálculo fueron dimensionadas utilizando el programa Solid Edge.

Figura 77. Diagrama de cuerpo libre conjunto fusible



Fuente: Autores del proyecto

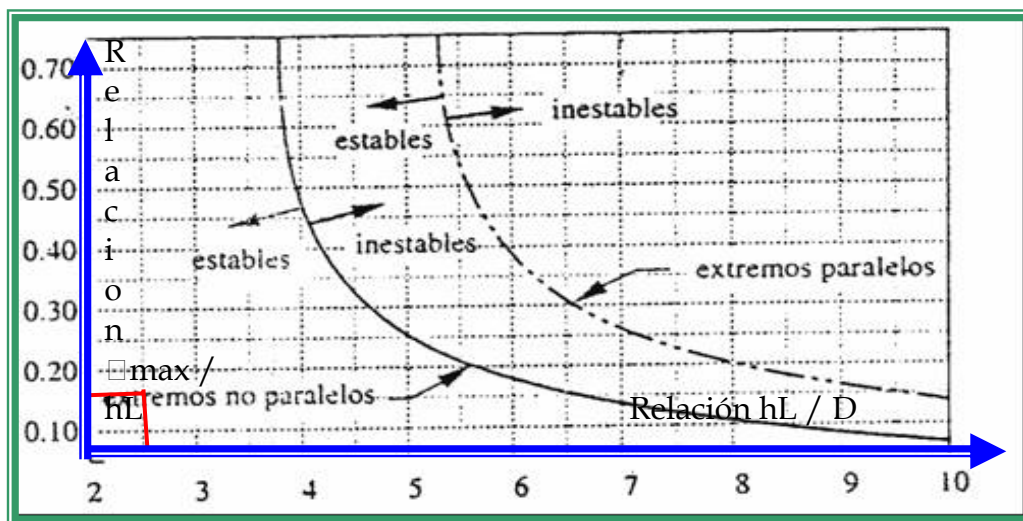
Consideraciones iniciales de diseño:

1. Se toma el resorte con extremos encuadrados y esmerilados
2. Para la deflexión de trabajo normal se utiliza una holgura del 20 %.
3. Diámetro externo. $D = 13 \text{ cm} = 0.13 \text{ m}$
4. Diámetro de la espira. $d = 25.4 \text{ mm} = 0.0254 \text{ m}$
5. Fuerza axial que actúa en el resorte. $F = 13000 \text{ N}$
6. El material seleccionado para los cálculos es Acero ASTM A232.

Los valores de entrada y resultados del diseño del resorte pueden ser vistos en la tabla 42. Los parámetros de entrada corresponden a la zona gris mientras que los

parámetros de salida corresponden a la zona azul. De igual forma se diseñó el resorte por pandeo (ver tabla 42) llevando estos valores a las curvas donde se encuentra que el diseño se encuentra en una zona estable por pandeo (Ver Fig. 78) y finalmente se realizó un chequeo por fatiga obteniéndose valores satisfactorios para el diseño (ver tabla 43). Los valores obtenidos fueron utilizados para obtener el diagrama S-N por fatiga (ver Fig. 79). El plano del resorte puede verse en Fig. 80.

Figura 78. Curvas de condición contra pandeo crítico.



Fuente: Autores del proyecto

Tabla 42. Diseño del resorte por carga y análisis por pandeo.

DISEÑO DEL RESORTE POR CARGA					
N° EC.	EXPRESION	N° EC.	EXPRESION	N° EC.	EXPRESION
1	$C = \frac{D}{d}$	8	$Na = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot k}$	15	$h_L = \delta_N + \delta_{Tolerancia} + \delta_i + h_s$
2	$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$	9	$k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot Na}$	16	$\delta_s = h_L - h_s$
3	$\tau = \frac{K_s \cdot 8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3}$	10	$Nt = Na + 2$	17	$F_{Cierre} = k \cdot \delta_s$
4	$S_{ut} = A \cdot d^b$	11	$h_s = Nt \cdot d$	18	$N_{DISEÑO} = \frac{S_{sy}}{\tau_{Cierre}}$
5	$S_{us} = 0.67 \cdot S_{ut}$ $S_{ys} = 0.6 \cdot S_{ut}$	12	$\delta_i = \frac{F_i}{k}$	19	$\frac{\delta_{Máx}}{h_L} = \frac{\delta_{Inicial} + \delta_N}{h_L}$
6	$N_s = \frac{S_{ys}}{r}$	13	$\delta_N = \frac{\Delta F}{K}$	20	$P = d + \frac{\delta_s}{Na}$
7	$k = \frac{\Delta F}{y}$	14	$\delta_{Tolerancia} = 0.2 \cdot \delta_N$	21	$\lambda = \arctg \frac{P}{\pi \cdot D}$

VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR	Redondeo
Fuerza que actúa en el resorte	F	N	13000	
Diámetro Externo	D	m	0,13	
Diámetro Interno	d	m	0,0254	
Coeficiente b Acero ASTM A232	b	Adimensional	-0,1453	
Coeficiente A Acero ASTM A232	A	Mpa	1909,9	
Precarga	F _i	N	1000	
Deflexión	y	m	0,05	
Rigidez	G		79000000000	
Indice del Resorte (Ec. 1)	C	Adimensional	5,118110236	
Factor de Cortante Directo (Ec. 2)	K _s	Adimensional	1,097692308	
Fuerza cortante en la Espira (Ec. 3)	ζ	N/m ²	288420758,4	
Resistencia Máxima a la Tensión (Ec.4)	S _{ut}	N/m ²	3256779005	
Resistencia Máxima a la Torsión (Ec.5)	S _{us}	N/m ²	2182041933	
Limite Elástico al Cortante (Ec. 5)	S _{ys}	N/m ²	1954067403	
Factor de Seguridad a la Fluencia (Ec.6)	N _s	Adimensional	6,775058127	
Diferencia de fuerzas	ΔF	N	12000	

Constante del resorte (Ec.7)	K	N/m	240000	
Numero de Espiras (Ec.8)	Na	u	7,795261204	8
Recalculo K (Ec.9)	K	N/m	233857,8361	233858
Numero Total de Espiras (Ec. 10)	Nt	u	10	
Altura Sólida (Ec.11)	hs	mm	254	
Deflexión de trabajo inicial (ver Ec.12)	δ_i	mm	4,276102168	
Deflexión de trabajo normal(Ec.13)	δ_n	mm	51,31322601	
Factor de Tolerancia de Choque (Ec.14)	δ_T	mm	10,2626452	
Altura libre sin carga (Ec.15)	hL	mm	319,8519734	320
Deflexión Sólida (Ec.16)	δ_s	mm	65,85197338	
Fuerza para deflexión sólida(Ec.17)	Fc	N	15400	
Esfuerzo a la altura de cierre	ζ_c	N/m ²	341493658,1	
Factor de seguridad para cierre (Ec.18)	Nsc	Adimensional	5,722119157	
Paso (Ec.20)	P	mm	33,63149667	
Angulo de filete (Ec.21)	λ	°	4,707548147	

ANALISIS POR PANDEO					
Relacion 1	UNIDAD	VALOR	Relacion 2	UNIDAD	VALOR
$\frac{h_L}{D}$	Adimensional	2,4604	$\frac{\delta_{total}}{h_L} = \frac{\delta_{inicial} + \delta_N}{h_L}$	Adimensional	0,1738

Fuente: Autores del proyecto

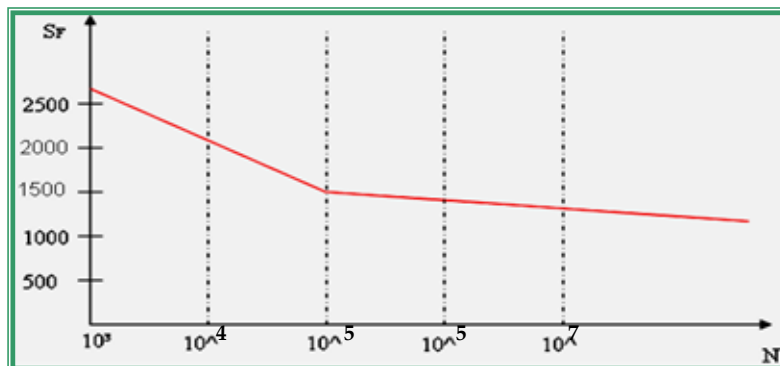
Tabla 43. Diseño resorte fusible por fatiga.

DISEÑO DE RESORTE POR FATIGA			
VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
Resistencia Maxima a la Tension	Sut	Pa	3486959660
Resistencia a la Torsion a 1000 ciclos	Sms	Pa	2092175796
Ciclos	Porcentaje de Resistencia a la Fatiga por Torsion Acero A232		
10 ⁵ Ciclos	0.42*Sut		1464523057
10 ⁶ Ciclos	0.4*Sut		1394783864
10 ⁷ Ciclos	0.38*Sut		1325044671

CHEQUEO DEL RESORTE PARA CARGA CICLICA			
Nº EC.	EXPRESION	Nº EC.	EXPRESION
22	$\tau_i = \frac{Ks \cdot 8 \cdot Fi \cdot D}{\pi \cdot d^3}$	25	$\tau_a = \frac{k_w \cdot 8 \cdot Fa \cdot D}{\pi \cdot d^3}$
23	$\tau_m = \frac{Ks \cdot 8 \cdot Fm \cdot D}{\pi \cdot d^3}$	26	$Ses = \frac{0.707(Sew \cdot Sus)}{Sus - (0.707 \cdot Ses)}$
24	$Kw = \frac{4 \cdot C - 1}{4 \cdot C - 4} + \frac{0.615}{C}$	27	$N_{FS} = \frac{Ses \cdot (Sus - \tau_i)}{Ses \cdot (\tau_m - \tau_i) + (Sus \cdot \tau_a)}$
VARIABLE		SIMBOLO	UNIDAD VALOR
Diámetro Externo		D	m 0,13
Diámetro Interno		d	m 0,0254
Resistencia maxima a la Tensión		Sut	Pa 3256779005
Resistencia maxima al Cortante		Sus	Pa 2.182.041.933
Limite de Resistencia fatiga por Torsión		Sew	Pa 310.000.000
Limite Elastico al Cortante		Sys	Pa 2092175796
Fuerza Maxima		Fmax	N 13000
Fuerza Minima		Fmin	N 1000
Indice del Resorte		C	dimensional 5,118110236
Factor de Cortante Directo		Ks	dimensional 1,097692308
Fuerza Alternante		Fa	N 6000
Fuerza Media		Fm	N 7000
Esfuerzo Alternante(ver Ec.22)		ζ_i	N/m ² 22174912,87
Esfuerzo medio(ver Ec.23)		ζ_m	N/m ² 155224390,1
Factor de corrección de Whall(ver Ec.24)		Kw	dimensional 1,302283909
Esfuerzo cortante alternante(ver Ec.25)		ζ_a	N/m ² 157847688,4
Limite de Resistencia a la fatiga(ver Ec.26)		Ses	N/m ² 243642044,3
Factor de Seguridad(ver Ec.27)		Nfs	dimensional 1,396415004

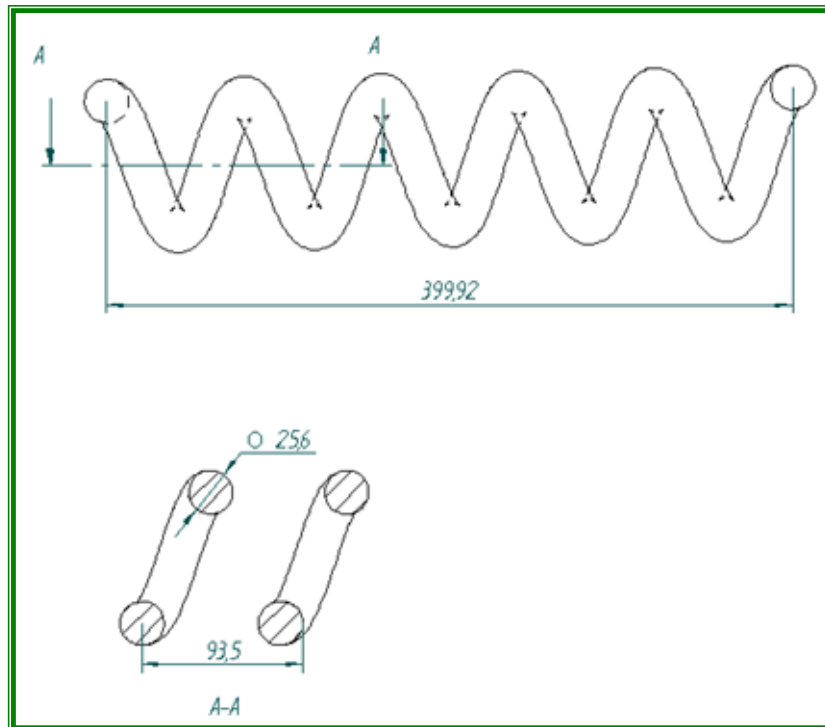
Fuente: Autores del proyecto

Figura 79. Diagrama S-N de fatiga.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 80. Plano Resorte fusible.

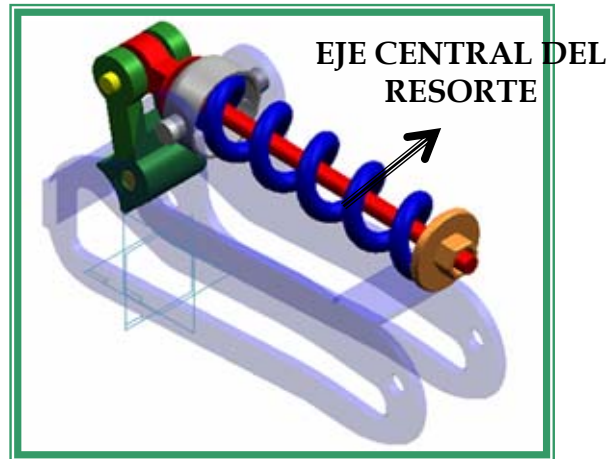


ESPECIFICACIONES: Acero ASI SAE 1045. Extremos biselados

Fuente: Autores del proyecto.

5.3.2. Diseño tornillo Fusible. Este elemento hace parte integral del fusible el cual puede ser visto en la figura 81, para el diseño de esta barra, nos limitaremos a hacer cheque por pandeo utilizando las ecuaciones que rigen los modelos de columnas por el método de Euler. Debido a la necesidad de utilizar un elemento roscado en ambos extremos con propiedades mecánicas similares a los pasadores, se busco en Bucaramanga un material que cumpliera con estas consideraciones de diseño, el material seleccionado fue la barra roscada B7, con propiedades similares al Acero Aleado Tipo Grado 8 para tortillería con diámetro de 1 1/4 pulgada.

Figura 81. Sistema seguridad del subsolador.



Fuente: Autores del proyecto

Consideraciones de diseño.

- L = Longitud real de la columna $L = 22.44[in] = L = 0.57[m]$.
- Tornillo grado SAE Grado 8.
- Se diseña para columna atornilladas $K = 1$
- Cuando la relación de Esbeltez es mayor que Constante de columna C_c , la columna es larga.

Los valores de entrada y resultados del diseño del eje central pueden ser vistos en la tabla 44, donde se encuentran los parámetros de entrada con los parámetros de salida. De igual forma el diseño final puede verse en la Fig. 82.

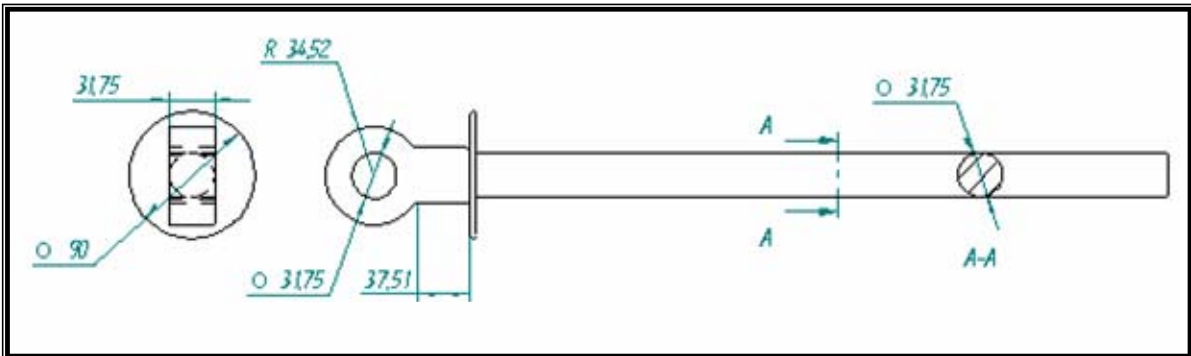
Tabla 44. Chequeo por pandeo del tornillo fusible.

DISEÑO EJE CENTRAL DEL RESORTE			
N° EC.	EXPRESION	N° EC.	EXPRESION
1	$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	7	$P_{\sigma} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2}$
2	$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$		
3	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$	8	$N = \frac{P_{cr}}{P_{\sigma}}$
4	$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}}$	9	$\sigma = \frac{F}{A}$
5	$Esbeltéz = \frac{L_e}{r}$	10	$N_2 = \frac{S_y}{\sigma}$
6	$L_e = K \cdot L$		

VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
Diametro	D	in	1
Coficiente de elasticidad	E	psi	3000000
Resistencia de fluencia	Sy	psi	130000
Longitud real de la columna	L	m	0,57
Carga aplicada	P	N	11000
Carga Admisible	Pa	N	15000
Area de la sección transversal(Ec 1)	A	in ²	0,7854
Momento de Inercia(Ec. 2)	I	in ⁴	0,0490875
Radio de Giro(Ec. 3)	r	in	0,25
Constante de Columna(Ec. 4)	Cc	Adimensional	67,49239465
Relación de Esbeltez(Ec. 5)	-	Adimensional	89,76377953
Longitud efectiva de Columna(Ec 6)	Le	m	0,57
Constante de fijación de los extremos	K	Adimensional	1
Carga Crítica para el pandeo(Ec 7)	Pcr	Lbf	28861,01944
Factor de Seguridad(Ec. 8)	N	Adimensional	8,588254299
Esfuerzo con Carga Axial(Ec 9)	σ	Lb/in ²	3148,741511
Seguridad con Carga Axial	Ns	Adimensional	41,286836
Carga Axial maxima de trabajo	Pmax	N	44285,67
Esfuerzo con carga axial maxima	σmax	Lb/in ²	12676,73886
Seguridad con carga axial maxima(Ec 10)	Na	u	10,25500339

Fuente: Autores del proyecto

Figura 82. Plano tornillo fusible.

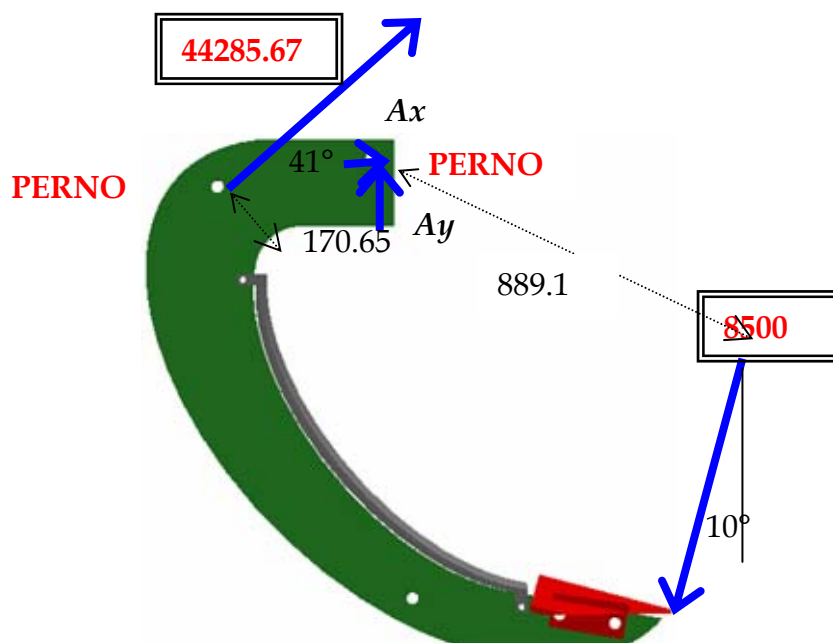


ESPECIFICACIONES: Acero 1038 SAE G-8. Barra B-7. 500 x 31,75 [mm x mm]

Fuente: Autores del proyecto.

5.3.3. Diseño pernos unión canilla - fusible. Estos tornillos fueron calculados para su posterior compra, ya que debido a su posición estratégica en el montaje, van a soportar las mayores cargas cortantes (ver tabla 45).

Diagrama de cuerpo libre canilla.



$$\sum F_x = 0$$

$$-8500 \cdot \text{sen}10 + 44285.67 \cdot \text{sen}41 + Ax = 0$$

$$Ax = 27578 \text{ [N]}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-8500 \cdot \text{cos}10 + 44285.67 \cdot \text{cos}41 + Ay = 0$$

$$Ay = -25051.95 \text{ [N]}$$

Resultante:

$$R = \sqrt{Ax^2 + Ay^2} = \sqrt{27578^2 + 25051.95^2} = 37757.83 \text{ N}$$

Para efectos de diseño tomamos la carga de mayor valor $F = 44285.67 \text{ [N]}$

5.4. PORTAHERRAMIENTAS

La barra portaherramientas permite adaptar muchas herramientas para la siembra o para trabajar el suelo adaptándolas a condiciones de cada operador. Cada tractor tiene limitaciones de elevación y tracción, todo equipo es diseñado y construido para especificaciones de resistencia y rendimiento definidos. Un diseño inadecuado de la barra portaherramientas puede generar:

- Sobrecargar el sistema hidráulico.
- Reducir la vida de los neumáticos.
- Generar inestabilidad del tractor.

Hay también disponibles barras huecas cuadradas para reducir el peso en un 55 a 60 %. La resistencia de una barra hueca es alrededor del 70 % con respecto a la barra sólida. Las barras portaherramientas de viga tubular ofrecen un gran radio de resistencia para grandes unidades por cultivo y siembra. Estas barras varían entre

10.16 x 12.7 a 12.7x 17.78 cm para máxima resistencia por libra para diferentes aplicaciones. El espesor de la pared varia entre 0.635 a 1.27 cm y varia con el tamaño y longitud de la barra que puede alcanzar hasta 9.1 m o mas. El tipo de barra portaherramientas debe decidirse en base del uso anticipado y peso total. Las barras portaherramientas de sobretamaño ofrecen resistencia adicional, pero aumentar el peso y el precio.

Tabla 45. Parámetros de entrada y salida diseño de pernos unión canilla.

DISEÑO PERNOS UNIÓN CANILLA - FUSIBLE			
N° EC.	EXPRESION	N° EC.	EXPRESION
1	$M = F \times r$	4	$A = \frac{F}{\tau}$
2	$\tau \leq \tau_{\text{adm}}$	5	$\tau = 0.5 \cdot S_y$
3	$F_i = \frac{M r_i}{d r^2}$	6	$\phi_{\text{seleccionado}} = N \cdot \phi_{\text{calculado}}$

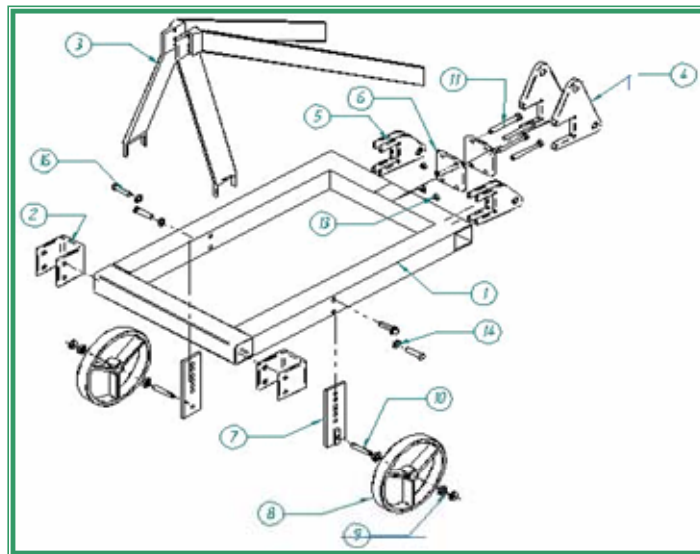
VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
Esfuerzo Fluencia	S_y	Pa	896350000
Esfuerzo Cortante	ζ	Pa	448175000
Fuerza Maxima en los tornillos	F	N	44285,67
Momento que resiste el patrón de tornillos (Ec. 1)	M	N-m	8134,67
Distancia radial de cada tornillo al centroide	dr	m	0,171545
Sumatoria de distancias radiales (Ec. 2)	Sdr	-	0,058855374
Fuerza c /tornillo resistir el Momento Flector (Ec. 3)	F _i	N	23710,01778
Area Sección transversal del tornillo (Ec. 4)	A	m ²	9,88133E-05
Diámetro (Ec 6)	d	in	1,324798677
Factor de seguridad.	N	-	3

Fuente: Autores del proyecto.

El diseño de la barra portaherramientas del sistema tuvo como principal criterio la ubicación del subsolador y de los aditamentos tales como el disco de corte, rodillo etc, de tal forma que cada elemento realizara su labor sin interceder para nada en la

labor de los demás elementos (ver figura 83). El diseño de la barra portaherramientas se basa esencialmente en la normativa ASAE S207.12 DEC. 98. En cuanto al análisis de esfuerzos a que es sometido el portaherramientas con los valores obtenidos del programa COSMOS DesingSTAR 3.0, para el estudio de la canilla (ver tabla 46 y 47).

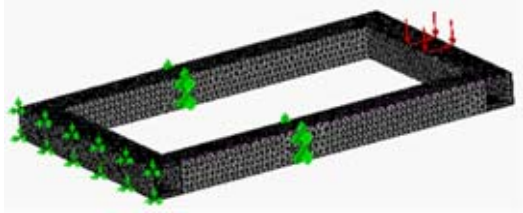
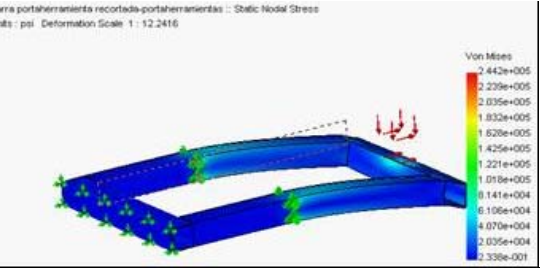
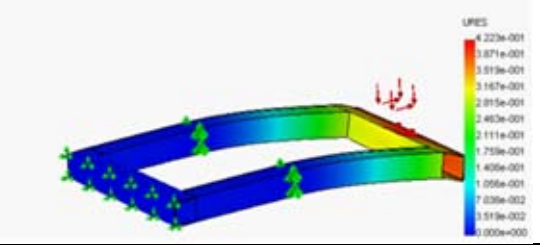
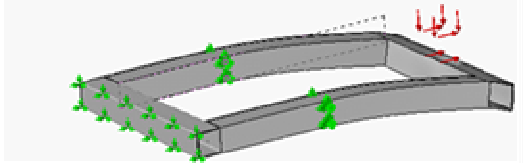
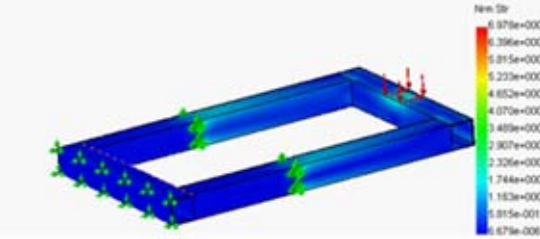
Figura 83. Plano Elementos Bastidor.



Núm.	Código	Elemento	Material	Cont.	Especificaciones
1	01-02-01	BASTIDOR	ANGULO ASTM A-36	1	7600 (mm)
2	01-02-02	UES ENGANCHE	LAMINA ASTM A-36	1	270 x 410 (mm)
3	01-02-03	ENGANCHE CENTRAL	LAMINA ASTM A-36	1	10,6 x 6000 (mm)
4	01-02-04	SOPORTE FUSIBLE	LAMINA ASTM A-36	1	400 x 500 (mm)
5	01-02-05	SOPORTE RODILLO	LAMINA ASTM A-36	1	400 x 600 (mm)
6	01-02-06	PLATINA UNION FUSIBLE	LAMINA ASTM A-36	1	190 x 310 (mm)
7	01-02-07	SOPORTE RUEDA	LAMINA ASTM A-36	1	200 x 300 (mm)
8	01-02-08	RUEDA CONTROL PROF.	FUNDICION CRIS	1	14" DIAM.
9	01-02-09	COJINETE BOLAS	SKF 3203-2RS	4	17 x 40 x 12 (mm)
10	01-02-10	EJE RUEDAS	BARRA 4140	2	19,05 x 150 (mm)
11	01-02-11	TORNILLO AVC. FUSIBLE	ACERO 1038 C-5	4	1 x 7
12	01-02-12	TORNILLO AVC. RODILLO	ACERO 1038 C-5	2	1 x 3
13	01-02-13	TUERCA	ACERO 1038 C-5	6	1
14	01-02-14	ARANDELA	ACERO 1038 C-5	6	1
15	01-02-15	WASA	ACERO 1038 C-5	6	1
16	01-02-16	TORNILLO CONT. PROF.	ACERO 1038 C-5	4	7 x 3

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 46. Resultados gráficos Cosmos Desing Star para Portaherramientas.

PARAMETRO	PORTAHERRAMIENTAS
<p align="center">CARGAS, RESTRICCIONES Y ENMALLADO</p>	
<p align="center">ESFUERZO</p>	<p>barra portaherramienta recortada-portaherramientas : Static Nodal Stress Units: psi Deformation Scale: 1: 12.2416</p> 
<p align="center">DESPLAZAMIENTO</p>	<p>barra portaherramienta recortada-portaherramientas : Static Displacement Units: in Deformation Scale: 1: 12.2416</p> 
<p align="center">DEFORMACION</p>	<p>barra portaherramienta recortada-portaherramientas : Deformed Shape Deformed Shape Deformation Scale: 1: 12.2416</p> 
<p align="center">CRITERIO DE DISEÑO</p>	<p>barra portaherramienta recortada-portaherramientas : Design Check Criterion: Max von Mises Stress Non dimensional stress distribution: Min FOS = 0.14 Deformation Scale: 1: 0</p> 

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 47. Tabla de Resultados Análisis de esfuerzos Portaherramientas.

ESTUDIO	UNIDAD	<i>PORTAHERRAMIEN TAS</i>
ESFUERZO	N/m ²	1.6839e+009
DESPLAZAMIE NTO	mm	10.726
STRAIN	Adimensional.	0.0056794
FACTOR DE SEGURIDAD	Adimensional.	0.14

Fuente: Autores del proyecto.

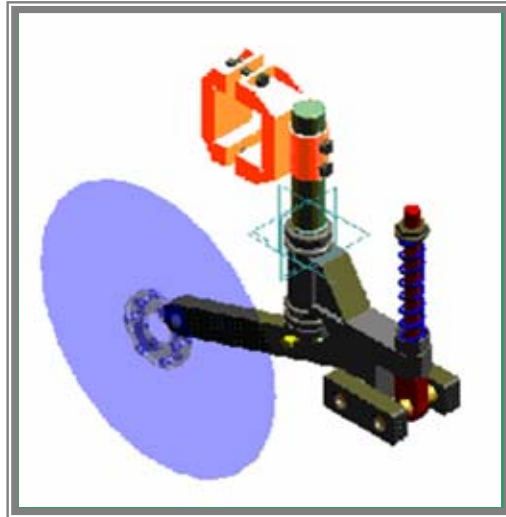
5.5. DISCO DE CORTE

Las causas para la utilización de un disco de corte ubicado en la parte delantera del subsolador se basó fundamentalmente en la presencia excesiva de raíces de palma en el momento de realizar el subsolado, en las pruebas iniciales se observó la gran cantidad de ellas que obstaculizaban el movimiento del subsolador, generando que el tractor tratara de pararse corriendo el riesgo de voltearse.

Además de esto la experiencia empírica de las personas involucradas en la construcción de arados, concluyendo que la utilización de disco de corte reduce el consumo de potencia, al observar los resultados del análisis CAE, se obtiene que al disminuir la resistencia a la penetración disminuye por ende el consumo de potencia. Adicionar a esto se encontró un estudio de Santos Gabriel Campos Magaña Investigador en mecanización Agrícola del INIFAP donde concluye que el empleo del cincel angosto para siembra profunda con el uso del disco de corte bajo un sistema de labranza mínima, permite la reducción de fuerza de tiro hasta en un 50%. El diseño de los discos de corte está basado en la norma ASAE S399.1 JUN 01. El disco de corte agrícola puede ser seleccionado conociendo el diámetro exterior, comúnmente se utilizan los discos de 14, 18 y 19 pulgadas. El disco de 19

pulgadas es el recomendado por las normas ASAE para renovadores de pradera y subsoladores, pero no fue posible su compra en la ciudad de Bucaramanga por lo tanto se utilizara para el diseño un disco de 18 pulgadas (ver figura 84).

Figura 84. Disco de corte.

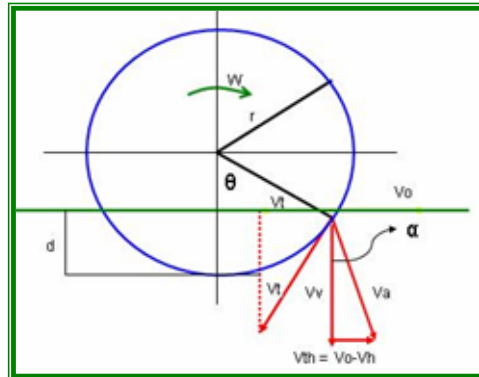


Fuente: Autores del proyecto

5.5.1. Análisis Cinemático. Durante el desplazamiento y rotación de un disco, cualquier punto de la periferia no solo se desplaza sino que rota alrededor de su eje. La rotación del disco es afectado por el efecto de deslizamiento o patinaje cuando la velocidad tangencial es mayor o menor que la velocidad de operación. La cinemática del filo de corte de un disco puede ser expresada como una función de la velocidad lineal y rotacional. La magnitud de la velocidad absoluta V_a esta dada por la suma vectorial de V_o y V_t . Para el cálculo del Angulo α generado por la velocidad absoluta con respecto al eje horizontal se utiliza las relaciones vistas en la tabla 50. Con estas relaciones y utilizando los datos cuantificado en plantación serán calculado los parámetros del disco que conlleven al calculo de potencia. Para el cálculo de la fuerza de corte en el suelo generada por el disco, utilizaremos la

norma ASAE 497.4 Numeral 4.11. Los resultados pueden ser vistos en la tabla 48. El diseño final del disco puede verse figura 85-

Figura 84. Análisis Cinemático del disco de corte.



Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 48. Parámetros de entrada y salida análisis cinemático del disco.

ANÁLISIS CINEMÁTICO, CONSUMO DE POTENCIA Y SELECCIÓN DEL DISCO DE CORTE	
Nº EC.	EXPRESIÓN
1	$\omega = \frac{v}{r}$
2	$\delta = \frac{\omega \cdot r}{V_o} = \frac{V_t}{V_o}$
3	$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{1 - \delta + \left(\frac{d \cdot \delta^2}{r} \right)}{\delta \sqrt{\frac{2 \cdot d}{r} - \left(\frac{d}{r} \right)^2}} \right]$
4	$V_a = V_o \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot d \cdot \delta}{r} + \delta^2 - 2 \cdot \delta + 1}$
5	$V_{ax} = V_a \cdot \text{sen} \alpha$
6	$F = F_i \cdot (A + B(V) + C \cdot (V^2)) \cdot W \cdot T$
7	$P = \frac{F \cdot V}{274.4}$

VARIABLE LOTE 10-79	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR	Redondeo
Radio Llanta tractor	r	m	0,8435	
Radio Disco de corte	r*	m	0,25	
Velocidad de operación	V	Km/h	2,255	
Velocidad de operación sin patinamiento	Vsp	Km/h	2,4829	
Radio del disco	r	m	0,25	
Profundidad de trabajo del disco	d,T	m	0,25	
Parámetros específicos máquina	A	Adimensional	55	
Parámetros específicos máquina	B	Adimensional	2,7	
Parámetros específicos máquina	C	Adimensional	0	
Ajuste dimensional textura del suelo.	Fi	Adimensional	1	
Factor de Corrección.	M	%	50	
Anchura de la máquina	W	m	1	
Velocidad angular de la llanta del tractor(Ec. 1)	wt	rpm	7,8080396	
Velocidad angular del disco de corte(Ec. 1)	wd	rpm	26,34432561	
Patinamiento(Ec. 2)	δ	%	1,1010643	
Velocidad Absoluta(Ec. 4)	Va	m/s	3,35407475	
Angulo del disco α(Ec. 3)	α	°	42,2477	42
Velocidad Absoluta Horizontal(Ec. 5)	Vax	m/s	2,255073145	2
Fuerza de corte	F	N	1527,217437	1527
Potencia(Ec. 7)	P	Hp	12,55056604	13

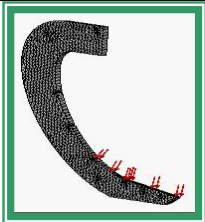
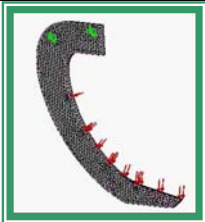
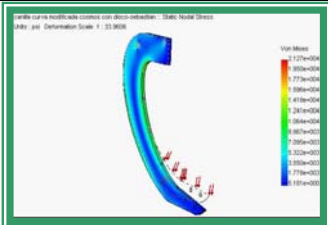
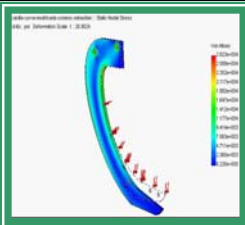
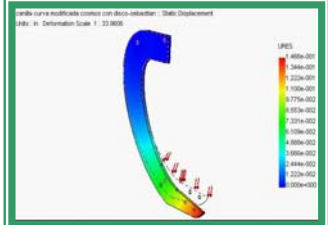
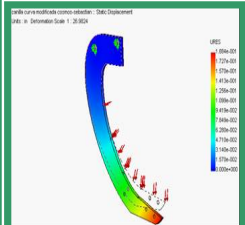
VARIABLE LOTE 10-97	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR	Redondeo
Radio Llanta tractor	r	m	0,8435	
Radio Disco de corte	r*	m	0,25	
Velocidad de operación	V	Km/h	2,726	
Velocidad de operación sin patinamiento	Vsp	Km/h	3,066	
Radio del disco	r	m	0,25	
Profundidad de trabajo del disco	d,T	m	0,25	
Parámetros específicos máquina	A	Adimensional	55	
Parámetros específicos máquina	B	Adimensional	2,7	
Parámetros específicos máquina	C	Adimensional	0	
Ajuste dimensional textura del suelo.	Fi	Adimensional	1	
Factor de Corrección.	M	%	50	
Anchura de la máquina	W	m	1	
Velocidad angular de la llanta del tractor(Ec. 1)	wt	rpm	9,641729193	
Velocidad angular del disco de corte.	wd	rpm	32,5311943	
Patinamiento(Ec. 2)	δ	%	1,12472487	
Velocidad Absoluta(Ec. 4)	Va	m/s	4,10261283	
Angulo del disco α(Ec. 3)	α	°	41,6411	42
Velocidad Absoluta Horizontal(Ec. 5)	Vax	m/s	2,726037422	3
Fuerza de corte	F	N	1559,007526	1559
Potencia(Ec. 7)	P	Hp	15,487808	15

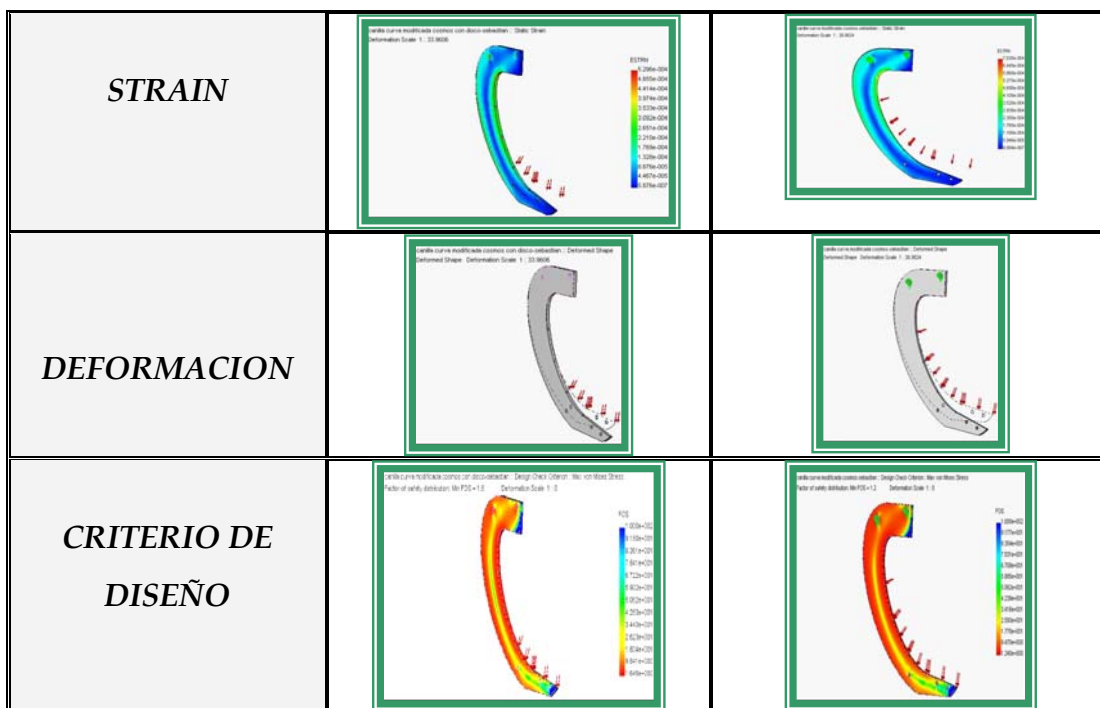
Fuente: Autores del proyecto

Diseño asistido por computador del disco de corte. Utilizando el software COSMOS DESING STAR, se valoro la utilización o no del disco de corte ubicado en la parte delantera del subsolador. Si se utiliza el disco de corte se estará eliminando parte de la Resistencia a la Penetración generada por el suelo a la herramienta en las primeras capas de suelo, si no se utiliza disco de corte la Resistencia a la Penetración estará presente en todas las capas del suelo.

Resultados del estudio. En la tabla 49 se presenta los resultados gráficos del modelamiento sistemático donde se puede observar el valor de los esfuerzos máximos, el desplazamiento, la deformación y el criterio de diseño donde el programa asume un factor de seguridad mínimo para las condiciones de carga propuestas.

Tabla 49. Resultados gráficos Cosmos Desing Star Disco de Corte.

	CANILLA CURVA CON DISCO	CANILLA CURVA SIN DISCO
CARGAS, RESTRICCIONES Y ENMALLADO		
ESFUERZO		
DESPLAZAMIENTO		



Fuente: Autores del proyecto.

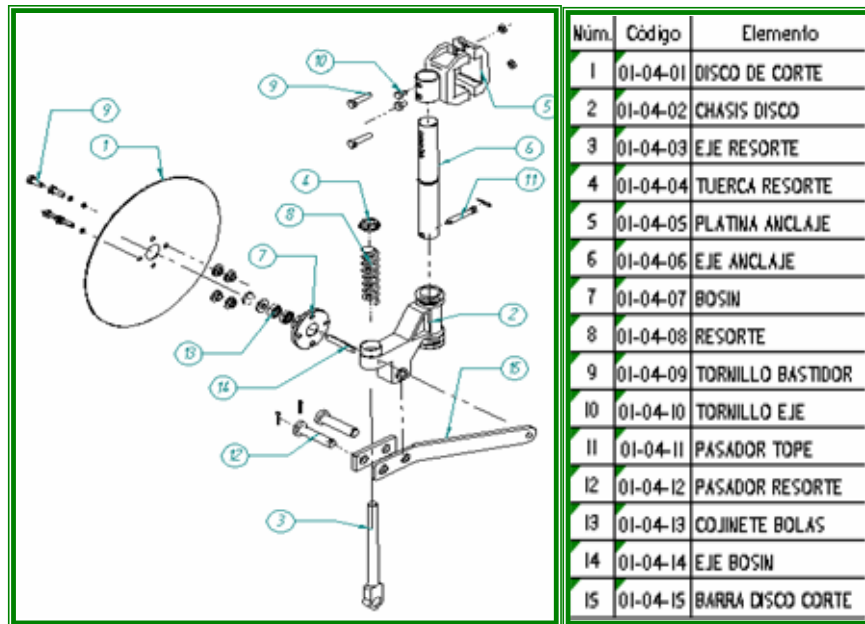
El programa Cosmos Desing Star permitió la valoración de las reacciones que se generan en las caras donde son ubicadas restricciones donde podemos apreciar claramente la disminución en el valor de la fuerza de corte al utilizar un disco en la parte delantera que trae como consecuencia la disminución en el consumo de potencia del tractor (ver tabla 50).

Tabla 50. Tabla comparativa de resultados Análisis de esfuerzos Disco de corte.

ESTUDIO		UNIDAD	CANILLA CURVA CON DISCO	CANILLA CURVA SIN DISCO
ESFUERZO		N/m ²	1.4668e+008	1.9462e+008
DESPLAZAMIENTO		mm	3.7243	4.785
REACCIONES	X	N	-21078	-26558
	Y	N	0.2368	0.32
	Z	N	-26893	-44324
	R	N	34169	51675
STRAIN		Adimensional.	0.00052962	0.00070301
FACTOR DE SEGURIDAD		Adimensional.	1.6	1.2

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 85. Plano Disco de corte.

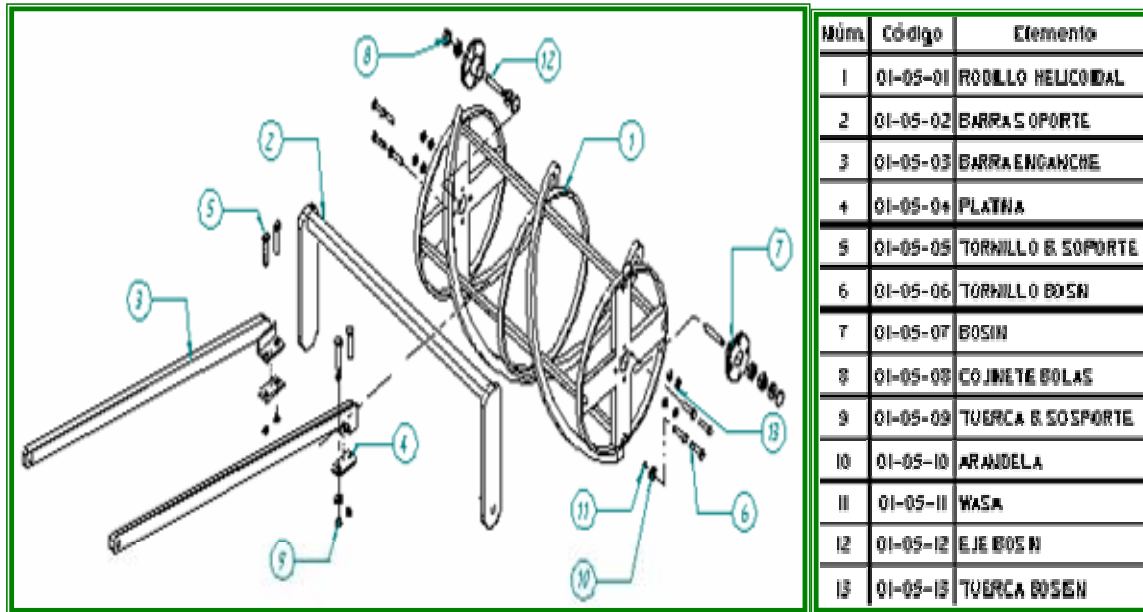


Fuente: Autores del proyecto.

5.6. RODILLO DESTERRONADOR

El principal factor para la utilización del roldillo Desterronador lo dio el estudio de los subsoladores existentes en la región, donde los subsoladores al realizar el trabajo deja un sendero o grieta en el suelo, esta grieta es un peligro inminente para los bueyes, animales de tiro utilizados en la recolección de fruto de alto costo económico, se busca fundamentalmente tapar el sendero dejado por el subsolador y además reducir el tamaño de los terrones que quedan en el suelo luego de realizar el subsolado. En la figura 86 se presenta el rodillo desterronador el cual fue diseñado utilizando el software SOLID EDGE versión 11. El sistema esta formado por el rodillo en si, el sistema de enganche al portaherramientas y el conjunto donde se ubica el rodamiento, el cual por sus características de uso es similar al utilizado en el disco de corte.

Figura 86. Plano Rodillo desterronador.



Fuente: Autores del proyecto

5.7. SISTEMA DE ENGANCHE

A partir del valor de potencia calculado en plantación y teniendo como base en la normatividad ASAE, se selecciona un tipo de enganche de tres puntos categoría III. EL acople de tres puntos es el más común de los sistemas y provee tres brazos que convergen hacia el tractor. Los brazos inferiores llevan cadenas para restringir el movimiento lateral y también se puede acoplar cadenas o bloques de estabilización para dar mayor restricción a este movimiento. Los brazos de levante están acoplados al sistema hidráulico para permitir subir o bajar la herramienta. Se debe acomodar la fuerza resultante de la herramienta F por medio de las fuerzas que actúan por las bolillas de los brazos. El brazo superior no tiene restricción, por lo que las fuerzas solamente pueden actuar a lo largo de él; los inferiores, en cambio, normalmente tienen restricción por el mecanismo de levante, con lo que las fuerzas en tensión o compresión pueden ser inclinadas a los brazos. Una situación típica es la que las fuerzas se unen en el punto V (ver Fig. 87), denominado punto de

acople virtual; la fuerza resultante de la herramienta F debe pasar por V para una situación de equilibrio (ver figura 88). Utilizando el programa SOLID EDGE, se dibujo el enganche de tres puntos con las dimensiones dada por la ASAE. (Ver Fig. 89)

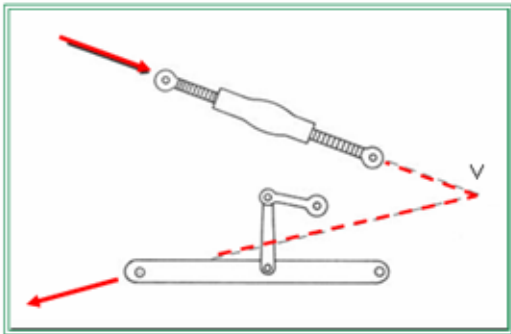
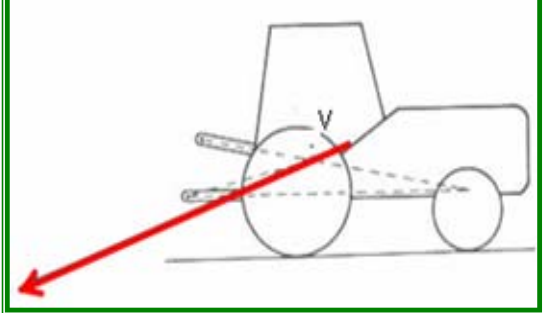
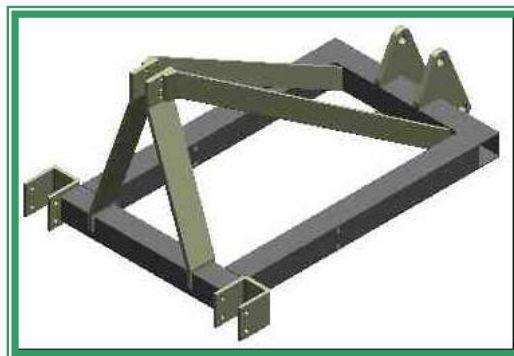
Figura 87. Punto de acople virtual.	Figura 88. Situación de equilibrio.
 <p data-bbox="224 884 792 961">Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág.</p>	 <p data-bbox="821 856 1390 934">Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág.</p>

Figura 89. Sistema de enganche.



Fuente: Autores del proyecto.

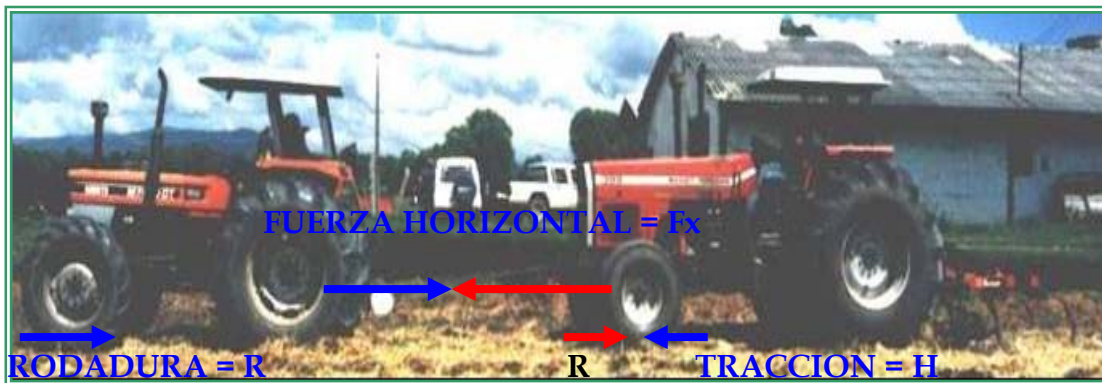
5.8. SELECCIÓN DEL TRACTOR PARA LA LABOR DE SUBSOLADO BASADO EN DATOS EXPERIMENTALES Y NORMAS ASAE

Los parámetros que serán calculados en el tractor, están basados en las normas ASAE 497.2 y 496.2. La Fuerza en la barra de tiro se tomo según datos

cuantificados en plantación con los subsoladores, utilizando para ello un dinamómetro hidráulico. A partir de la sumatoria de fuerzas horizontales en el tractor de la figura 90.

$$H = F_x - R$$

Figura 90. Montaje para la cuantificación de la fuerza de corte de un subsolador.

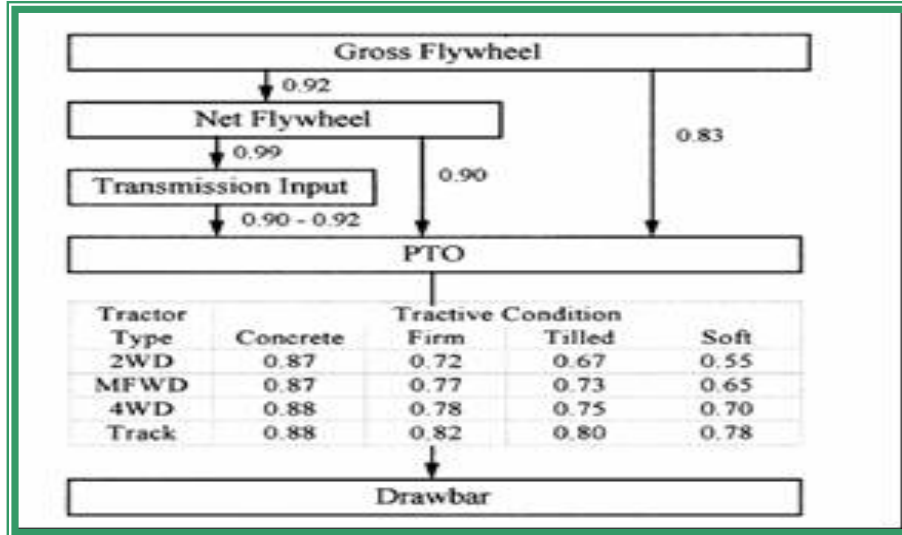


Fuente: Instituto Nacional de Suelos. CORPOICA.

La fuerza Horizontal parte del valor tomado por el dinamómetro en el montaje de los tractores que fue de 5000 Kgf, para el nuevo diseño dando un margen de seguridad de 1.7, da lugar a una fuerza horizontal de 8500 Kgf, esta fuerza fue reconfirmada utilizando para ello la ecuación de Reece (ver sección 4.5). El valor de rodadura se tomo directamente en la plantación ya que este valor depende únicamente del peso del tractor, por lo tanto se utilizara el mismo valor medido en la primera prueba. Para la velocidad de operación se toma una media aritmética entre las diferentes velocidades.

La eficiencia en la barra de tiro se selecciona utilizando la tabla 51 suministrada por la ASAE 497.4. Los parámetros que disminuyen la capacidad de trabajo del un tractor son, patinamiento, altura sobre el nivel del mar y temperatura. Los resultados de la selección del tractor pueden ser vistos en la tabla 52.

Tabla 51. Eficiencia en la barra de tiro.



Fuente: Norma ASAE D497.4. Sección 3.1.

Tabla 52. Parámetros de entrada y salida selección del tractor.

N° EC.	EXPRESION	N° EC.	EXPRESION
1	$H = Fx - R$	6	$Pp = \frac{Pl}{\eta s}$
2	$P = \frac{F \cdot V}{274.4}$	7	$Palt = \frac{Pp \cdot h}{10000} + Pp$
3	$Pm = \frac{P}{\eta b}$	8	$PT = \frac{Palt}{\eta T}$
4	$s = \frac{dn - d}{dn}$	9	$\frac{1\%}{5^\circ C} = \frac{x}{35^\circ C}$
5	$\eta s = 1 - s$	10	$P = \frac{PT}{\eta T}$

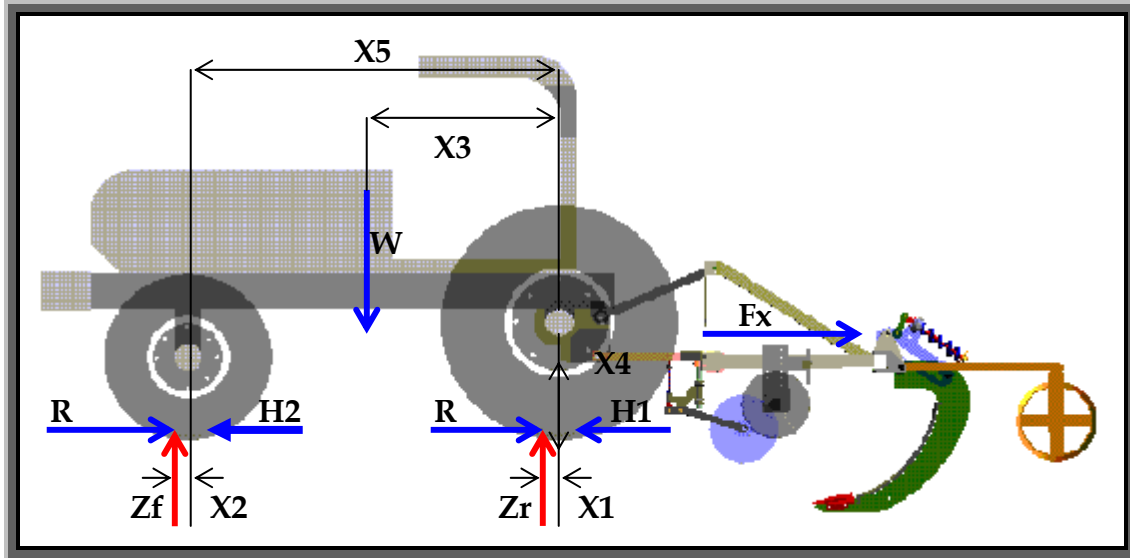
VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR	Redondeo
Fuerza en la barra de tiro	F	Kgf	8500	
Tracción(Ec. 1)	H	Kgf	8000	
Velocidad de operación.	v	Km/h	3,3	
Eficiencia en barra de tiro.	η_{bt}	-	0,77	
Distancia recorrida sin patinaje.	dn	m	Promedio	
Rodadura	R	Kgf	500	
Distancia recorrida con patinaje.	d	m	Promedio	
Altura sobre el nivel del mar	h	m	150	
Potencia en la barra de tiro(Ec. 2)	P _{bt}	Hp	96,20991254	96
Potencia a la salida del motor(Ec.3)	P _m	Hp	124,9479384	125
Potencia mas perdidas por patinamiento(Ec. 8)	P _p	Hp	140,0761641	
Eficiencia por patinaje(Ec. 5)	η_s	Adimensional	0,892	
Patinamiento(Ec. 4)	s	%	10,8	
Pérdidas por efecto de la altura(Ec. 7)	P _{alt}	Hp	142,1773065	142
Eficiencia por la temperatura(Ec. 9)	η_T	Adimensional	0,98	
Potencia Total(Ec. 10)	PT	Hp	152,8788242	153

Fuente: Autores del proyecto.

Tracción del tractor utilizado en las pruebas en plantación. Este cálculo permite cuantificar teóricamente el valor esperado de tracción y compararlo con el real que se calcula a partir de la toma de algunos datos en la operación de subsolado con las herramientas utilizadas en la región, especialmente con el subsolador monodiente. El análisis estático del tractor puede ser visto en la figura 88. Los resultados del cálculo de la tracción pueden verse en la tabla 55.

Este análisis es muy importante realizarlo ya que en nuestro medio poco se analiza los sistemas de tiro en las labores de labranza y cuando se hace los equipos utilizados para estos están centralizados en la capital, limitando así la cuantificación de la mayoría de variables en el resto del país, por esto cuando se tienen relaciones matemáticas que involucren variables medidas en el suelo se pueden utilizar para la valoración de equipos de subsolado.

Figura 91. Análisis estático del tractor utilizado en pruebas.



Fuente: Autores del proyecto.

1. Sumatoria de fuerzas horizontales.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R + F_x = H \Rightarrow F_x = H - R$$

2. Sumatoria de fuerzas verticales.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$Z_f + Z_r = W$$

3. Sumatoria de momentos alrededor del punto de contacto entre la llanta delantera con el suelo.

$$W \cdot X_3 + Z_f \cdot X_2 + F_x \cdot X_4 = Z_r \cdot (X_5 + X_1)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$Z_f = 2687.37 \text{ (Kgf)}$$

$$Z_R = 4241.6224 \text{ (Kgf)}$$

La fuerza Horizontal parte del valor tomado por el dinamómetro en el montaje de los tractores directamente en plantación en el lote 10-79 que fue de 5000 Kgf , dando un margen de seguridad de 1.7, dando lugar a una fuerza de 8500 Kgf, esta fuerza fue reconfirmada utilizando para ello la ecuación de Reece(ver sección 4.7). El Coeficiente Cn que depende del tipo de suelo en que se trabaja, se toma de la tabla 53. Para el cálculo del radio de la llanta se utilizara el dato del perímetro medido directamente en el tractor que se realizo la prueba.

El cálculo del centro de gravedad se basa en la relación dada por los fabricantes de los tractores $\lambda c = 0.6$, de igual forma los parámetros que depende del tractor fueron sacados del catalogo técnico, el cual puede ser visto en los anexos del proyecto. El resultado de los cálculos de tracción puede ser visto en la tabla 54.

Tabla 53. Valores típicos de Cn para diferentes tipos de suelos.

TIPO DE SUELO	Cn
Suelo Duros	50
Suelos firmes	30
Suelos labrados	20
Suelos sueltos o arenosos	15

Fuente: ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. Pág.

Tabla 54. Parámetros de entrada y salida calculo de la tracción del tractor.

N° EC.	EXPRESION	N° EC.	EXPRESION
1	$k = 0.8 \cdot \varphi \cdot r$	6	$H = \mu \cdot Q$
2	$\varphi = \frac{1.2}{C_n} + 0.04$	7	$\mu = 0.75 \cdot (1 - e^{-0.3 C_n s})$
3	$r = \frac{P}{2 \cdot \pi}$	8	$Q1 = \frac{Z_r}{2}$
4	$\lambda c = \frac{c}{w}$	9	$Q2 = \frac{Z_f}{2}$
5	$W = W_f + W_a$	10	$H = 2 \cdot H1 + 2 \cdot H2$

VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR	Redondeo
Fuerza horizontal.	Fx	Kgf	8500	
Resistencia a la Rodadura	R	Kgf	500	
Tracción Medida	H	Kgf	8000	
Reacción en las llantas delanteras.	Zf	Kgf	2687,37	2687
Reacción en las llantas traseras.	Zr	Kgf	4241,6224	4242
Peso del tractor con lastre	Wf	Kgf	7324	
Peso de los aditamentos de seguridad	Wa	Kgf	500	
Perímetro de la llanta	P	m	5,3	
Distancia entre ejes.	w	m	2,725	
Patnamiento	s	%	10,8	
Peso total del tractor (Ec. 5)	W	Kgf	7824	
Desplazamiento del punto de aplicación de las fuerzas de reacción(Ec. 1)	X1,X2=k	m	0,043188184	
Distancia al centro de gravedad del tractor(Ec. 4)	X3	m	1,09	
Distancia del suelo hasta la fuerza horizontal.	X4	m	0,36	
Distancia entre ejes.	X5	m	2,725	
Coefficiente de la resistencia al rodamiento(Ec. 2)	φ	Adimensional	0,064	
Radio de la llanta(Ec. 3)	r	m	0,843519226	
Coefficiente del tipo de suelo (suelo plano y duro)	Cn	Adimensional	50	
Coefficiente de tracción(Ec. 7)	μ	Adimensional	0,601575976	
Carga normal sobre el neumático delantero(Ec. 9)	Q2	Kgf	1343,685	
Carga normal sobre el neumático trasero(Ec. 8)	Q1	Kgf	2120,8112	
Carga Normal	Q	Kgf	6928,9924	6929
Traccion Calculada(Ec. 6 y 10)	Hc	Kgf	4168,315364	4168

Fuente: Autores del proyecto

5.9. POTENCIA GENERADA POR IMPLEMENTOS ADICIONALES

Debido a sus características físicas y funcionales, algunos de los elementos del diseño del subsolador generan algún consumo de potencia que hay que adicional al calculado inicialmente por la sola herramienta de subsolado. Entre estos elementos tenemos el portaherramientas, el rodillo desterronador y el disco de corte.

La relación que utilizaremos para calcular los dos primeros elementos están basados en el coeficiente de tracción, mientras que para el calculo del disco utilizaremos el estudio realizado por el investigador en mecanización agrícola del ANIFAP Gabriel Campos m. (ver Anexo E). El consumo de potencia total esta es generada por el consumo del subsolador, el consumo del tractor por efecto de rodadura, el consumo de disco de corte y el consumo de los implementos adicionales de la maquina.

Gracias a la utilización del disco de corte y siguiendo los requerimientos de el investigador en Mecanización agrícola del ANIFAP Gabriel Campos. (Ver anexo N), la utilización de este reduce el consumo de potencia en un 50 %. Estos valores de potencia esta dentro de los requerimientos de la empresa. Los resultados pueden ser vistos en la tabla 55.

Cabe notar que la utilización del disco de corte en el sistema de subsolador se desprendió de un técnico realizado en las plantaciones de palma africana donde se visualizo la necesidad de eliminar la menor cantidad de raíz de palma ya que esto perjudica directamente la producción, de igual la prueba permitió concluir que las raíces de palma son un gran obstáculo cuando se utiliza un subsolador recto sin disco, ya que durante la prueba el subsolador se traslapa con las raíces generando que el tractor se levantara.

Tabla 55. Parámetros de entrada y salida potencia implementos adicionales.

POTENCIA GENERADA POR IMPLEMENTOS ADICIONALES			
N° EC.	EXPRE SION	N° EC.	EXPRE SION
1	$\mu = 0.75 \cdot \left(1 - e^{-0.3 \cdot Cn \cdot s}\right)$		
2	$W = m \cdot g$		
3	$H = \mu \cdot Q$		
4	$P = \frac{F \cdot V}{274.4}$		
5	$P_{total} = P_{subsolador} + P_{disco} + P_{implementos}$		
6	$P_{final} = P_{total} \cdot \% disco$		

VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR	Redondeo
Coefficiente del tipo de suelo (suelo plano y duro)	Cn	Adimensional	50	
Patnamiento	s	%	10,8	
Masa del Conjunto	m	Kg	55	
Gravedad	g	m/s ²	9,81	
Peso total de los implementos	W	N	539,55	
Coefficiente de tracción (Ec. 1)	μ	Adimensional	0,601575976	
Carga Normal = W (Ec. 2)	Q	Kgf	539,55	540
Traccion Calculada (Ec. 3)	Hc	Kgf	324,5803177	325
Potencia Lote 10-79 (Ec. 4)	P	Hp	2,66737834	
Potencia Lote 10-97 (Ec. 4)	P	Hp	3,224511465	
Potencia Total (Ec 5)	PT	Hp	168,2245115	168
Potencia Final (Ec. 6)	Pf	Hp	84,11225573	84

Fuente: Autores del proyecto.

5.10. MODELAMIENTO CAD COMPONENTES CONJUNTO SUBSOLADOR

Para la etapa del modelamiento CAD de las piezas del sistema se utilizo el programa Solid Edge pieza versión 11, luego se armaron los diferentes

subconjunto permitiendo al final la elaboración del sistema completo (ver figura 92). Se utilizo el componente Solid Edge plano para la elaboración de cada uno de los planos los cuales pueden ser vistos en los anexos del proyecto de acuerdo al código asignado para cada pieza o subconjunto, el código respectivo se puede ver en la tabla 58. En esta tabla se presenta las especificaciones técnicas de cada una de las piezas del sistema, así como la cantidad y el material para su construcción. Con respecto a los proveedores la gran mayoría de los elementos pueden ser adquiridos en Bucaramanga excepto el resorte que tiene que ser traído de Bogota.

Para un buen comportamiento del sistema las piezas de aceros especiales ya sean A-36 o el acero antidesgaste deben ser comprados a la Compañía Nacional de aceros, empresa que garantiza la calidad del acero.

Tabla 56. Códigos de elementos del sistema de subsolado.

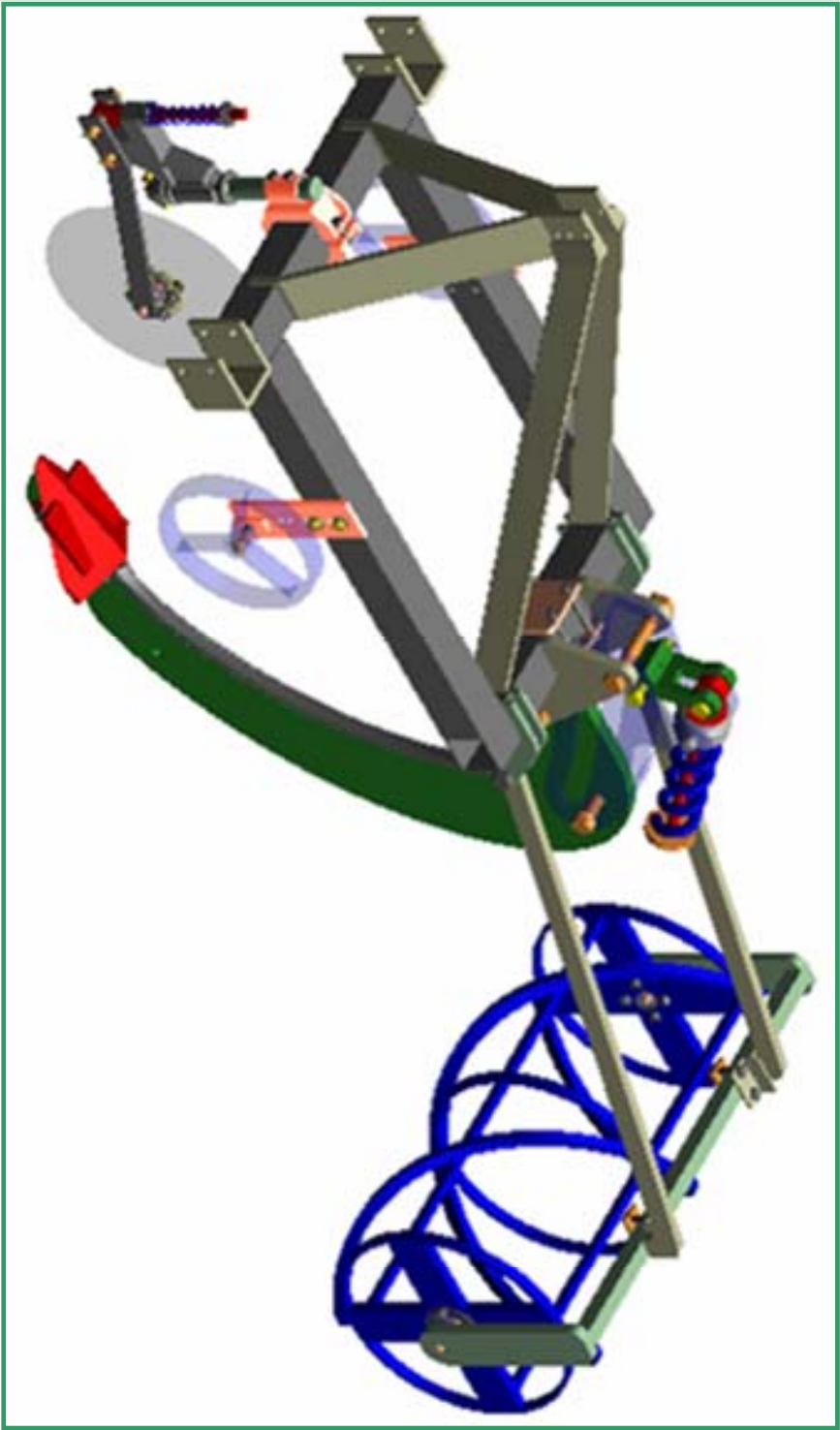
CODIGOS DE ELEMENTOS DEL SUBSOLADOR				
CODIGO	COMPONENTE	MATERIAL	Cant	ESPECIFICACIONES
01-00-00	CONJUNTO SUBSOLADOR			
01-01-00	SUBCONJUNTO CANILLA			
01-01-01	Canilla	Acero ASTM A-36	1	Espesor 1 1/4, Corte térmico
01-01-02	Cuchilla Canilla	Acero Dillidur	1	Espesor 1 1/4, Corte térmico, Biselado 45°
01-01-03	Puntero de corte	Acero Dillidur	1	Espesor 3/4, Corte térmico, Biselado 60°
01-01-04	Ala puntero de corte	Acero Dillidur	1	Espesor 3/4, Corte térmico
01-01-05	Tornillo de sujeción	Acero 1038 grado 5	2	1/4 x 3 "
01-01-06	Tuerca	Acero 1038 grado 5	2	1/4 "
01-01-07	Arandela	Acero 1038 grado 5	2	1/4 "
01-01-08	Wasa de presión	Acero 1038 grado 5	2	1/4 "
01-01-09	Tornillo	Acero 1038 grado 8	2	3/4 x 3 "
01-01-10	Tuerca de seguridad	Acero 1038 grado 8	2	3/4 "
01-01-11	Arandela	Acero 1038 grado 8	2	3/4 "
01-01-12	Wasa de presión	Acero 1038 grado 8	2	3/4 "
01-02-00	SUBCONJUNTO			

PORTAHERRAMIENTA				
01-02-01	Bastidor	Acero ASTM A-36	1	Angulo HR, 4 X 1/2
01-02-02	Ues de enganche	Acero ASTM A-36	2	Lamina HR 1/2
01-02-03	Enganche central	Acero ASTM A-36	1	Lamina HR 4 x 1
01-02-04	Soporte fusible bastidor	Acero ASTM A-36	1	2 piezas Lamina HR 1/2 ", corte térmico
01-02-05	Soporte rodillo Desterronador	Acero ASTM A-36	2	4 piezas Lamina HR 1/2 ", corte térmico
01-02-06	Platina unión soporte fusible	Acero ASTM A-36	2	Lamina HR 1/2 "
01-02-07	Soporte Rueda control profundidad	Acero ASTM A-36	2	Lamina HR 1/2 "
01-02-08	Ruedas control profundidad	Fundición	2	Diámetro 14"
01-02-09	Cojinete de bolas hilera única	Acero AISI 52100	4	Diámetro interno(d) 17 mm
01-02-10	Eje de la rueda	Acero 4140	2	Diámetro 17.5 mm, Longitud 15 cm
01-02-11	Tornillo fusible	Acero 1038 grado 5	4	1 x 7 "
01-02-12	Tornillo anclaje rodillo	Acero 1038 grado 5	2	1 x 3 "
01-02-13	Tuerca	Acero 1038 grado 5	6	1 "
01-02-14	Arandela	Acero 1038 grado 5	6	1 "
01-02-15	Wasa de presión	Acero 1038 grado 5	6	1 "
01-02-16	Tornillo control profundidad	Acero 1038 grado 5	4	3/4 x 3 "
01-03-00	SUBCONJUNTO FUSIBLE			
01-03-01	Chasis fusible	Acero ASTM A-36	1	2 Lamina HR 1/2, Corte térmico.
01-03-02	Biela unión canilla perno	Acero 4140	1	Eje diámetro 4 ", Corte térmico. maquinado
01-03-03	Perno soporte resorte	Acero 1038 grado 8	1	Barra roscada B7, Ø= 1 1/4
01-03-04	Resorte reposicionador	Acero A-231	1	Øespira = 1", Ø exterior = 12 cm, longitud 40 cm
01-03-05	Soporte resorte reposicionador	Acero ASTM A-36	1	Barra perforada Ø = 4", Longitud 10 cm
01-03-06	Pasador	Acero 1038 grado 8	1	Barra roscada B7, Ø= 1 1/4, longitud 6", mecanizada
01-03-07	Pasador anclaje biela	Acero 1038 grado 8	1	Barra roscada B7, Ø= 1 1/4, longitud 7", mecanizada
01-03-08	Pasador canilla superior	Acero 1038 grado 8	2	Barra roscada B7, Ø= 1 1/4, longitud 10", mecanizada
01-03-09	Tornillo enganche canilla	Acero 1038 grado 8	1	11/4 x 7
01-03-10	Tuerca	Acero 1038 grado 8	3	1 1/4
01-03-11	Arandela	Acero 1038 grado 8	3	1 1/4
01-03-12	Wasa de presión	Acero 1038 grado 8	3	1 1/4
01-04-00	SUBCONJUNTO DISCO DE CORTE			

01-04-01	Disco de corte	Acero Dillidur	1	Disco plano $\varnothing = 18''$
01-04-02	Chasis disco corte	Acero ASTM A-36	1	2 piezas de Lamina HR 1/2
01-04-03	Eje soporte resorte	Acero 1038 grado 8	1	Barra roscada B7, $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$, longitud 250mm,
01-04-04	Tuerca eje resorte	Acero 1038 grado 8	1	$\varnothing = 1 \frac{3}{4}$
01-04-05	Anclaje bastidor	Acero ASTM A-36	2	Lamina HR 1/2
01-04-06	Eje soporte anclaje	Acero A-36	1	Barra perforada $\varnothing = 1 \frac{3}{4}''$
01-04-07	Bosin disco	Acero ASTM A-36	1	$\varnothing = 3/4$
01-04-08	Resorte control disco	Acero AISI 52100	1	\varnothing espira = $1/2''$, \varnothing exterior = 5 cm, longitud 20 cm
01-04-09	Tornillo anclaje disco bastidor	Acero 1038 grado 5	2	$3/4 \times 2 \frac{1}{2}$
01-04-10	Tornillo anclaje eje central	Acero 1038 grado 5	2	$3/4 \times 1$
01-04-11	Pasador tope	Acero 1038 grado 5	1	$1/4 \times 4$
01-04-12	Pasador soporte resorte	Acero 1038 grado 5	2	Tornillo Diam. $1'' \times 5''$
01-04-13	Rodamiento bosin	Acero AISI 52100	2	\varnothing interior = $3/4$
01-04-14	Eje bosin	Acero 4140	1	$\varnothing = 3/4$
01-04-15	Barra soporte disco corte	Acero ASTM A-36	1	Perfil H.R. $1 \times 1/2''$
01-05-00	RODILLO			
01-05-01	Rodillo helicoidal desterronador	Acero ASTM A-36	2	Perfil $1 \frac{1}{2} \times 1/4$
01-05-02	Barra soporte rodillo	Acero ASTM A-36	4	Platina $1 \times 1/2$
01-05-03	Barra enganche rodillo dest.	Acero ASTM A-36	2	Perfil $1 \frac{1}{2} \times 1/4$
01-05-04	Platina	Acero ASTM A-36	1	Lamina HR 1/2
01-05-05	Tornillo anclaje barra soporte	Acero 1038 grado 5	4	$3/4 \times 3$
01-05-06	Tornillo soporte bosin	Acero 1038 grado 5	8	$1/2 \times 2$
01-05-07	Bosin	Acero ASTM A-36	2	$\varnothing = 3/4$
01-05-08	Rodamiento bosin	Acero AISI 52100	4	\varnothing interior = $3/4$
01-05-09	Eje bosin	Acero 4140	2	$\varnothing = 3/4$
01-05-10	Tuerca	Acero 1038 grado 5	4	$\varnothing = 3/4$
01-05-11	Arandela	Acero 1038 grado 5	4	$\varnothing = 3/4$
01-05-12	Wasa de presión	Acero 1038 grado 5	4	$\varnothing = 3/4$
01-05-13	Tuerca Bosin	Acero 1038 grado 5	8	$1/2''$

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 92. Vista general del equipo de Subsulado Profundo.



Fuente: Autores del proyecto

6. CONSTRUCCION, PUESTA EN FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS FINALES

En este capítulo se presenta la manera como se llevó a cabo la construcción, montaje y puesta a punto el prototipo de equipo subsolador, para comprobar los parámetros estructurales y funcionales considerados en la etapa de diseño donde previamente se establecen propuesta de geometría y configuración de los componentes del subsolador.

Para la construcción del prototipo se utilizaron las instalaciones del taller de metalmecánica la Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga C.M.A.B.†, donde se emplearon los siguientes equipos: corte oxiacetilénico, cortadora y dobladora hidráulica, prensa hidráulica, torno mecánico, fresadora universal, taladro vertical, pulidora, equipos de soldadura tanto de sistema M.I.G como de electrodo revestido, cabina de pintura y herramientas propias de taller entre otras, todo esto para garantizar la mejor calidad en la fabricación y en el montaje de cada uno de las elementos del prototipo de equipo subsolador. Aunado a lo anterior, cada una de las personas que integran el equipo del taller de la Fundación, con su aporte desinteresado de experiencia y conocimiento en fabricación, maquinado y montajes de maquinaria, hizo posible el desarrollo final del presente trabajo.

6.1. CONSTRUCCION Y PRUEBA SUBCONJUNTO CANILLA

El conjunto Canilla Subsoladora está formado por los elementos mostrados en la figura 93.

* Ubicado en el Km. 2 Via Refugio, Guatiguará – Sede UIS, Piedecuesta, Colombia.

Figura 93. Elementos del conjunto canilla subsoladora.



Fuente: Autores del proyecto.

6.1.1. Construcción. Debido a la geometría de los componentes del conjunto y en aras de garantizar fidelidad a los planos de las piezas diseñadas y por ende un perfecto desempeño del equipo subsolador; se determinó obtener las piezas a partir de los planos de construcción en escala 1:1 la cual puede verse en la tabla 57.

Tabla 57. Fabricación elementos canilla subsoladora.

PIEZA	PROCESO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
Canilla Subsoladora	Corte Oxiacetilénico	Pantógrafo Óptico	Material: Acero Estructural A-36 Tipo: Lámina. Espesor: 31.75 [mm] Enfriamiento: Controlado en cal
Cuchilla de Ataque	Corte Oxiacetilénico	Pantógrafo Óptico	Material: Acero Aleado Dillidur 400V Tipo: Lámina. Espesor: 31.75 [mm] Enfriamiento: Controlado en cal Bisel: Doble a 45°
Puntero de Corte (ver figura 94)	Corte Oxiacetilénico	Pantógrafo Óptico	Material: Acero Aleado Dillidur 400V Tipo: Lámina. Espesor: 18 [mm] Enfriamiento: Controlado en cal Bisel: Sencillo a 30°

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 94. Elementos del puntero cortados en la Compañía de Aceros.



Fuente: Autores del proyecto.

Una vez obtenidas las piezas por parte de la compañía de Aceros estas fueron sometidas a diferentes labores de maquinado (ver tabla 58) en las instalaciones de la Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga.

Tabla 58. Proceso de maquinado canilla.

PIEZA	PROCESO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
Canilla Subsoladora	Taladrado	Taladro Vertical	Trabajo: Elaboración agujeros. Tipo: Pasantes. Aplicación: Enganche Canilla. Diámetro: 31.75 [mm] Cantidad: 2
	Taladrado	Taladro Vertical	Trabajo: Elaboración agujeros. Tipo: Pasantes. Aplicación: Sujeción Puntero Corte. Diámetro: 18 [mm] Cantidad: 2
	Taladrado	Taladro Vertical	Trabajo: Elaboración agujeros. Tipo: Pasantes. Aplicación: Sujeción Cuchilla Ataque. Diámetro: 12 [mm] Cantidad: 2
Puntero de Corte	Soldadura	Soldador	Trabajo: Unión piezas puntero. Tipo: Electrodo Revestido. Aplicación: Soldadura Especial Clasificación: Weldinox 626 E307-16

Fuente: Autores del proyecto.

6.1.2. Montaje. El subconjunto Canilla Subsoladora se montó en un Bastidor Portaherramientas de estructura rígida con enganche de tres puntos de propiedad del C.M.A.B. El procedimiento para su montaje esta resumido en la tabla 55.

Tabla 59. Ensamble canilla subsoladora.

Pieza	Tipo de Unión	Descripción	
Canilla Subsoladora	Atornillada	Aplicación: Tipo tornillo: Diámetro: Longitud: Cantidad:	Anclaje al bastidor Grado 8 31.75 [mm] 127 [mm] 2
Puntero de Corte	Atornillada	Aplicación: Tipo tornillo: Diámetro: Longitud: Cantidad:	Anclaje a la Canilla. Grado 8 18 [mm] 101 [mm] 2
Cuchilla Ataque	Abrazadera	Aplicación: Tipo: Diámetro: Longitud: Cantidad:	Anclaje a la Canilla. Pasador. 12 [mm] 60 [mm] 1

Fuente: Autores del proyecto.

6.1.3. Pruebas de campo. Para determinar comportamiento estructural de la canilla, el perfil de corte del Puntero y la profundidad de trabajo del diente, se procedió a realizar una prueba al subconjunto montado en el Bastidor rígido (ver figura 95). La prueba se realizó en los terrenos del C.M.A.B. utilizando un tractor marca SAME Serie 50 con doble transmisión y 50 Hp (ver figura 96). La metodología de evaluación implemento se basa en el documento FAO “Principios y practicas de prueba y evaluación de maquinas y equipos agrícolas”, seguido por el Instituto Nacional de Suelos. División Maquinaria de Corpoica Tibaitata.

Se realizaron dos pases al implemento en diferente marcha del tractor, evaluando velocidad de operación, penetración de la herramienta (ver figura 97) y perfil de corte del subconjunto (ver figura 98).

Figura 95. Subconjunto montado sobre un bastidor rígido.



Figura 96. Pase inicial del Subconjunto en un tractor de 50 Hp.



Figura 97. Canilla a máxima capacidad de penetración.



Figura 98. Determinación perfil de corte del puntero.



Fuente: Autores del proyecto.

6.1.4. Resultados. Se obtuvieron datos de Velocidad de Operación en las dos marchas del tractor, profundidad de penetración y perfil de corte del puntero. Estos datos fueron valorados y procesados utilizando para ello el software Microsoft Excel, a partir de estos resultados se hallan variables derivadas tales como: área incrementada, área trabajada, área total, ancho de la herramienta y profundidad de trabajo los cuales pueden ser vistos en le anexo I.

La evaluación de los resultados obtenidos y su comparación de los resultados de las pruebas iniciales con el subsolador recto permite deducir las siguientes conclusiones:

1. El perfil estructural de la Canilla Subsoladora le permitió profundizar hasta su máxima capacidad de trabajo, es decir 650 [mm], con un bajo consumo de potencia. Soportando con suficiencia las cargas de flexión inducidas por la reacción del suelo al ser sometido a los esfuerzos de corte, generados por el implemento; y como factor representativo la ausencia de deformaciones en sus planos longitudinal y transversal. (ver Fig. 99)
2. El trabajo de subsolado lo realiza el *Puntero de Corte*, pues la geometría de la canilla (ver numeral 5.2.3) permite que el estallamiento del suelo sea realizado de abajo hacia arriba, factor que lo diferencia del subsolado tradicional, realizado con subsolador recto donde el trabajo es realizado totalmente por la *canilla*, induciendo el fenómeno denominado volteo. Este Comportamiento de la herramienta cumple uno de los requisitos de diseño planteado por parte del Equipo Agronómico de la Empresa al solicitar una herramienta que realice estallamiento del suelo, sin alterar su estructura.
3. Los perfiles de corte del puntero se encuentran dentro de los modelos establecidos para este tipo de herramientas, según el lineamiento seguido para el desarrollo del proyecto (ver numeral 2.8), además como factor representativo y que afianza la anterior deducción encontramos que el tipo de estallamiento (ver figura 99) permite aumentar el volumen del suelo, por ende disminuir los valores de Densidad Aparente, llevando esto al mejoramiento de los procesos de Infiltración de agua y aireación del suelo(ver figura 100).

4. Realizadas las pruebas técnicas al equipo y las respectivas comparaciones con algunas de las efectuadas al subsolador recto podemos concluir que el diseño tanto del Puntero de Corte como del perfil de la Canilla Subsoladora mejoraron los procesos de subsolado. A continuación se presentan algunas pruebas cuantificadas y su respectivo análisis.

- **Velocidad de operación.**

VELOCIDAD DE OPERACIÓN (Km/h)			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA INICIAL PROTOTIPO	
CALCULOS	ANEXO H.18,H.19 y H.22	CALCULOS	ANEXO I.1, I.2
FOTOS	ANEXO I.8	FOTOS	Ver sección 6.1
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Prueba	Segunda Prueba
1,71	2.8	2.67	2.48

Análisis. De lo anterior se puede concluir que la Canilla Subsoladora trabajó en el rango de velocidades recomendadas por la norma ASAE (ver anexo A) para equipos de subsolado, de igual forma manteniendo una velocidad moderada, se pueden obtener bajos consumos de potencia.

- **Area de perfil de suelo incrementado.**

AREA SUELO INCREMENTADO [cm ²]			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA INICIAL PROTOTIPO	
CALCULOS	ANEXO H.22,H.23, H.31 - H.34	CALCULOS	ANEXO I.1, I.2
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	Ver sección 6.1
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Prueba	Segunda Prueba
773,00	955,00	600	520

Análisis. El área de suelo incrementado en los lotes del C.M.A.B. presentó un leve descenso al compararla con las pruebas iniciales, favoreciendo la estructura final del suelo al producir estallamiento, este fenómeno favorece ampliamente el no volteo de los perfiles del suelo.

- **Area de perfil de suelo trabajado.**

AREA SUELO TRABAJADO [cm ²]			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA INICIAL PROTOTIPO	
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.24, H.31-H.34	CALCULOS	ANEXO I.1, I.2
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	Ver sección 6.1
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Prueba	Segunda Prueba
761,00	841,00	1144	632

Análisis. Se presento un aumento en el valor del área de trabajo en la primera prueba, este fenómeno favorece ampliamente el nivel de infiltración del agua, manteniendo niveles aceptables de humedad que finalmente generan el desarrollo de nuevas raíces en la palma. En la prueba N° 2 se presento una disminución en el área de trabajo pero se presentó una gran profundidad de trabajo.

- **Area total de perfil de suelo disturbado.**

AREA TOTAL SUELO DISTURBADO [cm ²]			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA INICIAL PROTOTIPO	
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.24, H.31-H.34	CALCULOS	ANEXO I.1, I.2
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	Ver sección 6.1
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Prueba	Segunda Prueba
773,00	955,00	1744	1154

Análisis. La sumatoria de las áreas incrementada y trabajada nos genera el área total de trabajo, se presentó un aumento que osciló entre el 120 y 180 %, en comparación con las pruebas iniciales. Uno de los parámetros básicos de comparación de equipos de subsolado radica en la valoración del área total de trabajo vs. consumo de potencia. Cabe anotar que los valores tomados inicialmente se dieron utilizando un tractor de 140 Hp.

- **Tasa de pérdida del suelo.**

TASA DE PERDIDA DE SUELO (%)			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA INICIAL PROTOTIPO	
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.24, H.31-H.34	CALCULOS	ANEXO I.1, I.2
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	Ver sección 6.1
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Prueba	Segunda Prueba
101,58	113,56	52.44	82.27

Análisis. Las pruebas realizadas en plantación con los subsoladores rectos presentaban una gran tasa de pérdida de suelo, pues sus valores estaban por encima del 100%, se mantenía la relación casi 1:1, es decir el nivel de rompimiento entre el suelo incrementado y el suelo trabajado era similar. La prueba realizada en los lotes del C.M.A.B. dio como resultado un decremento de este valor, presentando una disminución en el suelo incrementado y un aumento en el suelo trabajado. Para evitar la diferencia entre los suelos de la plantación de Bucarelia y los suelos del C.M.A.B. se utilizó los resultados de textura para seleccionar un lote que tuviera similares características edafológicas para tener un criterio de comparación más real.

- **Profundidad máxima de trabajo.**

PROFUNDIDAD MAXIMA DE TRABAJO (cm)			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA INICIAL PROTOTIPO	
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.24, H.31-H.34	CALCULOS	ANEXO I.1, I.2
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	Ver sección 6.1
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Prueba	Segunda Prueba
26,00	30,00	36	56

Análisis. El análisis de la gráfica generada a partir de los datos de Perfilometría, permite hallar en la prueba N° 2, un gran aumento en la profundidad de trabajo que oscila alrededor del 200 % comparándola con las tomadas en las plantaciones de Bucarelia. Cabe notar que esta profundidad fue alcanzada en un solo pase del tractor y que el suelo donde se realizó la prueba no había sido previamente preparado, es decir el suelo estaba apto para la prueba.

- **Ancho máximo de trabajo.**

ANCHO MÁXIMO DE TRABAJO (cm)			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA INICIAL PROTOTIPO	
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.24, H.31-H.34	CALCULOS	ANEXO I.1, I.2
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	Ver sección 6.1
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Prueba	Segunda Prueba
76,00	80,00	76	48

Análisis. Se sigue conservando uno de los parámetros básicos del diseño de la herramienta como es el de no sobrepasar en un (1) metro el ancho de trabajo para no perjudicar directamente las raíces de la palma.

- **Ancho de la herramienta.**

ANCHO DE LA HERRAMIENTA (cm)			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA INICIAL PROTOTIPO	
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.24, H.31-H.34	CALCULOS	ANEXO I.1, I.2
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	Ver sección 6.1
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Prueba	Segunda Prueba
10,00	14,00	20,00	20,00

Análisis. El diseño de la Canilla Subsoladora y las consideraciones geométricas tomadas para el Puntero de Corte, han permitido un aumento en el ancho de trabajo de la herramienta en el suelo, los valores tomados en cada una de las pruebas y su valoración en Microsoft Excel nos permiten concluir que el aumento del ancho de la herramienta genera un aumento en el nivel de estallamiento del suelo y dejar un sendero libre de terrones (ver Fig. 99 y 100). El diseño curvo del diente utilizado en el equipo permite reducir el consumo de potencia del tractor de tiro, compensando el aumento que genera el ancho de la herramienta.

Figura 99. Estallamiento del suelo generado por el subsolador.



Figura 100. Sendero de trabajo dejado por el subsolador.



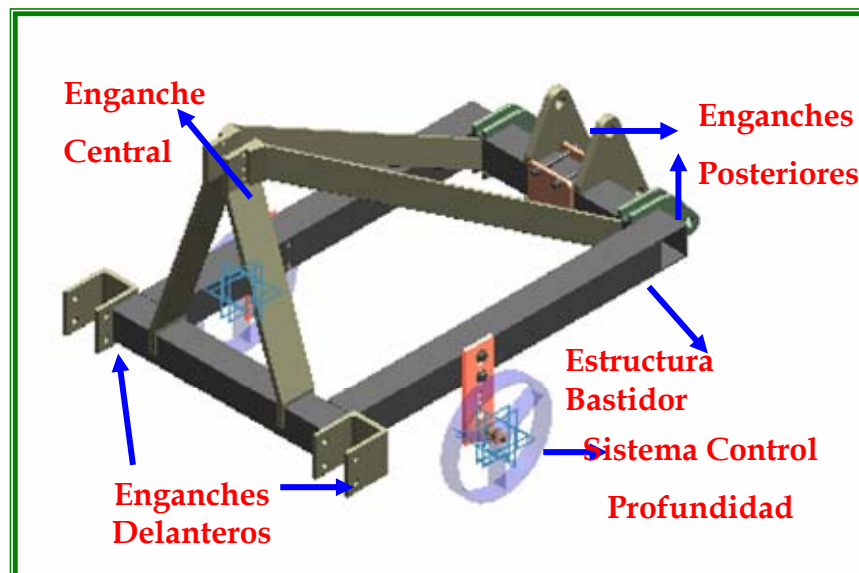
Fuente: Autores del proyecto.

6.2. CONSTRUCCIÓN ELEMENTOS RESTANTES DEL PROTOTIPO

Superada la etapa de construcción y prueba del Subconjunto Canilla Subsoladora, se procedió a la construcción de los demás componentes del prototipo, siguiendo una metodología de trabajo que permitió realizar montajes y ajustes antes de proceder a fijar definitivamente las piezas.

6.2.1 Subconjunto Bastidor Portaherramientas. El conjunto Bastidor Portaherramientas está formado por las piezas mostradas en la figura 101. Tanto su descripción geométrica como de material, así como los procesos de mecanizado a que fueron sometidos la piezas pueden ser vistos en la tabla 60.

Figura 101. Elementos del bastidor portaherramientas.



Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 60. Descripción de material, dimensiones, procesos de mecanizado del subconjunto bastidor portaherramientas.

PIEZA	PROCESO Y EQUIPO	DESCRIPCIÓN	
Estructura Bastidor Portaherramientas	Corte Soplete Oxiacetilénico	Material: Dimensiones: Proceso:	Angulo. Acero Estructural A-36. L4 x 4 x ½ (medidas en pulg.) Corte tramos estructurales.
	Soldadura Proceso M.I.G.	Material: Dimensiones: Proceso:	Tramos de Angulo. Especificadas en planos. Construcción tubos cuadrados.
	Soldadura Proceso M.I.G.	Material: Dimensiones: Proceso:	Tubos cuadrados. Especificadas en planos. Construcción estructura a partir de los tubos cuadrados (ver Fig. 106 y 107).
Enganche Central	Corte Soplete Oxiacetilénico	Material: Dimensiones: Proceso:	Platina. Acero Estructural A-36. L4 x ¾ (medidas en pulg.) Corte tramos estructurales.
	Doblado Soplete Oxiacetilénico - Prensa Hidráulica	Material: Dimensiones: Proceso:	Tramos de Platina. Especificadas en planos. Doblado en caliente para estructurar enganche (ver figura 104 y 105).
	Maquinado Taladro Vertical	Material: Proceso: Dimensiones:	Tramos de platina doblados. Elaboración orificios soporte pasador de la "Corbata" Diámetro 25,4 [mm]
Enganches Delanteros Inferiores "UES"	Corte Soplete Oxiacetilénico	Material: Dimensiones: Proceso:	Lámina. Acero Estructural A-36. Especificadas en planos. Corte de dos platinas de sección rectangular.
	Doblado Soplete Oxiacetilénico - Prensa Hidráulica	Material: Dimensiones: Proceso:	Tramos de Platina. Especificadas en planos. Doblado en caliente para estructurar "UES" de enganche.
	Maquinado (ver Fig. 108) Taladro Vertical	Material: Proceso: Dimensiones:	Tramos de platina doblados. Elaboración orificios soporte pasadores inferiores enganche. Diámetro 25,4 [mm]
Enganches Posteriores (ver figura 102 y 103)	Corte Oxiacetilénico Pantógrafo Óptico	Material: Dimensiones: Proceso:	Lamina. Acero Estructural A-36. Especificadas en planos. Corte automático a partir de planos en escala 1:1.
Sistema Control	Maquinado	Material:	Ruedas de Fundición.

Profundidad (ver figura 109)	Torno Mecánico	Proceso: Dimensiones:	Pulido de aristas, refrentado de caras, elaboración soportes sistema de rodamientos. Especificadas en planos.
	Maquinado Torno Mecánico	Material: Proceso: Dimensiones:	Redondo. Acero Especial 4340 Elaboración eje soporte ruedas. Especificadas en planos.
	Corte Soplete Oxiacetilénico	Material: Dimensiones: Proceso:	Lámina. Acero Estructural A-36. Especificadas en planos. Corte de dos platinas de sección rectangular.
Bastidor Portaherramientas	Armado Soldadura Proceso M.I.G.	Proceso: ensamble final del subconjunto mediante proceso de soldadura semiautomático M.I.G. según especificaciones de diseño, con ajustes y pruebas de montaje previos.	

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 102. Enganche posterior para rodillo desterronador.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 103. Enganche posterior para canilla subsoladora.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 104. Calentamiento platina para doblado.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 105. Doblado en prensa hidráulica de platina



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 106. Soldado enganche central.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 107. Soldado final del bastidor.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 108. Maquinado de piezas.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 109. Ruedas control de profundidad.



Fuente: Autores del proyecto.

6.2.2. Construcción del Subconjunto Fusible Reposicionador. El subconjunto Fusible Reposicionador está formado por las piezas mostradas en la tabla 61. Al igual que el subconjunto Canilla Subsoladora los componentes de este subconjunto, poseen una geometría especial por lo tanto se procedió a realizar el mismo procedimiento para fabricar las piezas, a partir de los planos de construcción en escala 1:1 el cual puede ser vista en la tabla 62.

Tabla 61. Elementos del fusible.

ELEMENTOS DEL FUSIBLE	GRAFICA
1. Estructura 2. Manivela 3. Tornillo fusible 4. Resorte reposicionador 5. Soporte resorte 6. Pasadores	

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 62. Resumen construcción elementos fusible reposicionador.

Pieza	Proceso	Equipo	Descripción
Estructura	Corte Oxiacetilénico	Pantógrafo Óptico	Material: Acero Estructural A-36 Tipo: Lámina. Espesor: 12.7 [mm] Enfriamiento: Controlado en cal
Manivela	Corte Oxiacetilénico	Pantógrafo Óptico	Material: Acero Aleado 1045 Tipo: Cuadrado Dimensiones: L10 x 4 x 4 (Sección y espesor en pulg.) Enfriamiento: Controlado en cal
Tornillo Fusible	Corte Mecánico	Segueta de Cinta	Material: Acero Grado Herramienta Tipo: Barra Roscada Diámetro: 27 [mm] Longitud: 550 [mm]

	Corte Oxiacetilénico	Pantógrafo Óptico	Material: Acero Estructural A-36 Tipo: Lámina. Espesor: 31.75 [mm] Enfriamiento: Controlado en cal
Resorte Reposicionador	Extrusión en Caliente	Maquina Universal	Material: Acero 1045 Diam. Espira: 25.4 [mm] Diam Externo: 107.5 [mm] Espiras Trabajo: 9 Espiras Apoyo: 1.5 en cada extremo Trat. Térmico: Temple Aceite - Revenido.
Soporte Resorte	Corte Mecánico	Segueta de Cinta	Material: Acero Estructural Tipo: Barra Perforada Diámetro: 160 [mm] Schedule 80 Longitud: 100 [mm]
	Corte Oxiacetilénico	Pantógrafo Óptico	Material: Acero Estructural Tipo: Lámina Diámetro: 160 [mm] Espesor: 12.7 [mm] Enfriamiento: Controlado en cal

Fuente: Autores del proyecto.

Una vez obtenidas las piezas se procedió a mecanizarlas, en este proceso la pieza que más demandó mecanizado de todo el prototipo fue la Manivela, como se puede observar en la tabla 63.

Tabla 63. Resumen maquinado y montaje elementos fusible reposicionador.

PIEZA	PROCESO Y EQUIPO	DESCRIPCIÓN	
Estructura Fusible Reposicionador (ver Fig. 112)	Maquinado Taladro Vertical	Material: Proceso: Dimensiones:	Perfiles cortados con pantógrafo (ver Fig. 110). Elaboración orificios soporte de pasadores para enganche canilla, manivela, soporte resorte. Diámetros especificados en planos.
	Soldadura Proceso M.I.G.	Material: Proceso:	Perfiles cortados con pantógrafo. Construcción estructura fusible.
	Pulido Superficie Pulidora Disco Mototul Neumático	Material: Dimensiones: Proceso:	Pieza cortada con pantógrafo Volumen según plano de corte Refinamiento caras y aristas.

Manivela (ver Fig. 111)	Cepillado Fresadora Universal	Proceso:	Pulido de aristas planas, para garantizar paralelismo entre caras.
	Taladrado Taladro Vertical	Proceso: Dimensiones:	Elaboración orificios pasantes. Diámetro 34,5 [mm]
	Escariado Fresadora Universal	Proceso: Dimensiones:	Elaboración cavidad central donde encaja la junta de giro del tornillo fusible. Cavidad pasante de 60 [mm] long.
	Maquinado Torno Mecánico	Material: Proceso:	Bronce fosforado. Fabricación dos cojinetes de deslizamiento. Dext: 34.5, Dint: 25.4, Long: 40 [mm x mm x mm].
Tornillo Fusible	Maquinado Taladro Vertical	Proceso: Dimensiones:	Elaboración agujero pasante para el pasador Manivela-Tornillo Fusible. Diámetro 25,4 [mm]
	Maquinado Torno Mecánico	Material: Dimensiones: Proceso:	Barra Roscada Diam: 27 [mm] long: 600 [mm] Ajuste para ensamble y soldado.
	Soldadura Proceso M.I.G.	Material: Proceso:	Barra Roscada Pieza giro Construcción Tornillo fusible.
Soporte Resorte	Maquinado Torno Mecánico	Material: Proceso:	Barra Perforada Refrentado y pulido paredes
		Material: Proceso:	Disco. Acero estructural Refrentado caras, pulido perímetro.
	Soldadura Proceso M.I.G.	Material: Proceso:	Barra perforada Disco Unión tubo y disco fabricación soporte
Pasadores	Maquinado Torno Mecánico	Proceso:	Elaboración agujeros pasante para pasadores soporte resorte
		Dimensiones:	Diámetro 25,4 [mm]
Subconjunto Fusible Reposicionador		Material:	Redondos 1045
		Dimensiones:	Diam: 25.4 [mm] long: 100 - 220 [mm]
		Proceso:	Ajuste para ensamble.
		Ensamble de subconjunto por medio de sus pasadores, para revisión centros de giro y deslizamiento sobre corredera (ver Fig. 113).	

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 110. Perfiles Cortados para Estructura fusible reposicionador.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 111. Manivela.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 112. Estructura fusible



Fuente: Autores del proyecto.

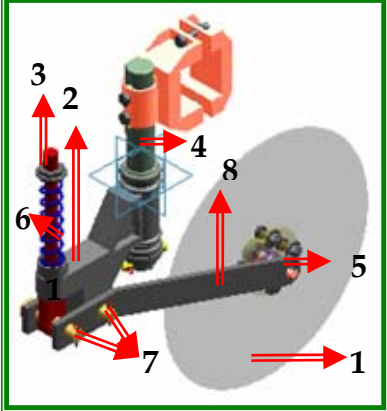
Figura 113. Montaje subconjunto evaluación pares cinemáticos.



Fuente: Autores del proyecto.

6.2.3 Construcción del Subconjunto Disco de Corte. El subconjunto Disco de Corte está formado por las piezas mostradas en la tabla 64. Al igual que todos los subconjuntos, sus procedimientos de construcción y mecanizado con su descripción geométrica y de material, pueden ser vistos en la tabla 65.

Tabla 64. Elementos del disco de corte.

ELEMENTOS DISCO DE CORTE	GRAFICA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Disco de Corte 2. Estructura 3. Eje Resorte 4. Eje de Anclaje 5. Sistema Rodamientos 6. Resorte 7. Pasadores 8. Barra Soporte Disco 	

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 65. Resumen construcción elementos Disco de Corte.

Pieza	Proceso	Equipo	Descripción	
Estructura	Corte	Soplete Oxiacetilénico	Material: Tipo: Espesor: Piezas:	Acero Estructural A-36 Lámina. 12.7 [mm] Dos
Eje Resorte	Maquinado	Torno Mecánico	Material: Tipo: Diámetro: Longitud: Roscado:	Acero Aleado 1045 Redondo 16 [mm] 250 [mm] Tarraja Métrica M-15
Eje Anclaje	Maquinado	Torno Mecánico	Material: Tipo: Diámetro: Longitud:	Acero 1020 Redondo 35 [mm] 4000 [mm]
Sistema Rodamientos	Maquinado Ejes	Torno Mecánico	Material: Diam.: Longitud Dimensiones: Ajustes:	Acero 4340 19 [mm] 150 [mm] Según planos + 0.02 [mm]
	Maquinado Aristas	Torno Mecánico	Material: Tipo: Diámetro: Longitud: Dimensiones: Ajustes:	Acero Estructural Barra Perforada, Disco 160 [mm] Schedule 80 100 [mm] Según planos + 0.02 [mm]
Resorte	Extrusión	Maquina Universal	Material: Diam. Espira:	Acero 1045 12.7 [mm]

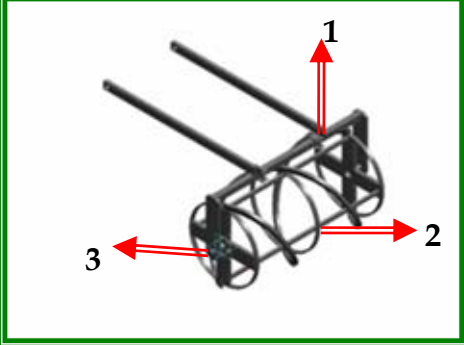
			Diam Externo: Espiras Trabajo: Espiras Apoyo: Trat. Térmico:	40 [mm] 12 1.5 en cada extremo Temple Aceite – Revenido.
Pasadores	Maquinado	Torno Mecánico	Material: Dimensiones: Proceso	Redondos 1045 Diam: 25.4 [mm] long: 130 [mm]. Dos piezas. Ajuste para ensamble.
Barra Soporte Disco	Corte	Soplete Oxiacetilénico	Material: Tipo: Espesor: Piezas:	Acero Estructural A-36 Lámina. 12.7 [mm] Dos
	Doblado	Proceso mecánico de doblado en frío. Corte de cuñas con segueta para conformar doblado según especificaciones.		
	Soldadura	Proceso M.I.G.	Unión perfiles doblado para construir estructura.	
	Taladrado	Taladro Banco	Elaboración agujeros pasantes para anclar Disco y ensamblar eje del resorte.	
Subconjunto Disco de Corte	Ensamble de subconjunto por medio de sus pasadores, para revisión centros de giro y deslizamiento soporte resorte.			

Fuente: Autores del proyecto.

6.2.4 Construcción del Subconjunto Rodillo Desterronador. El subconjunto está formado por las piezas mostradas en la tabla 66. Su construcción se efectuó bajo los procedimientos de construcción y mecanizado establecidos, los cuales pueden ser vistos en la tabla 67.

La construcción del rodillo desterronador fue un parámetro necesario en el diseño, ya que al realizar las pruebas de campo con el subsolador recto se observó que el sendero dejado por la herramienta presenta algunas veces grietas y terrones de gran tamaño y para evitar accidentes mas adelante con los animales de tiro utilizados en las labores diarias, se pretende con el rodillo desterronador minimizar este problema.

Tabla 66. Elementos del Rodillo Desterronador.

ELEMENTOS RODILLO DESTERRONADOR	GRAFICA
<p>1. Soporte Enganche</p> <p>2. Rodillo Desterronador</p> <p>3. Sistema Rodamientos</p>	

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 67. Resumen construcción elementos Rodillo Desterronador.

Pieza	Proceso	Equipo	Descripción	
<p>Rodillo Desterronador (ver Fig. 114 y 115)</p>	<p>Corte Semiautomático</p>	<p>Soplete Oxiacetilénico Torno Hidráulico</p>	<p>Material: Tipo: Diámetro: Espesor: Piezas:</p>	<p>Acero Estructural Tubo Perforación 520 [mm] 12.7 [mm] Tres</p>
	<p>Curvado Helicoidal</p>	<p>Dobladora Hidráulica</p>	<p>Material: Tipo: Dimensiones: Diámetro:</p>	<p>Acero Estructural A-36. Perfil Angulo L1½ x 1½ x ¼ [pulg.] 520 [mm] Proceso: Conformado de circunferencia de tres hilos en la dobladora (ver Fig. 116). Tensado con diferencial mecánica para estructurar paso de hélice.</p>
<p>Sistema Rodamientos</p>	<p>Maquinado Ejes</p>	<p>Torno Mecánico</p>	<p>Material: Diam.: Longitud Dimensiones: Ajustes:</p>	<p>Acero 4340 19 [mm] 150 [mm] Según planos + 0.02 [mm]</p>
	<p>Maquinado Aristas</p>	<p>Torno Mecánico</p>	<p>Material: Tipo: Diámetro: Longitud: Dimensiones: Ajustes:</p>	<p>Acero Estructural Barra Perforada, Disco 160 [mm] Schedule 80 100 [mm] Según planos + 0.02 [mm]</p>

Soporte Enganche	Corte	Soplete Oxiacetilénico	Material: Tipo: Sección: Piezas:	Acero Estructural A-36 Perfil Rectangular. 12.7 x 25.4 [mm x mm] Cuatro
	Corte	Soplete Oxiacetilénico	Material: Tipo: Dimensiones: Piezas:	Acero Estructural A-36 Perfil Angulo L1½ x 1½ x ¼ [pulg.] Cuatro
	Soldadura	Proceso M.I.G.	Unión perfiles construcción estructura.	
	Taladrado	Taladro Banco	Elaboración agujeros pasantes para anclar al bastidor	
Subconjunto Rodillo Desterronador	Ensamble piezas subconjunto con proceso de soldadura semiautomático M.I.G. para construir el rodillo según dimensiones y especificaciones de los planos de construcción.			

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 114. Montaje para corte de aros



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 115. Corte aros.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 116. Estructura Rodillo Desterronador.



Fuente: Autores del proyecto.

6.3. ENSAMBLE Y PUESTA A PUNTO DEL PROTOTIPO

Con los subconjuntos armados y ensamblados se procedió a realizar el montaje total del prototipo, para verificar el cumplimiento de los parámetros de diseño respecto su distribución, interferencias y ajustes, todo esto como proceso previo al montaje definitivo (ver Fig 117 y 118).

6.3.1. Prueba inicial del prototipo. Adicional a este proceso, se determinó efectuar *una primera prueba* al ensamble formado por los subconjuntos: Bastidor Portaherramientas - Canilla Subsoladora - Fusible Reposicionador, para estudiar el comportamiento de cada una de las piezas, al ser sometidas a cargas de trabajo. Es de aclarar que hasta este momento solo se han realizado pruebas al subconjunto Canilla Subsoladora como se mencionó en 6.1.3.

Figura 117. Ensamble conjunto Fusible Reposicionador.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 118. Equipo diseñado montado en el sistema de enganche tractor.



Fuente: Autores del proyecto.

Las pruebas se realizaron en un terreno aledaño a los talleres del C.M.A.B., perteneciente al complejo de la U.I.S. sede Guatiguará, dicho terreno está destinado para pastoreo de animales vacunos; se consideró por inspección visual al

muestreo realizado con barreno, su capacidad de oponer resistencia al equipo diseñado.

El objetivo de la prueba se centró en determinar la respuesta y el comportamiento de las piezas diseñadas de cada uno de los subconjuntos ensamblados y en especial del Fusible Reposicionador pues de su capacidad de trabajo y de respuesta a los requerimientos de la canilla depende el correcto funcionamiento del prototipo. Para realizar la corrida del equipo se utilizó un tractor marca FORD Serie 5000 de 75 Hp con transmisión sencilla, se determinó como marcha de trabajo segunda velocidad con bajo (Ver Fig. 119-120). En la tabla 68 se resume el comportamiento del equipo.

Figura 119. Inicio corrida prototipo.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 120. Pase inicial del prototipo.



Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 68. Resumen comportamiento Equipo Subsolador prueba inicial.

PRUEBA INICIAL ENSAMBLE PROTOTIPO		
Subconjunto	Comportamiento componentes	Análisis
Bastidor Portaherramientas	<p>Estructura Bastidor: buen desempeño estructural.</p> <p>Enganche Central: presentó una correcta transmisión de fuerzas a la Estructura Bastidor sin presentar problemas de flexión o torsión.</p> <p>Enganches para Implementos: buen</p>	<p>❖ El tipo de perfiles de Acero estructural seleccionados y la estructura tubular construida a partir de estos, permite soportar con suficiencia las cargas reactivas del suelo.</p> <p>Por lo tanto se deduce que la</p>

	desempeño estructural, no presentaron pandeo.	respuesta del Bastidor Portaherramientas a la exigencia de trabajo del conjunto cumple con las condiciones de diseño.
Canilla Subsoladora	<p>Canilla: respuesta similar a la presentada en la prueba preliminar, con la diferencia que su penetración se autorregula al estar ensamblado al sistema Fusible Reposicionador.</p> <p>Puntero de Corte: estallamiento de abajo hacia arriba del suelo sin inducir volteo.</p>	<p>❖ Se reafirma la capacidad de trabajo del conjunto.</p> <p>La respuesta de la canilla en autorregulación, se asemeja a las condiciones de modelación, presentadas en sección 5.2.1. del presente trabajo, por lo tanto cumple con las condiciones de diseño.</p>
Fusible Reposicionador	Subconjunto que realiza la interfase Canilla Subsoladora – Bastidor Portaherramientas y suministra la autorregulación del Sistema. Por lo tanto la respuesta de sus componentes a las cargas de trabajo, requiere de un detallado estudio, el cual se enuncia:	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estructura Fusible: <ul style="list-style-type: none"> • Buena respuesta estructural • Correcto deslizamiento del pasador de apoyo por su guía. (Fig.121) 2. Soporte Resorte: <ul style="list-style-type: none"> • Gira sobre sus apoyos de acuerdo al requerimiento de trabajo; • Alta fricción en el agujero guía del Tornillo Fusible. 3. Manivela: <ul style="list-style-type: none"> • Buena respuesta estructural • Transmisión de movimiento al Tornillo Fusible. (Ver Fig 123) 4. Tornillo Fusible: <ul style="list-style-type: none"> • Soportó las cargas de tracción a las que fue sometido, comprimiendo el resorte. 5. Resorte Reposicionador: <ul style="list-style-type: none"> • Suministró del taraje adecuado para cerrar la interfase Canilla-Bastidor. • Pandeo en el momento de comprimirse. (Ver Fig. 124) • Buena recuperación. 	<p>❖ El Acero seleccionado y su espesor cumplen con las condiciones de diseño.</p> <p>❖ Se detectó un primer problema, respecto a los centros de giro del sistema.(Ver Fig. 121-122)</p> <p>❖ La respuesta de la pieza es acorde a las condiciones de diseño planteadas y modeladas, respecto a su comportamiento cinemático.</p> <p>❖ El Acero Grado Herramienta seleccionado y su diámetro cumplen con las condiciones de diseño.</p> <p>❖ El diseño del resorte suministra la “rigidez” necesaria para que el sistema realice su trabajo, permitiendo su autorregulación.</p> <p>❖ Debido a la falla encontrada en la distancia de los centros de giro, se indujo una carga excéntrica al resorte lo que originó su pandeo.</p>

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 121. Revisión distancias centros de giro.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 122. Revisión distancias centros de giro.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 123. Revisión apoyos para respuesta dinámica del sistema.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 124. Pandeo del Resorte Reemplazador.



Fuente: Autores del proyecto.

De esta *primera prueba* se obtuvo información muy importante para proceder a la primera reevaluación del proceso de diseño y puesta a punto del prototipo, por lo tanto se determinó realizar las siguientes modificaciones:

1. Aumentar la distancia de los centros de giro para corregir los problemas de fricción en el agujero guía del Tornillo Fusible y el pandeo detectado en el resorte. Para realizar dicha modificación se determinó adicionar 25 [mm] de platina a la Estructura del Fusible en su apoyo superior (Fig. 121), para lo cual se realizaron los

6.3.2. Proceso de pintura Terminada la etapa de la *primera prueba* y realizadas las correcciones necesarias se procedió a realizar la fase de protección contra la corrosión y los acabados respectivos del Prototipo. Para brindar una efectiva protección contra la corrosión se determinó aplicar una base imprimante de un fabricante especializado, fue así como se utilizó Imprimante Epóxico Rico en Cinc de la casa SIKA. (Ver Fig. 125).

Para realizar el proceso de acabado y presentación se utilizaron nuevamente productos de fabricantes reconocidos, por lo tanto se aplicó Esmalte Acrílico de la casa Pintuco. En la figura 126 se presenta una panorámica general del Prototipo y en las figuras 127 al 130 se aprecian los subconjuntos con sus respectivos componentes bien diferenciados.

Figura 125. Prototipo con imprimante anticorrosivo



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 126. Prototipo con acabados de pintura



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 127. Subconjunto Canilla Subsoladora.



Figura 128. Subconjunto Disco de Corte.



Figura 129. Subconjunto Fusible Reposicionador.



Figura 130. Subconjunto Rodillo Desterronador.



Fuente: Autores del proyecto.

6.3.3. Pruebas finales en taller. Como procedimiento previo al traslado del Prototipo a las plantaciones de la Empresa, se consideró necesario realizar una *prueba final* en taller al Equipo; para reevaluar su comportamiento e identificar la respuesta de las modificaciones realizadas.

Para realizar la corrida del equipo en su *prueba final* se utilizó un tractor marca FORD Serie 6610 de 85 Hp con doble transmisión, se determinó como marcha de

trabajo segunda velocidad con bajo, siguiendo la metodología de evaluación de los implementos basada en el documento FAO “Principios y practicas de prueba y evaluación de maquinas y equipos agrícolas”, seguido por el Instituto Nacional de Suelos. División Maquinaria de Corpoica Tibaitatá.

Esta prueba aporta la mayor cantidad de información y se puede dividir en dos etapas, en las Figuras 131 a 134 se ilustra el comportamiento del equipo en su primera etapa es decir hasta el surco N° 4 (Ver Fig. 134); en las Figuras 135 y 136 se aprecia en detalle el comportamiento del Resorte, la Manivela y el Tornillo Fusible. La segunda etapa corresponde al trabajo realizado por el Prototipo sobre el surco N° 5, donde se presentó una falla en el Pasador Soporte de la Manivela (Ver Fig. 129). En la tabla 70 se presenta en detalle el comportamiento del equipo.

Tabla 70. Resumen comportamiento Equipo Subsolador prueba final.

PRUEBA FINAL EN TALLER DEL PROTOTIPO		
Subconjunto	Comportamiento componentes	Análisis
Bastidor Portaherramientas	Ofrece una respuesta similar a la de la primera prueba reafirmando su capacidad de trabajo y buen comportamiento estructural.	
Canilla Subsoladora	Ofrece una respuesta similar a la de la primera prueba reafirmando su capacidad de trabajo y buen comportamiento estructural.	
Fusible Re posicionador	Nuevamente requiere de un detallado estudio, el cual se enuncia:	
	1. Estructura Fusible: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Deslizamiento sobre sus orificios de apoyo, del pasador soporte de la manivela (surco N° 5). (Ver Fig 137). ❖ Buena respuesta estructural, al conservar su forma a pesar de la falla del pasador. ❖ Correcto giro del Soporte Resorte (Ver Fig. 136). 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Adicionar dos separadores para prevenir la falla por deslizamiento del pasador sobre sus agujeros de apoyo. ❖ El Acero seleccionado y su espesor cumplen con las condiciones de diseño. ❖ El material adicionado para aumentar el radio de los centros de giro, corrige completamente el problema detectado en la <i>primera prueba</i>. (Ver Fig. 136).
Fusible Re posicionador	2. Soporte Resorte: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Gira sobre sus apoyos de acuerdo al requerimiento de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Correcta separación de los centros de giro. ❖ El rediseño de esta pieza respecto a la

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Correcto deslizamiento del Tornillo Fusible sobre el orificio guía y el sistema de centrado del resorte (Ver Fig. 136). 	<p>adición de un sistema de centrado para el resorte, permite la correcta inducción de compresión al resorte sin que presente pandeo (Ver Fig. 135).</p>
	<p>3. Pasador soporte manivela (Fig 129):</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Deslizamiento sobre apoyos: Se presentó deslizamiento lateral de la pieza. ❖ Flexión del pasador: Inducida por la separación entre apoyos. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Inducido por la dinámica propia del sistema y debido a la "luz" entre apoyos. El pasador se desencajó; provocando una falla en cadena del subconjunto. ❖ Concurrente con la reparación de la Estructura del Fusible. Se deben adicionar dos separadores guía para garantizar la posición de centrado de la manivela. ❖ Al hacer los respectivos análisis de falla por flexión del pasador, se determinó agregar un sistema de separadores en acero 1045 a la estructura del fusible, para evitar el desencajamiento de la pieza. ❖ Incrementar el factor de seguridad aplicado, para aumentar el diámetro del pasador. ❖ Eliminar el sistema de cojinete de deslizamiento en bronce fosforado realizado al orificio soporte de la manivela. ❖ Separadores Acero 1045, Diámetro Interno: 34.5 mm, Diámetro Externo: 57.15 mm, Longitud: 50 mm ❖ Pasador Modificado, Acero 4340, Diámetro: 34.5 mm, Longitud: 230 mm
	<p>4. Manivela:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Transmisión de movimiento al Tornillo Fusible. (Ver Fig.136) ❖ Solidaria con la falla presentada por su pasador soporte, presentó fisura en su arista tope inferior. (Ver Fig. 137) 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Reconstruir la arista tope inferior adicionando material a la pieza, mediante proceso de soldadura.
	<p>5. Tornillo Fusible:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Soportó las cargas de tracción a las que fue sometido, comprimiendo el resorte. ❖ Solidario con la falla presentada por la manivela, presentó flexión en la sección 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Construir nuevamente la pieza.

	cercana a la unión pivotada con la manivela. (Ver Fig.138)	
	6. Resorte Reposicionador: ❖ Suministró del taraje adecuado para cerrar la interfase Canilla-Bastidor. ❖ Excelente recuperación. ❖ Ausencia de pandeo (Ver Fig. 135)	❖ Por el sistema de centrado, presentó un buen desempeño.
Conjunto Total	❖ Por la falla presentada en el pasador el sistema se “desarmó” lo que reafirma su autorregulación, sin inducir fallas a la Estructura del Bastidor y al Sistema de potencia. El detalle se puede apreciar en las figuras 139 y 140.	

Fuente: Autores del proyecto.

Figura 131. Conjunto prototipo montado para pruebas.



Figura 132. Corrida inicial conjunto.



Figura 133. Prototipo en régimen de trabajo.



Figura 134. Surcos y perfiles de suelo incrementado.



Figura 135. Resorte a máxima compresión sin presentar pandeo



Figura 136. Correcta rotación de par cinemático Manivela-Tornillo



Figura 137. Detalle del giro y flexión del pasador soporte de la Manivela



Figura 138. Flexión Tornillo Fusible inducido por el giro del pasador



Figura 139. Subconjunto conservando su estructura después de la falla.



Figura 140. Colisión interna entre Canilla y Estructura Fusible.



Fuente: Autores del proyecto

6.4. PRUEBAS FINALES DEL PROTOTIPO EN LA PLANTACIÓN DE PALMAS OLEAGINOSAS BUCARELIA S.A.

6.4.1. Materiales y métodos. Superado el proceso de construcción y pruebas en el taller, se procedió a trasladar el prototipo a las plantaciones de la Empresa. Las pruebas finales se realizaron en los mismos lotes donde se llevaron a cabo las pruebas a los equipos subsoladores existentes, según lo planteado en los objetivos, para tener criterios de evaluación y comparación con el comportamiento del prototipo diseñado. La evaluación del prototipo se basó en procedimientos similares a los utilizados en las pruebas iniciales a excepción del consumo de potencia, pues no se contó con el un Dinamómetro, equipo adecuado para medir la fuerza de corte de la herramienta sobre el suelo. El único ente que posee dichos Dinamómetros es el Instituto Nacional de Suelos CORPOICA Tibaitata Cundinamarca, quienes fueron los que permitieron, en las pruebas iniciales de subsoladores existentes en la región, su traslado, pero al cambiar en el último año las condiciones de préstamo y traslado de equipos, fue imposible realizar el préstamo. Por consiguiente se hizo énfasis en el cálculo de las demás variables, con el objeto de utilizar relaciones matemáticas para el cálculo indirecto de la potencia (Ver anexo I.24), para de esta forma entrar a comparar la herramienta diseñada con las existentes.

La Empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. designó un comité para realizar la auditoria y supervisión de las pruebas; dicho comité estuvo conformado por las siguientes personal (ver Fig 150):

- Dr. Fernando Bernal Niño. Asesor Externo de P.O.B.
- Ing. Blanca Stella Gualdrón Rueda. Directora División Agronómico II.
- Ing. Guillermo Estrada. Director División Agronómico III.

- Ing. Edgar Ignacio Barrera. Jefe de Sanidad Vegetal y Desarrollo Agrícola.

Cabe notar que el Ingeniero Eduardo Castañeda Director División Agronómico I, fue designado desde un principio por la Gerencia de la Empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. como encargado del proyecto. A partir de las pruebas tomadas en plantación en el año 2003 se tomaron ciertos parámetros tales como la profundidad de trabajo y la potencia del tractor, como criterios de diseño los cuales pueden ser vistos en el capítulo 4 del presente trabajo.

El lote donde se realizaron la mayoría de pruebas fue el 10-79 pues posee los mayores problemas de compactación y además fue el lote donde se tomaron las pruebas iniciales de subsolado y propiedades físicas de suelo. Adicionalmente se tomó el lote 14-79 para realizar pruebas, debido a que en este se realizará próximamente renovación de cultivos.

Una de las consideraciones del diseño era la valoración del impacto real de la herramienta sobre el suelo, se pretendía tener criterios de comparación del prototipo de subsolador con otras herramientas que también realizan la labor de subsolado en la región, por lo tanto se valoraron ciertas variables tanto mecánicas como agrológicas. Fue así como a principios del año 2003 fueron realizadas las pruebas en las plantaciones. (Ver Capítulo 4 y Anexo H) Luego de terminar la etapa constructiva el equipo investigador decidió la valoración de las pruebas pero esta vez utilizando el prototipo diseñado, con respecto a las pruebas de tipo agrológico gran parte de ellas no pudieron ser tomadas debido las condiciones climáticas en que se encontraba la región en el momento de realizar la prueba del prototipo. Fue así como las pruebas de resistencia a la penetración y de Infiltración

no fueron valoradas en la plantación en la etapa de evaluación del implemento. En el anexo E, se encuentra la respectiva constancia por parte del CORPOICA.

Las pruebas realizadas en las plantaciones de palma así como los equipos utilizados pueden ser vistas en la tabla 71.

Tabla 71. Resumen de pruebas y equipos utilizados en plantación Bucarelia.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DE SUBSOLADO PROFUNDO PARA LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS BUCARELIA S. A. PRUEBAS FINALES PROTOTIPO	
Fecha de prueba : 1 de Julio 2004	Lugar de la Prueba: Lotes 10-79 y 14-79, plantación Palmas Oleaginosas Bucarelia. Puerto Wilches.
PRUEBAS BASICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de volteo • Densidad Aparente • Densidad Real • Infiltración • Patinamiento • Perfilometría • Resistencia a la penetración • Velocidad de operación(ver Fig. 143 y 144)
PRUEBAS DERIVADAS	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho de corte • Area Incrementada • Area Trabajada • Fuerza de corte • Perdida de suelo • Porosidad • Potencia en la barra de tiro • Profundidad Real de penetración
EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Tractor John Deere 5705, 85 HP (Ver Fig. 141) • Sistema Prototipo Subsolador Curvo • Perfilómetro • Decametro • Cronómetro • Metro • Lotes de pruebas(ver Fig. 142)

Fuente: Autores del proyecto.

6.4.2. Resultados de las pruebas. Luego de tomar los datos, utilizando los formatos diseñados por los autores del Proyecto (Ver Anexo G) para cada una de las pruebas seleccionadas, se procesaron y valoraron utilizando para ello el software Microsoft Excel. El resumen de ellos y su ubicación en los anexos pueden ser vistos en la tabla 72. Algunas fotos de las pruebas pueden ser vistos en la tabla 73.

Figura 141. Conjunto prototipo montado para pruebas.



Figura 142. Calle de Lote 10-79.



Figura 143. Prototipo iniciando régimen de trabajo.



Figura 144. Prototipo en régimen de trabajo.



Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 72. Resumen de resultados de las pruebas.

RESULTADO PRUEBAS		
PRUEBAS BASICAS	ANEXO	
• Velocidad de operación	I.4, I. 5	
• Patinamiento	I.5	
❖ Perfilometría (ver Fig146, 151-154)	• Prueba N° 1. Lote 10-79	I.6
	• Prueba N° 2. Lote 10-79	I.7
	• Prueba N° 3. Lote 10-79	I.8
	• Prueba N° 4. Lote 10-79	I.9
	• Prueba N° 5. Lote 10-79	I.10
	• Prueba N° 6. Lote 10-79	I.11
	• Prueba N° 7. Lote 14-79	I.12
	• Prueba N° 8. Lote 14-79	I.13
	• Prueba N° 9. Lote 14-79	I.14
• Análisis de volteo	I.6 - I.14	
• Resistencia a la penetración	NO VALORADO	
• Densidad Real	I.3	
• Densidad Aparente	I.3	
• Infiltración	NO VALORADO	
PRUEBAS DERIVADAS	ANEXO	
• Profundidad Real de penetración(ver Fig. 145)	I.15	
• Area Incrementada	I.15, I.6-I.14	
• Area Trabajada	I.15, I.6-I.14	
• Ancho de corte	I.15, I.6-I.14	
• Perdida de suelo	I.15, I.6-I.14	
• Potencia en la barra de tiro	I.24	
• Fuerza de corte	I.24	
• Porosidad	I.3	

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 73. Fotos prueba final prototipo subsolador

Figura 145. Canilla realizando trabajo sobre el suelo.



Figura 146. Surco trabajado, perfil de suelo incrementado.



Figura 147. Evaluación del trabajo realizado por la herramienta.



Figura 148. Perfiles de suelo trabajado.



Figura 149. Perfil de corte de la Canilla.



Figura 150. Perfil de suelo incrementado, rompimiento de grano, sin efectuar volteo.



Figura 151. Perfiles de suelo trabajados, sin efectuar volteo.



Figura 152. Perfiles de suelo trabajado.



Fuente: Autores del proyecto

6.4.3. Comparación y análisis de resultados de las pruebas finales del prototipo contra pruebas iniciales de subsolador recto. Los resultados de las pruebas finales

del equipo de subsolado realizadas, serán comparadas cualitativamente y cuantitativamente tendiendo como patrón de comparación las realizadas con el subsolador recto del Centro de Mecanización Agrícola en el lote 10-79 en el año 2003 (ver anexo H). El procedimiento para este análisis esta basado en comparación directa de las respectivas variables.

Consideraciones Iniciales.

1. Se utilizo la misma metodología de evaluación de los implementos basada en el documento FAO “Principios y practicas de prueba y evaluación de maquinas y equipos agrícolas”, seguido por el Instituto Nacional de Suelos. División Maquinaria de Corpoica Tibaitatá.
2. Las pruebas fueron realizadas en el mismo lote 10-79.
3. La prueba de Infiltración y de Resistencia a la Penetración no fueron tomadas debido a que en los días de realización de las mismas las condiciones de lluvia eran muy severas, lo cual impidió su valoración, debido a que estas pruebas están estrechamente relacionadas con el nivel de humedad del suelo.
4. la prueba de Fuerza de corte y consumo de potencia fue realizada indirectamente con los valores de otras pruebas.

• **Comparación Velocidad de operación.**

VELOCIDAD DE OPERACIÓN [Km/h]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.18,H.19 y H.22	CALCULOS	ANEXO I.4, I.5	
FOTOS	ANEXO I.8	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
1,71	2.8	1,64	2,34	3,79

Análisis. De la anterior tabla se puede concluir que el conjunto tractor–subsolador trabajó en el rango de velocidades recomendadas por la norma ASAE (ver anexo A) para equipos de subsolado profundo, donde se recomienda que la velocidad de operación no debe ser mayor a 5 KMH, una velocidad adecuada permite realizar la labor de subsolado con el máximo de eficiencia, de igual forma manteniendo una velocidad moderadamente se pueden obtener bajos consumos de potencia. El subsolador en la tercera velocidad con bajo tuvo un excelente comportamiento con respecto al la ruptura del suelo. Para futuras labores de subsolado en los diferentes lotes se recomienda realizar previamente un estudio para seleccionar la velocidad adecuada la cual nos permitirá también poseer valores adecuados de patinamiento y consumo de potencia.

- **Patinamiento.**

PATINAMIENTO (%)				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO			PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO	
CALCULOS	ANEXO H.18,H.19 y H.22		CALCULOS	ANEXO I.5
FOTOS	ANEXO I.8		FOTOS	SECCION 6.4
Primera Bajo	Segunda Bajo		Primera Bajo	Segunda Bajo
			tercera Bajo	
7,50	10,80		10,5	19,23
				12,95

Análisis. El patinamiento nos genero reducción en la velocidad de avance del subsolador, los altos valores de patinamiento presentados en las pruebas se debió específicamente a que el suelo estaba muy liso debido a la constante lluvia que se presentaba en la zona por esos días, se recomienda para futuras pruebas realizar las pruebas en un tiempo seco, o si por algún motivo hay que trabajar obligatoriamente el tractor se debe disminuir el porcentaje de patinamiento (< 10%) adicionando lastre sólido o liquido al tractor. Esta variable debe ser calculada

en un proceso de subsolado ya que si el porcentaje de patinamiento es demasiado alto se genera una mayor compactación y en este caso la solución de subsolado es mal perjudicial que el problema mismo, ya que la maquina ejerce una mayor presión sobre el suelo por un instante de tiempo. Esta variable permite medir indirectamente el consumo de potencia del implemento cuando se conoce también la velocidad de operación, las condiciones del suelo y la carga normal que soporta el tractor en las llantas.

- **Area de perfil de suelo incrementado.**

AREA SUELO INCREMENTADO [cm ²]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.22,H.23, H.31 - H.34	CALCULOS	ANEXO I.6-I.15	
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	Fig. 146,148,150,154	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
773,00	955,00	521,60	425,00	417,00

Análisis. El área de suelo incrementado en el lote 10-79 presentó una disminución considerable al compararla con las pruebas iniciales, favoreciendo la estructura final del suelo luego de producido el estallamiento, este fenómeno favorece ampliamente que no se volteen los perfiles del suelo, genera aumento de la porosidad y la destrucción de las capas impenetrables sin que se afecte la vida orgánica del suelo. Si el subsolador mantiene los porcentajes bajos de área incrementada no es necesaria la utilización del rodillo desterronador en el sistema.

- **Area de perfil de suelo trabajado.**

AREA SUELO TRABAJADO [cm ²]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO			PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO	
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.24, H.31-H.34		CALCULOS	ANEXO I.6-I.15
FOTOS	ANEXO I.9		FOTOS	Ver Fig. 148 y 152
Primera Bajo	Segunda Bajo		Primera Bajo	Segunda Bajo tercera Bajo
761,00	841,00		1.893,20	1.198,40 1.740,00

Análisis. Se presento un gran aumento en el valor del área de trabajo en las prueba, este fenómeno favorece ampliamente el nivel de infiltración del agua, manteniendo niveles aceptables de humedad en el suelo que finalmente generan el desarrollo de nuevas raíces en la palma. Los valores del aumento estuvieron por encima del 200 %, lo cual permite concluir que el sistema de alas incorporado al diseño funciono correctamente aumentando considerablemente el trabajo bajo el suelo destruyendo la capa compactada. El trabajo de subsolado estuvo realizado en su gran mayoría por el puntero el cual estallo el suelo de abajo hacia arriba generando este gran valor de área trabajada. La utilización del sistema de alas genera un porcentaje de aumento del consumo de potencia pero este es compensado por la disminución de ella cuando de utiliza el perfil curvo.

- **Area total de perfil de suelo disturbado.**

AREA TOTAL SUELO DISTURBADO [cm ²]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO			PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO	
CALCULOS	ANEXO H.22 H.24, H.31-H.34		CALCULOS	VER ANEXO I.6-I.15
FOTOS	ANEXO I.9		FOTOS	Ver Fig. 146 ,150
Primera Bajo	Segunda Bajo		Primera Bajo	Segunda Bajo tercera Bajo
773,00	955,00		2.414,80	1.623,40 2.157,00

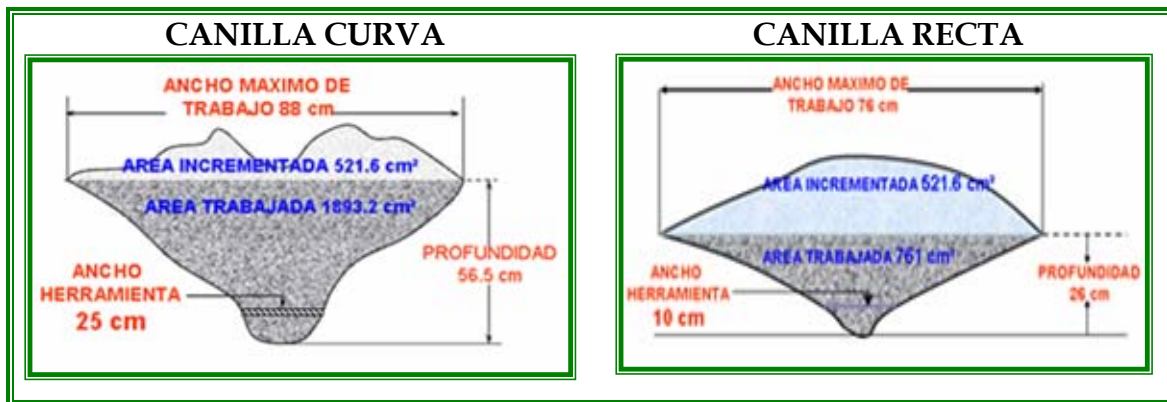
Análisis. La sumatoria de las áreas incrementada y trabajada nos genera el área total de trabajo, se presentó un aumento mayor del 200 %, en comparación con las pruebas iniciales. Uno de los parámetros básicos de comparación de equipos de subsolado radica en la valoración del área total de trabajo vs. Consumo de potencia. Cabe anotar que los valores tomados inicialmente se dieron utilizando un tractor de 140 Hp, mientras que la prueba del prototipo final fue realizada con un tractor de 85 Hp.

- **Tasa de pérdida del suelo.**

TASA DE PERDIDA DE SUELO (%)				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.29	CALCULOS	ANEXO I.6-I.15	
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
101,58	113,56	27,55	35,46	23,97

Análisis. Las pruebas realizadas en plantación con los subsoladores rectos presentaban una gran tasa de pérdida de suelo, pues sus valores estaban por encima del 100%, se mantenía la relación casi 1:1, es decir el nivel de rompimiento entre el suelo incrementado y el suelo trabajado era similar. La prueba final realizada en el lote 10-79 dio como resultado un decremento de este valor, presentando una disminución en el suelo incrementado y un aumento en el suelo trabajado, la relación en estas fue de 5:1. En la figura 153 se presenta una grafica comparativa del subsolador recto y el subsolador curvo en relación a las áreas.

Figura 153. Esquema comparativo del comportamiento de la canilla recta y la canilla curva.



Fuente: Autores del proyecto.

- Profundidad máxima de trabajo.

PROFUNDIDAD MAXIMA DE TRABAJO [cm]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.27		CALCULOS	ANEXO I.6-I.15
FOTOS	ANEXO I.9		FOTOS	Ver Fig. 145,149
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
26,00	30,00	56,50	42,50	49,00

Análisis. El análisis de la grafica generada a partir de los datos de Perfilometría, permite hallar en la prueba final un gran aumento en la profundidad de trabajo que oscila alrededor del 140 al 180 % comparándola con las tomadas inicialmente en las plantaciones de Bucarelia. Cabe notar que esta profundidad fue alcanzada en un solo pase del tractor sin ninguna labor previa de arado. Se recomienda que para alcanzar profundidades mayores a las alcanzadas se debe realizar 2 pases del implemento con esto no se esfuerza ni el implemento ni el sistema de tiro.

- **Ancho máximo de trabajo.**

ANCHO MÁXIMO DE TRABAJO [cm]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.25	CALCULOS	ANEXO I.6-I.15	
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
76,00	80,00	88,00	72,00	84,00

Análisis. Una de las conclusiones dadas por el estudio tanto de subsoladores como el del valoración de la compactación fue que para lotes de palma adulta el subsolador rompe mucha raíz por lo tanto el Departamento Agronómico de Palmas Bucarelia en cabeza del Ing Eduardo Castañeda recomendó que el ancho de la herramienta no podía ser mayor de 1 m, el diseño en relación a esta variable se comporto eficientemente.

- **Ancho de la herramienta.**

ANCHO DE LA HERRAMIENTA [cm]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.26	CALCULOS	ANEXO I.6-I.15	
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
10,00	14,00	25,00	25,00	25,00

Análisis. El diseño de la Canilla Subsoladora y las consideraciones geométricas tomadas para el Puntero de Corte, han permitido un aumento en el ancho de trabajo de la herramienta en el suelo, los valores tomados en cada una de las pruebas y su valoración en Microsoft Excel nos permiten concluir que el aumento

del ancho de la herramienta genera un aumento en el nivel de estallamiento del suelo. El diseño tanto del puntero como de las alas permitió este considerablemente aumento en el ancho de la herramienta.

- **Profundidad media de trabajo.**

PROFUNDIDAD MEDIA DE TRABAJO [cm]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.22 y H.27	CALCULOS	ANEXO I.6-I.15	
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
10,01	10,51	21,51	16,64	20,71

Análisis. Variable que presento un gran aumento en su valor. Su valor se toma como si el equipo trabajara todo el ancho de trabajo a la misma profundidad.

- **Ancho medio de trabajo.**

ANCHO MEDIO DE TRABAJO [cm]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.22	CALCULOS	ANEXO I.6-I.15	
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
29,27	28,03	33,51	28,20	35,51

Análisis. Variable que presento un gran aumento en su valor. Su valor se toma como si el equipo trabajara todo el ancho de trabajo de una forma uniforme.

- **Relación profundidad media/ancho de corte de suelo.**

RELACIÓN PROFUNDIDAD MEDIA/ANCHO DE CORTE DE SUELO				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.22	CALCULOS	ANEXO I.6-I.15	
FOTOS	ANEXO I.9	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
1,00	0,75	0,86	0,67	0,83

Análisis. Este indicador relaciona dos variables muy importantes como son la profundidad de penetración vs. Ancho de corte, para el caso de nuestro diseño la profundidad de penetraciones mas importante ya que el ancho de corte se toma como una variable constante que no se mayor que 1 m.

- **Fuerza de corte.**

FUERZA DE CORTE (N)				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.17, H.22	CALCULOS	ANEXO I.24	
FOTOS	ANEXO I.8	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
49033,00	49033,00	29172,21	34730,17	31514,19

Análisis. La fuerza de corte generada por el implemento no se tomo directamente con la medición de un dinamómetro sino que se utilizaron relaciones matemáticas que involucran variables ya cuantificadas como la velocidad de operación, el patinamiento y el tipo de suelo. La no utilización de dinamómetro se debió a problemas con el préstamo del equipo por parte del Instituto Nacional de Suelos y no se pudieron desplazar hacia la zona donde se realizaron las pruebas.

- **Potencia requerida en la barra de tiro por unidad de cincel (Hp).**

POTENCIA REQUERIDA EN LA BARRA DE TIRO POR UNIDAD DE CINCEL				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.17, H.22	CALCULOS	ANEXO I.24	
FOTOS	ANEXO I.8	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
78,01	78,01	19,66	32,94	48,89

Análisis. Uno de los objetivos fundamentales del presente proyecto y requisito fundamental del diseño por parte de la empresa fue que el sistema de subsolado profundo pudiera ser utilizado por un tractor de mediana potencia, ya que en la zona donde se localiza las plantaciones los tractores no poseen una potencia mayor de 100 Hp. Este objetivo fue cumplido a cabalidad el sistema de subsolado profundo tuvo un comportamiento de estallamiento y profundidad de trabajo excelente manteniendo bajos los consumo de potencia. Aunque la fuerza de corte no fue valorada directamente por un Dinamómetro como se había realizado la prueba inicial se midió esta indirectamente por medio del patinaje generado y el valor de velocidad de operación.

- **Potencia del tractor al 80 % del régimen por unidad de cincel.**

POTENCIA DEL TRACTOR AL 80 % DEL RÉGIMEN POR UNIDAD DE CINCEL [Hp]				
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.17, H.22	CALCULOS	ANEXO I.24	
FOTOS	ANEXO I.8	FOTOS	SECCION 6.4	
Primera Bajo	Segunda Bajo	Primera Bajo	Segunda Bajo	tercera Bajo
93,54	93,54	23,59	39,53	58,66

Análisis. La norma ASAE nos permite calcular una aproximación de la salida del motor utilizando un factor de corrección que oscila alrededor del 20 %. Esta variable que presento una disminución en su valor. En la figura 154 se muestra un esquema comparativo de los diferentes sistemas utilizados para la labor de subsolado, el diseño cumplió con el objetivo fundamental y es la disminución del consumo de potencia y por ende la utilización de equipos mas pequeños.

Figura 154. Esquema comparativo sistemas de potencia utilizados.

Método antiguo de subsolado	Prueba inicial subsolador recto	Prueba final subsolador curvo
		
POTENCIA > 150 Hp	POTENCIA = 140 Hp	POTENCIA = 85 Hp

Fuente: Autores del proyecto.

- Resistencia a la penetración

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO	
CALCULOS	VER ANEXO H.2-H.7	CALCULOS	no valorada
FOTOS	ANEXO I.1	FOTOS	no valorada
Profundidad 0-38 [cm]	120-160 [Psi]	Profundidad 0-38 [cm]	Prueba no valorada

Análisis. Esta variable no fue cuantificada, ya que aunque se tenía como variable de comparación para poder demostrar la disminución en el grado de compactación

del suelo del lote 10-79, las condiciones climáticas durante la prueba no eran las mejores por lo tanto aunque se podía tomar algunos valores, se determino eliminar esta prueba ya que los resultados obtenidos no eran de mayor confiabilidad. Cabe notar que esta variable fue fundamental en el diseño y en los modelos sistematizados utilizados para la valoración de esfuerzos tanto de la canilla, el puntero y el disco de corte. Se recomienda tomar esta variable en condiciones climáticas secas y compararlas con los resultados dados en este trabajo.

- **Densidad Real**

DENSIDAD REAL					
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO			PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.1		CALCULOS	ANEXO I.3	
FOTOS	ANEXO I.3		FOTOS	SECCION 6.4	
Profundidad [cm]	0-15	15-30	Profundidad [cm]	0-15	15-30
Valor [g/cm ³]	2,03	2,21	Valor [g/cm ³]	2,6	2,6

- **Densidad Aparente**

DENSIDAD APARENTE					
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO			PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.1		CALCULOS	ANEXO I.3	
FOTOS	ANEXO I.3		FOTOS	SECCION 6.4	
Profundidad [cm]	0-15	15-30	Profundidad [cm]	0-15	15-30
Valor [g/cm ³]	1,36	1,58	Valor [g/cm ³]	1,2	1,5

Análisis. Esta variable nos permite reconocer fácilmente que el sistema de subsolado mejoro las condiciones del suelo (disminución de los valores de densidad Aparente) presentando con esto una disminución en los niveles de degradación, específicamente en la compactación, el aumento del volumen trae

como consecuencias directas tales como el aumento del porcentaje de porosidad, el aumento en el nivel de infiltración, el aumento en el nivel de conservación de la humedad del suelo, el aumento de los niveles de materia orgánica etc, es recomendable tomar nuevamente esta variable dentro de 6, 12 y 18 meses después de realizado el subsolado para efectuar las respectivas correcciones y adaptaciones al sistema.

- **Porosidad**

POROSIDAD					
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO			PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO		
CALCULOS	ANEXO H.1		CALCULOS	ANEXO I.3	
FOTOS	ANEXO I.3		FOTOS	SECCION 6.4	
Profundidad [cm]	0-15	15-30	Profundidad [cm]	0-15	15-30
Valor %	34	33.5	Valor [g/cm ³]	56	41.5

Análisis. La disminución en los niveles de densidad Aparente trae como consecuencia directa el aumento en el número de poros en el suelo lo que permitirá aumentar el nivel de infiltración de agua y aireación, este parámetro puede ser tomado como factor de comparación en la reducción de los niveles de compactación en suelos agrícolas.

- **Velocidad de Infiltración.**

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN			
PRUEBA INICIAL SUBSOLADOR RECTO		PRUEBA FINAL SUBSOLADOR CURVO	
CALCULOS	ANEXO H.2 - H.7	CALCULOS	no valorada
FOTOS	ANEXO I.4	FOTOS	SECCION 6.4
20 [mm /h]		Prueba no valorada	

Análisis. Esta variable no fue cuantificada en la prueba, ya que aunque se tenía como variable de comparación para poder demostrar la disminución en el grado de compactación del suelo del lote 10-79, las condiciones climáticas durante la prueba no eran las mejores por lo tanto aunque se podía tomar algunos valores, se determino eliminar esta prueba ya que los resultados obtenidos no eran de mayor confiabilidad. Se recomienda tomar esta variable en una temporada seca y compararla con los valores de las pruebas iniciales.

- **Análisis de volteo**

Análisis. El análisis cualitativo del efecto del volteo se realizó directamente al efectuar la prueba de subsolado, donde el grupo de valoración observó que los niveles de estallamiento del suelo fueron excelentes, sin generar problemas serios de volteo del suelo. En la figura 155 se presenta un esquema comparativo del volteo generado por los diferentes sistemas de subsolado donde se puede observar los resultados del diseño del subsolador curvo.

Figura 155. Esquema comparativo volteo del suelo.

Labor de subsolador con retroexcavadora	Prueba inicial subsolador recto	Prueba final subsolador curvo
 <p data-bbox="293 1627 724 1696">Perfil del suelo totalmente modificado por herramienta.</p>	 <p data-bbox="753 1627 1110 1717">No hay volteo del suelo pero el área incrementa es mayor que la trabajada</p>	 <p data-bbox="1166 1617 1500 1707">No hay volteo, pero el área trabajada es mayor que la incrementada</p>

Fuente: Autores del proyecto.

6.5. RECOMENDACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL EQUIPO

La vida útil y la eficiencia del subsolador dependen de los cuidados y ajustes adecuados que se le hagan. Los subsoladores son elementos de alta tracción y trabajan a mayor profundidad que otras herramientas de labranza, de forma que hay que asegurar su cuidado y asegurar que cada uno de los elementos de la máquina se encuentren en óptimas condiciones.

6.5.1. Preparación y mantenimiento del subsolador.

❖ Antes de cada temporada

1. Verificar si los punteros están excesivamente gastados o rotos. Reemplazarlos según sea necesario.
2. Examinar si existen pernos averiados, tuercas y piezas flojas, rotas o perdidas, reemplazar si es necesario. Cuando se reemplacen los pernos, usar siempre pernos de resistencia adecuada para impedir una falla prematura.
3. Examinar si los pivotes están demasiado ajustados u oxidados y reemplazar si es necesario.
4. Limpiar, reemplazar y ajustar los cojinetes de las ruedas del control de profundidad.
5. Asegurarse que los pernos de enganche sean de tamaño adecuado, si se utiliza acople rápido.
6. Limpiar, reemplazar y ajustar los cojinetes del disco de corte.
7. Limpiar, reemplazar y ajustar los cojinetes del rodillo desterronador.

❖ **Diariamente antes de la operación.**

1. Verificar si los punteros, pernos y piezas móviles están flojos, rotos o faltan.
2. Verificar la sujeción de las ruedas guías.
3. Verificar que los pernos que estén rotos sean remplazados con los definidos por los diseñadores. Los pernos más blandos pueden romperse con demasiada facilidad y retrasar el trabajo del campo. Los pernos demasiado duros pueden demorar la rotura y original daño al equipo.
4. Limpiar los cojinetes del rodillo desterrador, el disco de corte y las ruedas de control de profundidad.

❖ **Antes de terminar cada jornada.**

1. Limpiar a fondo el subsolador para impedir que se oxide, retocar con pintura los lugares rayados o despintados.
2. Cubrir con grasa pesada los elementos del subsolador que necesiten ser lubricados.
3. Almacenarlo bajo techo para evitar los fenómenos de la intemperie.

6.5.2. Preparación del tractor. Los subsoladores son herramientas de alta tracción relativa y requieren el mejor rendimiento del tractor para conseguir óptima eficiencia. El rendimiento se mejora con la operación adecuada del tractor. Las consideraciones necesarias para el uso correcto del tractor son:

1. Poner a punto el motor para conseguir la mayor potencia y el óptimo consumo de potencia.
2. Limpiar o remplazar los filtros de aceite, de aire e hidráulicos.

3. Verificar que el sistema hidráulico tenga presión o el nivel de aceite adecuado. Reparar las fugas de las mangueras, cilindros y demás elementos hidráulicos.
4. Colocar los neumáticos a la presión recomendada. Si son llantas de alta flotación, asegurar la tracción correcta con la utilización de lastre líquido dentro de ella o lastre sólido en el portaherramientas.
5. Proporcionar contrapeso en el extremo delantero de acuerdo a las recomendaciones de los manuales del operador del tractor y de los implementos. Utilizar el contrapeso máximo permitido para los extremos delantero cuando se haga funcionar máquinas integrales.
6. Colocar contrapesos en la parte trasera para evitar el patinamiento excesivo. El contrapeso inadecuado genera rápido desgaste de los neumáticos y desperdicia combustible. El contrapeso excesivo también desperdicia combustible y aumenta la compactación del suelo.
7. Para elementos a remolque, ajustar la barra de tiro a la altura recomendada y sujetarla con un peno en el centro o liberarla para que oscile según el manual del tractor.
8. La mayoría de los elementos integrales se nivelan lateralmente, ajustando las conexiones de elevación de enganche a un largo igual. La carga longitudinal de ajusta a través de la conexión media.
9. Cuando se utilice una barra portaherramientas con ruedas guías, ajustar las conexiones de elevación a la posición de flotación, de forma que cada extremo de la barra portaherramientas pueda subir y bajar independientemente.

6.5.3. Recomendaciones para el transporte y seguridad. Como cualquier implemento agrícola los accidentes ocurren por la negligencia, falta de cuidado o

descuido del operario. Las normas mínimas de transporte y seguridad para equipos de subsolado son:

1. Utilizar siempre luces, reflectores y emblemas, cuando se transporta el equipo, de día o de noche dentro de la plantación.
2. Evitar las horas de tráfico pesado y las carreteras muy concurridas.
3. Evitar el transporte del implemento tanto como sea posible.
4. Si el ancho del transporte excede el ancho normal de vehículo, hay que tener cuidado especial con evitar colisiones con otros vehículos y no caer en hoyos, alcantarillas o zanjas a lo largo del borde del camino.
5. No exceder nunca la velocidad de transporte, o velocidad de carretera del tractor si no se indica la máxima. Reducir la máxima cuando se realicen virajes o se atraviesen áreas abrutadas o pendientes.
6. No lubricar, ni reparar ni ajustar ningún implemento mientras se este operando.
7. No permitir que las personas, especialmente los niños jueguen cerca del equipo, durante la operación, el transporte o el almacenamiento.
8. Permitir que únicamente el operador viaje en el tractor y no dejar que nadie viaje sobre el implemento.
9. Proporcionar el contrapeso adecuado para el extremo delantero del tractor para una operación y transporte estable. Mantener el contrapeso necesario para mantener las ruedas delanteras en el suelo en todo momento, pero no exceder el límite recomendado por el fabricante. Si no se puede añadir suficiente contrapeso para una operación segura, sin exceder el límite, no utilizar esta combinación de elemento y tractor.

6.5.4. Soluciones para ciertos contratiempos. Los ajustes inadecuados del subsolador den como resultado una operación ineficiente, mal funcionamiento, rápido desgaste y posibles daños. La corrección inmediata permite el máximo rendimiento del equipo con un mínimo de gastos. Algunas de estas soluciones pueden ser vistas en la tabla 74.

Tabla 74. Soluciones para ciertas averías en el subsolador.

SOLUCIONES PARA CIERTAS AVERIAS EN EL SUBSOLADOR		
PROBLEMA	CAUSA POSIBLE	SOLUCION POSIBLE
Mala penetración	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ajuste inadecuado del sistema hidráulico. 2. El bastidor está desnivelado, el extremo trasero alto. 3. Puntas rotas o desafiladas. 4. Inadecuada profundidad del disco de corte. 	<p>Ajustar el control de carga y de profundidad hacia el máximo</p> <p>Ajustar las ruedas del control de profundidad en los dos lados para la profundidad deseada</p> <p>Reemplazar</p> <p>Ajustar la profundidad del disco</p>
Los pernos rompibles se quiebran con demasiada frecuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Piedras numerosas y de gran tamaño en el suelo 2. Juego longitudinal excesivo 3. Se utilizan pernos inadecuados 4. Demasiada profundidad de trabajo en suelo duro 	<p>Reducir la profundidad de operación</p> <p>Ajustar los pernos del sistema de enganche.</p> <p>Cambiar los pernos</p> <p>Realizar la labor en varias pasadas</p>
Penetración desigual del diente	<ol style="list-style-type: none"> 1. La barraportaherramienta no esta nivelada lateralmente 2. Puntero está desgastado 3. Las ruedas guías no están igualmente ajustadas 	<p>Ajustar el eslabón de elevación de enganche para nivelar la barra portaherramientas</p> <p>Reemplazar el puntero</p> <p>Ajustar las ruedas</p>
Demasiado Patinamiento del tractor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efectos climáticos que afectan las propiedades del suelo 2. Poco lastre 3. Poca profundidad de trabajo 4. Uso incorrecto de agua en las llantas del tractor 5. Desgaste excesivo de las llantas del tractor 6. Ajuste inadecuado del implemento 	<p>Realizar la labor de subsolado en temporadas secas</p> <p>Aumentar el lastre del tractor</p> <p>Aumentar el agarre de la herramienta al suelo</p> <p>Ajustar la cantidad de agua en las llantas</p> <p>Cambiar llantas</p> <p>Ajustar adecuadamente el implemento</p>

Fuente: Autores del proyecto

7. COSTOS

Como parte del proceso consultivo, presentamos a continuación una relación de los gastos generados en el desarrollo del proyecto. La financiación estuvo en un 60% a cargo de la Universidad con rubros transferidos a través del D.I.F. de Físico mecánicas y de la Escuela de Ingeniería Mecánica; destinados a compra de materia prima. El porcentaje restante fue asumido por la Empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. y los Investigadores, con el aporte de entidades como CORPOICA y la C.M.A.B. que hicieron posible el desarrollo del proyecto.

CONCEPTO	VALOR EN PESOS
GASTOS GENERALES	
PAPELERIA	200.000 ^{oo}
TRANSPORTE	800.000 ^{oo}
ALOJAMIENTO Y COMIDA	500.000 ^{oo}
SUBTOTAL GASTOS GENERALES	1.500.000^{oo}

GASTOS DE OFICINA	
HORAS COMPUTADOR	550.000 ^{oo}
LIBROS Y REVISTAS	300.000 ^{oo}
SCANNER	50.000 ^{oo}
HORAS INTERNET	300.000 ^{oo}
VIDEO Y FOTOGRAFIA	300.000 ^{oo}
SUBTOTAL GASTOS OFICINA	1.500.000^{oo}

TRABAJO INTELECTUAL	
ESTUDIANTE INGENIERIA	10.000.000 ^{oo}
SUBTOTAL TRABAJO INTELECTUAL	10.000.000^{oo}

PRUEBAS DE CAMPO: SUBSOLADORES

	VALOR UNITARIO PESOS	CANTIDAD	VALOR TOTAL \$
SERVICIOS TECNICOS ESPECIALIZADOS	870.000 ^{oo}	1	870.000 ^{oo}
RECOLECCION DE IMPLEMENTOS	100.000 ^{oo}	6	600.000 ^{oo}
MANTENIMIENTO Y PUESTA A PUNTO	150.000 ^{oo}	6	900.000 ^{oo}
DESPLAZAMIENTO IMPLEMENTOS A PLANTACION	100.000 ^{oo}	6	600.000 ^{oo}
TRACTOR	VALOR HORA PESOS		
	30.000 ^{oo}	16 (1)	480.000 ^{oo}
	SUBTOTAL		4.080.000 ^{oo}

PRUEBAS FISICAS DEL SUELO

	VALOR UNITARIO PESOS	CANTIDAD	VALOR TOTAL PESOS
<i>PRUEBAS DE LABORATORIO</i>	25.000 ^{oo}	8	200.000 ^{oo}
<i>DESPLAZAMIENTO OPERARIO CALIFICADO</i>	100.000 ^{oo}	1	100.000 ^{oo}
<i>MANO DE OBRA NO CALIFICADA PARA REALIZACION PRUEBAS</i>	16.000 ^{oo}	8	128.000 ^{oo}
<i>VIATICOS Y/O MANUTENCION OPERARIO CALIFICADO</i>	80.000 ^{oo}	2 (1)	160.000 ^{oo}
	SUBTOTAL PRUEBAS FISICAS		588.000 ^{oo}

PRESUPUESTO INVESTIGADORES

	VALOR UNITARIO PESOS	CANTIDAD	VALOR TOTAL PESOS
<i>DESPLAZAMIENTO</i>	20.000 ^{oo}	10	200.000 ^{oo}

VIATICOS Y/O MANUTENCION INVESTIGADORES	80.000 ^{oo}	10	800.000 ^{oo}
	SUBTOTAL INVESTIGADORES		1.000.000 ^{oo}
	TOTAL PRESUPUESTO PRUEBAS DE CAMPO		5.668.000 ^{oo}

CONSTRUCCION DEL SUBSOLADOR

DETALLE	VALOR EN PESOS
MODELAMIENTO CAD	250.000 ^{oo}
CONSTRUCCION PROTOTIPO	5.700.000 ^{oo}
PRUEBAS, MODIFICACIONES DEL PROTOTIPO	260.000 ^{oo}
PRUEBAS, MODIFICACIONES Y PUESTA A PUNTO DEL SUBSOLADOR EN PLANTACION	500.000 ^{oo}
SUBTOTAL CONSTRUCCION	6.665.000 ^{oo}

COSTO TOTAL PROYECTO

\$25.333.000^{oo}

OTROS GASTOS E IMPREVISTOS

DETALLE	VALOR EN PESOS
GASTOS NO PRESUPUESTADOS 6% COSTO TOTAL	1.519.980 ^{oo}
TOTAL PRESUPUESTO PROYECTO	26.852.980^{oo}

Valor Letras: Veinte y seis millones ochocientos cincuenta y dos mil novecientos ochenta pesos moneda legal.

CONCLUSIONES

- Se fomentó el vínculo de la Escuela de Ingeniería Mecánica con la empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia e instituciones oficiales tales como CORPOICA, Fundación Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga y el Servicio Nacional de Aprendizaje para generar soluciones de Maquinaria Agrícola que permitan aumentar la producción y el desarrollo del sector palmicultor en el departamento de Santander.
- Se disminuyó el nivel de compactación mejorando las propiedades físicas de los suelos, utilizando un equipo subsolador en el lote 10-79 de las plantaciones de palma de aceite de la empresa **PALMAS OLEAGINOSAS BUCARELIA S.A.** del municipio de Puerto Wilches-Santander.
- Se diseñó, construyó y se valoró técnicamente el funcionamiento un sistema de subsolado de fácil montaje, operación y mantenimiento, adaptándolo a un tractor de mediana potencia (85 Hp.), reemplazando el antiguo sistema de subsolado realizado por una Retroexcavadora de 150 Hp.
- Para toda labor de subsolado es fundamental realizar la caracterización de suelos, con el fin de identificar el estado actual de compactación para dar el tratamiento adecuado aplicando los conceptos de labranza reducida, optimizando con esto la labor del subsolador.
- Comparando los resultados de la prueba de Humedad con los de Límites de Atterberg se puede encontrar la temporada del año en el cual el suelo se

encuentra en estado friable, para el cual el proceso de subsolado se realiza con menos consumo de potencia y mas alto nivel de estallamiento.

- Se evaluaron técnicamente antes y después del subsolado el comportamiento del sistema de potencia (tractor), el equipo de subsolado y el suelo de la región, utilizando las normas dadas por la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos (ASAE).
- Se compararon los resultados experimentales de la fuerza de corte inducida por la herramienta al suelo, con los obtenidos analíticamente (Ecuación de Reece, Ecuación Numeral 4.11 Norma ASAE D497.4 Mar 99) y por elementos finitos (Dynamic Designer Motion y COSMOS DesingSTAR 3.0), obteniéndose valores muy similares.
- El perfil del diente del subsolador permitió reducir en un 30% el consumo de potencia del tractor. De igual forma la adaptación de alas al puntero permitió aumentar el área trabajada y disminuir el área incrementada en una relación 5:1 con respecto al subsolador recto que fue de 1:1.

RECOMENDACIONES

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

- Realizar el rediseño del prototipo cambiando de posición el disco de corte, ubicándolo mas cerca de la canilla para aprovechar su succión, mejorando así la profundidad de penetración del disco; lastrar el rodillo desterrador y disminuir la longitud total del bastidor.
- Diseñar y construir diferentes tipos de punteros, cambiando en cada uno las consideraciones geométricas dadas, evaluando posteriormente con la metodología seguida en este proyecto la velocidad de operación, fuerza de corte, consumo de potencia, porcentaje de patinamiento y demás variables incidentes en el suelo.
- Diseñar y construir sistemas que permitan seguir reduciendo el consumo de potencia en el tractor tales como un sistema de vibración del diente.
- Diseñar y construir aditamentos especiales al subsolador de fácil montaje, que le permitan realizar otras labores diferentes a la de subsolado, tales como fertilización, realización de zanjas, drenajes etc.
- Se recomienda a la Escuela de Ingeniería Mecánica, adquirir equipos y elementos de muestreo de suelos tales como: Penetrometro, barreno, Perfilómetros, etc; y de evaluaron de sistemas de potencia tales como

Dinamómetros. Esto orientado a una correcta evaluación técnica de las diferentes maquinas agrícolas utilizados en nuestra región.

- Se recomienda a la Escuela de Ingeniería Mecánica realizar estudios similares en otro tipo de maquinaria agrícola y en otros cultivos agroindustriales, con la asesoría o convenios de entidades oficiales y privadas tales como CORPOICA y CENIPALMA, buscando como objetivo el desarrollo del sector Agropecuario en el departamento.
- Rediseñar el perfil del diente del subsolador con el fin de que sea utilizado por animales de tiro, permitiendo reducir los problemas de compactación en terrenos mas ondulados, en otros cultivos y a pequeños agricultores de nuestro departamento.
- Se recomienda el seguimiento de este proyecto utilizando para ello un estudiante de Ingeniería Mecánica para que realice los cambios al equipo, un estudiante de Tecnología Agropecuaria que realiza la valoración de las propiedades del suelo y la Palma Africana y un estudiante de Ingeniería Industrial para realizar el análisis estadístico de los resultados de la investigación.

PALMAS OLEAGINOSAS BUCARELIA S.A.

- Efectuar las mediciones de las variables Resistencia a la Penetración, Densidad Aparente, Densidad Real, Porosidad e Infiltración en el lote 10-79 en Enero del

año 2005, comparando estos valores con los tomados en Enero del 2003 y Junio del 2004.

- Realizar la caracterización de los suelos del lote 14-79 el cual va a ser renovado con el objeto de verificar el cambio de las propiedades físicas del suelo luego de realizado el subsolado y tener un patrón de comparación para futuras renovaciones de cultivos de palma en la zona.
- Se recomienda a la empresa Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. la implementación de un estudio interno que permita valorar diferentes tipos de labores tales como subsolado, subsolado mas cuesco, subsolado mas tusas en un lote tomado como testigo, evaluando periódicamente el desarrollo foliar, radicular y la producción de fruto por hectárea.
- Se recomienda la presentación de este proyecto a entidades del sector Agropecuario y otros en nuestro departamento con el fin de gestionar recursos para la investigación.

ANEXO A. NORMAS ASAE.

	pág.
<u>A.1. ASAE EP496.2 DEC99</u>	218
<u>A.2. ASAE D497.4 MAR99</u>	222
<u>A.3. ASAE S482 DEC98</u>	225
<u>A.4. ASAE S207.12 DEC98</u>	227

ANEXO B. NORMA ASTM

	pág.
<u>B. ASTM D422 - 63</u>	230

ANEXO C. GUÍA LABORATORIO DE SUELOS.

ESCUELA ING. CIVIL- UIS.

ANEXO D. ECUACIÓN DE REECE

	pág.
D. Soil & Tillage Research 50 (1999) 33-45	240

ANEXO E. DOCUMENTOS DEL PROYECTO

	pág.
E.1. Solicitud de Servicios y Asesoría Corpoica	254
E.2. Solicitud De Servicios Asesoría Sena - Santander	255
E.3. Solicitud de Servicios Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.	256
E.4. Memorando Servicios y Asesoría Sena	257
E.5. Solicitud Recursos Económicos DIF	258
E.6. Solicitud de Servicios Escuela de Ingeniería Civil.	259
E.7. Solicitud de Servicios Laboratorio de Suelos y Pavimentos, Escuela De Ingeniería Civil-UIS	260
E.8. Respuesta a Solicitud de Caracterización de Suelos por parte de CORPOICA Tibaitata	261
E.9. Solicitud Préstamo Dinamómetro CORPOICA Tibaitata.	262
E.10. Solicitud Evaluación de Suelos después del Subsulado	263
E.11. Solicitud Permiso realizar pruebas en Plantaciones Bucarelia.	264
E.12. Respuesta de Corpoica Solicitud de Servicios de Caracterización de Suelos.	265
E.13. Certificación por parte del Investigador Corpoica del aplazamiento de la prueba Resistencia a la Penetración e Infiltración.	266
E.14. Certificación por parte del Ingeniero a cargo de la prueba n Bucarelia del aplazamiento de la prueba resistencia a la Penetración e Infiltración.	267

ANEXO F. CATÁLOGOS TÉCNICOS

	pág.
F.1. CATALOGO ACERO ANTIDESGASTE DILLIDUR 400V	269
F.2. CATALOGO ELECTRODO E-7018	270
F.3. CATALOGO ELECTRODO E-6010	271

ANEXO G. FORMATOS DE PRUEBAS

ANEXO H. RESULTADOS DE PRUEBAS SUBSOLADORES EXISTENTES

ANEXO I. RESULTADOS DE PRUEBAS FINALES PROTOTIPO

ANEXO J. FOTOS PRUEBAS.

	pág.
J.1. Fotos Resistencia a la Penetración	352
J.2. Fotos Prueba Horizonte	353
J.3. Fotos Prueba Densidades	354
J.4. Fotos Prueba Infiltración	355
J.5. Prueba Toma Muestras Humedad y Textura	357
J.6. Fotos Prueba Textura, Humedad y Limites de Atterberg	358
J.7. Fotos Subsoladores existentes en la región	360
J.8. Fotos Prueba Fuerza de Corte y Velocidad de Avance	361
J.9. Fotos Prueba Perfilometría	362

ANEXO K. [PLANOS](#)

ANEXO L. CARTA AL COMITE DE TRABAJS DE GRADO

ANEXO M. [PAPER](#)

ANEXO O. FORMATO DE PRESENTACIÓN

BIBLIOGRAFÍA

ALBAREDA HERRERA, José Manuel. Edafología. España. Talleres Gráficos Montilla. 1948.

ARCHIE, Stone. Maquinaria Agrícola. Editorial Continental. México. 1976. 693p.

ASHBURNER, Jhon. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. San José de Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. 1984. 473p.

BUOL, S. W. Génesis y Clasificación de suelos. México. Editorial Trillas. 1988.

CAICEDO ORDOÑEZ, Jesús. Introducción a las Ciencias Agrícolas. Colombia. UIS - FEDI. 1985.

CALERO PEREZ, Roque. Fundamentos de Mecanismos y Maquinas. España. Mcgraw-Hill. 1999.

CASTELLANOS VILLALBA, Jaime. Suelos Agrícolas. FEDI - UIS. 1985. 232p.

COMPAÑÍA GENERAL DE ACEROS. Catalogo Aceros Antidesgaste XAR400 XAR500 y T1. Colombia. 2002.

DAVIES, Bryan. Manejo de suelo. Argentina. Editorial El Ateneo. 1987.

HAMILTON, Mable. Mecanismo y Dinámica de Maquinaria. México. Editores Noriega. 1999.

HERTZ, Edmundo, Métodos de Aradura. Manuales para la Educación Agropecuaria. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. México. 1989.

----- Preparación de Tierras Agrícolas. Manuales para la Educación Agropecuaria. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. México. 1989.

----- Arados de Discos. Manuales para la Educación Agropecuaria. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. México 1989.

----- Arados de Rejas. Manuales para la Educación Agropecuaria. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. México 1989.

----- Desmonte y Movimiento de Tierras. Manuales para la Educación Agropecuaria. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. México 1989.

----- Preparación de tierras agrícolas. Manuales para la Educación Agropecuaria. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. México 1989.

HUNT, Donnell. Maquinaria Agrícola, rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipos. 7 ed. México. Editorial Limusa. 1986. 451p.

JUVINALL, Robert. Fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica. México. Editorial Limusa. 1993.

LONNEMARK, H. El Empleo Multipredial De La Maquinaria Agrícola. Italia. FAO. 1967.

MALAGON, C. D. Propiedades físicas de los suelos. Bogota. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1978.

MARTINEZ S, Juvenal. Maquinaria Agrícola. UIS. FEDI. Colombia. 1987. 348p.

ORLOV, P. Ingeniería del Diseño. Moscú. Editorial Mir. 1979. 429p.

ORTHWEIN, William. Diseño de Componentes de Maquinas. México. Compañía Editorial internacional. 1996.

SENA. Maquinaria agrícola. Mecánico reparador de tractores. Segundo curso. 1963.

SHIGLEY, Joseph. Teoría de Maquinas y Mecanismos. México. Editorial Mcgrawhill. 1999.

SKF. Catalogo General. Italia. Stamperia Artistica Nazionale. 1989.

SOTO MOLINA, Saúl. Introducción al estudio de maquinaria agrícola. México. Editorial Trillas. 1983. 255p.

STALLINGS, J. H, El Suelo, Su Uso Y Mejoramiento. Compañía Editorial Continental. México 1972.

SUAREZ CASTRO, Fernando. Conservación de suelos. Barcelona. Salvat Editores. 1964.

TEJADA SALINAS, Fabio. Suelos. Universidad Surcolombiana. Centro de estudios a distancia. 1985.

SUELOS

Disponible en Internet: <http://www.cenipalma.org>

Disponible en Internet: <http://www.agric.gov.ab.ca>

Disponible en Internet : <http://www.ianr.unl.edu/pubs/browse.htm>

Disponible en Internet : <http://www.simba.co.uk>

SUBSOLADOR

Disponible en Internet: <http://www.ma-ag.com>

Disponible en Internet : <http://www.lopezgarrido.com>

Disponible en Internet : <http://www.terrariser.com>

Disponible en Internet : <http://www.cosmeco.it>

Disponible en Internet : <http://www.howard-int.com>

Disponible en Internet : <http://www.james-engineering.co>.