

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN DEL LABOREO EN SEGUNDA ROTACIÓN POST  
COSECHA

por

Ernesto María LOACES TRAPOTE  
Luis Alexander RIVAS RIVERO

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2018

Tesis aprobada por:

Director: -----  
Ing. Agr. MSc. Guillermo Morás

-----  
Ing. Agr. Pablo Santini

-----  
Ing. Agr. MSc. Fernando Irisity

Fecha: 24 de julio de 2018

Autores: -----  
Ernesto María Loaces Trapote

-----  
Luis Alexander Rivas Rivero

## AGRADECIMIENTOS

En estas líneas deseo expresar mi profundo agradecimiento a esta casa de estudios, a sus funcionarios especialmente a los que se desempeñan en las secciones bedelías y biblioteca, a los profesores en general por ayudarme en mi formación académica.

En particular quiero agradecer al Ing. Agr. MSc. Guillermo Morás y a la Lic. Sully Toledo por su valioso apoyo, por abrirnos las puertas y acompañarnos durante el proceso de escritura del presente trabajo.

Agradecer también, a la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias (Centro Forestal Piedras Coloradas), a los compañeros, y en especial al Ing. Agr. Eduardo van Hoff, quién me impartió los primeros conocimientos forestales y que motivaron continuar mis estudios.

A las autoridades de la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias por el respaldo brindado, a mis compañeros en general y en particular a mis amigos con quien comparto gran parte de mi vida.

Finalmente, agradecer a mi suegro, a Myriam, a mis viejos, a mi hermano por el apoyo pero principalmente a mis grandes amores por su paciencia e incondicional comprensión mis hijas Ana Inés, Ana Paula y mi gran amor Karina.

Ernesto L.

El agradecimiento está dirigido primeramente a mis padres, Marta y Fernando, por brindarme la posibilidad de realizar la carrera, por siempre estar presentes a pesar de la distancia, agradecer a mi hermano Fernando por el apoyo y ayuda en los momentos de dificultades, por compartir sus conocimientos conmigo.

También a mi novia y gran compañera Patricia por su apoyo incondicional en todos los momentos, y a su familia por siempre estar presentes.

Agradecimiento a la Facultad de Agronomía por hacer posible la realización de la carrera.

A todos los profesores del Departamento Forestal por brindarme el conocimiento y los medios de trabajo para llevar adelante el presente trabajo.

Al Ing. Agr. MSc. Guillermo Morás, el mismo tutor de la tesis, por dirigirnos en el desarrollo de la misma.

Al Ing. Agr. Pablo Santini por su confianza y disposición en la realización del trabajo, por permitir trabajar con sus máquinas.

Al Ing. Agr. MSc. Fernando Irisity por brindarnos su apoyo y disposición en el proceso.

Agradecer al Ing. Agr. Mauricio Otegui, encargado del campo Santa Fé donde se realizó la evaluación, por permitirnos la entrada y por brindarnos alojamiento y traslado dentro del mismo.

Alexander R.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	IX
.	
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1 <u>OBJETIVOS</u> .....	1
1.1.1 <u>Objetivos generales</u> .....	1
1.1.2 <u>Objetivos específicos</u> .....	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1 <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</u> .....	4
2.1.1 <u>Temperatura del aire</u> .....	4
2.1.2 <u>Humedad relativa</u> .....	5
2.1.3 <u>Precipitaciones</u> .....	6
2.1.4 <u>Presión atmosférica en superficie</u> .....	7
2.1.5 <u>Vientos en superficie</u> .....	7
2.1.6 <u>Insolación</u> .....	8
2.1.7 <u>Clasificación climática</u> .....	8
2.2 <u>DATOS METEOROLÓGICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO</u> .....	10
2.2.1 <u>Precipitación</u> .....	10
2.2.2 <u>Humedad y evaporación</u> .....	12
2.2.3 <u>Temperatura</u> .....	14
2.2.4 <u>Viento</u> .....	15
2.3. <u>VEGETACIÓN</u> .....	16
2.4. <u>GEOLOGÍA</u> .....	17
2.4.1 <u>Terreno Piedra Alta</u> .....	18
2.4.1.1 <u>Cinturón Andresito</u> .....	20
2.4.1.2 <u>Cinturón San José</u> .....	21
2.4.1.3 <u>Cinturón Pando</u> .....	22
2.4.2 <u>Fajas granitizadas</u> .....	24
2.4.2.1 <u>Faja Feliciano</u> .....	24
2.4.2.2 <u>Faja Florida</u> .....	24
2.4.2.3 <u>Faja Ecilda Paullier</u> .....	25
2.4.2.4 <u>Otras unidades estratigráficas</u> .....	26
2.4.3 <u>Cabalgaduras</u> .....	26
2.5 <u>SUELOS CONEAT</u> .....	27
2.5.1 <u>Suelos CONEAT 2.10</u> .....	28
2.5.2 <u>Suelos CONEAT 2.11b</u> .....	29
2.5.3 <u>Suelos CONEAT 2.11a</u> .....	29
2.5.4 <u>Suelos CONEAT 2.12</u> .....	30
2.5.5 <u>Suelos CONEAT 2.13</u> .....	30

2.6 LA RESISTENCIA DEL SUELO.....	31
2.6.1 <u>Comportamiento de un suelo solicitado</u> .....	31
2.6.1.1 Parámetros suelo/suelo.....	32
2.6.1.2 Resistencia a la falla.....	32
2.6.1.3 Cohesión, fricción y densidad del suelo.....	32
2.6.1.4 Parámetros suelo/interfaz.....	35
2.6.2 <u>La composición física del suelo</u> .....	37
2.6.2.1 El agua del suelo.....	37
2.6.2.2 La textura del suelo.....	37
2.6.2.3 Las propiedades dinámicas del suelo.....	38
2.6.2.4 La cohesión superficial.....	38
2.6.2.5 La cohesión molecular.....	39
2.6.2.6 Los límites Atterber de plasticidad.....	40
2.6.2.7 La fricción interna del suelo.....	40
2.6.2.8 Los parámetros suelo/interfaz.....	40
2.6.2.9 Resistencia, en la práctica, de un suelo a la cizalla.....	43
2.6.2.10 Modelo de falla de suelo con dientes Anchos.....	47
2.6.2.11 Falla de suelo con dientes angostos.....	50
2.6.3 <u>Efecto de las herramientas sobre la estructura del                 suelo</u> .....	53
2.6.4 <u>Fuerza de arrastre de las herramientas simples de                 de labranza</u> .....	55
2.7 PREPARACIÓN DEL SUELO.....	58
2.7.1 <u>Introducción</u> .....	58
2.7.2 <u>Manejo de los residuos forestales</u> .....	60
2.7.2.1 Disposición de los residuos vegetales sobre el suelo.....	60
2.7.2.2 Fragmentación de residuos.....	62
2.7.2.3 Descortezado de madera en el campo.....	62
2.7.2.4 Efecto de los residuos vegetales sobre la temperatura y humedad del suelo.....	63
2.7.2.5 Quema de residuos de cosecha.....	65
2.8 LABOREO DEL SUELO.....	65
2.8.1 <u>Cultivo mínimo</u> .....	66
2.8.2 <u>Principales implementos</u> .....	67
2.8.2.1 Efecto del implemento en el suelo.....	67
2.8.3 <u>Efecto sobre la productividad</u> .....	68
2.8.4 <u>Análisis comparativo: cultivo mínimo vs. cultivo                 intensivo</u> .....	68
2.8.4.1 Ventajas.....	69

2.8.4.2 Desventajas.....	70
2.9 IMPLEMENTOS PARA LA PREPARACIÓN DEL SUELO.....	71
2.9.1 Subsolador.....	71
2.9.2 <u>Descompactadores de brazos rectos</u> .....	73
2.9.3 <u>Rastra de discos o excéntrica</u> .....	76
2.10 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LABOREO..	83
2.11 ESTÁNDARES DE PRODUCCIÓN.....	84
2.12 ASPECTOS LIMITANTES EN LA OPERACIONALIDAD DEL DESPEJADOR.....	84
2.13 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS.....	84
2.14 CICLO DE TRABAJO.....	85
2.15 CONTROL DE TIEMPOS EN EL PROCESO DE TRABAJO.	85
2.16 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS EQUIPOS.....	86
2.17 VARIABLES QUE INFLUYEN O DETERMINAN LA PRODUCTIVIDAD.....	86
2.18 ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD.....	86
2.19 MEDICIÓN DE TRABAJO.....	87
2.19.1 <u>Uso de la medición del trabajo</u> .....	87
2.19.2 <u>Estudio de tiempos</u> .....	88
 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	 98
3.1 ÁREA EN ESTUDIO.....	98
3.1.1 <u>Ubicación</u> .....	98
3.1.2 <u>Suelos del predio</u> .....	98
3.1.3 <u>Características de la plantación anterior</u> .....	99
3.2 MATERIALES, EQUIPOS Y FUENTES DE DATOS.....	99
3.2.1 <u>Materiales y equipos</u> .....	99
3.2.2. <u>Forma de procesamiento de los datos</u> .....	101
3.2.2.1 Etapa de campo.....	101
3.2.2.2 Etapa de gabinete.....	102
3.2.2.3 Forma de análisis de la información.....	103
 4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	 104
4.1 RENDIMIENTO TRACTOR CAT D6T XL.....	104
4.1.1 <u>Análisis de la varianza</u> .....	106
4.2 CALIDAD DEL TRABAJO DE DESPEJADO.....	107
4.3 RENDIMIENTO TRACTOR FORD.....	108

4.3.1 <u>Análisis de la varianza</u> .....	110
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	112
6. <u>RESUMEN</u> .....	114
7. <u>SUMMARY</u> .....	115
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	116



## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Datos mensuales de precipitación en el departamento de Treinta y Tres.....	10
2. Cantidad de días con precipitaciones o sin precipitaciones.....	12
3. Registro mensual de humedad, evaporación y evaporación potencial .....	13
4. Propiedades asociadas de grupos de suelos de la zona en estudio.....	28
5. Especificaciones tractor CAT D6T XL.....	99
6. Especificaciones tractor Ford 8030 4X4.....	100
7. Especificaciones técnicas de la excéntrica según modelo.....	101
8. Velocidades (mín. y máx.) según orientación de la pendiente.....	104
9. Rendimientos esperables del tractor CAT D6T XL.....	105
10. Medidas de resumen CAT D6T XL.....	107
11. Velocidades (mín. y máx.) según orientación de la pendiente.....	108
12. Rendimientos esperables del tractor Ford 8030.....	109
13. Medidas de resumen tractor Ford 8030.....	111
Figura No.	
1. Temperatura media (°C) anual en Uruguay.....	5
2. Humedad relativa media (5) en Uruguay.....	6
3. Precipitación media (mm) anual en Uruguay. ....	7
4. Insolación media anual en Uruguay.....	8
5. Clasificación climática según Köpen.....	9
6. Carta geológica del Terreno Piedra Alta.....	19
7. Carta geológica del Cinturón Andresito.....	20
8. Carta geológica esquemática del Cinturón San José.....	22
9. Esquema geológico del Cinturón Pando.....	23
10. Carta de reconocimientos de suelos del Uruguay.....	27
11. Medición del esfuerzo de deslizamiento de un patín.....	36
12. Triángulo de la clasificación del suelo según el Sistema U.S.D.A.....	37
13. Modelo de falla producido por un diente recto y ancho.....	47
14. Modelo de falla de suelo producido por un diente recto.....	48
15. Modelo de falla para un diente curvo y ancho con (a) y sin (b) restregamiento. ....	49

16. Modelo de falla al frente de un diente angosto para distintos ángulos de ataque.....	50
17. Modelo del efecto de un diente angosto.....	51
18. Esquema de sobrecarga de una rueda de profundidad.....	55
19. Esquema de sobrecarga de un diente.....	56
20. Ubicación geográfica del predio en estudio.....	98

Gráfico No.

1. Datos mensuales medio de precipitación en el Departamento de Treinta y Tres.....	11
2. comparativo entre precipitaciones y evaporación potencial.....	14
3. Registros anuales de temperaturas.....	15
4. Ángulo de fricción interna de un suelo franco arenoso en función de su densidad en masa.....	33
5. Resistencia del suelo en función del contenido de humedad del suelo.....	34
6. Curva de esfuerzo de deslizamiento suelo/interfaz de acuerdo con esfuerzo normal.....	36
7. Efecto de la humedad sobre la cohesión superficial del suelo.....	38
8. Límite de contracción debido al cambio de volumen de una arcilla.....	39
9. Efecto del pulimento de la superficie de contacto sobre el ángulo de fricción suelo/metal.....	41
10. Efecto del contenido de humedad sobre el esfuerzo de deslizamiento suelo/metal.....	42
11. Resistencia a cizalla de los terrones y la masa de suelo como función de la humedad.....	43
12. Humedad óptima de laboreo y afinado del suelo.....	45
13. Efecto del ángulo de ataque ( $\alpha$ ) sobre la fuerza de arrastre ( $F_x$ ) de un diente.....	46
14. Resultados de los estudios de la profundidad de trabajo de dientes angostos.....	52
15. Relación del ángulo de ataque de un diente angosto con la fuerza de arrastre $F_x$ y la fuerza vertical $F_z$ .....	54

## 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito forestal son frecuentes los estudios de biomasa aérea en diferentes tipos de bosques, especialmente crecimiento en altura y diámetro a la altura del pecho (di). Las metodologías propuestas han sido validadas y la información es fácilmente comparable con diferentes trabajos.

Esto, no ocurre al analizar la biomasa radical o subterránea producida en distintos sistemas de preparación de suelo, debido, a la dificultad de realizar estos trabajos, y a la gran variabilidad que presentan, inclusive, en una misma especie.

Además, los resultados obtenidos son difícilmente comparables, producto de las diversas metodologías utilizadas, en las que varían principalmente el volumen de suelo analizado y los diámetros con los que se definen las categorías de raíces (gruesas, intermedias, finas).

En plantaciones forestales, los estudios del sistema radical están asociados principalmente a la respuesta que presentan las plantas a diferentes técnicas de preparación de suelo, previo a la plantación o estudios de distribución de biomasa y nutrientes, pero son limitados los trabajos que evalúan el efecto del laboreo sobre el sistema radical.

El laboreo en plantaciones comerciales del Uruguay es una práctica usual, siendo el objetivo de esta práctica doble, por una parte, reducir la competencia con especies indeseada, enterrando los restos vegetales, reduciendo así el combustible y minimizando los riesgos de incendio y, por otra parte, preparar el sitio para la implantación del cultivo.

Esta práctica se realiza mediante tractores de ruedas o de orugas dotados de equipos especiales como los ordenadores de residuos en filas (despejadores), subsoladores y excéntricas pesadas y livianas según el caso.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivos generales

Describir las tareas llevadas a cabo en la preparación del suelo en rodales ya forestados (reforestación), así como los equipos utilizados y su capacidad de trabajo (despejador y excéntrica pesada).

### 1.1.2 Objetivos específicos

Se pretende evaluar cualitativamente las tareas de despejado de ramas de la entrefila de la plantación anterior, observando la presencia o ausencia de ramas luego de realizado el trabajo.

Realizar el estudio de tiempo (aplicando el método de estudio de tiempo continuo), tanto para la tarea de despejado, como también la tarea de excéntrica (laboreo primario).

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el Uruguay, a través de la Ley No. 15.939 (1987), se promovieron plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento, en su mayoría destinadas a la producción de madera para posterior uso en la industria del papel. Fueron implantados sobre suelos de baja productividad, sustituyendo principalmente a la producción ganadera extensiva característica del país.

Según MGAP. DIEA (2010), las plantaciones forestales bajo proyecto pasaron de 38.219 hectáreas acumuladas al año 1989 (aprox. 0,2% de la superficie agrícola del país) a 812.164 ha acumuladas al año 2008 (aprox. 5,1% de la superficie agrícola del país).

Según Panario y Gutiérrez (2007), la expresión contemporánea del modelo forestal forma parte de un proceso iniciado en el año 1951 a partir de una misión conjunta de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Banco Mundial en la cual se realizaron una serie de recomendaciones sobre el desarrollo forestal del país, las cuales según los autores constituyeron la base de las leyes forestales aprobadas a posteriori (Ley No.13.723 en 1968, Ley No.15.695 en 1984 y Ley No.15.939 en 1987). Tomando como referencia esta perspectiva del proceso, se entiende que la forestación del Uruguay se puede dividir en dos etapas.

La primera etapa del desarrollo forestal, vinculada a la Ley No. 13.723 del año 1968 (la cual luego fue modificada con la Ley No. 15.695 del año 1984). Durante esta etapa se plantearon como objetivos centrales el abastecimiento de la demanda interna, principalmente de madera para su uso como combustible, la función protectora de cultivos, suelos y agua, y el uso del monte como sistema de recreación y turismo. Durante esta etapa se plantaron aproximadamente 25.000 ha.

La segunda etapa, identificada con la Ley No.15.939 del año 1987, tuvo como objetivos la promoción de las plantaciones artificiales para uso industrial (fundamentalmente para la industria de celulosa), y la protección del monte nativo. Con este objetivo la ley forestal beneficiaba a quienes realizaban plantaciones de bosques con especies exóticas instalados en suelos de prioridad forestal con: 1) la exoneración de tributos nacionales y municipales, 2) subsidio directo del Estado sobre el costo de plantación, 3) una línea de créditos blandos para las plantaciones, y 4) exoneraciones impositivas a la importación de bienes de capital e insumos.

## 2.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Uruguay es el único país sudamericano que se encuentra íntegramente en la zona templada, aunque en distintos puntos del país es posible observar diferencias en los parámetros climáticos, éstas no son de magnitud suficiente como para distinguir distintos tipos de climas. La ausencia de sistemas orográficos importantes contribuye a que las variaciones espaciales de temperatura, precipitaciones y otros parámetros resulten pequeñas. La temperatura media a nivel nacional se sitúa en el entorno de 17,5°C según MDN. DNM (s.f.).

El anticiclón semipermanente del Atlántico, influye sobre el desarrollo del clima general del Uruguay y de sus variaciones periódicas. La circulación horizontal que establece que la dirección predominante del viento sea del NE al Este, y aporta masas de aire de origen tropical. El anticiclón del Pacífico provoca los empujes de aire de origen polar (dirección predominante del SW). Estas masas de aire pueden ser de trayectoria marítima en cuyo caso transportan abundante humedad en sus capas más bajas, o de trayectoria continental las cuales tienen un contenido hídrico menor. La interacción de ambas, unida muchas veces a la presencia de la baja presión situada en el NW argentino provee el mecanismo básico para la producción de lluvias sobre el país.

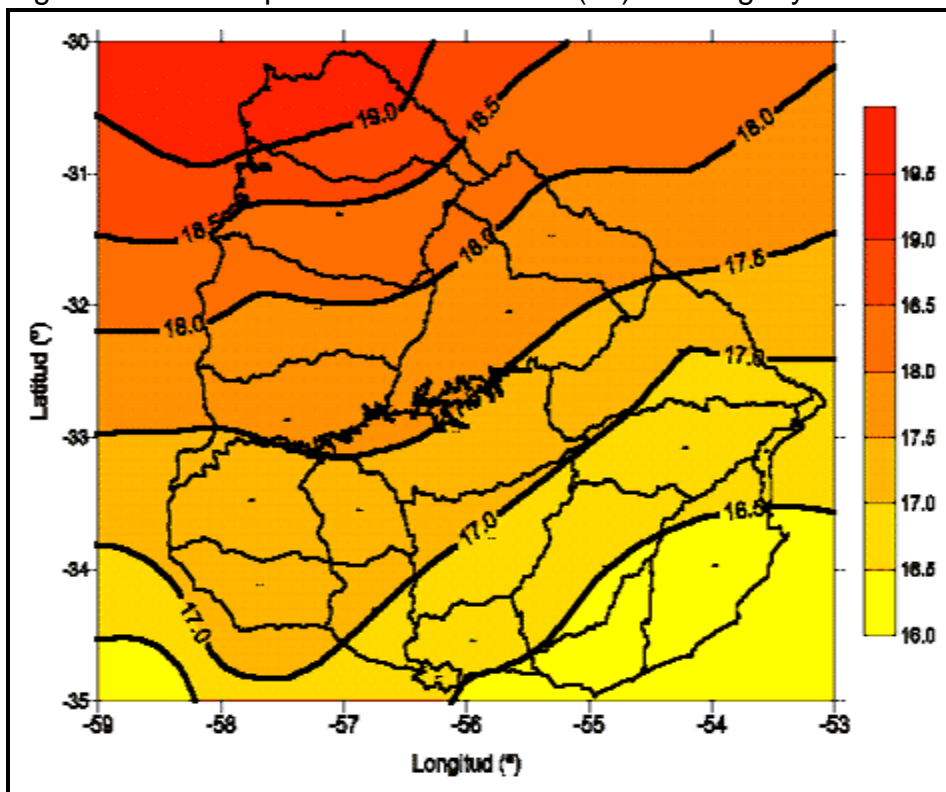
Las masas de aire tropical se originan sobre el territorio brasileño o paraguayo y se traslada bajo la influencia del anticiclón semipermanente del Atlántico. Llegan al país cargadas de humedad y con alta temperatura. Este aire presenta una o más inversiones térmicas en altura (inversión térmica; capa donde la temperatura crece con la altitud, en sentido contrario de lo habitual). Su contenido de humedad puede llegar a 20 gramos de vapor de agua por kilogramo de aire en los niveles inferiores, lo que es bastante considerable en latitudes medias y subtropicales.

### 2.1.1 Temperatura del aire

La temperatura del aire se mide a 1.5 metros (m) sobre el nivel del suelo, al abrigo de la radiación y sobre una superficie de césped corto. Las temperaturas medias son obtenidas a través del promedio de las 24 observaciones horarias. Se observa un decrecimiento de las isotermas (líneas de igual temperatura) de NW a SE (figura No. 1). De los registros históricos recabados por la DNM, las temperaturas medias para todo el Uruguay son de 17.5°C, con una isoterma máxima de 19.0°C sobre Artigas y una mínima de 16.0°C sobre la costa atlántica de Rocha. El comportamiento del campo térmico está influenciado al NW del país por la continentalidad típica del centro del

continente, y por el efecto moderador principalmente en las costas de Rocha y Maldonado. Las amplitudes térmicas son mayores cuanto más lejos de la costa se está.

Figura No. 1. Temperatura media anual (°C) en Uruguay.

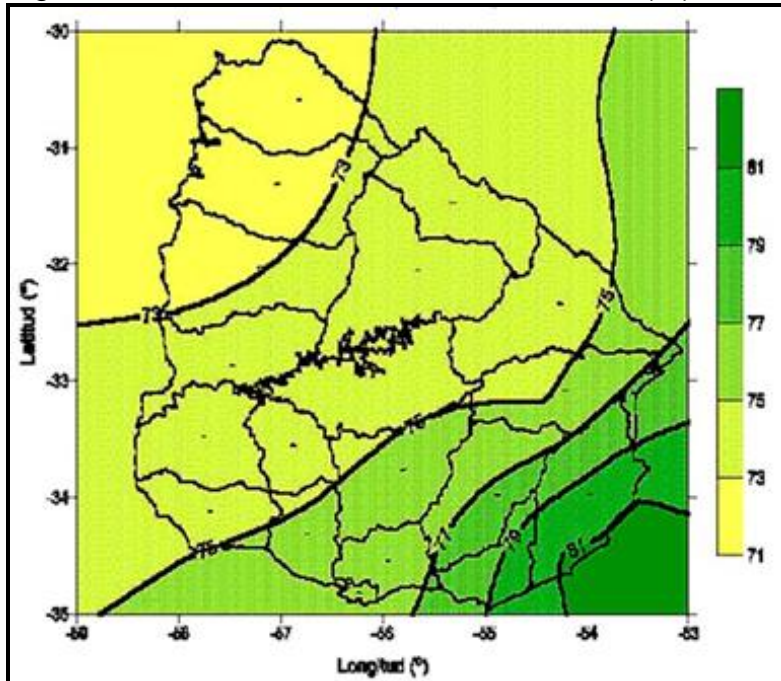


Fuente: tomado de MDN. DNM (s.f.).

### 2.1.2 Humedad relativa

La humedad relativa del aire se mide, al igual que la temperatura del aire, a 1.5m sobre el nivel del suelo, al abrigo de la radiación y sobre una superficie de césped corto. La humedad relativa indica el contenido actual de vapor de agua en la atmósfera en función de la temperatura considerando la atmósfera saturada. La humedad relativa media diaria es obtenida a través del promedio de las 24 observaciones horarias. Se observa un crecimiento de las líneas de igual humedad relativa de NW a SE. La humedad relativa media para todo el Uruguay es 75%, con una isólinea máxima de 81% en Rocha y una mínima de 72% en Salto y oeste del departamento de Artigas (figura No. 2).

Figura No. 2. Humedad relativa media anual (%) en Uruguay.



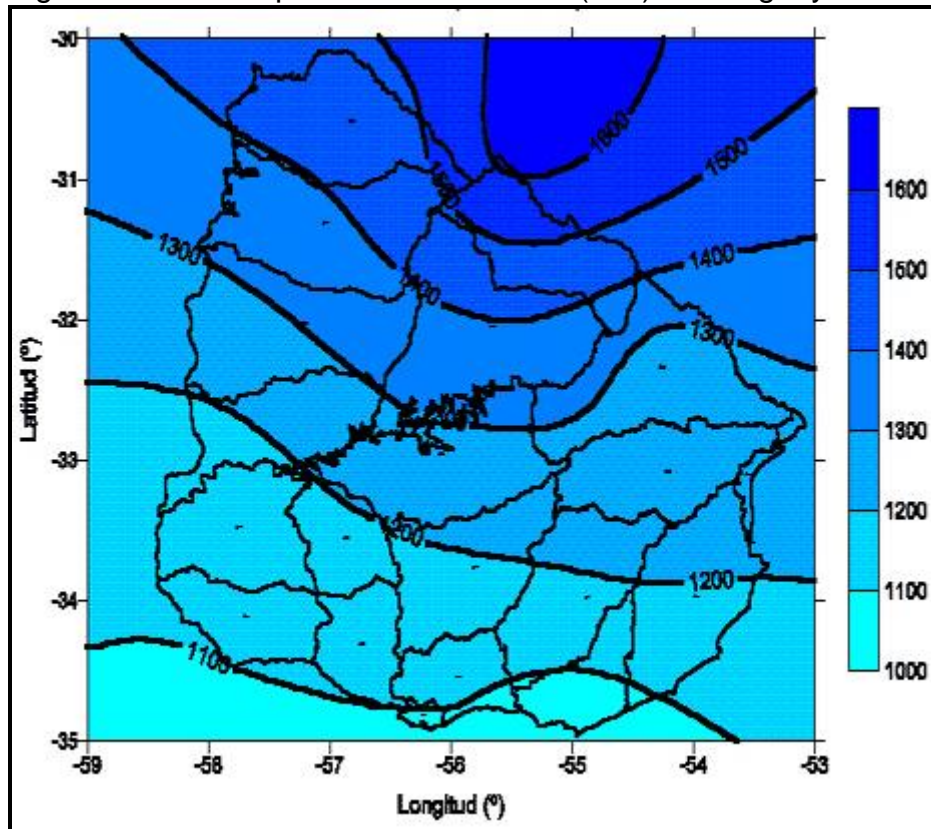
Fuente: tomado de MDN. DNM (s.f.).

### 2.1.3 Precipitaciones

La precipitación se mide a 1.5m sobre el nivel del suelo con un pluviómetro. Las precipitaciones son generalmente líquidas y excepcionalmente sólidas (granizo o nieve). Las precipitaciones son medidas en 300 estaciones pluviométricas de la Red Pluviométrica Nacional y son acumuladas en forma diaria. Se observa un decrecimiento de las isoyetas (líneas de igual precipitación) de NE a SW. Las precipitaciones acumuladas anuales medias para todo el Uruguay son del orden de los 1300 mm, con una isoyeta máxima de 1600mm en Rivera y una mínima de 1100mm en la costa del Río de la Plata (figura No. 3). El comportamiento del campo de precipitación está influenciado por una zona de máximas precipitaciones a NE del país, en la región de Foz de Iguazú y al Oeste por el decrecimiento de las mismas hacia la Pampa seca. Uruguay tiene un clima lluvioso, sin estación seca, pero con alta variabilidad interanual.



Figura No. 3. Precipitación media anual (mm) en Uruguay.



Fuente: tomado de MDN. DNM (s.f.).

#### 2.1.4 Presión atmosférica en superficie

La presión atmosférica se mide en hectopascales (hPa), con barómetros mercuriales, al abrigo de la radiación, y su valor se reduce por medio de fórmulas al nivel medio del mar. La presión atmosférica tiene una suave variación a lo largo del país, con valores promedio de 1016,5 hPa en Treinta y Tres y Cerro Largo y 1014,5 hPa en el litoral oeste. La situación media muestra un predominio del borde occidental del Anticiclón semipermanente del Atlántico Sur sobre el país.

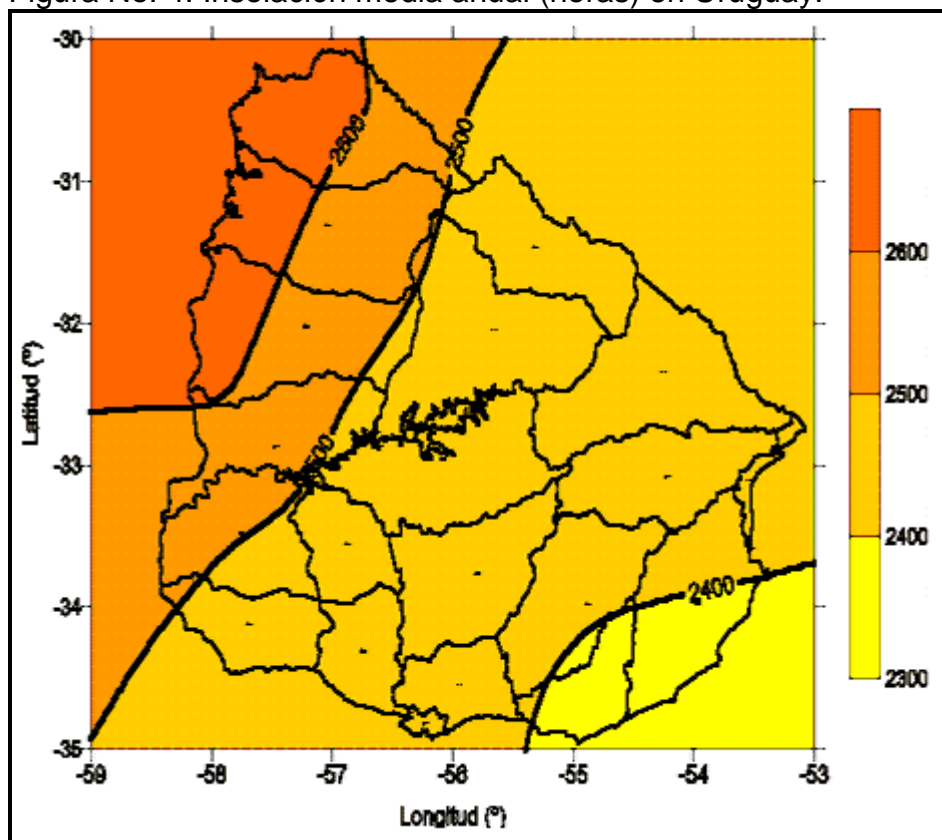
#### 2.1.5 Vientos en superficie

El régimen de vientos muestra un marcado predominio del sector NE al E, con velocidades del orden de 4 m/s. Son relativamente frecuentes los vientos superiores a 30 m/s.

### 2.1.6 Insolación

La insolación u horas de sol efectivas se mide a 1.5m sobre el nivel del suelo con heliógrafo y sobre una superficie de césped corto. La insolación acumulada mensual es obtenida a través del acumulado de totales diarios. Las líneas de igual insolación crecen de SE a NW. La insolación acumulada media para todo el Uruguay es 2500 horas, con un máximo de 2600 horas en Salto y un mínimo de 2300 horas en la costa oceánica (figura No. 4).

Figura No. 4. Insolación media anual (horas) en Uruguay.



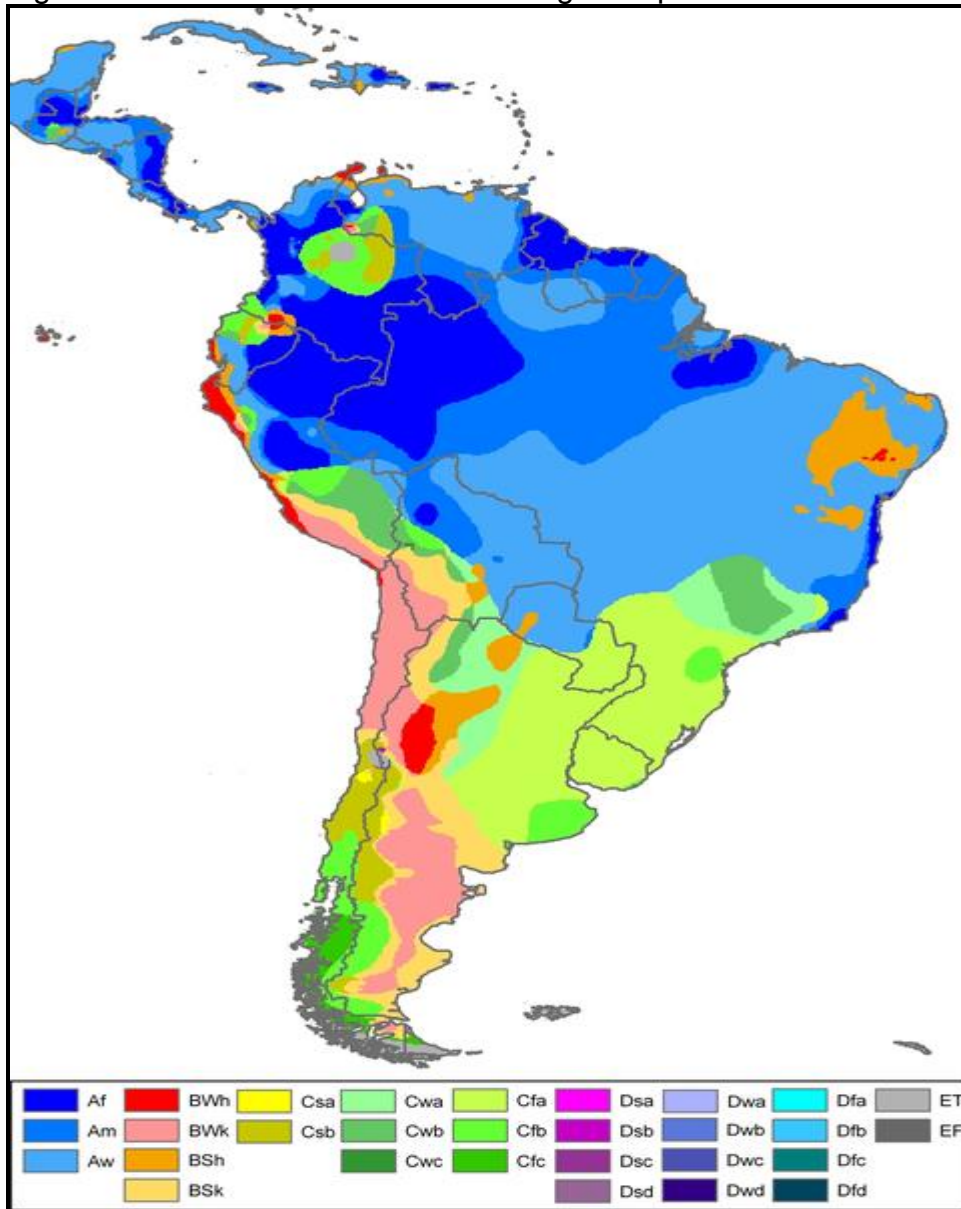
Fuente: tomado de MDN. DNM (s.f.).

### 2.1.7 Clasificación climática

Aunque entre los distintos puntos del país es posible observar diferencias entre las variables climáticas, estas son de magnitud suficiente como para distinguir diferentes tipos de clima. De acuerdo con la clasificación climática de Köpen, Uruguay está comprendido dentro de las siguientes características:

- Templado y húmedo; tipo “C”
  - Precipitaciones todo el año, tipo “f”
  - Temperatura del mes más cálido superior a 22°C; tipo “a”
- Por lo tanto, a Uruguay le corresponde la clasificación climática Köpen “Cfa” (figura No. 5).

Figura No. 5. Clasificación climática según Köpen.



Fuente: tomado de Uruguay Educa (2018).

## 2.2 DATOS METEOROLÓGICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

Se cuenta con registros de las estaciones meteorológicas ubicadas en las ciudades de Treinta y Tres y Paso de los Toros dependientes de organismos nacionales (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria y DNM).

Las estaciones meteorológicas elegidas para la zona de estudio pertenecen al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y a la DNM, estas ubicadas en Treinta y Tres (33° 14' S, 54° 23.3'W; 40m). Se consideraron los siguientes parámetros: humedad relativa media diaria, precipitación diaria, evaporación diaria del “tanque A”, velocidad de viento, horas de insolación directa y la evapotranspiración potencial diaria que calcula el INIA por el método de Penman – Monteith, el período muestral fue del 1º de enero de 1973 al 31 de diciembre de 2008 (36 años).

### 2.2.1 Precipitación

Las precipitaciones se distribuyen a lo largo del año según se observa en el cuadro No. 1 con valores medios (en milímetros) que muestran relativa estabilidad pero marcado por una alta desviación estándar que muestra la alta variabilidad zonal de las precipitaciones. Esta distribución es observable en el territorio nacional en diferentes estaciones meteorológicas.

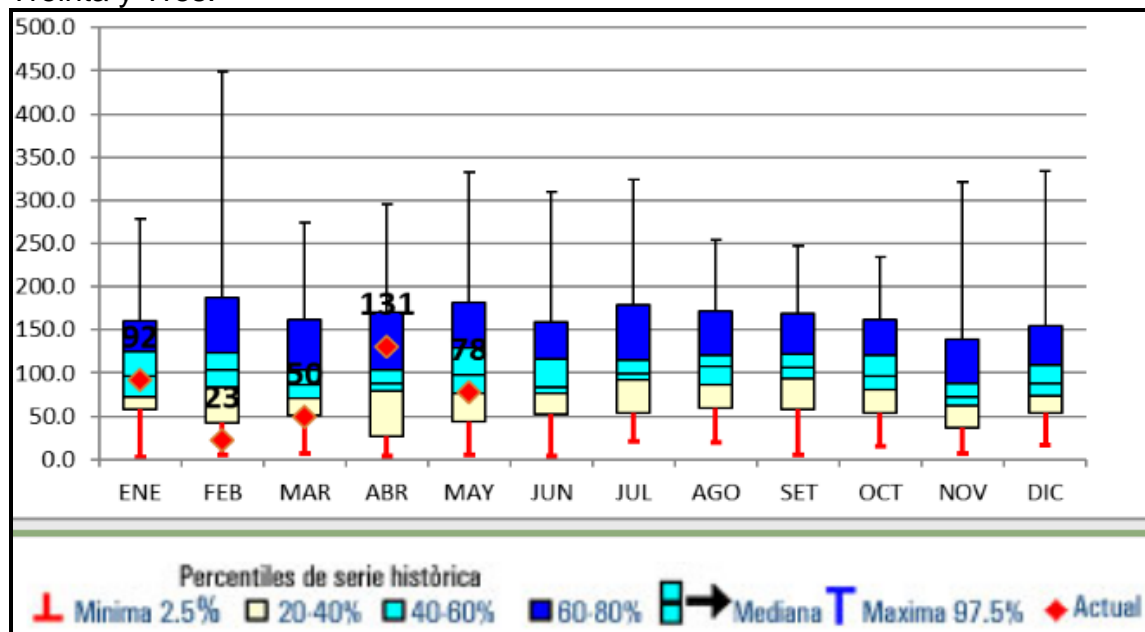
En el gráfico No. 1 se muestra una distribución mediana con máximos invernales (en este caso mayo-junio) y mínimos al comienzo y en medio del verano (noviembre-diciembre-enero), característicos de la región Cuenca de la Laguna Merín y Costa Atlántica (en esta última, el mínimo es más pronunciado). Los extremos acumulados mensuales en estos 36 años de algún modo ilustran la enorme variabilidad del elemento lluvia en la región.

Cuadro No. 1. Datos mensuales de precipitación en el departamento de Treinta y Tres.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mediana	90,6	114,7	92,2	92,3	127,9	111,3	98,9	100,1	101,0	97,8	76,7	80,9
Media	115,7	149,7	106,7	111,3	128	120,4	122,9	104,5	110,7	98,68	96,45	110,8
Desv. estándar	82,46	113,8	74,57	82,97	88,95	78,5	91,23	58,05	61,89	55,01	65,34	94,25
Coef. De variación	0,713	0,76	0,699	0,745	0,695	0,652	0,742	0,555	0,559	0,557	0,677	0,850

Fuente: tomado de INIA (2018).

Gráfico No. 1. Datos mensuales medio de precipitación en el departamento de Treinta y Tres.



Fuente: tomado de INIA (2018).

Se pueden apreciar los altos valores de variabilidad relativa, propios de la precipitación en todo Uruguay. En este caso, los menores valores de variabilidad ocurren en agosto-setiembre-octubre (fines de invierno, comienzo y centro de la primavera) y el máximo en febrero.

Asociada a los registros pluviométricos se brinda la cantidad de días con precipitaciones que complementa la información. Esta información se presenta en el cuadro No. 2 en función de los valores extremos y medios de las variables días “secos” (sin precipitación) y días “húmedos” (con precipitación medible, en general >0,1mm).

Cuadro No. 2. Cantidad de días con precipitaciones o sin precipitaciones.

Meses	Días secos			Días húmedos		
	media	max	min	media	max	min
Enero	22,6	28	17	8,4	14	3
Febrero	18,4	27	8	9,9	20	1
Marzo	21,5	27	12	9,5	19	4
Abril	20,9	27	13	9,1	17	3
Mayo	21,7	31	13	9,3	18	0
Junio	19,4	28	12	10,6	18	2
Julio	21,1	27	10	9,9	21	4
Agosto	21,5	28	13	9,5	18	3
Septiembre	20,2	26	13	9,8	17	4
Octubre	20,8	27	12	10,3	19	4
Noviembre	22,0	28	15	8	15	2
Diciembre	22,5	28	14	8,5	17	3

Fuente: tomado de INIA (2018).

### 2.2.2. Humedad y evaporación

Tanto la humedad relativa, como la evaporación del Tanque “A” y la estimación de la evapotranspiración potencial (Penman-Monteith), tienen baja variabilidad interanual en casi todos los meses, pero en contrapartida se registran considerables variaciones de la humedad a lo largo del día. Las estadísticas generales se presentan en los registros mensuales de la humedad relativa, evaporación y evapotranspiración potencial se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 3. Registro mensual de humedad, evaporación y evaporación potencial.

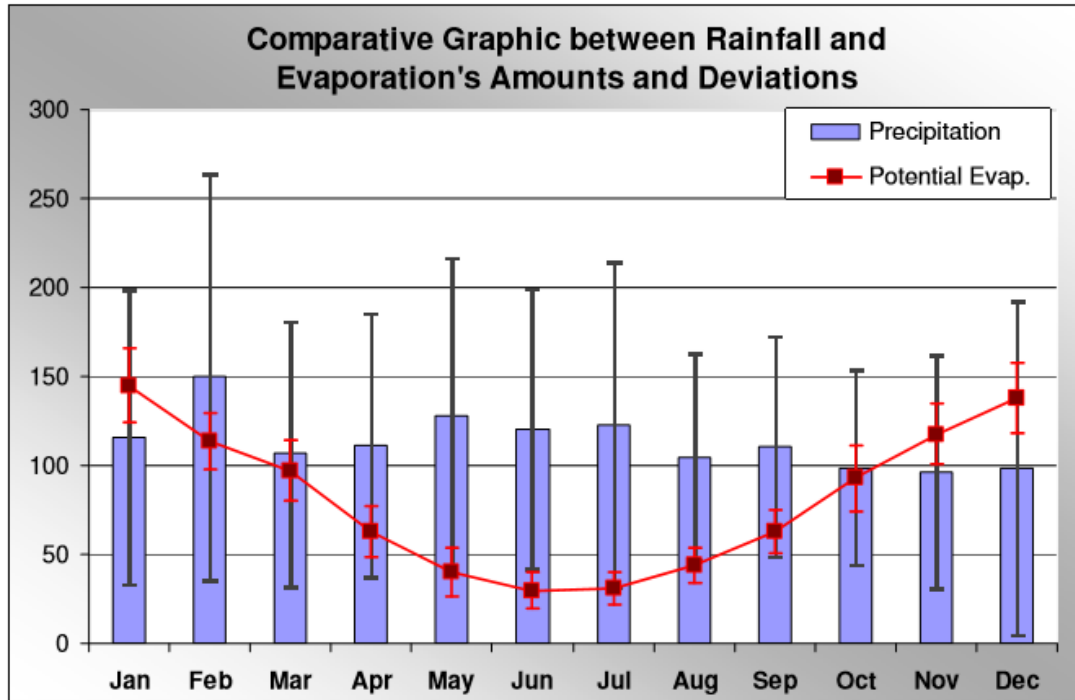
Meses	Humedad Relativa (%)			Evaporación (mm)			Evaporación Potencial(mm)		
	media	Desviación std	Coef. De var.	Media	Desviación std	Coef. De var.	media	Desviación std	Coef. De var.
Enero	77	3,58	0,047	215,1	31,9	0,148	145,0	20,6	0,140
Febrero	80	3,41	0,043	155,5	33,3	0,214	113,5	15,8	0,139
Marzo	81	3,40	0,042	136,2	23,5	0,173	97,3	16,9	0,173
Abril	83	3,34	0,040	90,4	13,5	0,150	62,9	14,5	0,230
Mayo	85	2,66	0,031	60,6	9,978	0,165	40,2	13,5	0,335
Junio	85,4	3,27	0,038	45,3	7,095	0,157	29,7	10,38	0,349
Julio	85	2,84	0,033	51,5	8,13	0,158	30,9	9,09	0,294
Agosto	83	2,99	0,036	68,5	10,5	0,153	43,9	9,74	0,222
Setiembre	82,1	2,79	0,034	93,6	11,7	0,125	62,7	12,0	0,191
Octubre	80,4	3,60	0,045	136,0	19,7	0,145	92,9	18,3	0,181
Noviembre	77,8	2,94	0,038	175,4	25,3	0,144	117,7	16,88	0,143
Diciembre	76,4	3,30	0,043	212,5	29,3	0,138	137,8	19,5	0,142

Fuente: tomado de INIA (2018).

Se observa de los resultados que los meses que poseen mayor variación en la evapotranspiración potencial (mayo y junio), su coeficiente de variación es la mitad del de la precipitación, coincidiendo con los meses menos variables de esta última.

Es de destacar la onda anual de enorme amplitud de la evaporación, siendo el determinante de la existencia de un período crítico de deficiencias de agua superficial y edáfica en verano, tal como se puede inferir del gráfico siguiente (gráfico No. 2).

Gráfico No. 2. Comparativo entre precipitaciones y evaporación potencial.



Fuente: tomado de INIA (2018).

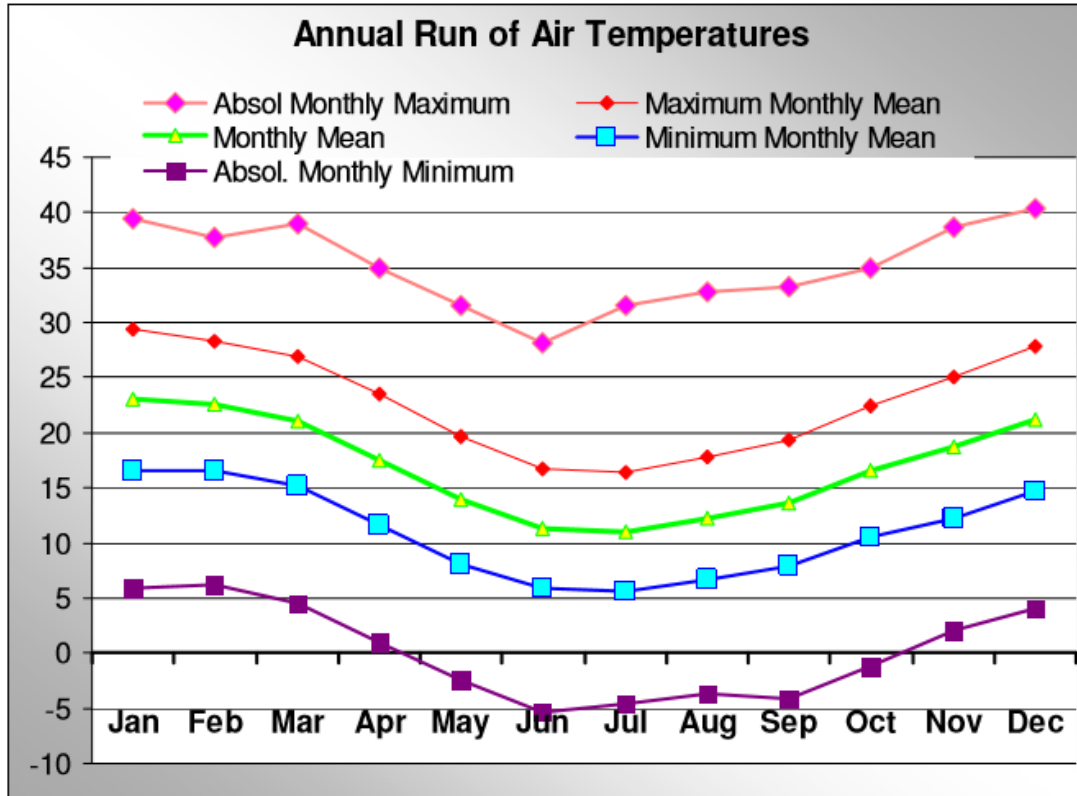
### 2.2.3. Temperatura

Los valores de registro señalan la existencia de rangos importantes dentro de cada mes, debido fundamentalmente a la amplitud térmica diaria durante buena parte del año (especialmente los días con poca nubosidad) y también a las características advectivas del clima regional como clima de transición, donde el ingreso de masas de aire de distinto origen van marcando las pautas de temperatura y humedad.

El gráfico siguiente muestra la variación anual de los valores medios y extremos a paso mensual.



Gráfico No. 3. Registros anuales de temperaturas.



Fuente: tomado de INIA (2018).

Puede apreciarse el período de posible ocurrencia de heladas desde abril a octubre, mientras que el período complementario se caracteriza por la ocurrencia de temperaturas máximas por encima de los 30°C, amplitudes diarias de más de 20°C suelen ocurrir especialmente en primavera.

#### 2.2.4. Viento

Se consideró únicamente la estación meteorológica de la DNM ubicada en Paso de los Toros dada la cercanía y por disponer datos históricos por un largo período de tiempo. Esta estación se ubica en 32° 48'S – 56° 31'W. Presenta una exposición tipo rural para vientos entre el Norte y el SE y de tipo suburbano para el resto de las direcciones de viento.

### 2.3. VEGETACIÓN

El territorio uruguayo pertenece a la denominada Provincia (biogeográfica) Pampeana, caracterizada por ausencia de árboles y predominancia de gramíneas de los géneros *Stipa*, *Peptochaetium*, *Aristida*, *Melica*, *Briza*, *Bromus*, entre otras. No obstante, más allá del predominio de las formaciones herbáceas, el territorio uruguayo no es homogéneo en su fisonomía (vegetación), como tampoco en su composición florística.

Es notoria la presencia en casi todo el territorio de elementos arbóreos y arbustivos “que, en muchos casos, logran conformar densas comunidades (bosques) a lo largo de los márgenes de cursos de agua, en serranías o aún en planicies, y que no deberían considerarse como marginales o restringidas a determinadas condiciones edáficas, habida cuenta de la agresividad y capacidad de regeneración que demuestran en determinadas condiciones” (Grela, 2004).

Soriano (1992), en una descripción detallada de los pastizales del Río de la Plata, diferencia claramente las subregiones de “las pampas” y de “los campos”, siendo uno de los criterios principales para ello la abundancia de los elementos arbóreos y arbustivos en estos últimos.

Evidentemente las especies arbóreas y arbustivas, que conforman alrededor del 10% de la flora uruguaya, no provienen de “las pampas”. Según Grela (2004), en base a la distribución geográfica de un número importante de especies arbóreas presentes en Uruguay, puede establecerse que una parte del territorio uruguayo debe incluirse en la provincia fitogeográfica Paranaense y otra región debe considerarse transicional entre las provincias Paranaense y Chaqueña (tal como se entiende actualmente a la región oriental del Chaco geográfico), constituyendo el límite Sur-oriental de esa transición.

Finalmente, otro grupo de especies permitirían suponer vínculos florísticos con la Región del Cerrado del centro de Brasil. “Teniendo en cuenta los rangos de estas especies, no sólo en el territorio uruguayo, sino en su totalidad, y los vínculos florísticos existentes con otras regiones del continente, resulta evidente que la flora arbórea uruguaya es principalmente integrante del Dominio de los Bosques Tropicales Estacionales (o Amazónico siguiendo el criterio de Cabrera y Willink), y particularmente en la Provincia Paranaense” (Grela, 2004).

La ausencia de barreras importantes (a excepción del Río de la Plata y tal vez la Laguna Merín), estaría jugando un rol importante en la definición de los límites fitogeográficos, determinando un cambio gradual en la composición

florística de toda la región, por lo cual es razonable concebir a la misma como una gran zona de transición.

La notoria continuidad geológica entre el sur de Brasil y Uruguay se manifiesta en las características geomorfológicas, fisiográficas y edáficas del territorio, y posibilita una conexión entre los diferentes tipos de flora del sur de Brasil con la flora uruguaya. Por ejemplo, el conjunto de “quebradas” del borde de la cuesta basáltica, en el extremo NW de los departamentos de Tacuarembó y Rivera, es el final de todo un vasto y complicado sistema producido a partir del contacto entre areniscas triásicas y jurásicas con el basalto cretácico, que comienza en el norte del estado de Sao Paulo, extendiéndose primero en sentido N-S hasta Torres (en el límite entre los estados de Santa Catarina y Río Grande de Sul), y luego hacia el oeste, formando un arco que finaliza en Uruguay en las zonas mencionadas (Grela, 2004). En estas quebradas se desarrollan bosques con características subtropicales Paranaenses.

Los aportes florísticos de regiones norteafricanas ocurren en forma muy dinámica por los Ríos Paraná y Uruguay, cuya influencia alcanza el Río de la Plata (antiguamente las selvas en galería cubrían ambos márgenes en el Plata). El Río Uruguay constituye una importantísima vía de conexión entre el corazón de los bosques subtropicales Paranaenses y el oeste del territorio uruguayo. De igual forma se producen aportes por la cuenca de la Laguna Merín (habiéndose reportado la presencia de componentes bióticos de la llamada “Mata Atlántica” en zonas de influencia de los ríos Yaguarón, Cebollatí y Tacuarí), y a través del escudo cristalino que ingresa hasta el sur de Maldonado (Arballo y Cravino 1999, Escudero 2004).

## 2.4. GEOLOGÍA

El antecedente global más reciente de alcance público es la Carta geológica del Uruguay a escala 1/500.000 (Bossi y Ferrando, 2001).

Según Schipilov<sup>1</sup>, el basamento cristalino uruguayo está dividido en tres grandes terrenos: Terreno Piedra Alta (TPA), Terreno Nico Pérez y Terreno Cuchilla de Dionisio, A su vez, dentro del Terreno Piedra Alta se reconocen por lo menos tres cinturas orogénicas compuestas cada una por supracrustales metamórficas y complejos intrusivos tipo TTG (Trondhjemitita Tonalita Granodiorita) de Norte a Sur se denominan Andresito, San José y Pando.

---

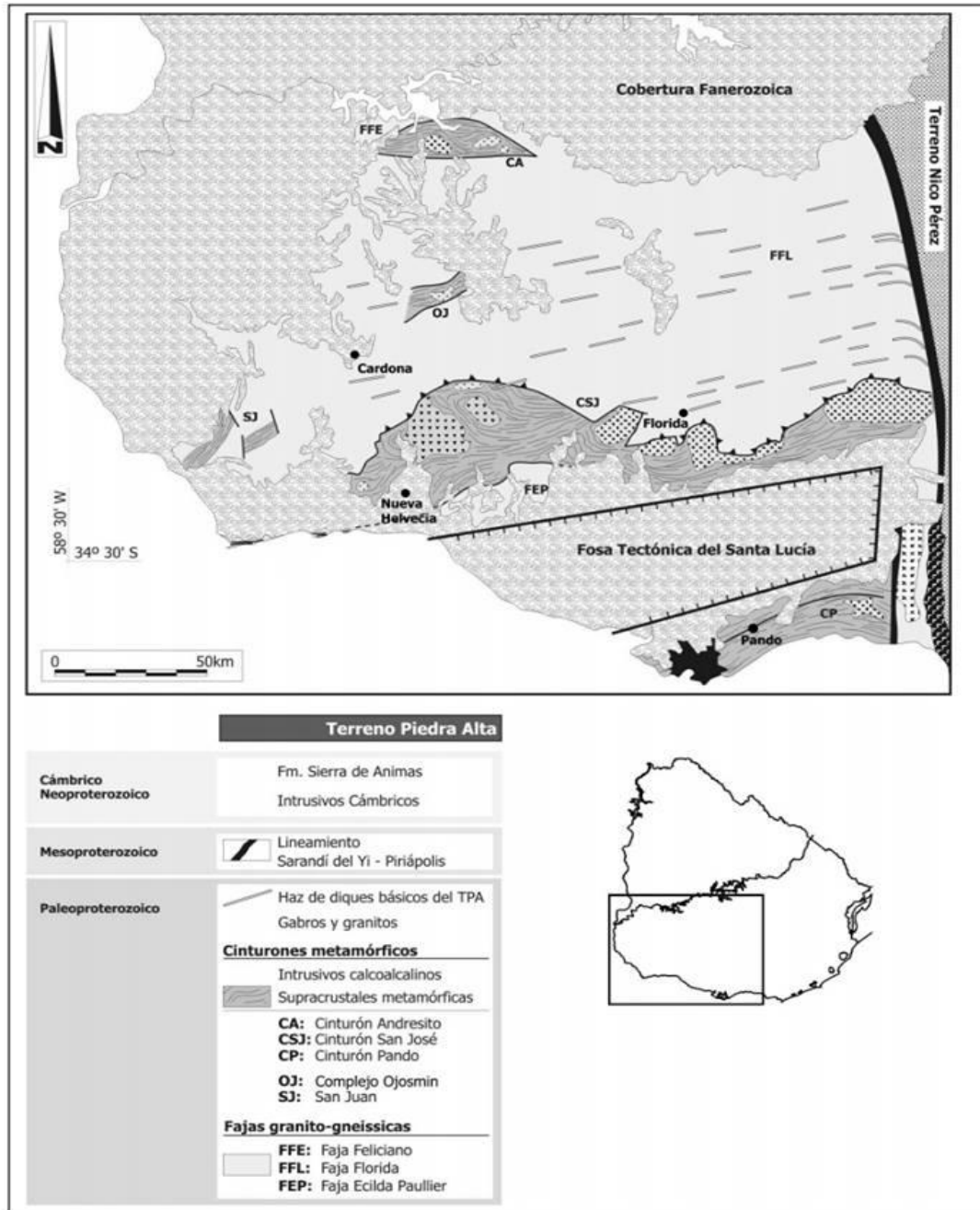
<sup>1</sup> Schipilov, A. 2010. Informe final. Geología y geomorfología. 101 p. (sin publicar).

El límite entre los dos primeros lo constituye una importante transcurrencia de cinemática dextral, llamada Lineamiento Sarandi del Yi – Piriápolis (LSYP), de expresión regional y que había operado hace 1200Ma según Campal et al. (1995). La segunda zona de cizallasinestral y de rumbo N-NE denominada Zona de Cizalla de Sierra Ballena separa los Terrenos Nico Pérez y Cuchilla de Dionisio y reactiva el LSYP en movimiento sinestral.

#### 2.4.1 Terreno Piedra Alta

El Terreno Piedra Alta (Craton del Río de la Plata, ss.) se encuentra integrado por un complejo gnéisico-migmatítico central, compuesto esencialmente por granitoidesporfiríticos foliados intercalados con diferentes tipos de migmatitas y rocas máficaspaleoproterozoicas, al menos en la porción sur, donde se intercalan cuatro Cinturones metamórficos de diferente grado y extensión (Montevideo, San José, Cerros de San Juan y Arroyo Grande). Granitos, granodioritas, y cuerpos máficos, de distinta composición, edad y ambiente de emplazamiento se encuentran intruyendo al conjunto del terreno (Preciozzi et al., 1999).

Figura No. 6. Carta geológica del Terreno Piedra Alta.

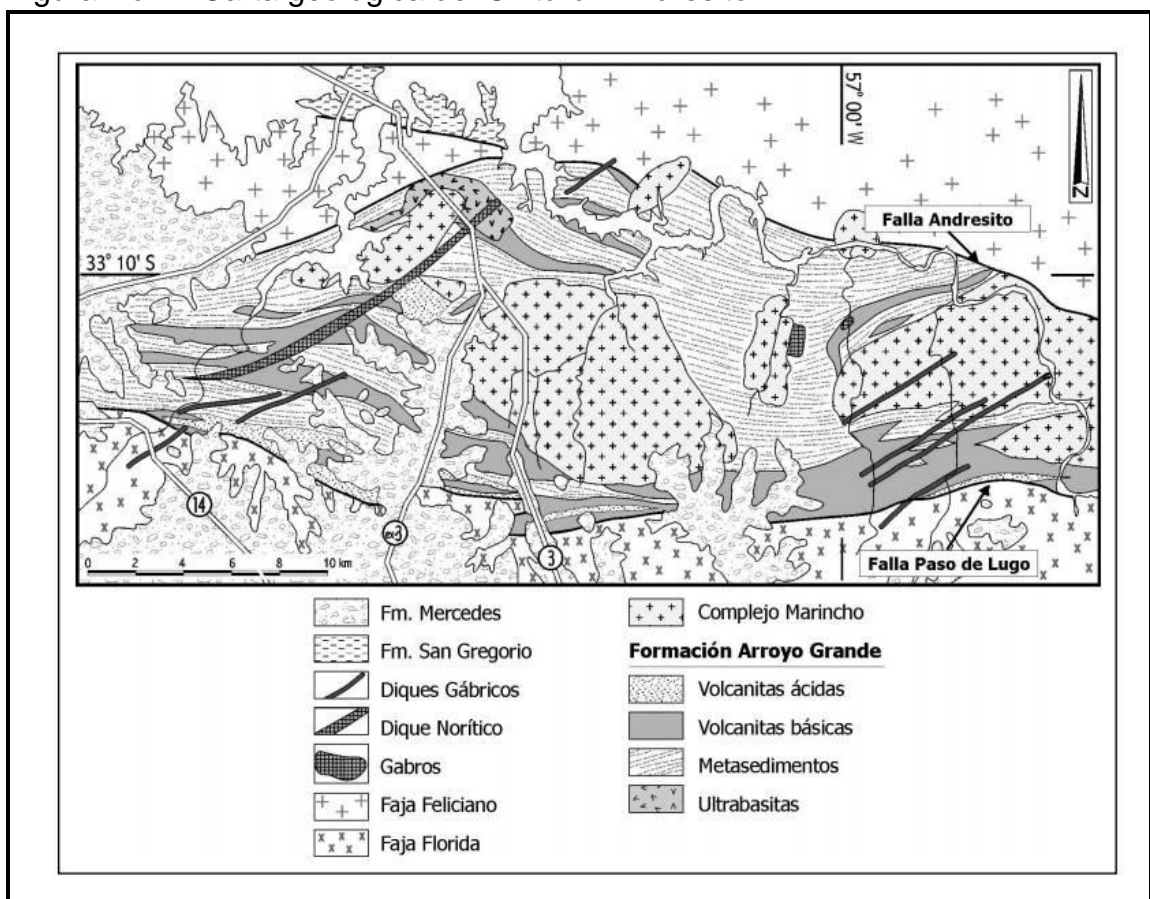


Fuente: Maldonado et al. (2003).

### 2.4.1.1 Cinturón Andresito

Este Cinturón se desarrolla como una faja de forma ovoide al NW del TPA, con rumbo general EW y limitado hacia el sur y norte por las fallas Paso de Lugo y Andresito, respectivamente. Esta unidad es redefinida por Ferrando (1996) y comprende la unidad metamórfica denominada Formación Arroyo Grande e intrusiones asociadas de Ferrando y Fernández (1971), Fernández y Preciozzi (1974).

Figura No. 7. Carta geológica del Cinturón Andresito.



Fuente: Maldonado et al. (2003).

En dicho Cinturón se encuentra la Formación Arroyo Grande, esta unidad volcano-sedimentaria está compuesta por una secuencia volcánica donde se identificaron desde rocas básicas (serpentinitas talcosas), hasta

litológicas ácidas (riolitas), con predominio de metabasaltos y andesitas; y en la secuencia sedimentaria desde facies confluenteras hasta términos pelíticos.

#### 2.4.1.2 Cinturón San José

Se define como una asociación volcánico sedimentaria metamorfizada en facies esquistos verdes, denominada Formación Paso Severino (Bossi, 1966) y por un complejo plutónico calco-alcálico, geométrica y genéticamente vinculado, llamado Suite Isla Mala (Bossi y Ferrando, 2001).

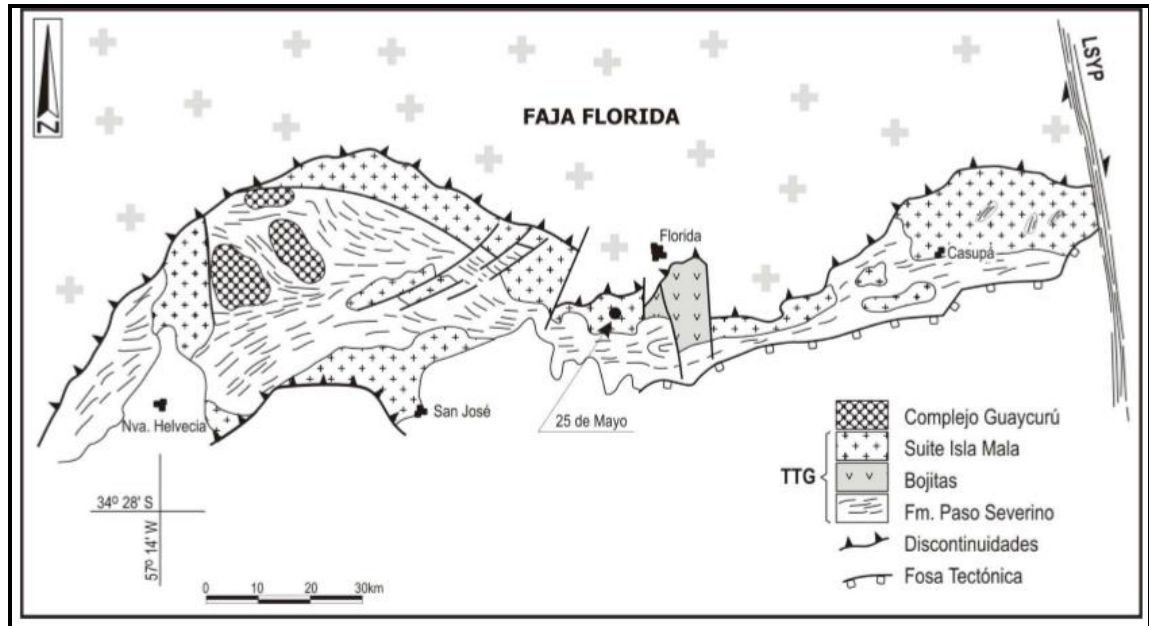
Se encuentra limitado al Norte y al Sur por bordes tectónicos con discontinuidades subhorizontales inyectadas por pegmatitas y granitos peraluminosos con muscovita y granate (Bossi y Piñeyro, 1998).

En la Suite Isla Mala (TTG post-tectónico) se han identificado gabros horbléndicos coetáneos (Schipilov et al., 1998) y un complejo gabro-granito atectónico emplazado posteriormente a profundidades menores denominado Complejo Guaycurú (Bossi et al., 1996).

La Formación Paso Severino se desarrolla como una faja de rumbo general E-W de 150 km de longitud y 10 a 15 km de ancho desde la ciudad de Nueva Helvecia en el Oeste hasta pocos kilómetros al SE de Casupá, en el Este.

El límite Sur de esta unidad lo constituye el labio austral de la fosa tectónica de Santa Lucía; mientras que al Norte y al Oeste de la ciudad de San José el límite toma forma de planos de discontinuidad subhorizontal convergencia al S en el que se han inyectado pegmatitas y granitos de muscovita, granate y turmalina de formas tabulares y bajos buzamientos (Bossi et al., 1996).

Figura No. 8. Carta geológica esquemática del Cinturón San José.



Fuente: Maldonado et al. (2003).

En el Cinturón San José las rocas plutónicas ocupan una extensa área superando la de los metamorfitos. Este magmatismo integra la Suite Intrusiva de Isla Mala que posee afinidades principalmente granodioríticas y tonalíticas con típicas estructuras de mezcla de magmas, así como menores proporciones de granitos y gabros horbléndicos.

Las rocas que la integran son granodioritas con biotita y hornblenda, de grano medio a grueso, con ocurrencias de dioritas y granitos. Son rocas calco-alcalinas en función de parámetros geoquímicos y no poseen deformación tectónica plástica. El ambiente geotectónico de Formación y emplazamiento sería post-orogénico (Preciozzi y Bourne, 1992).

#### 2.4.1.3 Cinturón Pando

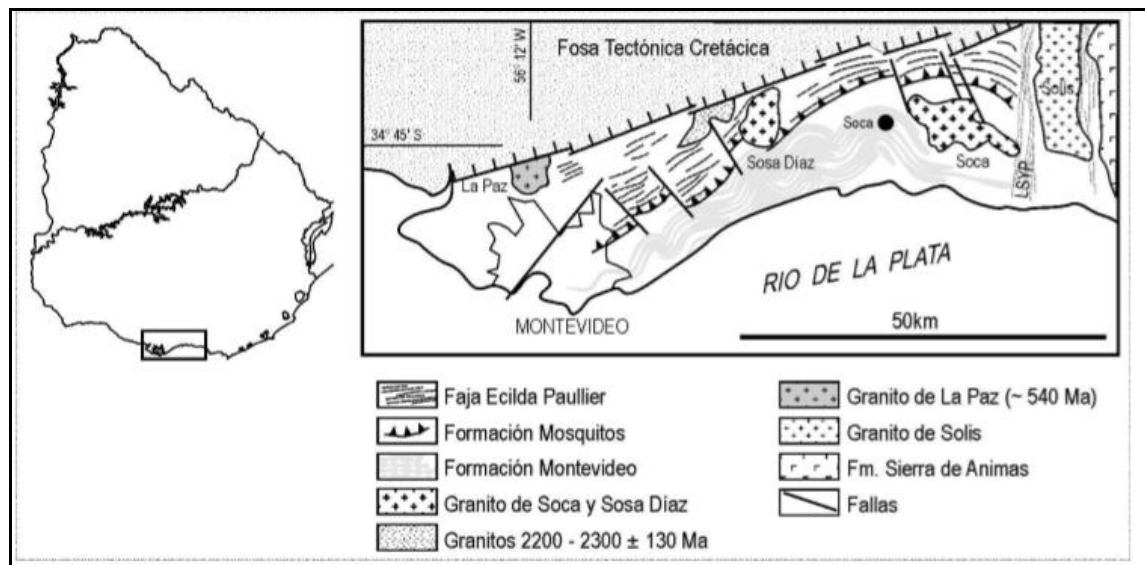
El Cinturón Pando con desarrollo regional E-NE incluye la Formación Montevideo, secuencia volcano-sedimentaria con metamorfismo de grado medio, con abundantes inyecciones de cuerpos graníticos, pegmatitas, aplitas y lamprófidos (figura No. 9). Está limitada al Norte, por la Formación Mosquitos y



en su extremo oriental es intruido por el mayor complejo plutónico del Cinturón, denominado granito de Soca, y por el granito de Sosa Díaz (Bossi et al., 1996).

La Formación Mosquitos es una asociación de milonitas, granitos y pegmatitas con llamativa abundancia de muscovita y granate, las cuales definen una faja N60E reconocida desde la margen oriental del arroyo Toledo hasta los cerros Mosquitos (Campal y Chulepin, 1990). La discordancia de esta unidad respecto al Cinturón Pando y al área granito-gneissica Ecilda Paullier es estructural.

Figura No. 9. Esquema geológico del Cinturón Pando.



Fuente: Maldonado et al. (2003).

La Formación Montevideo es definida por una asociación de gneissesoligoclásicos a dos micas, orto y para anfíbolitas, micaesquistos y paragneissesgrafíticos. Los ortogneisses graníticos son de grano medio a grueso, biotíticos y homogéneos, con esquistosidad muy mal definida. Oyhantçabal et al. (2003) proponen separarlas porque son intrusivas posteriores. Las ortoanfíbolitas son masivas, de grano fino con restos de augita de los basaltos originales (Bossi et al., 1996).

## 2.4.2 Fajas granitizadas

### 2.4.2.1 Faja Feliciano

Esta unidad granito-gnéissica posee un restringido desarrollo hacia el Norte del Cinturón Andresito, donde se encuentra cubierta por sedimentos y lavas. Se corresponde con el denominado granito Feliciano por Fernández et al. (1974). Se trata de litologías de grano grueso a fino con local desarrollo de esquistosidad EW y con intenso recorte aplítico y pegmatítico. Mineralógicamente se compone de plagioclasa, microclina y cuarzo con algo de biotita y muscovita. Las texturas muestran una marcada heterogranularidad definida por tabiques cuarzo feldespáticos. La plagioclasa (An12-15) se desarrolla en cristales xenó a subautomorfos, englobando cristales de muscovita (principalmente en el centro), según Preciozzi et al. (1985).

### 2.4.2.2 Faja Florida

El término Faja Florida es utilizado por primera vez por Bossi et al. (1996) para designar un complejo granito-gneissico desarrollado entre los hoy Cinturones Andresito y San José.

La extensión de esta faja comprende más del 50% del Terreno Piedra Alta aflorante (figura No. 6). Bossi et al. (1996) definen esta faja como un complejo granito-gnéissico con anatexitas relacionadas, compuesta por una serie de granitoides foliados con megacristales de microclina, generados por fusión parcial en núcleos ovoides. La distribución de estas granodioritas o granitos calco-alcalinos dan una estructura homogénea con la aparición de núcleos de escasa extensión. Las unidades geológicas reconocidas en esta faja son:

(1) Rocas granitoideas de composición granítica o granodiorítica (Granito Cerro Colorado y Granito de Florida), con estructura homogénea y escasos kilómetros de extensión.

#### -Granito de Cerro Colorado

El macizo de Cerro Colorado descrito por Cingolani (1990) está constituido por rocas granitoideas que afloran en núcleos de centenares de metros con megacristales tabulares distribuidos al azar. Estos núcleos graníticos se encuentran rodeados por migmatitas anfibólicas orientadas regionalmente al NW.

#### - Granito de Florida

Representan núcleos de fusión en un complejo metamórfico integrado por gneisses, anfíbolitas y micaesquistos como fue cartografiado por Campal y Chulepin (1990).

(2) Anatexitas en estructuras complejas, con restitas biotíticas, hornbléndicas e incluso piroxénicas, y recortes filonianos a oligoclasa + feldespato potásico + cuarzo (Granito de Carmelo y Florida). Las migmatitas constituyen extensas áreas del subsuelo del departamento de Florida con frecuentes estructuras nebulíticas (biotita como único ferromagnesiano) y estructuras en jirones de tipo "schlieren" con abundancia de ferromagnesianos incluyendo piroxenos.

#### -Granito de Carmelo

Se trata de rocas graníticas isótropas, ligeramente orientadas, de origen claramente metamórfico con jirones de rocas básicas (restitas) y recortes pegmatíticos (Ferrando et al., 1988).

(3) Rocas filonianas básicas sin-magmáticas, plegadas y desplazadas con contacto de mutua intrusión, compuestas por microdioritas anfibólicas o microgabros cuarzosos.

En los alrededores de la localidad de Ismael Cortinas y Cardona un relevamiento realizado a escala 1/100.000 ha permitido detectar que en esta zona el comportamiento es equivalente a lo observado en Cerro Colorado, Talita y Florida. Se trata de granodioritas (Granodiorita de Cardona), que se expresan de manera fragmentaria entre metamorfitos de grado medio y migmatitas a los cuales frecuentemente inyecta con filones de potencia polimétrica.

#### 2.4.2.3 Faja Ecilda Paullier

Esta unidad fue separada por Bossi et al. (1996) con otra denominación para demostrar la discordancia de un conjunto litológico ubicado al Sur del actual Cinturón San José. En efecto se reconocen allí la existencia de plutones intrusivos en metamorfitos de grado medio y migmatitas.

Las diferencias esenciales que soportan la identificación de esta faja granitizada radican en que en el Cinturón San José los metamorfitos son de grado metamórfico bajo mientras que en la faja Ecilda Paullier son de grado más elevado. A esto se agrega la existencia de discontinuidades tectónicas

horizontales entre ambas unidades con inyección de pegmatitas y granitos peraluminosos.

#### 2.4.2.4 Otras unidades estratigráficas

La Formación Cerros de San Juan es una unidad litoestratigráfica localizada al SW de Colonia fue incluida en las anteriores definiciones de la Formación Paso Severino por Bossi et al. (1996). Aflora en dos pequeñas áreas separadas tectónicamente con estructuras de dirección N40E a N50E y buzamientos siempre cercanos a la vertical.

Es una secuencia volcanosedimentaria de grado bajo de metamorfismo que incluye en la serie sedimentaria: dolomitas, filitas cloritosas a biotita, cuarcitas a biotita y clorita, talcoesquistos y niveles de metaconglomerados; los términos volcánicos son principalmente metalavas ácidas (Bossi y Ferrando, 2001).

#### 2.4.3 Cabalgaduras

El borde Norte de la Suite Isla Mala en los alrededores de 25 de Mayo es abruptamente interrumpido por pegmatitas y granitos ricos en muscovita y granate con planos de contactos subhorizontal, buzando entre 5° y 15° al NE (figura No. 8). La frecuente aparición de pegmatitas subhorizontales como rasgos característicos de la Faja Florida (Bossi et al., 1996) a que cada una de ellas se había emplazado en un plano de cabalgamiento.

Maldonado et al. (2001) redefinen una de las zonas descritas como de cabalgamiento en base a un estudio cartográfico de detalle (1/10.000) con soporte petrográfico. A partir del mencionado trabajo se reconoce por primera vez la existencia de las facies cuspidales en un macizo de afinidad granodiorítica al cual se asocian geoméricamente las planaridadessubhorizontales anteriormente definidas como de zonas de cabalgamiento.

## 2.5 SUELOS CONEAT

Recorte de la Carta de reconocimiento de suelos (Altamirano et al., 1976), a nivel de subgrupos del Soil Taxonomy (Durán et al., 2006).

Figura No. 10. Carta de reconocimientos de suelos del Uruguay.



Fuente: tomado de MAP. DSF (1976).

En ella pueden apreciarse las categorías resultantes cuando se emplea el Sistema de Clasificación de Suelos de Estado Unidos (Durán et al., 2006), de amplia utilización a nivel internacional.

En 1978, se generó una información muy valiosa: los Grupos de productividad CONEAT (áreas relativamente homogéneas en cuanto a paisaje y suelos, pero con insuficientes datos analíticos para constituir una carta de suelos).

En el cuadro siguiente se exponen algunas de las propiedades asociadas en aquellos Grupos con mayor importancia en la zona de estudio, en términos de expresión espacial. En algunos casos, se suministra esta información con el fin de facilitar la comprensión del paisaje y los suelos asociados a cada una de las geoformas.

Cuadro No. 4. Propiedades asociadas de grupos de suelos de la zona en estudio.

Material Geológico	Geoformas	Rocosisidad	Grupos de Suelos	Productividad CONEAT
Basamento Cristalino	Sierras	Muy rocosas	2.10	9
			2.11a	53
		Rocosas	2.12	82
		No rocosas	2.13	92
	Colinas		2.20	74

Fuente: elaborada con base en MGAP. DGRN (2018).

La constitución de los Grupos CONEAT más abundantes, en cuanto a paisaje asociado, ubicación, tipos de suelo, características generales de tipo de vegetación y a veces uso actual (definido en la década del 70), se transcribe a continuación:

#### 2.5.1 Suelos CONEAT 2.10

“Corresponde a sierras muy rocosa y sierras aplanadas, de orientación general SW-NE. Las sierras aplanadas rocosas constituyen las partes más elevadas del grupo, y su superficie presenta alta densidad de afloramientos (más del 40%), en tanto que la sierra muy rocosa constituye interfluvios altos, fuertemente ondulados con abundantes afloramientos. Las rocas subyacentes son generalmente granitos intrusivos; componentes cuarcíticos del grupo Lavallega y rocas efusivas ácidas. Los suelos son Litosoles Úmbricos (a veces Subéutricos) o Melánicos, gravillosos y comúnmente muy superficiales, de texturas arenosas o areno gravillosos, con Brunosoles Subéutricos Típicos moderadamente profundos como suelos accesorios. La rocosidad es muy alta y más del 40% de la superficie está cubierta de afloramientos. El uso actual es pastoril. Existen áreas importantes de este grupo en la Sierra de Carapé y en la Sierra de la Coronilla, al Este y SE de Aiguá, Sierra de Animas, y cerros aislados como el Marmarajá, Arequita, etc. Este grupo comprende los suelos de las unidades Carapé y Sierra de Animas, y algunos de la unidad Sierra de Aiguá de la carta a escala 1/1.000.000 (MGAP, DS)”.

### 2.5.2 Suelos CONEAT 2.11b

“Son sierras rocosas con paisaje ondulado fuerte y pendientes mayores al 20%. En el primer caso existe en manchas discontinuas, correlacionado con granitos intrusivos, donde el porcentaje de rocosidad alcanza entre 10 y 40% del área con roca expuesta. Los suelos dominantes son Litosoles Subéutricos Melánicos, areno gravillosos, a veces pedregosos y muy superficiales; con afloramientos rocosos y Brunosoles Subéutricos Háplicos, arenoso franco gravillosos y franco gravillosos, superficiales, pedregosos (Regosoles). Pueden presentar monte serrano. En el segundo caso el paisaje es quebrado con pendientes superiores al 15% que pueden alcanzar valores de 30 a 40%, siendo característicos los cerros pertenecientes a la Sierra de Aiguá y los paisajes quebrados existentes al sur de la ciudad de Minas, observables por Ruta 60”.

“Mayormente esta situación está correlacionada a litologías correspondientes al grupo Lavallega y rocas metamórficas indiferenciadas. En general, en la asociación de suelos, predominan los superficiales (Litosoles Subéutricos), existiendo en las concavidades y gargantas, suelos profundos, de origen coluvial que normalmente contienen monte serrano de alta densidad. El uso es pastoril y la vegetación es de pradera con predominio de especies estivales, con malezas asociadas (Bacharistrimera, etc.). Este grupo integra las unidades Santa Clara y Sierra de Aiguá de la carta a escala 1/1.000.000 (MGAP, DS)”.

### 2.5.3 Suelos CONEAT 2.11a

“Son sierras rocosas con paisaje ondulado fuerte y pendientes entre 5 y 20%. Los materiales geológicos están constituidos básicamente por rocas ígneas, metamórficas y algunas efusivas ácidas, y la rocosidad puede alcanzar niveles de hasta el 10%”.

“En este grupo deben establecerse dos regiones con asociaciones de suelos diferentes: a) La región sur, (Dptos. de Lavallega, Maldonado, Rocha y parte de Treinta y Tres), donde los suelos dominantes son Brunosoles Subéutricos Háplicos, arenoso franco gravillosos y franco gravillosos, superficiales, pedregosos (Regosoles). Asociados a estos, ocurren Brunosoles Subéutricos Típicos, francos, moderadamente profundos, a veces profundos (Praderas Pardas moderadamente profundas), en algunos casos contacto lítico; y Litosoles Subéutricos Melánicos, areno gravillosos, a veces pedregosos y muy superficiales; con afloramientos rocosos. Los Brunosoles (Háplicos y Típicos) ocupan en conjunto más del 70% del área y se desarrollan entre los afloramientos de rocas fundamentalmente migmatitas y granitos

intrusivos, en tanto que los Litosoles ocurren próximos a los afloramientos, o en las áreas más rocosas de la unidad; b) La región norte, (Dptos. de Cerro Largo y norte de Treinta y Tres) en la que los suelos dominantes son Inceptisoles Úmbricos, franco arenosos, gravillosos, a veces pedregosos, superficiales y moderadamente profundos, ácidos con tenores variables de aluminio”.

“Asociados a estos, existen Litosoles, Úmbricos, franco arenosos, gravillosos y ácidos. La vegetación es pradera de ciclo estival y matorrales asociados, y el uso es pastoril. Esta unidad ocupa áreas importantes de la Sierra de los Ríos, extensa zona entre Valentines, Tupambaé y Treinta y Tres, alrededores de Aiguá, etc. Los suelos son integrantes de la unidad Santa Clara y parte de la unidad Sierra de Aiguá de la carta a escala 1/1.000.000 (MGAP, DS)”.

#### 2.5.4 Suelos CONEAT 2.12

“Son sierras no rocosas de relieve ondulado y ondulado fuerte, con afloramientos en general menores de 5% y pendientes variables entre 5 y 15%. Los suelos son BrunosolesSubéutricos Háplicos y Típicos, arenoso franco y francos, algunas veces arenosos, franco-gravillosos, superficiales y moderadamente profundos (Regosoles y Praderas Pardas medias poco profundos). Asociados a estos, se encuentran Litosoles Subéutricos Melánicos, arenoso-franco-gravillosos, a veces muy superficiales y pedregosos y BrunosolesSubéutricosLúvicos (Praderas Pardas máximas), francos u ocasionalmente arenoso-francos, a veces ródicos (Praderas Rojas). La vegetación es de pradera de ciclo predominantemente estival, a veces con matorral y monte serrano asociado, en general en las gargantas y zonas cóncavas. El uso actual es pastoril. Ocupa grandes extensiones en los Dptos. de Maldonado, Lavalleja, oeste de Treinta y Tres y SW de Cerro Largo. Los suelos de este grupo forman parte de la unidad Sierra de Polanco de la carta a escala 1/1.000.000 (MGAP, DS)”.

#### 2.5.5 Suelos CONEAT 2.13

“Son sierras aplanadas no rocosas, asociadas a sierras rocosas onduladas, con interfluvios extendidos aplanados o ligeramente ondulados en la parte superior con pendientes de 1-2% y pendientes de 4-8% en las laderas más fuertes. El material geológico corresponde a rocas graníticas, más alteradas que en las unidades anteriores, a veces recubiertas con sedimentos muy delgados totalmente edafizados. Los suelos son BrunosolesSubéutricos Típicos, francos, profundos y moderadamente profundos, a veces a contacto pseudolítico (Praderas Pardas poco profundas) y BrunosolesSubéutricos Háplicos, arenoso-franco, franco gravillosos, superficiales y pedregosos. La vegetación es pradera de ciclo predominantemente estival, con matorral serrano



asociado en las gargantas y áreas cóncavas de mayor pendiente. El uso actual es pastoril. Ocupa áreas en los alrededores de Cerro Chato, Valentines, Puntas del Olimar, oeste de Treinta y Tres y norte de Maldonado. Los suelos de este grupo integran la unidad Cerro Chato y una parte importante de la unidad Sierra de Polanco de la carta a escala 1/1.000.000 (MGAP, DS)".

## 2.6 LA RESISTENCIA DEL SUELO

Según Ashburner y Sims (1984), la resistencia de un suelo a la deformación por compresión o deformación por cizalla, está determinada por su resistencia mecánica, la que consiste de dos componentes: resistencia cohesiva y resistencia friccional.

Los valores varían considerablemente y dependen del contenido de humedad, tamaño de partículas, tamaño y forma de los agregados y el grado de consolidación. Estos factores, entre otros, existen en tantas combinaciones diferentes, permiten predecir la resistencia verdadera de un suelo en una condición determinada.

Los suelos tienen los estados físicos definidos como sólido o cementado, sólido elástico o friable, plástico, y líquido viscoso. El estado físico de un suelo también depende de los factores antes citados, pero en el caso de un suelo específico el factor de humedad es el más importante.

Un suelo en estado cementado presenta una elevada resistencia a la deformación y se caracteriza por su muy poca deformación elástica antes que ocurra una desintegración de su estructura. En cambio 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.

Es estado plástico se caracteriza porque la masa del suelo se sigue deformando lentamente bajo la acción de la carga aplicada y no se recupera cuando esta es removida. En el estado líquido el 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.

### 2.6.1 Comportamiento de un suelo solicitado

Desde el punto de vista mecánico es conveniente definir los esfuerzos a los cuales está sujeto un suelo, en términos de la tensión, compresión y corte por una cizalla. Normalmente los suelos fallan debido a los esfuerzos de corte, ya que en el límite demuestran una alta resistencia a la compresión y

difícilmente pueden ser sometidos a un esfuerzo 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 un interfaz suelo/suelo y otro normalmente de suelo/metal.

#### 2.6.1.1 Parámetros suelo/suelo

Los parámetros suelo/suelo son:

- a) Cohesión ( $c$ )
- b) Fricción suelo/suelo (definido en término del ángulo de fricción interna  $\phi$ )
- c) Densidad en masa del suelo  $D_b$  (también conocido como densidad aparente)

En forma similar, los principales parámetros suelo/interfaz son los siguientes,

- Adhesión ( $c\alpha$ )
- Fricción suelo/interfaz (definido en término del ángulo de fricción suelo/interfaz  $\delta$ )

#### 2.6.1.2 Resistencia a la falla

La resistencia a la falla de un suelo depende del esfuerzo de corte máximo que este pueda resistir, lo que es una función de la magnitud de la deformación y del esfuerzo normal sobre la superficie de falla.

#### 2.6.1.3 Cohesión, fricción y densidad del suelo

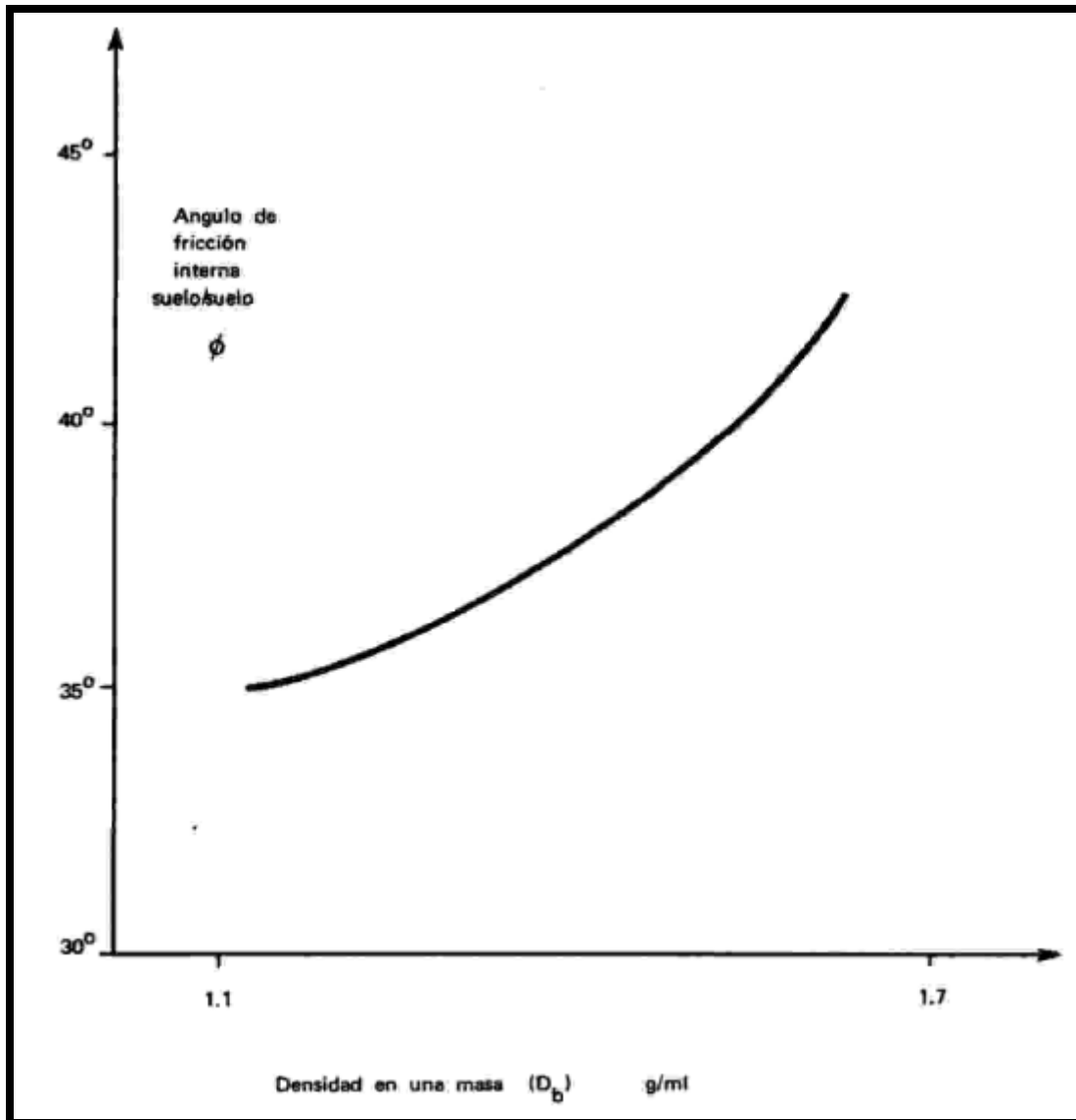
La cohesión de un suelo depende generalmente del contenido de humedad y de la cantidad y tipo de arcilla, y puede tomar dos formas,

- a) Cohesión molecular, a su bajo contenido de humedad existe una unión fuerte entre las partículas de arcilla; este es el factor principal que influye en la resistencia de los terrones.
- b) Cohesión superficial, con mayor contenido de humedad existe un amarre entre los mismos terrones debido a la fuerza de la tensión superficial ocasionada por este exceso de agua; la materia orgánica y las raíces de las plantas también contribuyen a la fuerza cohesiva total cuando se cizalla la masa del suelo.

El ángulo de fricción interna es una función de la aspereza de las superficies a cizallar y del grado de enlace, o sea la compactación de las partículas del suelo y los agregados. Este grado de compactación es una función de la

densidad en masa del suelo ( $D_b$ ) y entonces existe una relación entre el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y esta densidad como se indica en el siguiente gráfico.

Gráfico No. 4. Ángulo de fricción interna de un suelo franco arenoso en función de su densidad en masa.

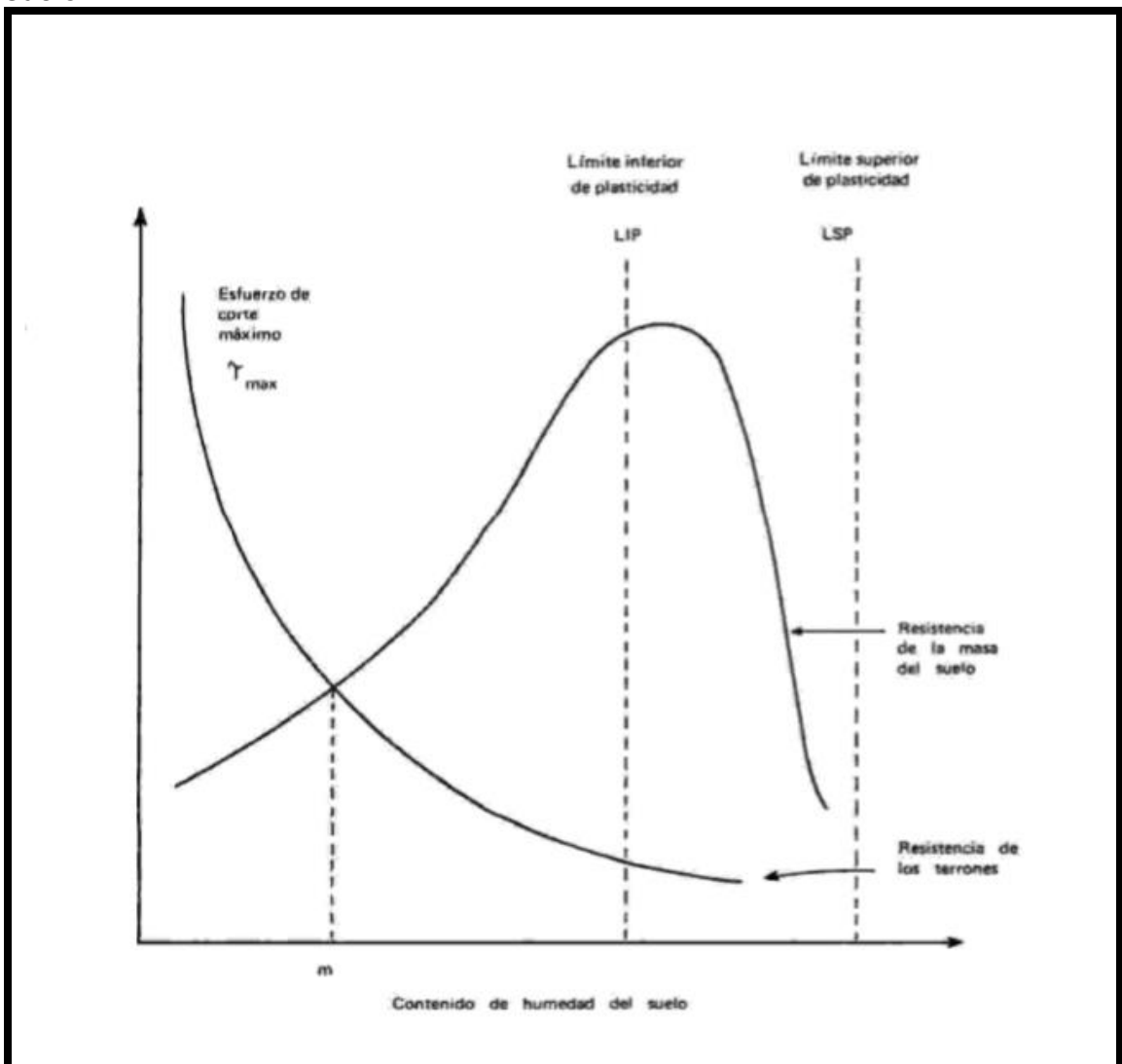


Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

Normalmente el objetivo de una operación de labranza del suelo es disminuir el número y tamaño de los terrones, lo que obviamente requiere que

la humedad del suelo sea tal que la resistencia de los terrones sea inferior a la resistencia de la masa del suelo (gráfico No. 5).

Gráfico No. 5. Resistencia del suelo en función del contenido de humedad del suelo.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

En el gráfico que antecede se muestra la relación de la resistencia al cizallar la masa del suelo y sus terrones, de acuerdo con la humedad; se observa que con una humedad del suelo menor que el valor 'm' (indicado en el gráfico), no es posible romper los terrones con herramientas que ocasionan una

falla al cizallar, como por ejemplo el caso de los arados o cinceles, debido a que los terrones tienen una mayor resistencia que la masa del suelo.

A pesar de la observación indicada precedentemente, se observa también, que existen problemas en los suelos de alta humedad debido a que el esfuerzo de deslizamiento es muy elevado.

#### 2.6.1.4 Parámetros suelo/interfaz

La mayor parte de las herramientas de labranza trabaja por deslizamiento por el suelo, y de allí que el esfuerzo y la fuerza de deslizamiento en la interfaz suelo/metal sea de una importancia fundamental al estar la mayoría de estas herramientas fabricadas con metales. Aunque el interfaz es normalmente suelo/metal, es mejor hablar en términos de los parámetros suelo/interfaz para acomodar la consideración de otros materiales como madera, plástico u otros.

Se puede estudiar la relación suelo interfaz por medio de un patín, como se indica en la figura No. 11, y se observa que la misma ecuación de Coulomb puede ser aplicada al gráfico que resulta (gráfico No. 8). Las únicas diferencias son los parámetros que en la interfaz le llaman adhesión ( $c\alpha$ ) y el ángulo de fricción suelo/interfaz ( $\delta$ ).

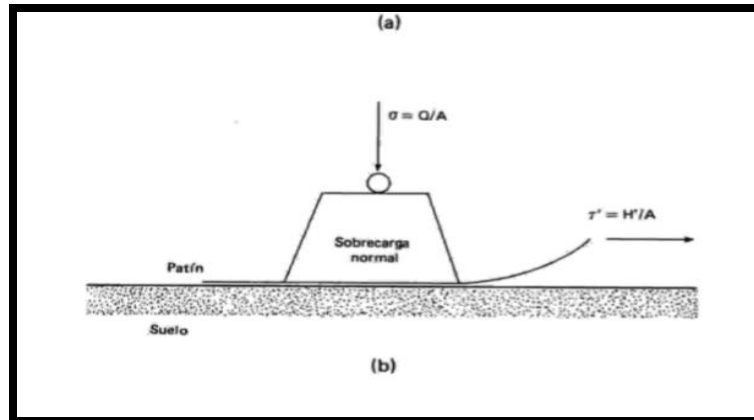
Esfuerzo máximo de deslizamiento = adhesión + fricción

$$T'_{\text{máx.}} = c\alpha + \sigma \tan \delta$$

La adhesión representa las fuerzas de atracción que se desarrollan entre el suelo y el interfaz y que tienden a evitar el deslizamiento entre ellos; el valor de la adhesión es normalmente pequeño, excepto para los suelos arcillosos en estado plástico.

La fricción, por su parte, hace referencia a la fuerza de rozamiento en el interfaz y depende del grado de pulido de su materia y de la rugosidad de las partículas del suelo. También puede ser afectada por cualquier lubricación que ocurra por un exceso de humedad en el suelo o por otras razones.

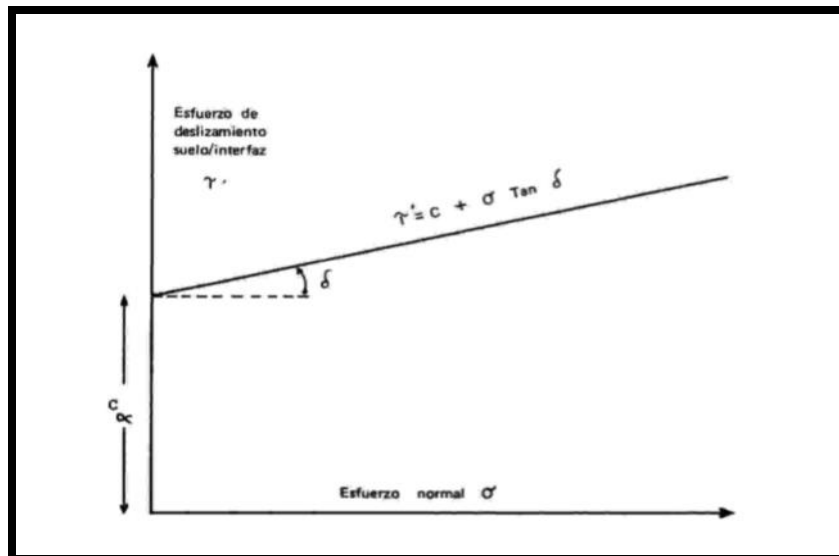
Figura No. 11. Medición del esfuerzo de deslizamiento de un patín.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

En la figura anterior se ilustra un aparato para medir el esfuerzo de deslizamiento de un patín de superficie de contacto A con sobrecarga Q. La fuerza de resistencia es H.

Gráfico No. 6. Curva de esfuerzo de deslizamiento suelo/interfaz de acuerdo con esfuerzo normal.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

El esfuerzo de deslizamiento  $\tau'$  varía con el contenido de humedad del suelo, alcanzando los efectos más marcados en el caso de los suelos arcillosos.

## 2.6.2 La composición física del suelo

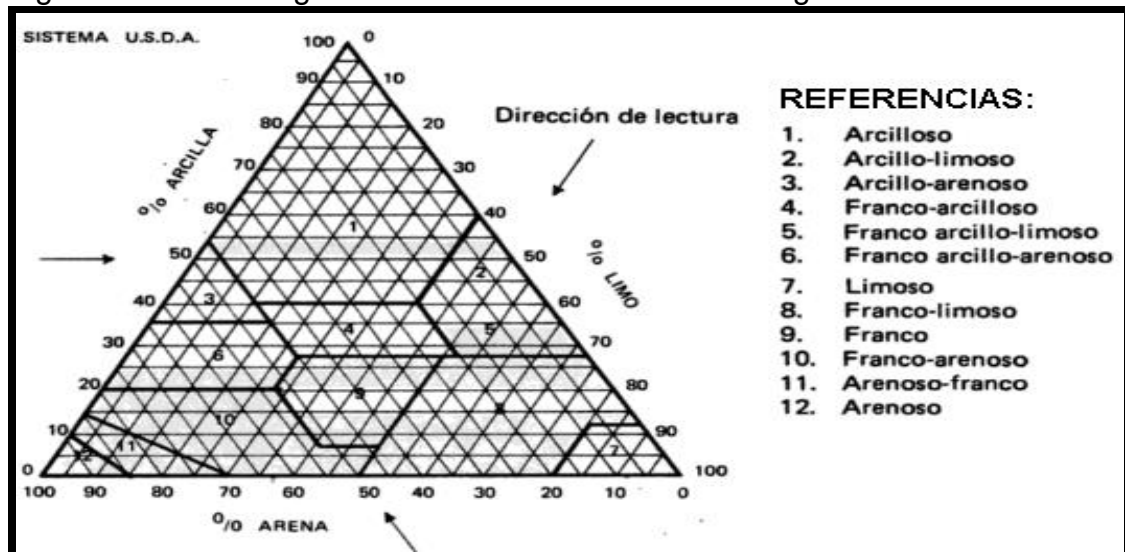
### 2.6.2.1 El agua del suelo

La masa del suelo consiste de sólidos y huecos llenos de agua y aire; el tamaño y naturaleza de las uniones entre las partículas sólida y la forma y tamaño de los huecos afectan la textura del suelo. La naturaleza de las partículas también afecta las uniones existentes entre ellas, y el agua en los huecos dicta si una plántula puede soltar la unión para aprovechar el agua durante su crecimiento; generalmente un mayor porcentaje de agua ayuda a soltar estas uniones pero un exceso de agua no es deseable.

### 2.6.2.2 La textura del suelo

El proceso natural de la desintegración de las rocas y otros materiales produce un rango bastante amplio de tamaño de partículas de suelo, lo que afecta mucho más su textura. La forma de las partículas no es regular pero se clasifica en término del diámetro efectivo que significa el diámetro de una esfera, que es lo más grande que pueda pasar la red de la zaranda, o que demuestra las mismas características de sedimentación.

Figura No. 12. Triángulo de la clasificación del suelo según el sistema U.S.D.A.



Fuente: adaptado de Ashburner y Sims (1984).

La figura No. 12 representa un triángulo de textura, de utilidad al unificar la terminología de descripción de un suelo para el cual se han determinado las fracciones de arcilla, limo y arena por medio de los métodos de tamices y sedimentación.

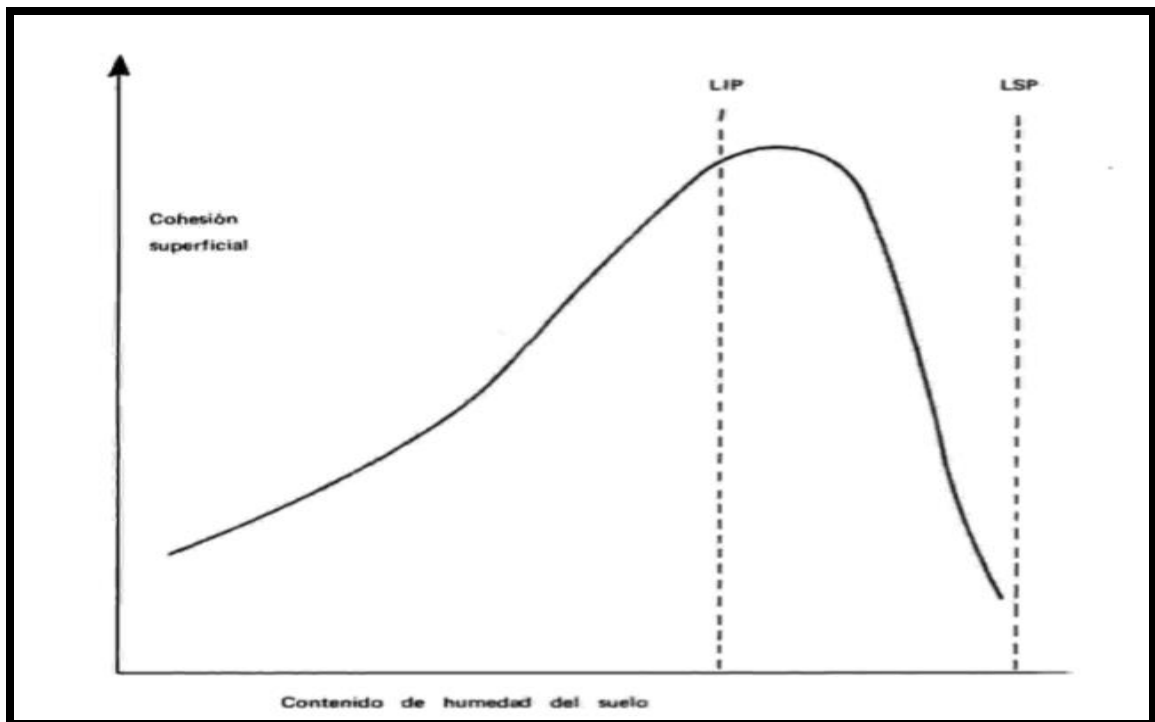
#### 2.6.2.3 Las propiedades dinámicas del suelo

Dado que el contenido de humedad del suelo puede cambiar rápidamente, en especial en la capa superficial, de importancia en la labranza, las propiedades están descritas como dinámicas.

#### 2.6.2.4 La cohesión superficial

Las partículas pequeñas del suelo 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 e incluso terrones. La dispersión de éstos en la masa del suelo también acomoda una red de huecos llena con agua y aire.

Gráfico No. 7. Efecto de la humedad sobre la cohesión superficial del suelo.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).



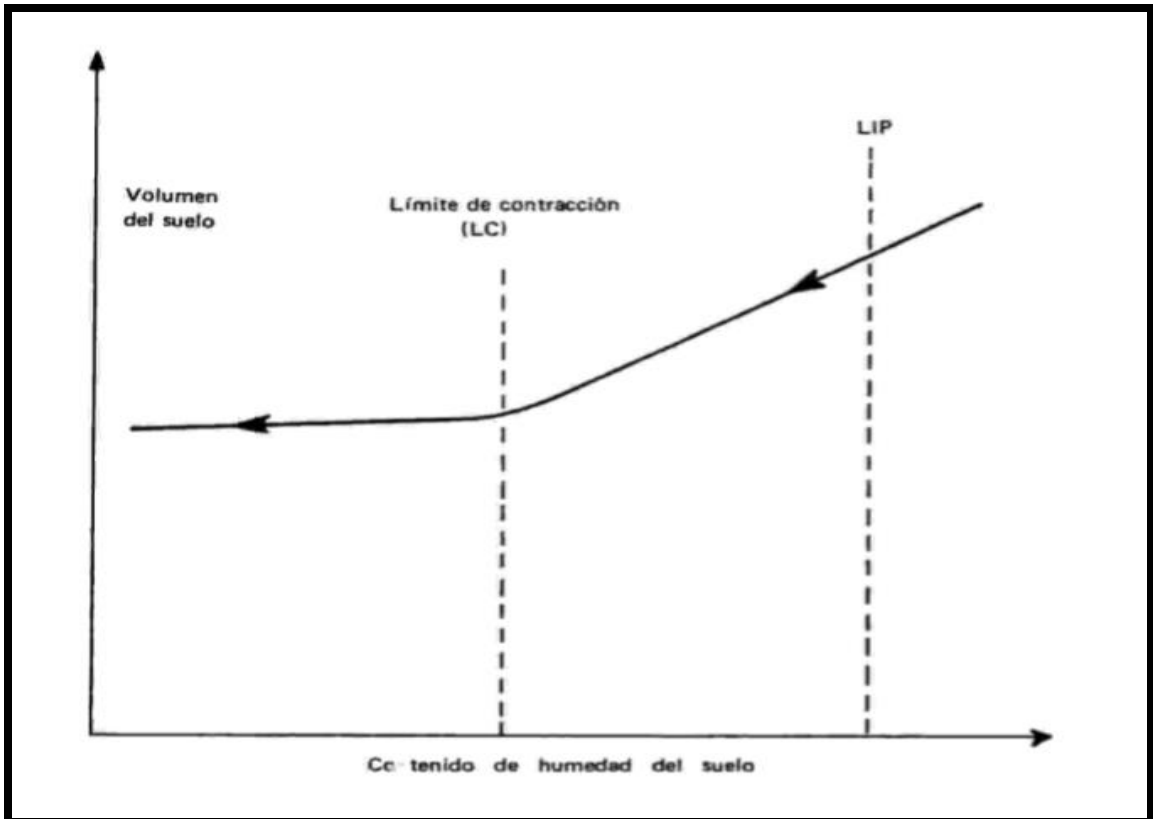
El agua se acumula en gotas por la tensión superficial, la que ejerce una atracción – llamada cohesión superficial – entre los agregados y terrones; obviamente con poca humedad su valor es bajo (gráfico No. 7), pero aumenta con mayor cantidad de agua mientras que se forman más gotas.

Finalmente, con una humedad alta del suelo se funden las gotas disminuyendo de esta manera el número de interfaces y por consiguiente disminuye también la cohesión superficial.

#### 2.6.2.5 La cohesión molecular

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 con gran fuerza por el agua; esto significa que la cohesión molecular es alta.

Gráfico No. 8. Límite de contracción debido al cambio de volumen de una arcilla.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

Al aumentar la cantidad de agua las moléculas de arcilla se distancian en tanto que disminuye la atracción ocasionada por el agua; así disminuye el valor de la cohesión molecular y la consistencia de la arcilla pasa por las fases de cementado, friable, plástico y líquido.

Entre las consistencias de cementado y de friable se presenta un fenómeno denominado "límite de contracción". El término nace del hecho que al reducir el contenido de humedad a un nivel más bajo que este límite se produce muy poca contracción, llamada "contracción residual, y significa que el mayor número de moléculas de arcillas está prácticamente tocándose, unidas muy fuertemente por los dipolos del agua.

#### 2.6.2.6 Los límites Atterber de plasticidad

Estos límites definen los valores del porcentaje mínimo y máximo del contenido de humedad del suelo en su estado plástico. Se les denomina límite inferior y superior de plasticidad (LIP y LSP), respectivamente, y el valor de la diferencia entre ellos es el índice o número de plasticidad (IP).

#### 2.6.2.7 La fricción interna del suelo

La fricción suelo/suelo depende de dos factores físicos:

- a) La naturaleza de las superficies de las partículas. Generalmente las superficies rugosas generan una fricción más alta que las lisas;
- b) el grado de compactación del suelo, que afecta el grado de compactación entre las partículas. Con los suelos compactados las partículas al principio tienden a moverse en forma perpendicular a la dirección de cizalla, ocasionando una dilatación del suelo. Este requiere una fuerza de cizalla mayor que en los suelos sueltos, en los cuales las partículas se mueven generalmente en forma paralela al plano de cizalla.

El componente de la fricción a la fuerza de resistencia del suelo depende del esfuerzo normal en el plano de cizalla y tiene mayor importancia para los suelos granulares que para las partículas pequeñas de arcilla.

#### 2.6.2.8 Los parámetros suelo/interfaz

-La adhesión suelo/interfaz

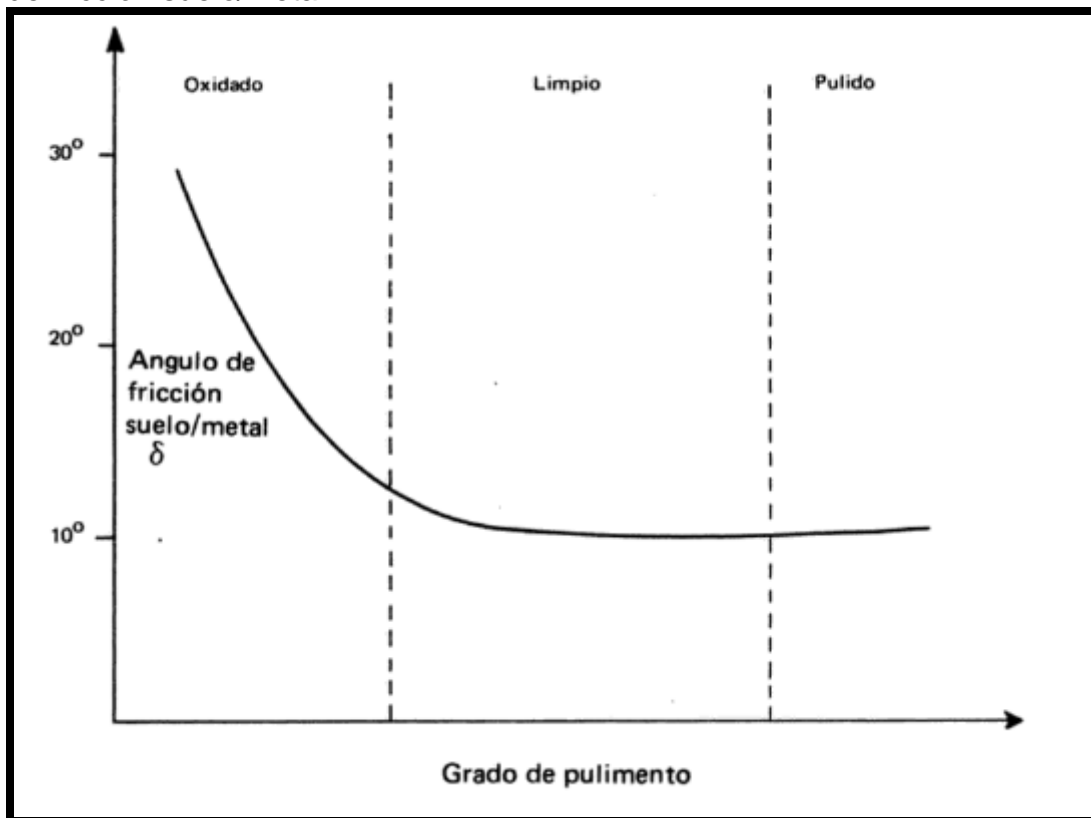
La adhesión suelo/interfaz representa las fuerzas de atracción generadas principalmente por la presencia de agua en el suelo. Con un valor alto de

humedad el agua muestra una succión, dentro de la estructura del suelo, que en forma similar también atrae el interfaz. En cambio con poca humedad se genera una serie de interfaces de aire y agua entre el material en contacto y el suelo, lo que desarrolla una fuerza de atracción debida a la tensión superficial del agua.

Al aumentar la humedad de un suelo seco el efecto de la tensión superficial obviamente también se incrementa hasta alcanzar un máximo que se aproxima al valor del "Punto de atascamiento (PA)".

-La fricción suelo/interfaz

Gráfico No. 9. Efecto del pulimiento de la superficie de contacto sobre el ángulo de fricción suelo/metal.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

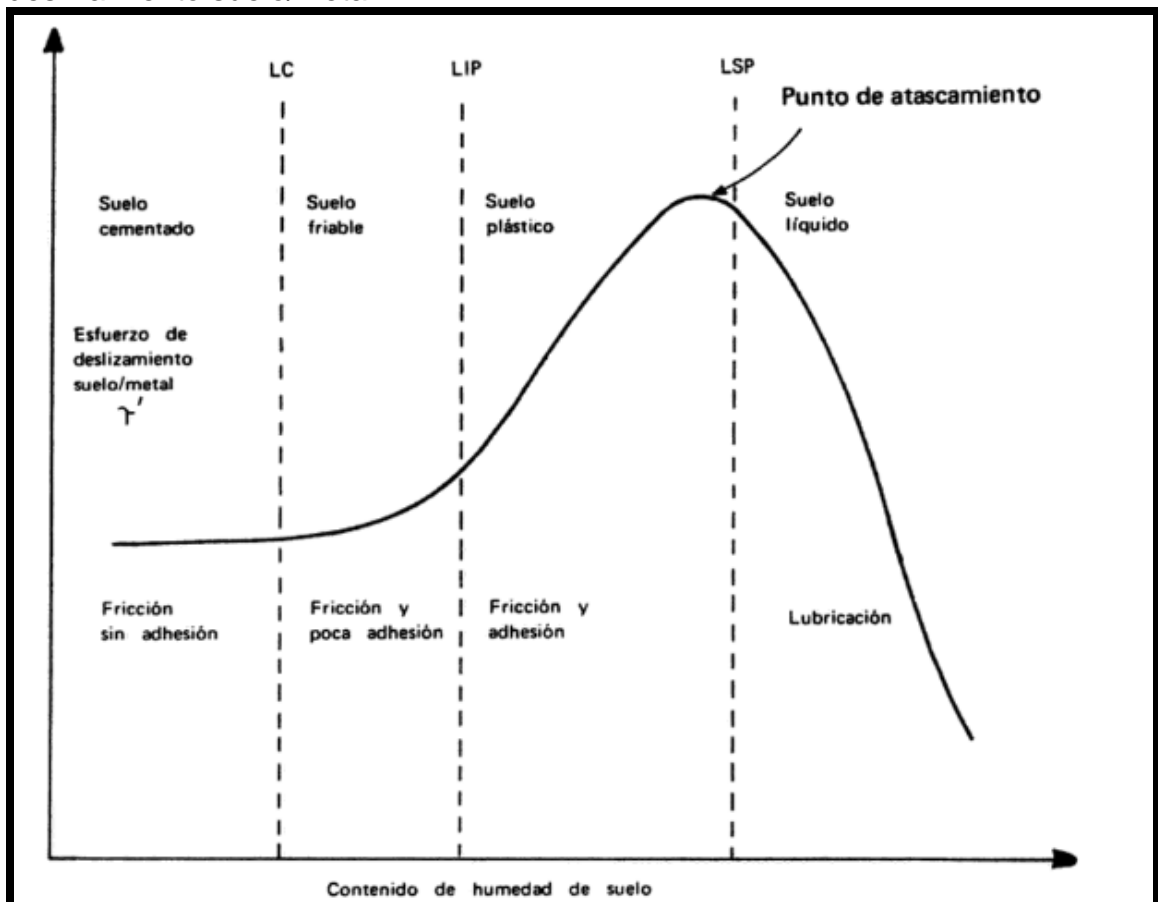
La fricción ocurre entre el suelo y el material en contacto, depende mucho de la rugosidad del material; en el caso del metal; la fricción se da según el grado de pulimiento de la superficie, como se observa en la gráfico No. 9,

donde se demuestra la ventaja de eliminar la oxidación de la cara metálica para reducir el valor del ángulo de fricción suelo/metal ( $\delta$ ) de unos  $25^\circ$  hasta unos  $10^\circ$  a  $15^\circ$ .

-La resistencia al deslizamiento suelo/interfaz

El suelo en estado cementado no tiene la humedad necesaria para desarrollar adhesión y la resistencia al deslizamiento es netamente de naturaleza friccional, sin embargo, en los estados friable y plástico la adhesión aumenta progresivamente por razón de las fuerzas de tensión superficial hasta llegar la resistencia a un máximo llamado Punto de atascamiento (PA).

Gráfico No. 10. Efecto del contenido de humedad sobre el esfuerzo de deslizamiento suelo/metal.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

Normalmente este punto tienen un valor de humedad un poco menor que el LSP para los suelos plásticos y un poco mayor en el caso de los suelos de poca plasticidad. 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.

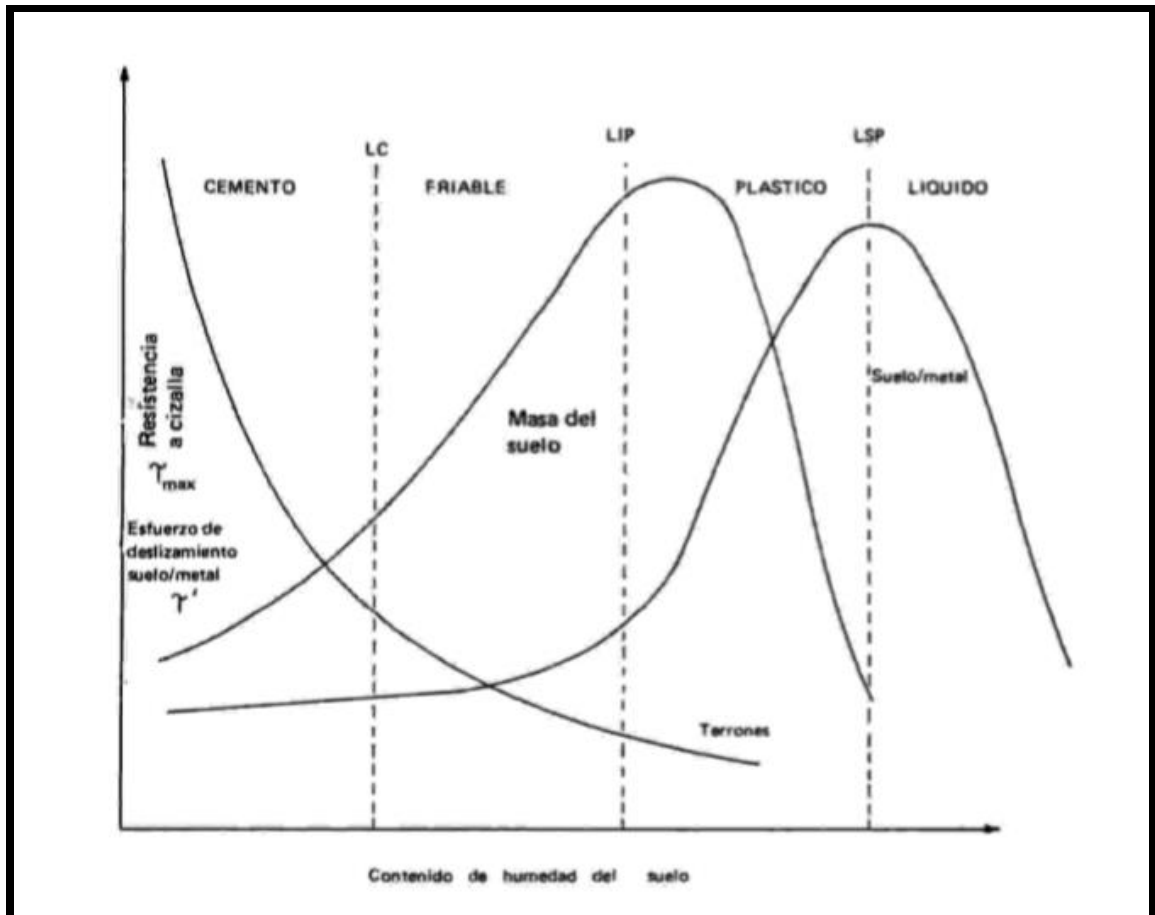
#### 2.6.2.9 Resistencia, en la práctica, de un suelo a la cizalla

-Resistencia de los terrones y la masa del suelo

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.

Gráfico No. 11. Resistencia a cizalla de los terrones y la masa de suelo como función de la humedad.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

La resistencia de los terrones depende de las fuerzas que amarran las partículas y los agregados, lo que está 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 una fuerza debida principalmente a la cohesión superficial y a la fricción entre ellos. Ya se ha demostrado que el componente de fricción para los suelos arcillosos es pequeño, por lo que la curva de resistencia de la masa del suelo y la humedad (gráfico No. 11), sigue una forma similar a la del gráfico No. 7, que representa la cohesión superficial.

#### -Resistencia al deslizamiento suelo/interfaz

Para un suelo en estado plástico existe una buena posibilidad de que la resistencia al deslizamiento sea mayor que la resistencia de 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  $\tau' > \tau$ .

En la mencionada situación no hay restregamiento y la fuerza de arrastre de la herramienta es muy elevada. Para complicar la situación aún más, la tracción en los suelos es baja justo en el momento que se le requiere y las ruedas del tractor compactan el suelo en este estado, dañando su estructura. Normalmente no se recomienda realizar labores de campo con un suelo de tan alto contenido de humedad.

#### -La labranza de suelo para reducir los terrones

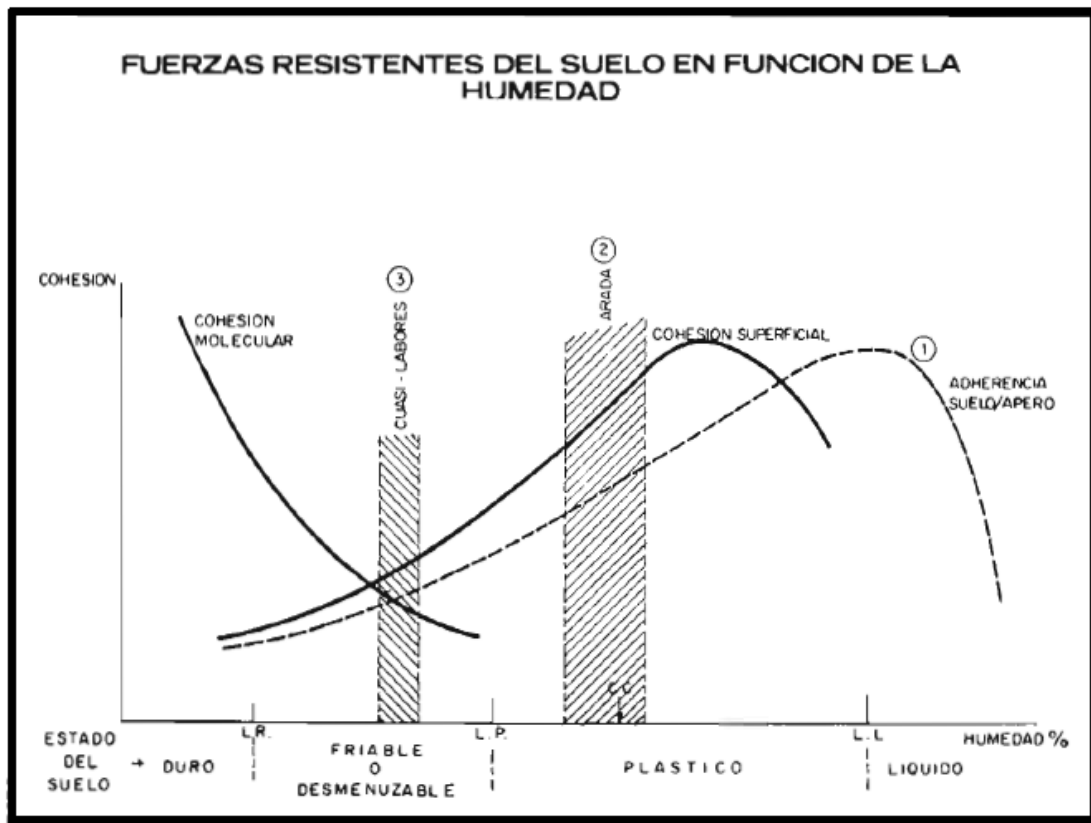
El gráfico No. 12 muestra una comparación de la resistencia al deslizamiento suelo/interfaz y a la cizalla de los terrones y la masa del suelo. Se observa que con un contenido de humedad bajo los terrones tienen alta resistencia, dificultando su rotura, y que normalmente las herramientas de labranza sólo alcanzan a reorientar los terrones sin dañarlos.

En el estado friable, con un contenido de humedad entre los límites de LC y LIP, la masa del suelo tiene mayor resistencia que los terrones, lo que significa que una herramienta de labranza puede romper los terrones con poca fuerza al mismo tiempo que la resistencia al deslizamiento es baja, facilitando así un buen laboreo.

En el estado plástico entre los LIP y LSP, aunque la resistencia de los terrones sigue bajando, el deslizamiento requiere mayor fuerza, probablemente las herramientas no alcanzan un restregamiento y existe peligro de compactar y

dañar la estructura del suelo. Obviamente, es difícil trabajar con los suelos en este estado, lo que indica la importancia del índice de plasticidad (IP) para evaluar la facilidad de labranza de los distintos suelos.

Gráfico No. 12. Humedad óptima de laboreo y afinado del suelo.



Fuente: Márquez Delgado (1983).

Un suelo en estado líquido es muy difícil de labrar, excepto en el caso de que exista una capa inferior en estado plástico para soportar el peso de la maquinaria, por ejemplo durante la preparación, por medio del fanguero, en los arrozales.

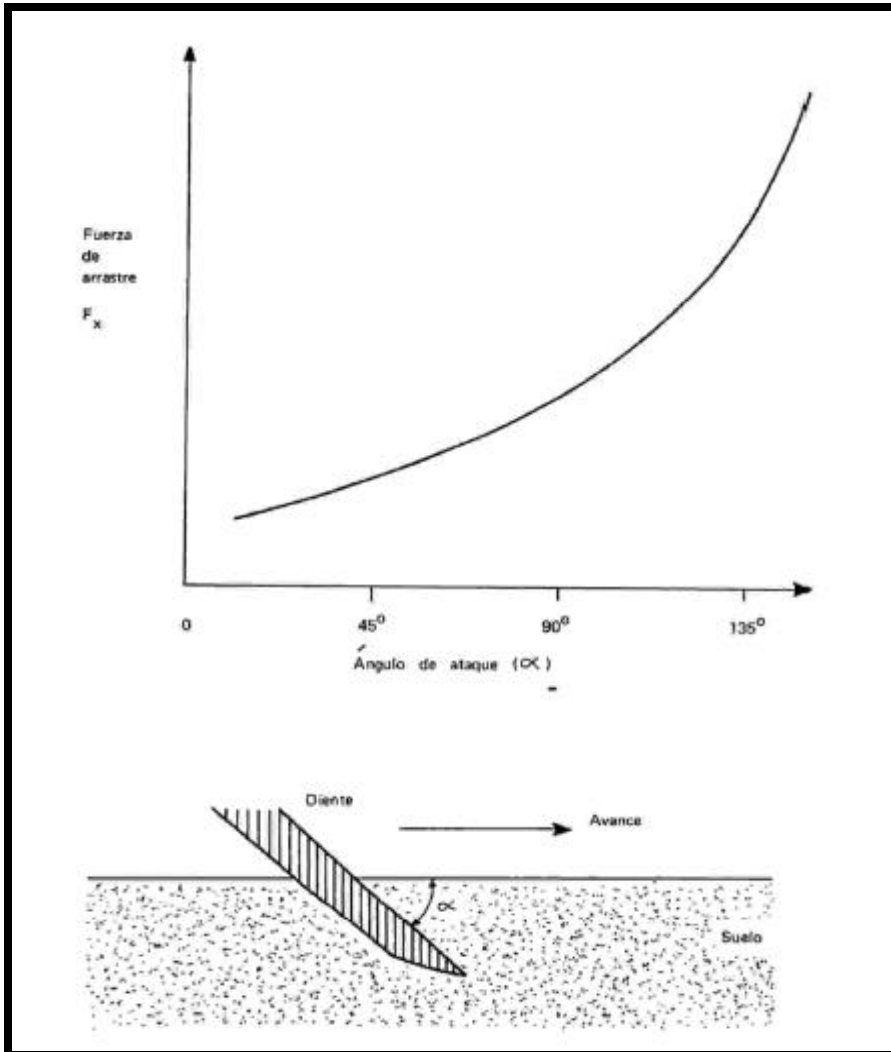
-Manipulación de las propiedades dinámicas para facilitar la labranza del suelo

La situación óptima en la agricultura se alcanzará cuando se pueda seleccionar los suelos que demuestren facilidad para la labranza (alto LIP y bajo IP), y cuando solamente se lleven a cabo operaciones en las condiciones de humedad óptimas (normalmente entre el LC y LIP); desgraciadamente, estas soluciones no son siempre factibles y se deben buscar alternativas.

Dado que el costo de una operación depende mucho de la fuerza de arrastre necesario, vale la pena tratar de reducir la resistencia al deslizamiento suelo/interfaz; se puede cumplir este objetivo ya sea reduciendo el componente de la fricción o el de la adhesión.

Numerosos estudios atestiguan la importancia de eliminar la oxidación de la cara metálica de la herramienta pero también revela que no vale la pena obtener una alta calidad de pulido, en cuanto ésta reduce poco el valor del ángulo de fricción ( $\delta$ ).

Gráfico No. 13. Efecto del ángulo de ataque ( $\alpha$ ) sobre la fuerza de arrastre ( $F_x$ ) de un diente.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).



Generalmente una forma con curvas ligeras, lo que se puede cumplir con un diseño cuidadoso de la herramienta, ayuda a eliminar una concentración de la presión del suelo, mientras que las curvas fuertes aumentan la fuerza de arrastre, y dificultan el restregamiento.

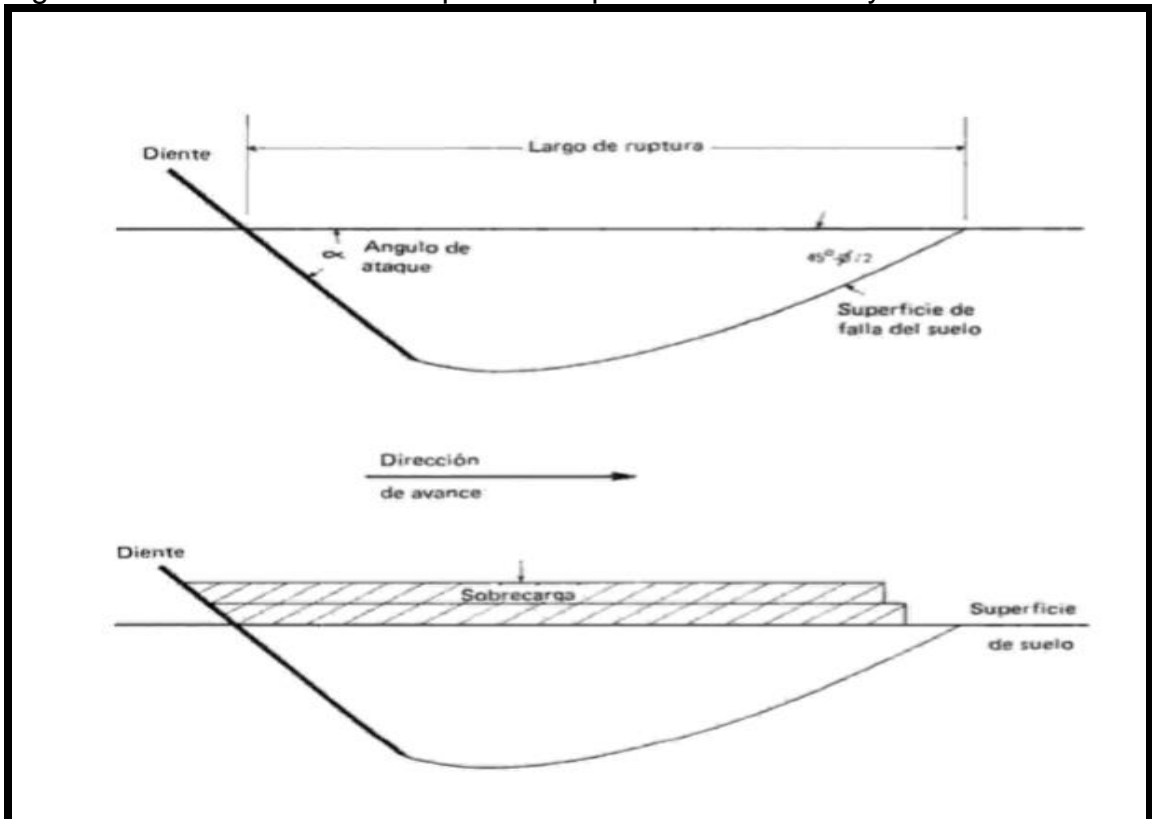
El ángulo de ataque de la herramienta tiene un efecto similar pero se debe a una serie de factores de los cuales el componente friccional constituye solamente uno.

#### 2.6.2.10 Modelo de falla de suelo con dientes anchos

-Dientes rectos inclinados hacia adelante

La figura siguiente indica el modelo de falla para un diente recto cuya forma tiene una ancho mucho mayor que su profundidad. Este modelo es similar para los dientes geoméricamente similares, siendo su única diferencia el volumen de suelo removido.

Figura No. 13. Modelo de falla producido por un diente recto y ancho.



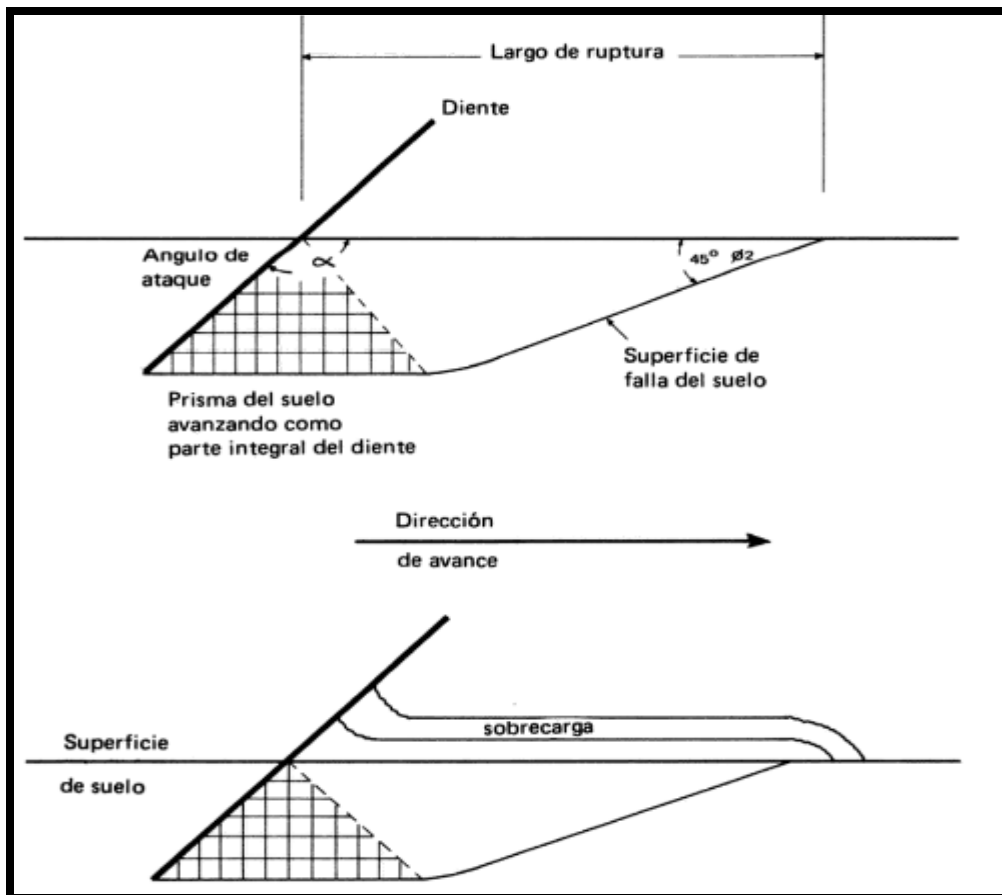
Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

En la figura anterior se observa una superficie de falla, en parte curva y en la parte recta, rompiendo la superficie del suelo con un ángulo de ataque de  $45^\circ - \phi/2$ , en donde  $\phi$  es el ángulo de fricción interna del suelo, durante el avance el suelo se amontona sucesivamente al frente del diente, sobrecargando la superficie de falla suelo/suelo, lo que significa que la fuerza de resistencia aumenta durante el avance.

-Dientes rectos inclinados hacia atrás

Presenta un efecto similar al caso anterior pero que un prisma de suelo se desarrolla al frente del diente y avanza como parte integral del mismo. La fuerza de resistencia se aumenta con mayor inclinación hacia atrás y el diente provoca más sobrecarga durante el avance, tal como se puede observar en la figura siguiente.

Figura No. 14. Modelo de falla de suelo producido por un diente recto y ancho inclinado hacia atrás.

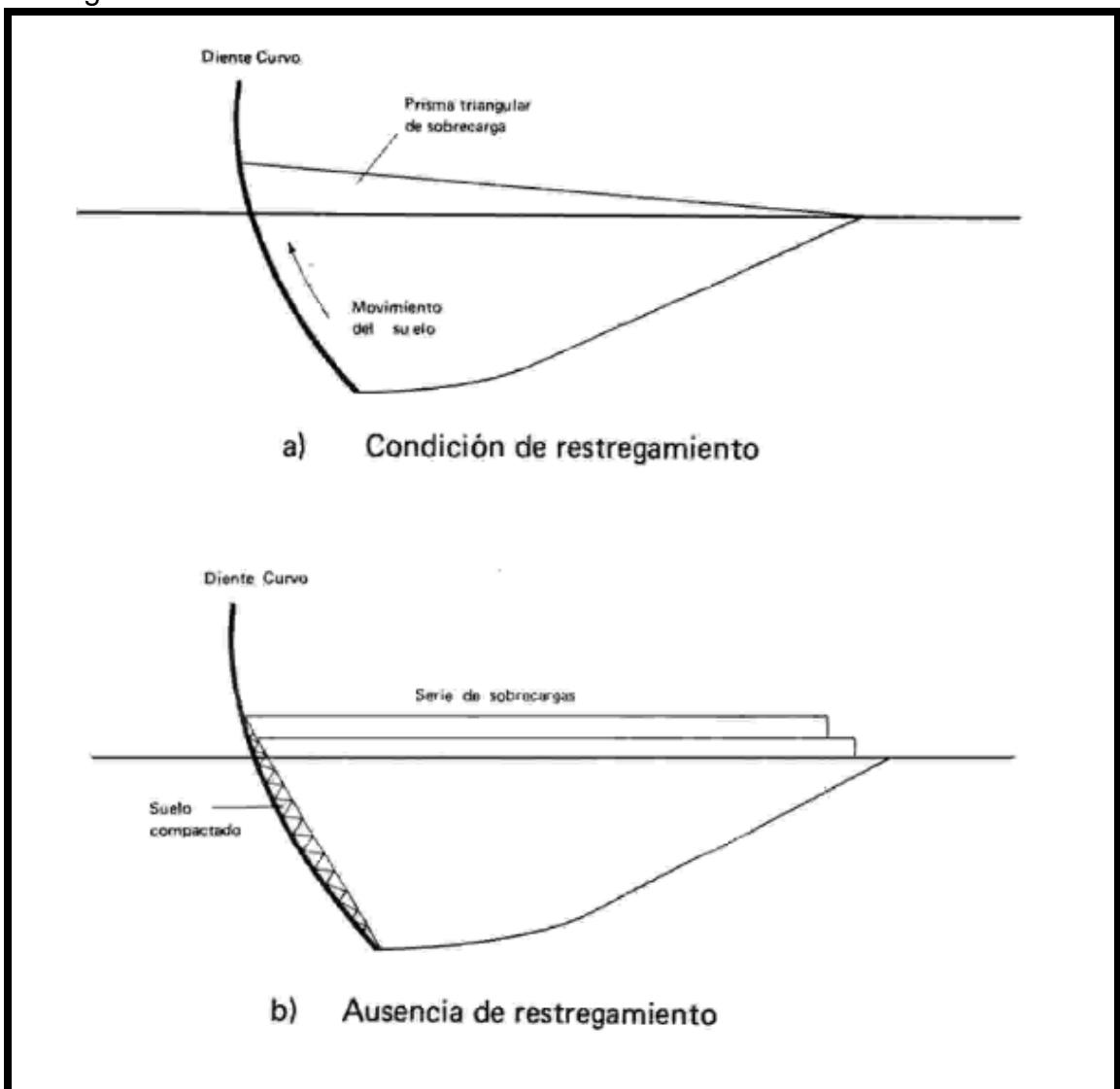


Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

-Dientes curvos

El comportamiento de un diente curvo depende de si hay o no restregamiento (deslizamiento) en la cara suelo /interfaz. Sin éste la cara del diente se llena con suelo y el modelo de falla es similar al caso de un diente recto pero con algo de aumento en la fuerza de resistencia, como se observa a continuación.

Figura No. 15. Modelo de falla para un diente curvo y ancho con (a) y sin (b) restregamiento.



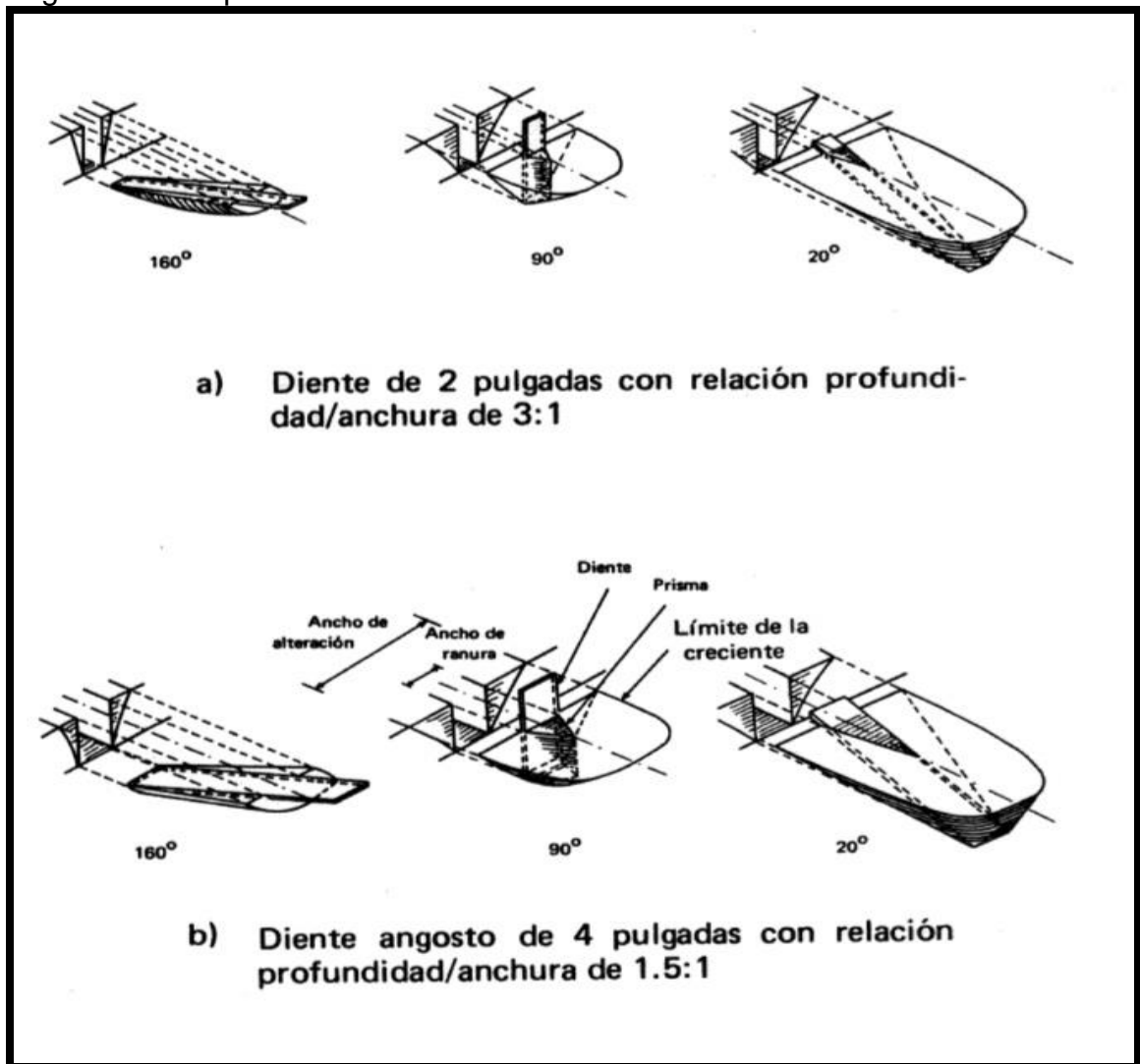
Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

Con restregamiento el suelo se desliza por la cara e incluso puede influir sobre su movimiento al salir hacia arriba del diente; generalmente el efecto de sobrecarga, y por lo tanto de resistencia, disminuye.

#### 2.6.2.11 Falla de suelo con dientes angostos

La figura No. 16 muestra el modelo de falla de dientes angostos con una relación profundidad/anchura de 3:1 y 1.5:1 a diferentes ángulos de ataque.

Figura No. 16. Modelo de falla al frente de un diente angosto para distintos ángulos de ataque.



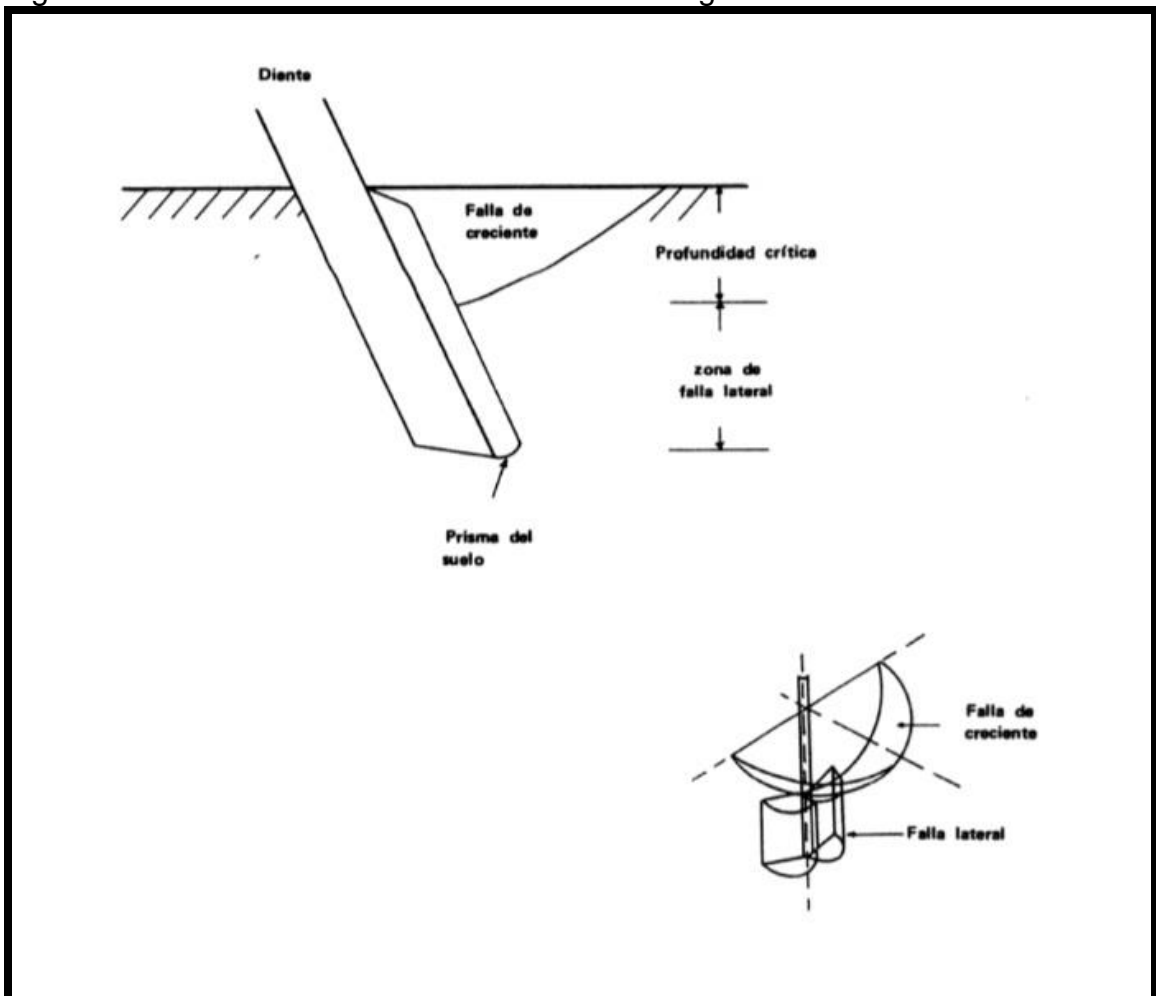
Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

Básicamente se forma un prisma de suelo frente al diente y el suelo se altera en forma de una creciente. Se observó una alteración máxima en cuanto al volumen de suelo para los ángulos de ataque pequeños, lo que también ofreció un valor menor de la fuerza de resistencia.

La misma figura demuestra que con un ángulo de ataque hasta de unos  $45^\circ$ , el componente vertical de la resistencia del suelo apoya la penetración mientras que con ángulos mayores, existe la tendencia a que salga el diente del suelo.

A mayor profundidad, el diente ocasiona un modelo de falla diferente, con un movimiento lateral, como se muestra en la figura No. 17.

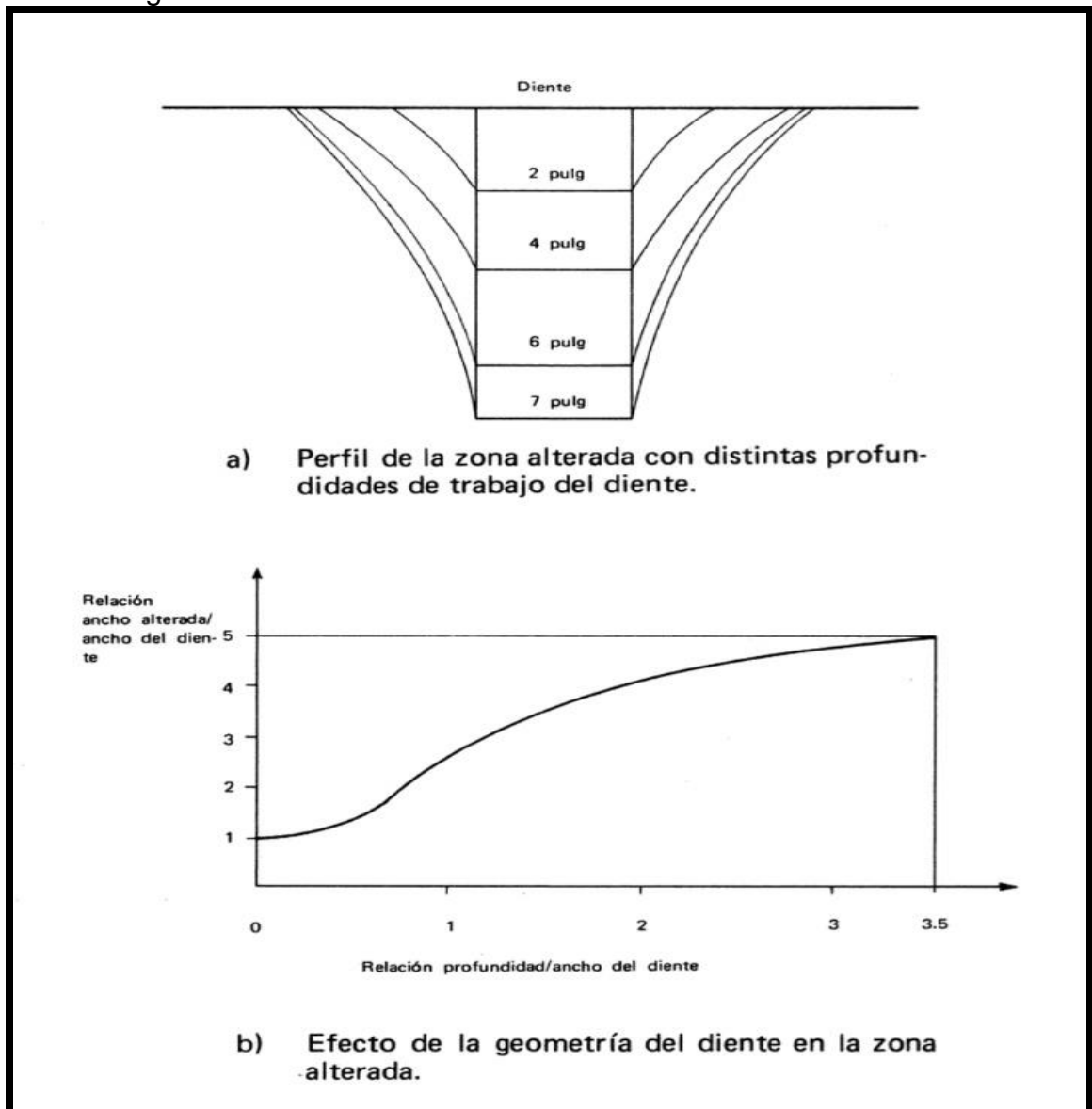
Figura No. 17. Modelo del efecto de un diente angosto.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

La transición de falla en la forma de una creciente y falla lateral ocurre a una cierta profundidad crítica. Generalmente esta profundidad crítica es mayor para los suelos sueltos; el efecto es que un diente profundo no efectúa una alteración correspondientemente mayor, tal como se demuestra en el gráfico No. 14, y podrá ser necesario incorporar alas en la punta para alcanzar un estallamiento aceptable.

Gráfico No. 14. Resultados de los estudios de la profundidad de trabajo de dientes angostos.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

El modelo de un diente angosto consiste de dos formas distintas: falla en la forma decreciente hasta una cierta profundidad crítica y luego una por movimiento lateral, alrededor de la prisma de suelo al frente del diente.

### 2.6.3 Efecto de las herramientas sobre la estructura del suelo

#### -Volumen de suelo alterado

El volumen de suelo alterado por un diente depende de la profundidad de trabajo, el largo de ruptura y el ancho de la zona alterada. Para los dientes anchos, un ángulo de ataque pequeño (hasta unos  $30^\circ$ ) y una buena profundidad de trabajo provocan mayor largo de ruptura y volumen de suelo alterado, aunque no se afecta mucho el ancho de la zona.

En el caso de los dientes angostos se observó que a mayores profundidades el volumen de suelo alterado no aumenta en forma correspondiente (gráfico No. 14). Este efecto depende de la compactación del suelo y muestra menor alteración para los suelos sueltos.

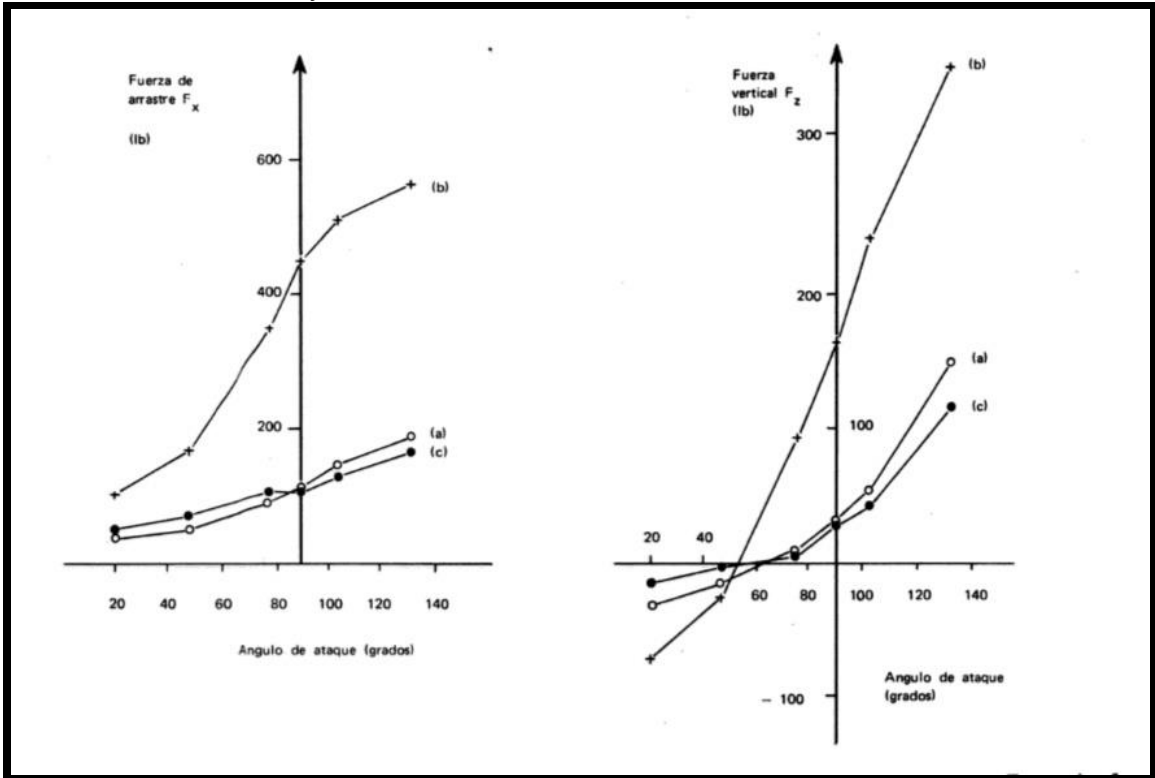
Finalmente, se notó que el volumen de suelo alterado al extraer un platillo horizontal es menor si el espacio es limitado por las paredes de una tolva u otros.

#### -Cambios en la densidad del suelo

Estos cambios dependen en gran magnitud de la dirección de la fuerza resultante del diente que actúa sobre el suelo. El gráfico No. 17 muestra que para los ángulos de ataque menores a los  $45^\circ$ , la fuerza resultante actúa hacia arriba en la mayoría de suelos y tiende así a moverse de igual manera, en apoyo al mullimiento del mismo.

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 (gráfico No. 15). A pesar de este incremento en la resistencia de la masa del suelo no se afecta la resistencia de los terrones, por depender ésta de la cohesión. Así, un diente angosto vertical o inclinado hacia atrás puede romper los terrones en un suelo seco al ofrecer éstos ahora menor resistencia que la masa del suelo.

Gráfico No. 15. Relación del ángulo de ataque de un diente angosto con la fuerza de arrastre  $F_x$  y la fuerza vertical  $F_z$ .



a) arena con 3,8% de humedad b) franco.arenoso con 9,4% de humedad c) arcilla con 18,2% de humedad.

Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

-Reordenamiento de las partículas y agregados del suelo

Los dientes angostos de ángulo de ataque menor que los  $60^\circ$  tienden a levantar los agregados grandes del suelo hacia la superficie, mientras que con un ángulo de unos  $90^\circ$  se ocasiona más bien una mezcla dentro del perfil de suelo. El prisma de suelo frente al diente angosto se levanta desde el pie del diente hacia la superficie, dado que la profundidad de trabajo es poca; esto también depende mucho del ancho e inclinación del diente y de la humedad del suelo.



## 2.6.4 Fuerza de arrastre de las herramientas simples de labranza

### -Generalidades

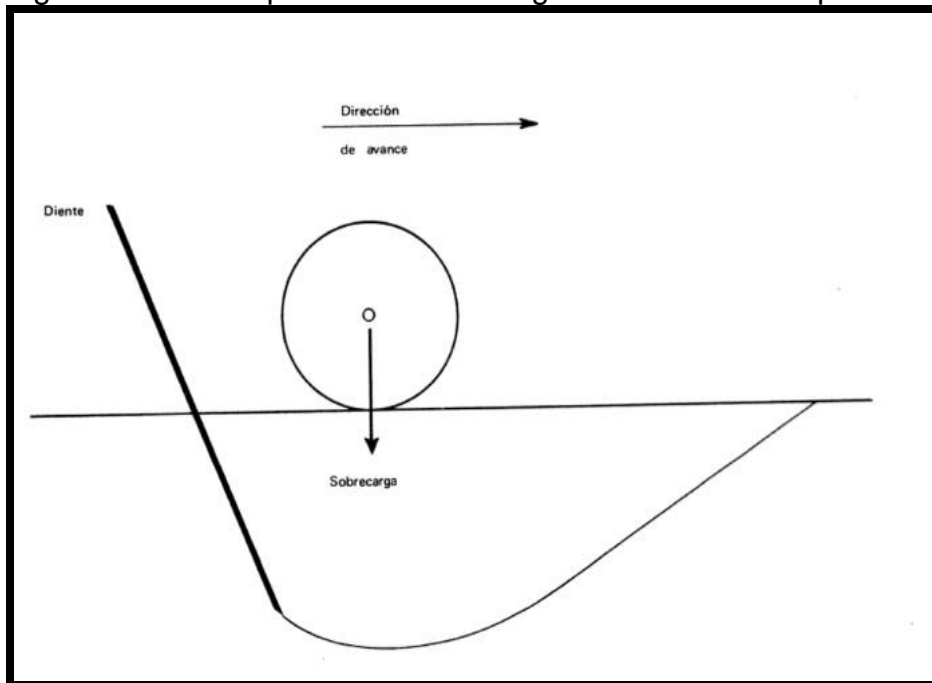
La fuerza de arrastre depende básicamente de cinco factores principales:

- a) los parámetros suelo/suelo
- b) los parámetros suelo/interfaz
- c) la forma de la herramienta
- d) la velocidad de avance
- e) la vibración del diente

### -El influjo de la forma de la herramienta

La fuerza de arrastres se ve muy influida por el ángulo de ataque y obviamente por el ancho del diente, que afecta el volumen de suelo alterado. Generalmente la fuerza de arrastre se aumenta ligeramente en el rango de los ángulos de ataque de  $10^\circ$  hasta unos  $50^\circ$  pero los ángulos mayores producen un aumento rápido en su tasa de incremento; ello significa que se debe tratar de seleccionar un ángulo menor que  $50^\circ$ , provisto que esto es capaz en efectuar el laboreo deseado.

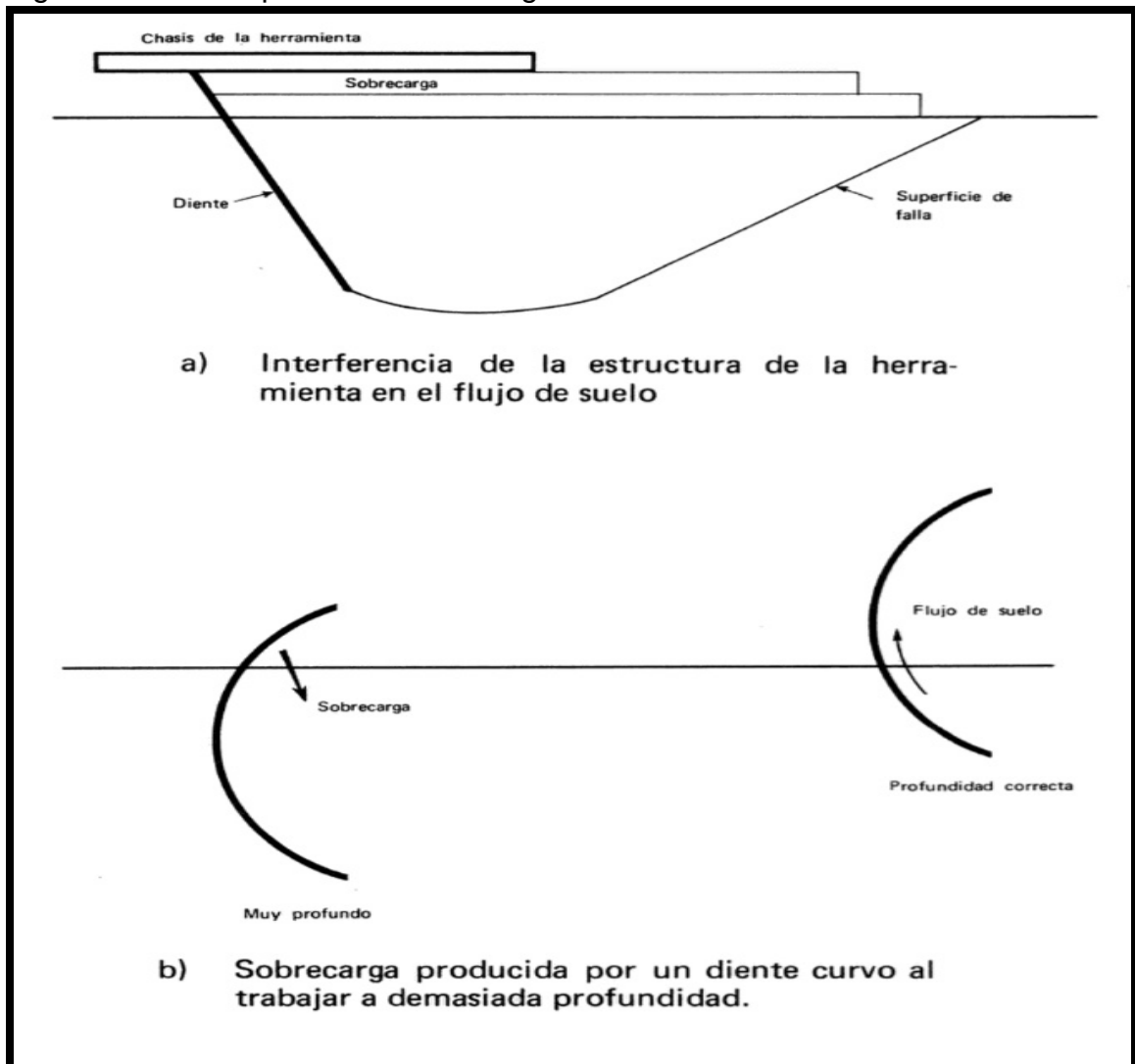
Figura No. 18. Esquema de sobrecarga de una rueda de profundidad.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

La sobrecarga de la superficie y la compactación aumentan la resistencia del suelo. Así, para minimizar la fuerza de arrastre, la herramienta no debería seguir normalmente en las huellas del tractor; obviamente esto no siempre es deseable en el objetivo del laboreo. El diseño mismo de la herramienta puede disminuir los efectos innecesarios de una sobrecarga por una selección cuidadosa del espaciamiento de los dientes, el diseño de la estructura y la ubicación de las ruedas de profundidad. Por ejemplo, la figura No. 18 ilustra cómo una rueda de profundidad puesta al frente del diente, y no a un lado, produce una sobrecarga.

Figura No. 19. Esquema de sobrecarga de un diente.



Fuente: tomado de Ashburner y Sims (1984).

El mismo efecto resulta en la figura No. 19, en la cual la estructura interfiere con el flujo del suelo por el diente en el caso a) y donde el diente curvo trabaja demasiado profundo en el caso b).

Debe recordarse la importancia de propiciar un restregamiento del suelo por el diente. La resistencia suelo/suelo normalmente se incrementa más rápido que la resistencia suelo/interfaz debido a que  $\phi$  es mayor que  $\delta$ , por lo que entonces es importante eliminar cualquier curvatura del diente que pudiera 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. En todos los casos el restregamiento apoya una fuerza de arrastre reducida, y en las condiciones difíciles del terreno vale la pena considerar las posibilidades de lubricación, vibración u otros métodos apropiados.

-El efecto de la velocidad de avance

Una mayor velocidad de avance de la herramienta ocasiona un incremento en la aceleración de las partículas y agregados del suelo. Por esta razón la fuerza de arrastre tiende a ser proporcional a la velocidad al cuadrado. Pero la velocidad también aumenta el esfuerzo normal suelo/interfaz y puede incrementar el esfuerzo entre las partículas; éste eleva la resistencia del suelo y, así, la fuerza de arrastre.

Una posibilidad es diseñar el diente para cambiar su agresividad de acción de acuerdo con la velocidad de avance; por ejemplo, se ha estudiado la óptima articulación en un arado de vertedera para acomodar una variación en la velocidad de trabajo, donde básicamente los cuerpos se mantienen en su posición por medio de un sistema de resortes que permite cambiar el ángulo de los cuerpos durante la labor.

Las investigaciones más recientes han indicado la importancia de la humedad en la relación resistencia/velocidad. Parece ser que con un contenido de humedad algo menor que el límite inferior de plasticidad (LIP), la resistencia es aproximadamente proporcional a la velocidad al cuadrado, en cambio, con un mayor contenido de humedad la relación es exponencial, mostrando muy poco aumento en la fuerza de arrastre con velocidades mayores a unos 5 m/s, probablemente debido al comportamiento del suelo como una clase especial de líquido viscoso.

Se debe anotar también que normalmente se practica una labranza del suelo con un contenido de humedad menor que el LIP, ocasión en que la

velocidad sí afecta sustantivamente la fuerza de arrastre y el requerimiento de energía para una operación específica.

## 2.7 PREPARACIÓN DEL SUELO

### 2.7.1 Introducción

Según Gonçalves et al. (1998), el laboreo del suelo comprende un conjunto de operaciones que, cuando son utilizadas racionalmente, pueden mantener los índices de productividad del sitio forestal, reducir la erosión y mejorar la relación costo/beneficio de los recursos disponibles: mano de obra, máquinas e implementos, combustible e insumos.

Por otra parte, realizada en forma inadecuada, las técnicas de cultivo pueden degradar física, química y biológicamente el suelo en pocos años, reduciendo su potencial productivo.

El efecto de la preparación del suelo no depende solamente del implemento empleado sino también de la forma e intensidad de su uso. Desde el punto de vista de la conservación del suelo, la mejor preparación es aquella que se consigue con el menor número posible de operaciones y que deja en superficie la mayor cantidad de residuos vegetales.

Ningún implemento de preparación promueve mejoras en la estructura del suelo, eso es conseguido por medio de la actividad biológica a través de organismos de suelo y de la acción del sistema radicular de las plantas.

Los principales problemas asociados al cultivo del suelo son:

- a) quema de residuos vegetales
- b) inadecuadas condiciones ambientales durante la preparación de suelo (clima, suelo y topografía)
- c) compactación provocada durante la cosecha y extracción
- d) falta de control de la calidad de las operaciones.

García et al. (2001), llevaron a cabo un ensayo realizado en el campo experimental del proyecto SURESA (Shell Uruguay Renewable Energy S.A.), en la localidad de Piedras Coloradas, Paysandú, en el año 1996.

El diseño experimental fue de parcelas divididas en tres bloques al azar. Los tratamientos mayores fueron cuatro densidades de plantas (5100, 3460, 2500, 1600 plantas/ha) y las parcelas menores cuatro métodos de laboreo.

Dichos métodos fueron (L1) laboreo mínimo, (L2) subsolador y disquera, (L3) laboreo cruzado y (L4) laboreo completo. Se asignó como un quinto tratamiento (L5) a la pastura original para la determinación de las propiedades del suelo, apareado a cada bloque.

L1 consistió en una pasada de cincel a una profundidad inferior a 40 cm en la fila de plantación, L2 tuvo una pasada de subsolador entre 40 y 50 cm de profundidad y luego una pasada de disquera en la fila de plantación. L3 consistió en dos pasadas idénticas al tratamiento anterior, cruzándose 90° en los puntos en los que fueron plantados los eucaliptos. El último tratamiento de laboreo, denominado completo (L4), consistió en agregar a lo descrito en L2 una segunda pasada de disquera y una de rotovador.

El mencionado autor concluye que al año de instalado el cultivo, la parcela a la cual se le efectuó laboreo mínimo presentó menor porcentaje de supervivencia, diámetro a la altura del pecho (di), y altura que la media de los restante tratamiento, resaltando que las plantas a las cuales se le aplicó el tratamiento de laboreo cruzado alcanzaron una mayor altura que aquellas a las cuales se les preparó el suelo de forma completa.

En cuanto a las diferencias significativas de producción a favor de mayor intensidad de laboreo evaluadas al final del primer año post plantación desaparecieron al final del segundo año, coincidiendo con estudios de otros autores que evaluaron dicha respuesta.

Al estudiar la estabilidad estructural superficial, evaluada por su resistencia a la erosión, fue mayor en el tratamiento L5, campo natural, con respecto al resto de los tratamientos de laboreo y menor laboreo cruzado con respecto al completo. La estabilidad estructural de la superficie mineral es mayor bajo la pastura original que bajo la plantación de eucaliptos, y que entre tratamientos de laboreo la mayor resistencia la presentó el laboreo mínimo y la peor el laboreo cruzado, con los otros tratamientos en una situación intermedia. Es decir la estructura de la superficie del suelo mineral se debilitó al sufrir más laboreo (García et al., 2001).

## 2.7.2 Manejo de los residuos forestales

### 2.7.2.1 Disposición de los residuos vegetales sobre el suelo

Según Gonçalves et al. (1999), en áreas de plantaciones forestales con destino comercial, la situación más común es la plantación de áreas antes utilizadas como pasturas naturales o chacras viejas, donde la cantidad de residuos es, relativamente, pequeña, con alta velocidad de descomposición.

Por otro lado, en áreas de reforestación (anteriormente cultivadas con especies forestales), la cantidad de residuos puede ser muy elevada, lo cual, dependiendo de la especie, pueden ser predominantemente duros y de lenta descomposición (principalmente los componentes más leñosos). Por ejemplo, las ramas de eucalipto son más duros que los de pinos, siendo necesario implementos más potentes, afilados y pesados para picarlos.

Los residuos vegetales, dependiendo del tipo y cantidad, pueden causar algunos trastornos operacionales, por ejemplo:

- a) el rendimiento y la calidad operacional de la preparación del suelo pueden ser inferiores al deseado
- b) el combate de hormigas es más difícil, pues los residuos camuflan sus nidos

El sistema intensivo del cultivo del suelo, utilizó la quema de residuos como prácticas de manejo de los residuos vegetales. Por mucho tiempo se alegaban varias restricciones para la supresión de la quema de residuos, como la dificultad de mecanizar las operaciones de manejo de los residuos antes de la preparación del suelo, la reducción de los rendimientos operacionales de preparación de suelo y la dificultad del control de hormigas.

En áreas de cultivo mínimo, la estrategia y las prácticas de manejo de los residuos dependen del sistema silvicultural y del sistema de cosecha de rodal forestal.

#### -Sistema silvicultural

El tipo y la cantidad de residuos es muy variable y dependiente del sistema silvicultural de manejo del rodal de tipo fustal (forestación por medio de estacas o plantines) o tallar (regeneración del rodal por medio de brotación de cepas). En áreas de rebrotes de eucalipto, el destino de la madera determinará las dimensiones de los tocones. Rodales cultivados con fines de producción de

madera con destino a energía, con cepas manejadas post-cosecha por dos o más rotaciones, los tocones son más altos, gruesos y duros que rodales cuyo objetivo es la producción de madera para celulosa.

#### -Sistema de cosecha

Dependiendo del sistema, semimecanizado (con motosierra ) o mecanizado (por ejemplo, harvester/forwarder, feller-buncher/skidder), la distribución de los residuos y el impacto sobre el suelo son bastante distintos.

En el sistema semimecanizado, es interesante observar que los residuos de cosecha son sistemáticamente dispuestos sobre la línea de plantación, facilitando la preparación de suelo en las entrefilas.

Cuando los residuos son distribuidos irregularmente sobre el terreno, es necesario picar y remover los residuos de la línea de preparación de suelo, con el objetivo de evitar la obstrucción y la reducción de la calidad y rendimiento de los implementos de preparación de suelo y otras prácticas culturales.

En algunas plantaciones forestales se adopta como principio la convivencia con los residuos vegetales, como objetivo de economizar operaciones y de reducir los daños al suelo. Consiste en realizar algunas operaciones esenciales, como preparación de suelo, alterando lo mínimo posible la disposición y características de los residuos. Para eso, se pueden usar algunos recursos, por ejemplo:

- a) la adición de accesorios mecánicos a los implementos de preparación de suelo, como el disco cortante y el brazo retráctil del subsolador,
- b) la incorporación del limpia trillo (despejador) al subsolador, de forma de ladear los residuos de la línea de subsolado,
- c) la elevación del chasis del tractor y/o ruedas especiales (neumáticos mayores, a veces la utilización de bandas de metal),
- d) la modificación del espaciamiento del plantío, de forma de posibilitar la realización de operaciones en fajas de terreno con menos obstáculos.

El uso de estos procedimientos debe ser cauteloso, porque, dependiendo de las condiciones de los residuos y del suelo, puede haber reducción de la calidad y rendimiento de la preparación de suelo y otras operaciones. La planificación detallada de las tareas es esencial para viabilizar la aplicación de ese principio.

Debido a la interdependencia entre las operaciones silviculturales, su planificación y ejecución deben ser realizadas en conjunto y sincronizadas, de forma de propagar en cadena los efectos benéficos de algunos procedimientos en las operaciones subsiguientes. Así, el sistema de cosecha y la disposición de los residuos tienen acentuada repercusión en la eficiencia (rendimiento, costo, daños al ambiente) de las operaciones de reforestación y mantenimiento de rodales.

#### 2.7.2.2 Fragmentación de residuos

Para posibilitar o agilizar la preparación de suelo (por ej. con subsolador) y otras operaciones culturales, a veces, es necesario rebajar o picar ramas (partes no comerciales del árbol) y cáscaras dispuestas sobre el suelo, evitando así el atascamiento, además de mejorar la calidad de trabajo de los implementos y acelerar la descomposición de los residuos leñosos. Este efecto puede ser conseguido con un rodillo dotado de cuchillas o trituradora de residuos.

El rolo dotado de cuchillas es utilizado también para cortar y picar plantas herbáceas (regeneración natural) y residuos arbóreos (ramas, colas de árboles, etc.) de baja resistencia al quebrado o corte, como el caso de pinos. Evitar la compactación del suelo y el aumento del rendimiento de las operaciones posteriores son las principales ventajas de este implemento.

La trituradora de residuos, debido a sus desventajas operacionales, ha sido sustituida por el despejador como alternativa al ordenamiento de los residuos durante las operaciones de cosecha mecanizada.

#### 2.7.2.3 Descortezado de madera en el campo

Es una práctica de gran relevancia en términos de preservación del suelo y de mantenimiento de nutrientes del ecosistema (especialmente calcio), utilizada en varios emprendimientos forestales con objetivos comerciales destinados a la producción de madera para pulpa.

En plantaciones de Eucalipto, la corteza representa 12, 4% de la masa del tronco. Estas cantidades de biomasa son mayores que las que podrían ser conseguidas con abonos verdes en suelos de baja fertilidad. Gonçalves et al. (1999), en ensayos sobre *Eucalyptus grandis* (7 años, incremento medio anual de madera sólida de  $30 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ), verificaron que la corteza representaban 23% de la cantidad total de residuos vegetales después de la cosecha. En la cáscara están contenidos 12% de N, 41% de P, 42% de K y 28% de Ca de la



cantidad total de nutrientes en estos residuos. Estas cantidades relativa son mayores en rodales con un potencial de producción mayor.

El proceso de descortezado en el campo puede ser realizado por descortezadoras móviles accionadas por la toma de fuerza del tractor, o durante la cosecha mecanizada con equipos especializados (Harvester).

En síntesis, son listadas algunas de las ventajas del descortezado de la madera en el campo:

- a) Protección del suelo contra el proceso de erosión y compactación realizadas por equipos pesados de cosecha y extracción,
- b) Reducción de las pérdidas de nutrientes del ecosistema
- c) el volumen de madera a ser transportado es menor,
- d) la madera se acomoda mejor en el vehículo de transporte,
- e) el consumo de productos químicos en la industria de celulosa es menor del que se consigue con madera descortezada en sistemas de tambores en la fábrica, debido a la menor calidad del proceso de descortezado comparado en los equipos cosechadores (Harvester).

#### 2.7.2.4 Efecto de los residuos vegetales sobre la temperatura y humedad del suelo

La superficie del suelo se comporta como un gran reservorio de energía térmica, siendo demandado durante el día por la radiación solar. En la noche, al irradiar energía, se enfría, calentando la capa superior, por lo tanto, actúa como estabilizador térmico. Los primeros 10 a 20cm de suelo, dependiendo, principalmente, de la cobertura, del color, la textura y humedad, son los que más oscilan térmicamente. Suelos con escasa o ausencia de cobertura vegetal y/o residuos de cosecha representan mayor amplitud térmica diaria, lo que aumenta los riesgos de heladas, con daños severos principalmente en la instalación de rodales.

La temperatura del suelo afecta los procesos físicos, químicos y biológicos, como la transferencia de agua y solutos, y la descomposición de materia orgánica.

Gonçalves et al. (1998), evaluaron el efecto de la quema, la incorporación, la remoción y el mantenimiento de residuos vegetales sobre la temperatura y humedad de un área de reforestación de *Eucaliptus grandis* (7 años). Verificaron, que en los ocho meses iniciales post-plantación de un rodal

de *E. grandis*, que la temperatura del suelo osciló entre 29.9 y 46.6°C y la mínima entre 5.3 y 17,6°C, durante el período comprendido entre setiembre de 1995 y abril de 1996.

Las menores amplitudes térmicas fueron observadas en el tratamiento donde los residuos permanecían sobre el suelo y, las mayores, en el tratamiento donde todos los residuos fueron retirados de la superficie del suelo (suelo desnudo). En término medio, durante ese período, la remoción de residuos resultó en un incremento de 2,5°C de la temperatura media máxima del suelo, relativamente el tratamiento donde los residuos fueron mantenidos sobre el suelo.

Las mayores oscilaciones y diferencias entre tratamientos, evaluando temperaturas medias, fueron observadas en las etapas iniciales durante la instalación del rodal. Después de ese período, las temperaturas medias, mínimas y máximas, muestran una disminución en la amplitud en función del cerramiento de copas.

En cuanto a la humedad del suelo, en el mismo período de tiempo, Gonçalves et al. (1998), comprobaron que esta oscila entre 2 y 14% en los primeros 30cm de suelo. La mayor oscilación y diferencia entre tratamientos, similar al efecto de la temperatura del suelo, fueron observadas en los ocho meses iniciales contados a partir de la plantación. Después la humedad del suelo decreció (variación entre 2 a 6%), así como la diferencia entre tratamientos, que prácticamente desapareció.

La disminución de la humedad está directamente relacionada con las mayores demandas de agua por los árboles en crecimiento. Nuevamente, en el tratamiento donde fueron mantenidos los residuos de la cosecha, la humedad media fue mayor en comparación con el resto de los tratamientos, como consecuencia de menores tasas de evaporación.

Las menores valores de humedad fueron observadas en tratamientos en los cuales el suelo fue expuesto en mayor medida a la radiación solar (residuos quemados, incorporados o removidos). Según Gonçalves et al. (1998), la presencia de residuos vegetales, además de reducir las pérdidas por evaporación, debido a la insolación directa del suelo, reduce las pérdidas de agua por transpiración, al suprimir o disminuir el potencial germinativo de plantas invasoras.

#### 2.7.2.5 Quema de residuos de cosecha

El uso de fuego es una práctica de limpieza muy antigua, usada en áreas agrícolas, forestales y pastoriles. A veces, también es utilizada para eliminar material combustible acumulado sobre el suelo, reduciendo el riesgo de ocurrencia de incendios. Varios efectos sobre las características y propiedades del suelo pueden ser asociados a la quema de residuos vegetales.

El fuego aumenta la temperatura del suelo y del aire durante la actividad propiamente dicha y después de su extinción, debido a mayor exposición del suelo a radiación solar. La variación de la temperatura del suelo durante la quema depende de la duración e intensidad del fuego, pudiendo llegar a valores superiores a 600°C (Sánchez, 1981).

En cuanto a la humedad, suelos con mayor contenido retardan y disminuyen la transferencia de calor a mayores profundidades, debido a mayor demanda de temperatura para calentarlo y a la pérdida de calor por evaporación.

La dispersión de agregados por el fuego, asociada a los efectos de la lluvia sobre suelos expuesto, provoca la reducción de la macroporosidad, y consecuentemente, de la capacidad de infiltración de agua y de aireación del suelo.

### 2.8 LABOREO DEL SUELO

Las primeras plantaciones realizadas en las décadas del 60-70 aplicaban métodos tradicionales de preparación del suelo, usados en áreas agrícolas (cultivos anuales). La preparación primaria del suelo era realizada con arado (de disco o vertedera) y rastra liviana, en suelos livianos (textura arenosa o media), y rastra pesada en suelos denominados pesados (suelos con alto contenido de arcilla o en los cuales presentaban suela de arado). La concepción vigente en esa época era que las especies forestales precisaban de una preparación intensiva del suelo, lo que provocaría ganancias extras que justificaban los costos operacionales.

Al inicio de la década del 80, fue introducida la rastra aradora. Este implemento trajo algunos importantes avances en términos de conservación de suelo y de operación, por los siguientes motivos:

- a) Los camellones son realizados a nivel y la menor perturbación del suelos reduce la erosión potencial,

- b) Posibilita, en áreas de reforestación, el realineamiento de las filas de plantación,
- c) Posibilita la realización conjunta de preparación de suelo con la fertilización de base.

La rápida evolución tecnológica de la silvicultura uruguaya, verificada en la década del 90, culminó con la introducción del sistema de cultivo mínimo del suelo, siendo las primeras plantaciones (a gran escala) establecidos por Forestal Oriental.

La prohibición de quemas vigente en Uruguay (período estival), la necesidad de reducir la velocidad de degradación del suelo (en planes de uso del MGAP), sumado a la preocupación por la conservación de los recursos naturales y el uso de herbicidas fueron factores que predispusieron a agilizar la adopción del cultivo mínimo.

El uso de herbicida fue un factor técnico crucial, porque este sistema no necesita la inversión del suelo para controlar la vegetación no deseada, dejando el banco de semillas de plantas invasoras en la capa superficial del suelo. Esto puede causar un aumento de la infección de estas plantas, dificultando o inviabilizando, operativa y económicamente, el control manual

### 2.8.1 Cultivo mínimo

El cultivo mínimo o reducido del suelo consiste en laborear lo mínimo necesario, manteniendo los residuos vegetales sobre el suelo como cobertura muerta. Para plantaciones forestales, prevé la realización de una preparación localizada apenas en la fila de plantación.

Debido al amplio espaciamiento entre filas, generalmente, entre 2,5 a 3,0m entre filas, el volumen de suelo laboreado es muy inferior a aquel realizado para cultivos anuales. Toda vez que más del 30% de la superficie del suelo queda cubierta con al menos 30% de residuos, la preparación del suelo es denominado conservacionista, debido a la resistencia que ofrece a la pérdida de agua en el proceso erosivo.

La reducción del laboreo acotada a la fila o pozo de plantación en el sistema de cultivo mínimo debe posibilitar el rápido crecimiento radicular, consecuentemente, mayor aprovechamiento de agua y nutrientes adyacentes a las mudas, en gran parte, adicionados al suelo vía fertilización.

Así, en suelos friables, a veces, con densidad adecuada del crecimiento radicular, el subsolado es realizado, no con la finalidad de romper capas compactadas, como los suelos pedregosos, sino que la función de esta operación es disminuir la densidad del suelo, propiciando el crecimiento más rápido de las raíces (principalmente las finas), que de esta manera encontrarán capas de baja resistencia mecánica, resultando en economía de energía y facilidad de crecimiento radial y longitudinal.

El rápido establecimiento de la planta aumenta su capacidad competitiva de las plantas invasoras y su potencial de sobrevivencia ante estrés hídrico y nutricional, además de proporcionar protección al suelo.

### 2.8.2 Principales implementos

Los implementos más usados en áreas manejadas con el sistema de laboreo mínimo son el subsolador (profundidad de trabajo >30%), o escarificador (profundidad de trabajo hasta 30cm) y el perforador mecánico de pozo. Este último es usado en áreas con alta pendiente o con muchos obstáculos físicos para el subsolador, como en áreas en reforestación, con muchos tocones gruesos.

#### 2.8.2.1 Efecto del implemento en el suelo

El brazo del subsolador posee una zapata que, al desplazarse, promueve una tensión de cizallamiento no solo en su frente. Esta tensión se propaga hasta la superficie del suelo con un ángulo de 45°, generando una sección triangular del suelo removido. Así, si la profundidad de subsolador fuera 40cm, en superficie, la faja de movilización de suelo será de 40cm.

El volumen de suelo preparado es muy variable, dependiendo del implemento y profundidad de trabajo. Por ejemplo, el volumen de suelo preparado con una profundidad de trabajo de 40cm, 320cm<sup>3</sup> por planta, es 6,4 veces mayor que el volumen preparado con un perforador mecánico a la misma profundidad de trabajo, 50 cm<sup>3</sup> por planta. Mayores profundidades de trabajo, >90cm, han sido recomendadas para suelos menos porosos y más duros.

Así, en suelos pedregosos, las plantas se benefician de un mayor volumen preparado lateralmente y en profundidad, lo que reduce en estrés hídrico y nutricional.

### 2.8.3 Efecto sobre la productividad

Las diferentes prácticas de manejo de residuos vegetales y la preparación del suelo pueden afectar de forma diferente el crecimiento de los árboles. Gonçalves et al. (2004), estudiaron el efecto de la quema, la incorporación y el mantenimiento de los residuos vegetales sobre el suelo en reforestación de eucalipto. Verificaron, en tratamientos donde los residuos fueron mantenidos sobre el suelo, cultivo mínimo con o sin remoción de corteza, y en ensayos donde los residuos fueron incorporados con rastra pesada, que los índices de crecimiento eran similares en los primeros años del cultivo, con una marcada tendencia de reducción de las diferencias a lo largo del tiempo en relación al tratamiento donde los residuos fueron quemados. La simple remoción de corteza reduce sustancialmente el crecimiento de los árboles.

El peor tratamiento fue aquel en que todos los residuos (desechos de cosecha) fueron removidos del área. Esos resultados destacan la gran importancia de los residuos sobre la productividad. Además de la reserva de nutrientes contenidos en los residuos, que son rápidamente mineralizados, los residuos generan un microclima favorable para el crecimiento inicial de las plantas.

En el mismo experimento, Gonçalves et al. (1998), confirmaron, en tratamientos que recibieron labranza mínima, que las oscilaciones térmicas e hídricas del suelo fueron menores, la humedad media del suelo fue mayor y la temperatura superficial del suelo fue menor en comparación con los tratamientos donde los residuos fueron quemados o removidos. Esos efectos influenciaron en forma positiva la mineralización de nitrógeno (Gonçalves et al. 2000).

El mayor crecimiento de los árboles obtenidos en los años iniciales post-quema de residuos destaca el efecto temporario de la alta disponibilidad de nutrientes mineralizados por la quema. Entretanto, eso puede tener efectos indeseable sobre la productividad del sitio, en medio y largo plazo, debido al empobrecimiento del depósito de nutrientes del sistema por volatilización, lixiviación y erosión hídrica y eólica (Gonçalves et al., 2000).

### 2.8.4 Análisis comparativo: cultivo mínimo vs. cultivo intensivo

En síntesis, se pueden enumerar las siguientes ventajas y desventajas del cultivo mínimo comparado con el cultivo intensivo del suelo (Gonçalves et al., 2000).

#### 2.8.4.1 Ventajas

Mantienen o mejoran las características físicas del suelo. Los residuos culturales dejados sobre el suelo funcionan como una capa aislante entre la atmósfera y el suelo, con importantes efectos sobre las características físicas y de protección contra la erosión.

Reduce las pérdidas de nutrientes del ecosistema. Sin incorporación o con quema de residuos, su mineralización y liberación de nutrientes ocurre de forma gradual, reduciendo las pérdidas por lixiviación, volatilización y erosión eólica e hídrica.

Mantiene o eleva la actividad biológica del suelo. La presencia de residuos hace que la superficie del suelo no reciba directamente la radiación solar, reduciendo las pérdidas de agua por evaporación, así como, la amplitud de la variación térmica e hídrica del suelo a lo largo de las estaciones climáticas del año. En estas condiciones, con mayor disponibilidad de alimentos y protegidos del efecto esterilizante de la radiación solar directa, los organismos del suelo, microorganismos y fauna (micro, meso y macrofauna), encuentran un microambiente más adecuado para su supervivencia y multiplicación, aumentando la abundancia y diversidad.

Mantiene o eleva la fertilidad del suelo. Al preservar las características físicas del suelo, se reducen las pérdidas de nutrientes y preservan su actividad biológica, el cultivo mínimo beneficia directa e indirectamente la fertilidad del suelo. La capa superficial del suelo puede tener una fertilidad elevada con ciclado de nutrientes después de algunas rotaciones de cultivo forestal, en función de la concentración de nutrientes anteriormente dispersos en profundidad.

Reduce la infección de plantas invasoras. Al mantener los residuos sobre el suelo, principalmente en áreas de reforestación (mayor cantidad de residuos), el banco de semillas y otros propágulos de invasoras no son expuestas a la luz directa y físicamente impedidos de germinar y crecer. Además de actuar como una barrera física para la emergencia de invasoras, los residuos pueden favorecer el desecamiento de semillas, que eventualmente están en el área y son depositadas sobre los residuos. Con esto, ellas pueden reducir su potencial de germinación.

Reduce los gastos de implantación y reforestación de rodales forestales. El método de cultivo mínimo del suelo, generalmente, reduce el número de operaciones culturales, el grado de mecanización (en función de la reducción de la demanda de mano de obra de campo y administración de personal), los

rendimientos operacionales son mayores, conseguidos debido a versatilidad y posibilidad de realización de diversas operaciones conjuntas (preparación de suelo, fertilización, aplicación de herbicidas).

Generalmente, los implementos de preparación de suelo son más leves, simples y baratos (adquisición y mantenimiento). Con todas esas ventajas, también se gana una mayor flexibilidad de planeamiento de las actividades de preparación de suelo. Los costos de cultivo mínimo son significativamente inferiores a los obtenidos con un cultivo intensivo del suelo.

Aumenta la eficiencia operacional de las actividades de campo. Debido a los menores riesgo de erosión y a las mejores condiciones de tránsito de los tractores que realizan el subsolado u otras prácticas silviculturales, las actividades de preparación de suelo, controlan las plantas invasoras y la plantación puede ser realizada en forma adecuada en períodos lluviosos del año, lo que resulta en un aumento del número de días efectivos de trabajo. El tránsito de tractores en el área de cultivo mínimo es facilitada por la cobertura muerta sobre el suelo, que reduce el patinaje, al igual que altos contenidos de humedad.

#### 2.8.4.2 Desventajas

Heterogeneidad de crecimiento inicial de las plantaciones forestales, el crecimiento inicial de plantaciones forestales establecidas por el método de cultivo mínimo del suelo, generalmente, es más lento y heterogéneo comparado con aquellas que fueron implantadas bajo el sistema de cultivo intensivo del suelo. Esta heterogeneidad es atribuída a la menor disponibilidad de nutrientes para las plántulas, debido a la descomposición gradual y más lenta de los residuos culturales, asociado a la inmovilización de nutrientes llevada a cabo por los microorganismos descomponedores. Parte de la heterogeneidad puede ser atribuída a la distribución irregular de fertilizantes, sea por la ineficiencia en la calibración de los accesorios de aplicación de los insumos, o también por la presencia de obstáculos en la trayectoria de los implementos, que perjudican el funcionamiento de los accesorios.

Mayores dificultades de protección y manejo de las plantas. Las áreas sometidas al cultivo mínimo presentan:

- a) Mayor riesgo de incendios forestales, debido a mayor presencia de residuos forestales sobre el terreno;
- b) a veces, mayor incidencia de plagas y enfermedades en estadios iniciales de crecimiento de los árboles;



- c) mayor dificultad para la localización y combate de nidos de hormigas, que quedan camuflados entre los residuos depositados sobre el suelo;
- d) crecimiento radicular reducido y/o deformado por la presencia de impedimentos físicos.
- e) a veces, , mayor dificultad de realización de algunos tratamientos culturales, en función de la presencia de residuos que pueden constituir obstáculos para la mecanización.

## 2.9 IMPLEMENTOS PARA LA PREPARACIÓN DEL SUELO

### 2.9.1 Subsolador

Tradicionalmente, los subsoladores y descompactadores han sido aperos periódicamente utilizados para corregir defectos en las capas profundas del suelo, de origen natural, o producidos por determinadas circunstancias agroclimáticas.

Estos descompactadores son claramente diferentes a lo que son cultivadores pesados y chisels, ya que emplean brazos o púas rígidas que permiten la fisuración del suelo rompiendo capas compactadas, sin que se produzca la inversión del perfil, ni efectos apreciables sobre la vegetación o el rastrojo superficial. Para que actúen con eficacia deben de trabajar 10 cm por debajo de la capa que se pretende romper (Márquez Delgado, 2004).

La diferencia entre las profundidades a las que pueden trabajar es la que sirve para distinguir entre aperos entre sí, habitualmente se designan como subsoladores los que pueden hacerlo a profundidades que superan los 50 cm, mientras que en los descompactadores la profundidad de trabajo sería inferior. Sin embargo, es frecuente encontrar en la documentación comercial ambos términos como sinónimos, con independencia de la profundidad a la que pueden trabajar.

La denominación de “ripper”, que se utiliza en la maquinaria de movimiento de tierras para designar a las herramientas diseñadas para romper capas de acumulación en el subsuelo, se puede considerar equivalente a la de subsolador.

Tradicionalmente, los subsoladores y descompactadores se han caracterizado por disponer de púas rectas, que trabajan perpendiculares a la superficie del terreno, pero más recientemente han aparecido descompactadores con dientes oblicuos: las púas toman forma angulada o

curvada lateralmente, lo que permite airear suelos endurecidos y romper suelas de arado con mínimo disturbio superficial (Márquez Delgado, 2004).

La característica común de ambos grupos es el empleo de brazos o púas robustas capaces de trabajar en el suelo endurecido. Esto significa que el bastidor que los soporta debe de resistir esfuerzos de considerable magnitud.

En función de la profundidad máxima de trabajo, la separación entre brazos debe de ser diferente, si se quiere que su efecto fisurador alcance a todo el ancho de trabajo.

Esto es una consecuencia de su forma de actuar: a medida que avanza el apero, el suelo se fisura, apareciendo grandes terrones en la superficie y a ambos lados de la zona atravesada, quedando removido el suelo dentro de un surco en "V" cuya parte inferior coincide con la bota del subsolador.

Así, con el trabajo profundo los brazos pueden estar más espaciados, y este espaciamiento depende, asimismo, de la forma del extremo de la púa, ya que cuando se incluyen en el extremo, o bota, salientes en forma de aletas, la distancia entre brazos contiguos puede aumentar sin que se reduzca el efecto de la fisuración.

El espaciamiento entre dientes para subsoladores que disponen de botas sin aletas debe de estar comprendido entre una vez y una vez y media la profundidad de trabajo. En los provistos de aletas puede llegarse a dos veces esta profundidad.

En función de la robustez del apero se pueden establecer dos grupos: los subsoladores o descompactadores pesados cuya distancia entre el extremo de la púa y el bastidor estará comprendida entre 75 y 110 cm, con 1 o 2 púas por metro de ancho de trabajo; los descompactadores ligeros, cuyo despeje del bastidor respecto a la profundidad de trabajo estará entre 60 y 75 cm, con 2 o 3 púas por metro de ancho de trabajo (Márquez Delgado, 2004).

Puede establecerse una relación entre la profundidad de la suela de arado que se desea eliminar y el despeje necesario, de manera que el despeje supere en 20-25 cm a 30-35 cm la profundidad de la suela considerada, para profundidades de ésta entre 25 y 50 cm (Márquez Delgado, 2004).

En el caso de residuos vegetales abundantes este despeje deberá de ser 20 cm superior a los valores indicados para suelos desnudos.

En algunos casos la separación relativa entre las púas puede modificarse para aproximarlas entre sí, en función del tipo de trabajo que realizan. Asimismo, en los aperos con menor ancho de trabajo el bastidor se diseña para su enganche en el tripuntal del tractor, aunque las púas pueden situarse en uno o varios paños o filas, perpendiculares a la dirección de avance, para favorecer el paso de los residuos presentes en la superficie del terreno. En equipos para trabajo muy profundo se recurre al arrastre con ruedas portadoras.

En uno y otro caso, es importante que delante de cada una de las púas no se produzcan sobrecarga por la presencia de ruedas u otros elementos que interfieran con el normal fisuramiento del suelo; para ello; en los subsoladores diseñados para trabajar próximos al tractor, la posición relativa de las púas en su inserción en el terreno toma forma de “V”, con el vértice dirigido hacia el centro del tractor, para evitar que las ruedas traseras del mismo reduzcan el efecto fisurador de las púas extremas (Márquez Delgado, 2004).

#### 2.9.2 Descompactadores de brazos rectos

La estructura de cada púa, en los descompactadores de brazos rectos, toma formas diferenciadas con respecto a la vertical: se comercializan púas ‘rectas’ con acodamiento en el extremo inferior donde va situada la bota o aleta, inclinadas hacia adelante, y en forma parabólica (recta en la inserción con el suelo y curvada en profundidad).

Las púas rectas tienen una buena penetración y el suelo se eleva poco a su paso, aunque la potencia que demanda, a igual profundidad, resulta mayor. Por su parte, las púas inclinadas hacia adelante tienden a sacar terrones hacia la superficie, aunque requieren relativamente poca potencia de tracción para su desplazamiento en el suelo. Considerando el despeje del bastidor que se utilizan en estos casos (con suficiente resistencia mecánica), no se recomiendan para romper capas compactadas a profundidad de más de 25-30 cm (Márquez Delgado, 2004).

Los dientes curvados constituyen una alternativa interesante, ya que requieren un esfuerzo de tracción limitado en comparación con el diente recto, provocando una elevación del suelo por esponjamiento, sin que aparezcan grandes terrones superficiales salvo en suelos muy endurecidos. Son una solución de compromiso frecuentemente utilizada por los fabricantes, siendo esencial el diseño del perfil de la púa para garantizar la calidad de su trabajo, así como que el apero trabaje superando una profundidad mínima.

Como medida de protección frente a rotura, se pueden incorporar a las púas dispositivos de seguridad contra sobrecarga; normalmente tornillos de

resistencia calibrada que se rompen por cizalladura, y en algunas ocasiones, generalmente sobre descompactadores más ligeros, dispositivos de seguridad mecánicos o hidráulicos de acción automática (non-stop), o mecánicos con rearme manual.

En el extremo inferior de la púa se coloca una reja o bota que actúa como elemento de protección frente al desgaste cuando se trabaja en suelos muy endurecidos. Este elemento, fabricado frecuentemente con aceros especiales de alta resistencia mediante moldeo, es reemplazable, y, en algunos casos, puede ajustarse su ángulo de ataque a valores entre 30 y 40° (Márquez Delgado, 2004).

En alternativa, se puede utilizar una bota con aletas, que hace aumentar el volumen de suelo trabajado con cada púa, lo que permite espaciarlas más sobre el bastidor, aumentando el ancho total de trabajo, aunque se produce un incremento del esfuerzo de tracción de cada púa cuantificable en un 10 al 30%, según el tipo y estado del suelo. El ancho total de estas aletas no debe de superar los 30 cm (Márquez Delgado, 2004).

Es frecuente utilizar, para limitar la profundidad de trabajo de los descompactadores, ruedas de apoyo o rodillos con distintas características, que ayudan a cerrar las grandes grietas abiertas y asentar los terrones formados en la superficie al paso del apero. Los más frecuentes suelen ser los rodillos con púas o con discos y los rodillos jaula pesados.

En algunas ocasiones, para evitar que se formen grandes terrones en la superficie, trabajando sobre suelos muy secos superficialmente, se colocan discos abridores por delante de cada púa.

Al paso de la púa recta en el suelo consolidado se produce, en la parte profunda del surco y por efecto directo del diente, la Formación de tierra fina y pequeños terrones.

En el contacto con la púa, los terrones tienden a subir a la superficie produciéndose un esponjamiento que puede llegar a ser de 1/3 de la profundidad de trabajo. Los brazos rectos o curvos, con una zona recta próxima a la superficie, permiten realizar un trabajo profundo sin que los terrones salgan del suelo hasta límites que lleguen a provocar el atoramiento del apero.

El paso de la púa produce la fisuración del suelo según un perfil cuya sección toma forma de "V", con el vértice situado junto a la bota de la púa, y más o menos abierta en función de la naturaleza del suelo y su contenido de

humedad. Con el suelo en estado plástico, esta “V” queda reducida a un pequeño surco con ancho igual a la de la púa.

En el caso de púas curvadas o anguladas en sentido transversal, también se produce tierra fina y pequeños terrones en la zona del suelo que se pone en contacto directo con la púa, pero con un alisado más o menos intenso del suelo próximo a la cara externa de la curvatura (lado convexo), especialmente significativo con suelo semiplástico (Márquez Delgado, 2004).

La elevación del suelo es menor y la superficie queda poco disturbada, produciéndose una fisura sin esponjamiento en la parte del perfil del suelo que pasa sobre la parte curvada de la púa, cuando éste se encuentra en estado friable. La estructura inicial de la zona queda inalterada.

El esfuerzo de tracción y la potencia que demanda el accionamiento de subsoladores y descompactadores, están sujetos a notables variaciones como consecuencia de la resistencia de las capas endurecidas sobre las que trabaja.

Cuando se trabaja con suelos secos consolidados, con elevados contenidos de arcilla, el esfuerzo de tracción necesario aumenta considerablemente.

Para establecer la conveniencia del empleo de descompactadores y subsoladores, hay que considerar cuáles son los objetivos, así como la eficacia con la que se puede conseguir.

Se recomienda el subsolado cuando se desea:

- a) Aumentar la porosidad de las capas de suelo por debajo de la zona afectada por las operaciones habituales de laboreo primario;
- b) Aumentar el volumen de suelo explorado por el sistema radicular de un cultivo;
- c) Favorecer la circulación del agua.

No todos los suelos responden favorablemente al subsolado, por lo que, al ser una operación costosa, se necesita establecer claramente la conveniencia del mismo.

Resulta ventajoso

Para disminuir capas de acumulación que impiden la entrada de las raíces y el descenso del agua (ej.: capas calizas). La limitación más importante que aparece en estos casos es consecuencia de la profundidad relativamente elevada a la que se encuentra, lo que influye considerablemente en el costo de la operación.

Para descompactar suelas de arado generadas por el paso de aperos, o derivadas del laboreo del suelo, que no son siempre tan problemáticas como aparentan, salvo que se encuentren en zonas de desarrollo normal del sistema radicular del cultivo superficial, cuando no se mantiene, de forma natural, una estructura adecuada en profundidad (Márquez Delgado, 2004).

### 2.9.3 Rastra de discos o excéntrica

La rastra de discos o excéntrica pesada tiene sus orígenes en el laboreo secundario del suelo. Sin embargo, con su perfeccionamiento se desarrollan modelos con capacidad para realizar un laboreo primario, suficiente en determinadas condiciones agroclimáticas, con una ventaja respecto a los arados convencionales: posibilidad para trabajar rápido con gran ancho de labor, algo muy apreciado a medida que aumenta la potencia de los tractores agrícolas disponibles (Márquez Delgado, 2004).

La característica común de estos aperos es la presencia de discos verticales montados en bloques que giran alrededor de un eje común.

Estos bloques se orientan de manera angulada respecto a la dirección de avance, de forma que los discos tienden a rodar, a la vez que mezclan las capas del suelo trabajando a una profundidad que depende especialmente del peso y de las dimensiones de los discos y de la separación entre discos contiguos, además de su ángulo de corte.

Las características de estos discos en cuanto a la concavidad o flecha, habitualmente menor que la de los discos que se utilizan en los arados, hace que los ángulos de corte puedan ser muchos menores que en los arados de disco.

En función del tamaño de los discos y de la carga sobre ellos, estas herramientas realizan diferentes acciones sobre el suelo. Con discos pequeños y poco cargados, se consiguen implementos para el laboreo secundario; permiten la preparación de la cama de siembra mediante la rotura de terrones,

nivelación y asentamiento de la capa más superficial del suelo (Márquez Delgado, 2004).

Por el contrario, con discos grandes y fuertemente cargados, se consiguen implementos para la preparación primaria del suelo, que son alternativa a los arados de vertedera, con una característica diferencial: en los arados rastra se puede combinar el trabajo de laboreo con cajones fertilizadores, lo que permite, en determinadas circunstancias, reducir tiempo y costos.

Las dimensiones de los discos que habitualmente se utilizan en estos aperos, están normalmente comprendidas entre 460 y 810 mm (18 a 32 pulgadas), con espesores entre 3.25 y 10 mm y flechas entre 40 y 140 mm. Además, aparecen otros de tipo forestal con diámetros de 914 mm (36 pulgadas) y 1016 mm (40 pulgadas), con espesores de 12 y 14 mm y flecha de 140 y 150 mm, dirigidas a las excéntricas para trabajos duros (Márquez Delgado, 2004).

A igualdad de peso sobre el disco, las hojas pequeñas penetran con mayor facilidad que las grandes, mientras que las grandes trozan mejor los residuos, trabajando a igual profundidad, como consecuencia del menor ángulo entre el borde del disco y la superficie del suelo.

Al igual que en los arados de discos, y de una utilización más frecuente, los discos pueden estar acotados en la superficie, lo que facilita la penetración en suelos endurecidos y el trozado de los residuos presentes en la superficie del suelo. El afilado del borde, habitualmente se prepara en la parte exterior (lado convexo), aunque también puede hacerse en el lado interior (lado cóncavo).

Es frecuente encontrar rastras con discos de borde dentado en el paño delantero y liso en el trasero; de esta manera se combina el trozado de residuos con la mejor nivelación producida por los discos lisos.

Asimismo, se recurre a montar, en la parte delantera de la grada, discos con mayor espesor que en la trasera para compensar el mayor desgaste que se produce durante el trabajo, ya que actúan sobre un suelo más consolidado (Márquez Delgado, 2004).

Como consecuencia de que el montaje de los discos se realiza sobre un eje común, éstos disponen de un agujero central de forma cuadrada que hace posible que todos los discos permanezcan solidarios en el eje y giren de

manera conjunta. El eje central y los separadores montados entre cada dos discos contiguos, dan a cada bloque de discos una apariencia característica.

Especialmente desarrollados para las rastras, se encuentran disponibles discos de forma cónica, cuya superficie deriva de un cono de unos 30° de ángulo en el vértice. Con estos discos cónicos se consigue que las separaciones entre las superficies de discos contiguos sean iguales, tanto en el borde como en el centro del disco, lo que hace más fácil el movimiento del suelo y reduce su compactación, a la vez que penetran más fácilmente. Sin embargo, pueden obstruirse sobre suelo pegajoso (Márquez Delgado, 2004).

Al igual que en los discos para arado, los materiales utilizados deben proporcionar dureza superficial a la vez que la tenacidad para que no sufran roturas en los choques.

Junto con las dimensiones de los discos, su separación y la carga sobre ellos definen la intensidad de su trabajo. Así, la separación varía entre 18 cm, en las rastras livianas (laboreo secundario de preparación de cama de siembra), y más de 35 cm, para trabajo pesado (Márquez Delgado, 2004).

Para fijar el espaciamiento se deben de tener en cuenta las condiciones del suelo, el residuo superficial presente, la profundidad de trabajo y las dimensiones de los discos.

Para conseguir la entrada del disco en el suelo, al no poder contar con el efecto de succión que producen los aperos de dientes, hay que recurrir a colocar suficiente peso sobre el bastidor en el que se apoyan los discos.

En ocasiones, entre las características técnicas de estos aperos, se da el peso sobre cada disco, mientras que en otros casos (rastras livianas) se da por metro de longitud, por lo que para realizar comparaciones habrá que homogeneizar los valores teniendo en cuenta el espaciamiento entre discos contiguos.

Dependiendo del disco de la rastra y de su campo de aplicación, se encuentran cargas que varían entre un rango que va desde 18-20 kg/disco hasta cerca de 300 kg/disco. En la carga por disco no sólo interviene las características constructivas de los elementos y del bastidor del implemento, sino que se pueden utilizar lastres complementarios para aumentar el peso en función de las condiciones de trabajo (Márquez Delgado, 2004).



El espaciamiento entre discos contiguos se consigue con separadores en forma de carrete, de fundición, con un extremo cóncavo y el otro convexo para conseguir adaptarse a la superficie de los discos.

Al menos dos carretes por eje disponen de rulemanes (mancal) para la fijación del grupo al bastidor de la rastra. En grupos largos, a veces se instalan tres apoyos, lo cual puede ocasionar problemas de desgaste acelerado como consecuencia de diferencias ligeras de alineación.

En el mencionado caso resulta preferible fabricar el grupo en tramos más cortos con dos apoyos por tramo, uniendo, si se estima necesario, los extremos de los ejes de cada grupo mediante acoplamientos flexibles para que giren a la misma velocidad.

Los rodamientos utilizados son de bolas autoalineables, para adaptarse a la flexión que se produce en el eje durante el trabajo, así como sellados (o ring), preferentemente con triple labio, para impedir la entrada de polvo y asegurar el engrase (Márquez Delgado, 2004).

Se considera que el apriete del grupo, realizado con las tuercas de los extremos de los ejes, resulta esencial para garantizar el perfecto funcionamiento del conjunto. El par de apriete debe ser el establecido como referencia en el manual del operador. Una vez fijado el grupo se debe colocar el pasador o dispositivo de bloqueo en la posición correspondiente.

Se pueden utilizar rascadores o limpiadores, similares a la de los arados de discos, para evitar que se obstruyan en suelos pegajosos, o con abundante residuo superficial, especialmente cuando se trabaja en condiciones difíciles.

El ajuste de los limpiadores debe de hacerse de manera que la punta quede próxima al disco, cerca del carrete separador, para los discos esféricos. En los cónicos conviene situarlos sobre el borde del disco para mejorar la limpieza (Márquez Delgado, 2004).

Se deben ajustar hasta tocar el disco, para impedir la acumulación de tierra, pero sin que impidan la rotación del grupo de discos. Hay dos alternativas: limpiadores que se ajustan individualmente, o bien autoajustables con resorte, de manera que permanecen en contacto continuo con el disco, consiguiendo una limpieza máxima.

La configuración de los paños está condicionada por el tipo de trabajo que realizan. En la mayoría de los casos, el suelo es trabajado dos veces en la misma pasada, por lo que se necesita contar con dos paños, o grupo de discos,

que actúen de manera combinada, aunque también se ofrecen rastras simples, generalmente en aperos combinados, junto con púa subsoladora.

La forma de colocar los paños en rastras combinadas livianas (tándem) suele ser conocida como en “X”, de manera que los grupos de discos delanteros se sitúan con los extremos exteriores de sus ejes adelantados respecto a los interiores, mientras que en los grupos traseros se hace lo contrario (Márquez Delgado, 2004).

Con ángulo entre los ejes y los discos de los grupos delanteros orientados hacia afuera, mientras que los traseros lo están hacia adentro, se produce un desplazamiento del laboreado de adentro hacia afuera en los grupos delanteros, para posteriormente volverlo hacia adentro en los segundos, con lo que queda el suelo nivelado, salvo en la zona central, que por la diferente orientación de los discos y la separación entre los contiguos del paño delantero en relación con los del trasero, se produce un pequeño camellón, que puede romperse con una púa flexible situada por detrás (Márquez Delgado, 2004).

También en los extremos pueden aparecer ligeras diferencias de nivel, que pueden reducirse modificando ligeramente el ángulo de los grupos traseros, para que lancen más lejos la tierra suelta, o colocando en este extremo unos discos de menor diámetro (de 5 a 15 cm menores), que actúan como niveladores.

Para trabajos pesados, es frecuente que la estructura de la rastra se limite a dos paños angulados (excéntrica en V) que necesitan que la tracción se realice sobre un plano desplazado respecto al centro de resistencia de los cuerpos. Esto es consecuencia del sistema de fuerzas generado por la combinación de los paños de la rastra: el delantero, al hacer pasar la tierra hacia la derecha, según el sentido de marcha, provoca una reacción en el bastidor que tiende a llevarlo hacia la izquierda en su parte delantera; el trasero impulsa la tierra hacia el lado contrario, por lo que tiende a desplazar el bastidor hacia la derecha en su parte trasera; en el conjunto se genera lo que se conoce como un par de fuerzas que tendería a hacer girar la rastra en sentido contrario a las agujas del reloj (observador situado sobre ella).

Para compensarlo, el enganche del tractor se realiza de manera que el esfuerzo de tracción que supera la resistencia generada por el conjunto de los cuerpos, se sitúa desplazado del centro de la rastra, para que genere un par de fuerzas igual y de sentido contrario (según las agujas de un reloj).

Esto hace que se conozcan también las rastras en “V”, como de tiro excéntrico, que son las que generalmente ofrecen una estructura compacta adecuada para trabajar con discos grandes en operaciones de laboreo primario.

La línea de tracción se desplaza desde el plano medio de la rastra hacia el lado en el que se encuentra el vértice de la V, pudiéndose establecer dos tipos de descentrado: hacia la derecha (la zona trabajada sobresale por el lado derecho del tractor más que por el izquierdo) y hacia la izquierda.

En las rastras en “X”, por su propia posición de los discos de los grupos, las acciones que tenderían a hacer girar la rastra respecto a un hipotético eje central, quedan compensadas, ya que los esfuerzos transversales de los discos que se encuentran en posiciones opuestas sobre la línea media de la rastra, se compensan entre sí.

La posición descentrada del enganche ofrece algunas posibilidades interesantes, como la de poder trabajar por debajo de las copas de los árboles con el tractor situado sobre la calle.

Cada vez es más frecuente la presencia en el mercado de rastras con estructura análoga a las designadas como en “X”, pero con una posición relativa entre grupos de discos que asegura la nivelación del suelo, incluso en operaciones de trabajo pesado.

En estas rastras, conocidas en algunas regiones como “de discos desencontrados”, los grupos de discos no forman una verdadera “X”, sino que los del lado izquierdo están algo más avanzados que los del derecho, por lo que los discos extremos se pueden solapar a la distancia precisa, con lo que no aparece el camellón central, especialmente significativo cuando se realiza un trabajo profundo.

De esta manera se convierten en implementos que pueden competir con las rastras pesadas con discos en “V”, sin las complicaciones que se derivan de un tiro descentrado.

Aunque pueden encontrarse rastras de discos pequeños, diseñadas para el enganche tripuntal del tractor, normalmente son implementos arrastrados que disponen de ruedas, montadas sobre ejes desplazables en sentido vertical respecto al bastidor de la rastra, para elevar los discos del suelo. Este sistema puede permitir un cierto ajuste de la profundidad de labor. La barra de tiro oscilante del tractor es una buena opción para el arrastre de la rastra de disco.

Las ruedas de transporte pueden situarse en el extremo trasero de la grada, o bien en el centro entre los grupos de discos delantero y traseros.

El sistema de ruedas de transporte se combina con el plegado de los cuerpos para facilitar el traslado de la rastra entre parcelas. Con anchos de más de 3 metros es necesario realizar un plegado, que puede hacerse en sentido vertical, haciendo girar hacia arriba los extremos de los grupos, o bien horizontalmente, hacia adelante los grupos delanteros y hacia atrás los traseros. Para los sistemas de plegado y elevación de la rastra se suelen utilizar cilindros hidráulicos.

Estos equipos cuentan con dispositivos que permiten la modificación de los ángulos de los paños de discos para establecer el ángulo de corte de los discos que mejor se adapte al estado del suelo y los objetivos de laboreo. Estos dispositivos pueden accionarse manualmente, previa elevación de los discos sobre el suelo mediante las ruedas de transporte, o bien mediante cilindros hidráulicos, durante el trabajo.

En ocasiones, la angulación mecánica se puede conseguir sin esfuerzo manual arrastrando hacia adelante o empujando hacia atrás la rastra, utilizando enganches al tractor con barras articuladas, para que la fuerza generada por los discos en el suelo, lo lleven a la posición deseada.

El ángulo de corte de los discos, consecuencia del que forma el grupo o paño de discos con la dirección de avance, modifica el comportamiento de la rastra, variando la penetración en el suelo, el grado de pulverización del suelo labreado y el esfuerzo necesario para arrastrarla.

El ángulo de corte, al igual que en los arados de disco, es el que forma el disco con la dirección de avance, que es igual al del eje del grupo de discos con una línea perpendicular a la línea de avance.

Para un ángulo de corte de  $0^\circ$ , los discos giraran paralelos a las ruedas, con muy ligera penetración en el suelo; a medida que aumente el ángulo de corte, lo hace la penetración, influida además por la carga sobre los discos, la separación entre ellos y la concavidad o flecha de los mismos.

En las rastras de discos, el ángulo que forman los ejes de los discos con la perpendicular a la dirección de avance es ajustable en un intervalo entre  $0$  y  $30^\circ$ , aunque en las rastras en "X" los ángulos se mantengan habitualmente entre  $10$  y  $25^\circ$  en todos los grupos, mientras que en las de tipo en "V" y asimétricas (desencontradas), son habitualmente diferentes;  $15$  a  $20^\circ$  en los delanteros y  $25$  a  $30^\circ$  en el trasero.

Estas diferencias son una consecuencia del tipo de trabajo que realizan, ya que mientras las rastras en “X” generalmente se aplican a un laboreo secundario “puro”, las en “V” y las asimétricas pueden trabajar en suelos de rastrojo, lo que ocasiona un esfuerzo diferente entre los discos de los grupos delantero y trasero, que se compensa con esta diferencia de angulación para mantener el equilibrio dinámico del conjunto.

Por otra parte, la posición relativa de los discos en cada paño debe de ser tal que, durante el trabajo, los del paño trasero corten el suelo en la línea media entre cada dos discos delanteros. Además, el paño trasero debe cubrir la misma superficie que el delantero para que el suelo quede nivelado.

En las rastras de tiro excéntrico, las huellas dejadas por las ruedas del tractor en el lado del vértice del “V” que forman los discos (extremo más próximo a la línea de tracción), debe de quedar dentro de la zona laboreada. En cualquier caso es necesario que el ancho de trabajo de la rastra supere el ancho de la huella del tractor utilizado.

La velocidad de trabajo, junto con la modificación de los ángulos de los paños, condiciona el trabajo de la rastra; se consideran velocidades de operación apropiadas las comprendidas entre 8 y 10km/h, aunque para trabajo profundo estarán limitadas por la potencia disponible en el tractor.

A medida que aumenta la velocidad se produce mayor pulverización del suelo, crece el alisado de los terrones en suelos húmedos, mejora la nivelación y el mezclado de los residuos superficiales y se reduce el asentamiento.

## 2.10 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LABOREO

La limpieza de la fila de plantación, representa un porcentaje importante de los costos de laboreo y por ello es indispensable maximizar y mejorar su productividad, en comparación a aquellos sitios en los cuales se implanta el cultivo por primera vez.

En este contexto, resulta importante considerar los elementos necesarios y útiles para realizar una apropiada evaluación de la maquinaria, cuyos antecedentes constituyen una base para la toma de decisiones en la asignación de equipos y procedimientos de trabajo en la planificación de tareas.

## 2.11 ESTÁNDARES DE PRODUCCIÓN

Cabe destacar que los rendimientos sólo representan una referencia del potencial productivo de los equipos en cuestión, ya que los antecedentes existentes se originan desde una variada gama de modelos y situaciones con sus respectivas condiciones de trabajo (topografía, pedregosidad, residuos, capacitación, entre otros).

## 2.12 ASPECTOS LIMITANTES EN LA OPERACIONALIDAD DEL DESPEJADOR

Si bien es cierto que el despejador presenta una serie de ventaja frente a otros sistemas, de limpieza de filas, como por ejemplo el equipo triturador, también es posible encontrar algunas limitaciones. Si bien su desempeño es satisfactorio en condiciones normales, este puede ser afectado por un volumen de residuos excesivos ante situaciones particulares, como por ejemplo, en períodos con alta humedad en el suelo.

Es práctica común en las tareas de cosecha y extracción aumentar el diámetro mínimo de procesamiento, con el consiguiente aumento de volumen de residuo que permita soportar el tránsito de harvester y forwarder.

También se puede mencionar como limitantes los requerimientos de inversión y capacitación del operador, siendo esta última en términos de mantenimiento y operación.

## 2.13 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Una adecuada y completa descripción del área de estudio lleva, por un lado, a generar una buena referencia para estudios posteriores y, por otro, fundamentalmente a facilitar la identificación de factores que afectan la productividad del equipo o sistema de trabajo.

El Sistema de Información Geográfico (SIG), es una herramienta que facilita el conocimiento de las condiciones del área, permitiendo manejar la información por rodales y de cualquier punto de la situación en estudio. Esto permite asociar el movimiento y productividad de un equipo a las condiciones o factores que lo afectan, los cuales se incorporan al análisis como variables explicativas.

## 2.14 CICLO DE TRABAJO

La evaluación de un sistema de laboreo o un equipo en particular requiere, necesariamente, de una determinación clara y precisa del proceso mediante el cual se alcanza un objetivo. Es decir, en este caso, las acciones necesarias que son ejecutadas para limpiar la fila o bien las acciones que constituyen su ciclo de trabajo.

Descomponer el ciclo de trabajo en sus respectivas acciones, llamadas elementos o momentos, lleva a poder realizar un análisis completo del proceso y, más aún, detectar aquellos elementos críticos del ciclo que consumen proporcionalmente mayor cantidad de tiempo y que son motivo de un menor rendimiento.

Entonces, esta desagregación permite tomar medidas correctivas que lleven a maximizar el potencial del equipo, pudiendo ser éstas, en términos de capacitación, mantenimiento de equipos, organización y método de trabajo, entre otras.

## 2.15 CONTROL DE TIEMPOS EN EL PROCESO DE TRABAJO

De los métodos de control de tiempos existentes, tales como: vuelta a cero (control por momento), multimomento (frecuencia de cada momento en un período de tiempo determinado) y cronometraje continuo (control continuo en un período de tiempo), resulta más conveniente el uso de este último, principalmente porque es un método que permite reconstruir el ciclo de trabajo y, por consiguiente, detectar posibles errores de lectura.

Cabe indicar que este método es ventajoso, pero se debe ser muy riguroso al controlar un equipo, cuyo ciclo de trabajo se caracteriza por presentar algunos elementos o momentos de corta duración, como ocurren en el laboreo (vueltas en cabecera, laboreo, atasco, calibración, etc.)

Además de controlar el tiempo que ocupa cada ciclo y cada elemento de éste, es importante registrar inicios y términos de cada jornada de trabajo, u otra unidad referente, de manera de obtener los porcentajes o índices de utilización y de disponibilidad.

El primero indica el tiempo efectivo de trabajo y el segundo la proporción de tiempo de disponibilidad mecánica del equipo, ambos respecto de un horizonte de referencia que se fije y que corresponde a la jornada de ocho horas de trabajo.

## 2.16 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS EQUIPOS

La determinación o definición del ciclo de trabajo también conlleva a identificar cuáles son las variables que interactúan con cada una de las acciones del equipo que se requiere evaluar. Este análisis es relevante y se debe tener claridad al respecto en el momento en que se recoge la información del área de estudio y durante la ejecución del ciclo de trabajo.

## 2.17 VARIABLES QUE INFLUYEN O DETERMINAN LA PRODUCTIVIDAD

Pendiente: longitudinal y lateral, afectan todo el tiempo; distancia recorrida en vacío respecto a la trabajada; experiencia del operador; diámetro de las ramas; pedregosidad; transitabilidad, afecta desplazamiento del equipo.

Para obtener un valor cuantitativo de cada variable es conveniente medir esta información en forma previa a la ejecución del trabajo del equipo. Esta información lleva y forma parte de un formulario que tiene los espacios para registrar estas variables.

Además, los espacios debidamente identificados para anotar el tiempo de cada elemento del ciclo, representando en este caso cada fila.

Para esta dinámica de registro se necesita de la participación de por lo menos dos personas: una para controlar los tiempos e identificar cada elemento dentro de cada fila y la otra registra los datos resultantes.

Por último, se debe señalar la importancia de esta etapa, ya que a partir de variables bien mensuradas se podrá hacer una buena cuantificación del rendimiento o productividad del equipo.

## 2.18 ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD

Este se puede diferenciar en dos partes participantes:

- a) La primera puede contener toda la estadística descriptiva de la variables tanto de tiempo como de influencia (media, frecuencia, desviación estándar, entre otras), y así obtener una referencia básica de la producción del equipo respecto de una hora o jornada de trabajo.

Esta permite analizar el ciclo de trabajo en términos de: proporción de tiempo por cada momento, concentración del mayor tiempo, tiempo efectivo de



trabajo, proporción de tiempos en demoras, tiempo improductivo, índices de utilización y disponibilidad, entre otros.

- b) La segunda, referida al modelamiento matemático de la producción del proceso, consiste en determinar el comportamiento funcional entre las variables de tiempo (dependientes), incidencia y productividad (independientes o explicativas).

## 2.19 MEDICIÓN DE TRABAJO

La medición de trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida efectuándola según una norma de ejecución preestablecida, siendo el Estudio de Tiempos (EdT), una de aquellas.

La medición de trabajo a su vez, sirve para investigar, minimizar y eliminar el tiempo improductivo, es decir, el tiempo durante el cual no se genera valor agregado. Una función adicional de la medición de trabajo es la fijación de tiempos estándar (tiempos tipo), de ejecución y, además, ser una herramienta invaluable del costeo de las operaciones.

Así como en el estudio de métodos, en la medición de trabajo es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones humanas que nos permiten realizar el estudio de la mejor manera, dado que lamentablemente la medición del trabajo, particularmente el estudio de tiempos, adquirieron mala fama hace algunos años, más aún en los círculos sindicales, dado que estas técnicas se aplicaron con el objetivo de reducir el tiempo improductivo imputable al trabajador y, casi que pasando por alto cualquier falencia imputable a la dirección.

### 2.19.1 Uso de la medición del trabajo

En el devenir de un Ingeniero Agrónomo muchas serán las ocasiones en las que requeriría de alguna técnica de medición del trabajo. En el proceso de fijación de los tiempos estándar quizá será necesario emplear la medición para:

- a) Comparar la eficacia de varios métodos, los cuales en igualdad de condiciones el que requiera de menor tiempo de ejecución será el óptimo;
- b) Repartir el trabajo dentro de los equipos, con ayuda de diagramas de actividades múltiples. Con el objetivo de efectuar un balance de los procesos;

- c) Determinar el número de máquinas que puede atender un operario.

Una vez que el tiempo estándar (tipo) se ha determinado, este puede utilizarse para:

- a) Obtener la información de base para el programa de producción,
- b) Obtener información en qué basar cotizaciones, precios de venta y plazos de entrega,
- c) Obtener información que permita controlar los costos de la mano de obra (incluso establecer planes de incentivos) y mantener costos estándar.

Las etapas necesarias para efectuar sistemáticamente la medición del trabajo son:

- 1) Seleccionar el trabajo que va a ser objeto de estudio;
- 2) Registrar todos los datos relativos a las circunstancias en que se realiza el trabajo, a los métodos y a los elementos de actividad que suponen;
- 3) examinar los datos registrados y el detalle de los elementos con sentido crítico para verificar si se utilizan los métodos y movimientos más eficaces, y separar los elementos improductivos o extraños de los productivos;
- 4) medir la cantidad de trabajo de cada elemento, expresándola en tiempo, mediante la técnica más apropiada de medición del trabajo;
- 5) Compilar el tiempo de la operación previendo, en caso de estudio de tiempos con cronómetro, suplementos para breves descansos, necesidades personales, etc.;
- 6) Definir con precisión la serie de actividades y el método en operación a los que corresponde el tiempo computado y notificar que ese será el tiempo estándar para las actividades y métodos especificados.

Estas etapas deberán seguirse en su totalidad cuando el objetivo de la medición sea fijar tiempos estándar (tiempos tipo).

### 2.19.2 Estudio de Tiempos (EdT)

Es innegable que dentro de las técnicas que se emplean en la medición del trabajo la más importante es el Estudio de Tiempos, o por lo menos es la que más nos permite confrontar la realidad de los sistemas productivos sujetos a medición.

El EdT es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida.

El EdT demanda cierto tipo de material fundamental:

- a) Cronómetro;
- b) tablero de observaciones;
- c) formulario de estudio de tiempos.

Vale la pena aclarar que en la época actual todas estas herramientas pueden reemplazarse por sus equivalentes electrónicos.

Los mencionados anteriormente son los útiles que se deberá portar en todo momento in situ, sin embargo, existen una serie de elementos que pueden estar disponibles en gabinete, como lo son las calculadoras e incluso ordenadores personales, además de tener al alcance instrumentos de medición dependiendo de las operaciones que incluya el proceso.

La Oficina Internacional del Trabajo (OIT) recomienda para efectos del estudio de tiempos dos tipos de cronómetros:

- a) El mecánico, que a su vez puede subdividirse en ordinario, vuelta a cero, y cronómetro de registro fraccional de segundos.
- b) El electrónico, que a su vez puede subdividirse en el que se utiliza solo y el que se encuentra integrado a un dispositivo de registro.

El tablero para formularios de EdT es sencillamente un tablero liso, anteriormente se utilizaba de madera contrachapada hoy en día se producen en su mayoría de un material plástico.

En este tablero se fijan los formularios para anotar las observaciones. Las características que debe tener el tablero son su rigidez y su tamaño, esto último deberá ser de dimensiones superiores a la del formulario más grande.

Un EdT demanda el registro de gran cantidad de datos (descripción de elementos, observaciones, duración de elementos, valoraciones, suplementos, notas explicativas). Es posible que tanto los tiempos como las observaciones puedan consignarse en hojas en blanco o de distinto formato cada vez, sin embargo, sería una gran contradicción que quien se encarga de la

normalización de un proceso no tenga estandarizada una metodología de registro, y esto incluye los formularios. Por otro lado, los formularios normalizados prácticamente obligan a seguir cierto método, minimizando el riesgo de que se escapen datos esenciales.

Los formularios para reunir los datos deben de cumplir con una característica fundamental y esta es la “practicidad”, pues es muy común diseñar un formato muy bien elaborado en cuanto a relevancia de los datos, que en la práctica dificulta el registro; uno de los errores más comunes es el tamaño de las celdas, pues en la práctica es un problema sumamente incómodo.

Los formularios para reunir los datos deben contener por lo menos:

- a) Primera hoja de estudio de tiempos, en la cual figuran los datos esenciales sobre el estudio, los elementos en que fue descompuesta la operación y los cortes que separan entre ellos;
- b) Hojas siguientes se utilizan en el caso de ser necesario para los demás ciclos del estudio. No es necesario los epígrafes de encabezado, por ende solo contendrá columnas y los campos para el número del estudio y la hoja;
- c) Formulario para ciclo breve, este tipo de formulario es empleado cuando los ciclos a estudiar son relativamente cortos, por ende una fila puede contener todas las observaciones de un elemento.

El EdT consiste no solo en seleccionar la actividad, sino también en escoger al operario u operarios. Los trabajadores calificados son aquellos que tienen la experiencia, los conocimientos y otras cualidades necesarias para efectuar el trabajo en curso según normas satisfactorias de seguridad, cantidad y calidad.

Si existe la posibilidad de que el trabajo estudiado se realice en serie, es importante que el estudio se base en varios trabajadores calificados. Esta premisa de seleccionar trabajadores calificados se fundamenta en los principios económicos de las operaciones, pues un trabajador lento y uno excepcionalmente rápido suelen llegar a tiempos ya sea muy largos o muy cortos, respectivamente, incidiendo en tiempos antieconómicos para la organización (que redundarán tarde o temprano en inconvenientes para la mano de obra) o tiempos injustos para el trabajador medio.

Al seleccionar el operario o los operarios que ejecutarán el trabajo que se estudiará en primer orden, el especialista debe disponerse a exponerle cuidadosamente el objeto de estudio y lo que hay que hacer, es decir, se le pedirá:

- a) Ejecutar un trabajo a ritmo habitual;
- b) Realizar las pausas a la que está acostumbrado;
- c) Exponer las dificultades que vayan apareciendo

La posición física del especialista con relación al operario es muy importante, y esta depende de varios factores y debe responder a varios requerimientos básicos:

- a) Deberá situarse de manera tal que pueda observar todo lo que hace el operario, particularmente con las manos;
- b) Su posición no debe obstaculizar al operario ni entorpecer sus movimientos, mucho menos distraer su atención;
- c) Es importante que el trabajador pueda observar al especialista con un simple movimiento de su cabeza.

Una vez que se ha registrado toda la información concerniente a la operación y al operario que puedan influir en la ejecución del trabajo y se ha corroborado la idoneidad del método utilizado, se procede a la etapa de cronometraje.

La etapa de cronometraje comprende a su vez los procesos de:

- a) Descomposición de la tarea en elementos;
- b) Delimitación de elementos;
- c) Determinación del tamaño de la muestra.

Lo primero que tiene lugar en la etapa de cronometraje es la descomposición de la operación en elementos, para ello hay que tener una serie de conceptos claros:

**Elemento:** es la parte delimitada de una tarea definida que se selecciona para facilitar la observación, medición y análisis.

**Ciclo:** ciclo de trabajo es la sucesión de elementos necesarios para efectuar una tarea u obtener una unidad de producción. Comprende a veces elementos casuales.

La importancia de descomponer la operación en elementos radica en que este proceso nos permite:

- a) Separar el tiempo productivo del tiempo improductivo;
- b) Evaluar la cadencia de trabajo con mayor exactitud de la que es posible con un ciclo íntegro, dado que es posible que el operario no trabaje al

mismo ritmo durante todo el ciclo y/o este tenga más destreza para ejecutar ciertas operaciones;

- c) Ocuparse de cada elemento según su tipo;
- d) Aislar los elementos que causa mayor fatiga y fijar con mayor precisión sus correspondientes suplementos;
- e) Permite verificar con mayor facilidad el método de trabajo, de manera tal que se pueda detectar adición y omisión de elementos;
- f) Hacer una especificación detallada del trabajo;
- g) Extraer los tiempos de los elementos de mayor repetición, con el objetivo de establecer datos estándar.

Según las características de los elementos se dividen en:

- a) Elementos repetitivos: son los que reaparecen en cada ciclo de trabajo estudiado, por ejemplo, las vueltas en la cabecera de cada fila de plantación;
- b) Elementos casuales: son los elementos que no reaparecen en cada ciclo de trabajo, sino que a intervalos tanto regulares como irregulares, por ejemplo, apriete del eje del cuerpo de discos de una rastra es un elemento que suele realizarse una vez que se detecte el giro de discos de manera irregular.

De todas maneras este elemento forma parte del trabajo provechoso y debe adicionarse a su debido tiempo y en su debida manera al tiempo tipo.

- c) Elementos constantes: son aquellos cuyo tiempo básico de ejecución es siempre igual, por ejemplo, descenso de la rastra aradora.
- d) Elementos variables: son aquellos cuyo tiempo básico de ejecución cambia según las características del producto, equipo, terreno, peso o calidad, por ejemplo, barrer el piso (depende de la superficie);
- e) Elementos manuales: son los que realiza el trabajador;
- f) Elementos mecánicos: son los realizados automáticamente por una máquina a base de la fuerza motriz;
- g) Elemento dominantes: son los que duran más tiempo de cualquiera de los elemento realizados simultáneamente, por ejemplo, calentar agua mientras se prepara la mesa;
- h) Elementos extraños: son los observados durante el estudio y que al ser analizados no resultan ser una parte necesaria del trabajo.

Una vez que se ha logrado descomponer la operación en elementos, se procede a delimitarlos, es decir, establecer conjuntos sucesivos de estos que indicarán a los especialistas puntos de start, stop, o anotación según el método que se utilice para cronometrar.

La OIT ha expuesto unas reglas generales para delimitar los elementos de una operación, estas son:

- a) Los elementos deberán ser de identificación fácil y de comienzo y fin claramente definidos, de modo que una vez fijados puedan ser reconocidos una y otra vez. Es recomendable para establecer el final de una delimitación apoyarse en elementos relevante y de fácil identificación sensorial, como el sonido de una pieza al caer;
- b) Los elementos deberán ser todo lo breves que sean posible, con tal que una analista experto pueda aún cronometrarlos cómodamente. La comodidad se maneja por los especialistas en términos de unidades mínimas de medición, en la práctica esta unidad mínima suele recomendarse como 2,4 segundos.
- c) Dentro de todo lo posible los elementos, sobre todo los manuales, deberán elegirse de manera que correspondan a segmentos naturalmente unificados y visiblemente delimitados de la tarea. Dada, por ejemplo, la acción de alcanzar una llave, acercarla al trabajo y apretar una tuerca, en ella se pueden identificar múltiples movimientos pero en estos caso en que para el trabajador sea un solo movimiento autónomo es preferible tratarlos como un solo elemento.
- d) Los elementos manuales deberían separarse en toda medida de los mecánicos, particularmente cuando el estudio de tiempos forma parte de un proceso de estandarización de tiempos;
- e) Los elementos constantes deberían separarse de los variables;
- f) Los elementos que no aparecen en todos los ciclo (casuales y extraños) deben cronometrarse aparte de los que sí aparecen.

Un paso fundamental del EdT corresponde a la determinación del tamaño de la muestra o cálculo del número de observaciones, dado que es un factor fundamental para la consecución de un nivel de confianza aceptable en el estudio.

En el EdT existen dos procedimientos principales para tomar el tiempo con cronómetro, estos son:

- a) Cronometraje acumulativo y
- b) Cronometraje con vuelta a cero.

El cronometraje acumulativo consiste en hacer funcionar el reloj de forma ininterrumpida durante todo el estudio; se lo pone en marcha al principio del primer elemento del primer ciclo y no se detiene hasta finalizar todas las observaciones.

Al final de cada elemento el especialista consigna la hora que marca el cronómetro, y los tiempos netos que corresponden a cada elemento se obtienen haciendo las respectivas restas una vez finalizado el estudio.

La principal ventaja de esta modalidad es que se puede tener la seguridad de registrar todo el tiempo en que el trabajo se encuentra sometido a observación.

El cronómetro con vuelta a cero consiste en tomar los tiempos de manera directa de cada elemento, es decir, al acabar cada elemento se hace volver el reloj a cero, y se lo pone de nuevo en marcha inmediatamente para cronometrar el elemento siguiente.

Es importante consignar el horario de inicio y finalización del estudio, dado que esta información será muy relevante en un eventual estudio de fatiga, en el que se investigue el rendimiento de los trabajadores calificados en determinadas jornadas laborales.

En la práctica quienes están aprendiendo la técnica del estudio de tiempos suelen alcanzar un mayor grado de precisión al aplicar el método acumulativo, dado que no permite omitir elementos y otras actividades a causa de la desatención del encargado del estudio. Sin embargo, cuando el estudio no corresponde a actividades en serie y no se cuenta con un cronómetro que permita la vista previa del tiempo por un período aceptable, esta práctica puede ser riesgosa, dado que si el encargado no alcanza a consignar correctamente el tiempo parcial, este afectará mínimo dos elementos del estudio. Sin embargo en la actualidad los cronómetros cuentan con la posibilidad de registrar tiempos conocidos como vueltas los cuales son tiempos parciales que guarda el cronómetro mientras continúa un registro acumulativo.



El tamaño de la muestra o cálculo de número de observaciones es un proceso vital en la etapa de cronometraje, dado que de este depende en gran medida el nivel de confianza del EdT. Este proceso tiene como objetivo determinar el valor del promedio representativo para cada elemento.

Los métodos más utilizados para determinar el número de observaciones son:

- a) Método estadístico
- b) Método tradicional

Simultáneamente al cronometraje del trabajo, se debe abordar una de las etapas más críticas del EdT, dado que la valoración del ritmo de trabajo y la determinación de los suplementos son los dos temas más discutidos del estudio, más aún la valoración, dado que esta se determina por correlación con el juicio del especialista.

Cuando se decide valorar el ritmo de trabajo, es muy probable que el objeto del estudio sea determinar tiempos estándar de ejecución y establecer sistemas de remuneración con incentivos por eficiencia. La metodología que utilice el especialista en tiempos influye decisivamente en el ingreso de los trabajadores, en la productividad y en la rentabilidad de la empresa.

La valoración del ritmo de trabajo se define como:

“La valoración del ritmo de trabajo es la justipreciación por correlación con el concepto que se tiene de lo que es el ritmo estándar”.

Esto significa comparar el ritmo real del trabajador con cierta idea que tenga el especialista de lo que debería ser el ritmo estándar; esta idea se debe formar mentalmente al apreciar cómo trabajan de manera natural los trabajadores calificados cuando utilizan el método de ejecución en el que se basa el estudio de tiempos.

Por otro lado el desempeño tipo se define como:

“Desempeño tipo es el rendimiento que obtiene naturalmente y sin forzarse los trabajadores calificados, como promedio de la jornada o turno, siempre que conozcan y respeten el método especificado y que se los haya motivado para aplicarse”.

Conceptualmente existe una evidente claridad de lo que es la valoración del ritmo y el desempeño estándar, sin embargo no existe un método de

calificación universalmente aceptado para en la práctica lograr asociar dichos conceptos con las ejecuciones de un trabajador.

Podría decirse que existen tantos métodos de valoración como especialistas en el EdT, dado que incluso siguiendo un algoritmo sistémico de valoración, siempre el juicio del especialista forma parte fundamental de la estimación de la cadencia del trabajo.

El método de valoración considera cuatro factores: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

La habilidad se define como el aprovechamiento al seguir un método dado, el observador debe evaluar y calificar dentro de seis clases de habilidad desplegada por el operario: habilísimo, excelente, bueno, medio, regular y malo. Luego esta clasificación de la habilidad se traduce a su equivalencia porcentual, que va de 15% a -22%.

El esfuerzo se define como una demostración de la voluntad para trabajar con eficiencia. El esfuerzo es representativo de la velocidad con que se aplica la habilidad y es normalmente controlada en un alto grado por el operario.

Las condiciones son aquellas circunstancias que afectan solo al operador y no a la operación. Los elementos que pueden afectar las condiciones de trabajo incluyen: temperatura, ventilación, monotonía, alumbrado, ruido, etc.

La consistencia es el grado de variación en los tiempos transcurridos, mínimos y máximos, en relación con la media, juzgado con arreglo a la naturaleza de las operaciones y a la habilidad y esfuerzo del operador. Es sumamente importante considerar que una vez que un elemento como la iluminación afecte un factor como las condiciones, se deberá descartar de considerarse en la determinación de los suplementos.

De acuerdo a la definición de valoración del ritmo, el desempeño estándar de un trabajador calificado se asume como el 100/100 de rendimiento, por ello a esta valoración se deben de adicionar los valores de la tabla según la habilidad, esfuerzo, las condiciones y la consistencia percibidos por el especialista. De esta manera se determinará si un operario ejecutó la operación a un 125%, 120%, 95%, 88%, etc. y se procederá a suavizar por correlación con un rendimiento de 100%.

Existe dentro de las técnicas de medición de trabajo, una técnica denominada "Normas de tiempo predeterminadas", pues esta consiste en que a partir del análisis de los micromovimientos se hayan determinado y fijado

algunos tiempos de actuación. La suma de los tiempos estimados para todos los micromovimientos en los que se descompone una operación da el tiempo valorado para esta; si en vez de obtener el tiempo valorado (según el rendimiento 100/100) para toda la operación se determina solo el tiempo valorado para un elemento, es posible al comparar este tiempo con el que emplea actualmente el trabajador para efectuar dicho movimiento, determinar la cadencia con la que trabaja este (el operario).

Tal como se indicó, la cifra 100 representa el desempeño estándar. Si el analista opina que la operación se está realizando a una velocidad inferior a la que en su criterio es la estándar, aplicará un factor inferior a 100. Si por el contrario, el especialista opina que el ritmo de trabajo es superior a la norma, aplicará un factor superior a 100. Evidentemente el factor que se utilice puede verse influenciado por las escalas abordadas en el método de valoración por tiempos predeterminados o aritméticamente establecerse por adición de las equivalencias numéricas del método de nivelación.

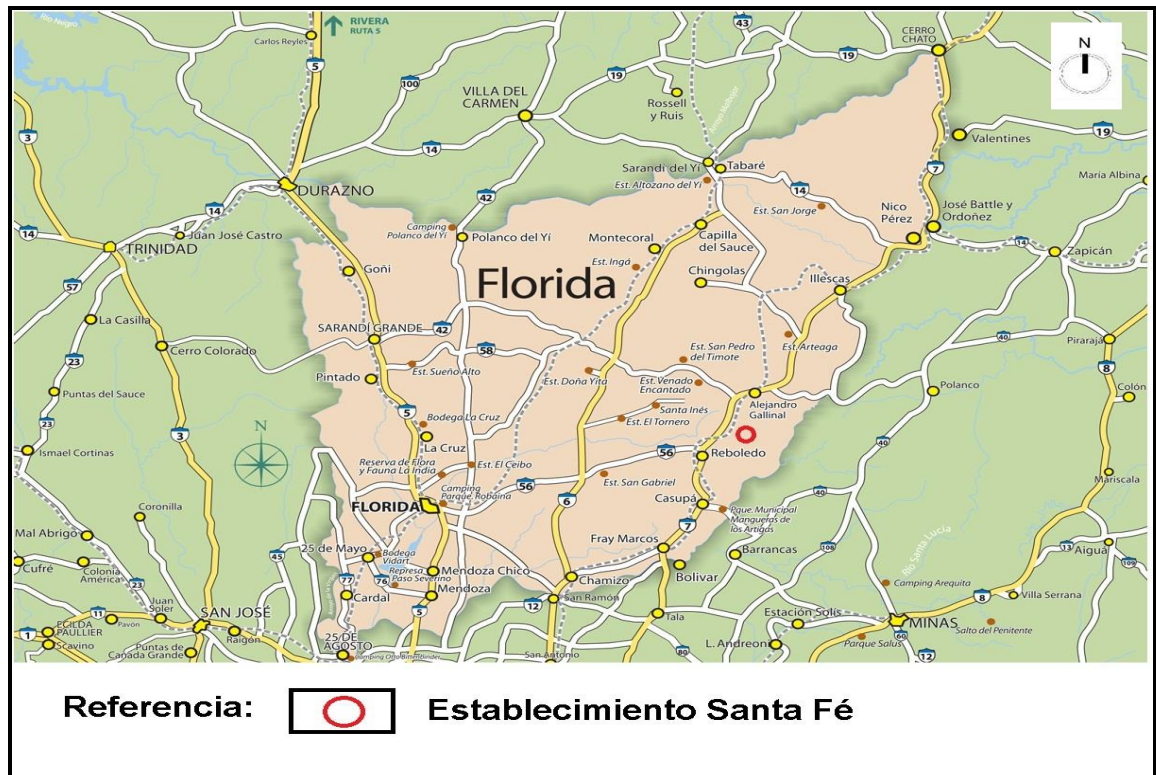
### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA EN ESTUDIO

##### 3.1.1 Ubicación

El presente trabajo de tesis, en su etapa de campo, se realizó en el km 134 de la ruta nacional No. 7, próximo a la localidad de Cerro Colorado en el departamento de Florida. Geográficamente el predio se sitúa en las coordenadas 33°55'6.59" latitud Sur y 55°35'22.04" longitud Oeste, en una altitud media de 208 m sobre el nivel del mar.

Figura No. 20. Ubicación geográfica del predio en estudio.



Fuente: elaborado con base en Google Maps.

##### 3.1.2 Suelos del predio

En el predio se encuentran en mayor proporción suelos CONEAT 2.11a y 2.12, en los cuales se realizaron las tareas de evaluación.

En ambos tipos de suelos CONEAT es común encontrar Brunosoles Subéutricos Háplicos y Típicos, ya que estos están en mayor proporción, relieve ondulado y ondulado fuerte con pendientes entre 5% y 20%.

Es común encontrar afloramientos rocosos, asociados a este tipo de suelo, que en algunos casos limitan las tareas de preparación del suelo y en otros, imposibilitan la misma.

### 3.1.3 Características de la plantación anterior

La plantación anterior se constituía por especies de *Eucalyptus glóbulus ssp glóbulus* y *Eucalyptus glóbulus ssp maidenii*, con un marco de plantación de 3.5 metros entre filas y 1.5 metros entre plantas, conformando así una densidad inicial de plantación de 1900 plantas/ha.

## 3.2 MATERIALES, EQUIPOS Y FUENTES DE DATOS

### 3.2.1 Materiales y equipos

Tractor CAT D6T XL. Las especificaciones de esta máquina se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 5. Especificaciones tractor CAT D6T XL.

Dimensiones tractor CAT D6T XL						
MODELO	6A XL		D6T XL 6 SU XL		6VPAT XL	
Entrevía	1880 mm	74"	—		2134 mm	84" PAT
Tipo	Orientable		Semiuniversal		4,2m <sup>3</sup>	5,5 yd. <sup>3</sup>
Capacidades de la hoja*	3,93m <sup>3</sup>	5,14 yd <sup>3</sup>	5,31m <sup>3</sup>	6,94 yd <sup>3</sup>	1615 kg	3560 lb.
Peso de embarque** (Hoja)	3109 kg	6839 lb	2973 kg	6540 lb		
Dimensiones del tractor con la hoja:						
A Longitud (hoja derecha)	5,43 m	17'10"	5,5 m	18'2"	5,44 m	17'10"
Longitud (hoja orientada)	6,26 m	20'6"	—		5,94 m	19'6"
Ancho (hoja orientada)	3,78 m	12'5"	—		3,48 m	11'5"
Ancho (con bastidor en "C" solamente)	2,98 m	9'10"	—		—	
Dimensiones de la hoja:						
B Ancho (con cantoneras estándar)	4,16 m	13'8"	3,26 m	10'8"	3,88 m	12'9"
C Altura	1155 mm	3'9,5"	1411 mm	4'7,6"	1295 mm	4'3"
D Prof. máx. de excavación	524 mm	1'8,6"	459 mm	1'6,1"	737 mm	2'5"
E Espacio libre sobre el suelo levantada completamente	1205 mm	3'11,4"	1195 mm	3'11,1"	1181 mm	3'10,5"
F Inclinación manual	408 mm	1'4,1"	670 mm	2'2,4"	—	
G Angulo máx. de ataque	—		+5,3° a 4,8°		+0° a -3,8°	
H Inclinación hidráulica máx.	408 mm	1'4,1"	743 mm	2'5,3"	502 mm	1'7,8"
Orientación de la hoja	25°		—		25°	
J Inclinación hidráulica (tirante manual centrado)	—		408 mm	1'4,1"	—	
K Ancho del muñón del brazo de empuje (hasta los centros de las bolas)	2,64 m	8'8"	2,64 m	8'8"	2,64 m	8'8"

\* Capacidades de la hoja según la norma SAE J1265.  
Tome en cuenta que la capacidad de la Hoja U es el volumen de material que acarrea una Hoja Recta de las mismas dimensiones, más el volumen de la concavidad de la Hoja U. Estas tienen por objeto hacer comparaciones relativas de tamaños de hojas, y no pronosticar capacidades ni productividad en condiciones reales de trabajo.  
\*\* Peso de embarque — El conjunto total de la hoja incluye: hoja, brazos de empuje o bastidor en "C", tirantes, cilindros, tuberías hidráulicas, muñones y montajes del cilindro de inclinación.  
Fuente: - Caterpillar, Caterpillar Performance Handbook, Ed 39, 2010.

Fuente: tomado de CAT (2018).

Tractor Ford 8030 4X4. Las especificaciones de esta máquina se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 6. Especificaciones tractor Ford 8030 4X4.

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
	<b>8030</b>		<b>8030</b>
<b>MOTOR</b>	New Holland	Bomba	Engranajes
Aspiración	Turbo com Intercooler	Implementos	Categoría II
Potencia (ISO TR 14396)	122 cv a 2200 rpm	Cap. lev. a 610 mm del ojal	2600 kg
Cilindrada	4,5 litros	Válvula de control remoto	Centro – abierto
Torque máximo (1400 rpm)	490 Nm	<b>SISTEMA DE DIRECCIÓN</b>	
Reserva del torque	20%	Bomba Independiente	Engranajes
Tanque de combustible	170 litros	Tipo	Hidrostática
<b>TRANSMISIÓN</b>		Vaciamiento	32 z/min
Tipo	Mecánica	<b>EJE DELANTERO</b>	
Dual Power	16x4	Marca	New Holland
<b>EMBRAGUE</b>		Categoría	Clase II HD
Material	Cerámético	Accionamiento de tracción	Electrohidráulico
Diámetro	14" (356 mm)	<b>FRENOS</b>	
<b>TOMA DE FUERZA</b>		Tipo	Baño de aceite
Tipo	Independiente	Discos	4 discos
Accionamiento	Hidráulico	Freno de estacionamiento	Manual

Fuente: tomado de New Holland (2018).

Excéntrica 12 discos, de tipo liviana, diseñada para ser enganchada en la barra de tiro del tractor, eje central con dos cubiertas neumáticas, chasis con doble viga longitudinal y cilindro hidráulico que permite levantar el equipo para su traslado.

Este tipo de implemento suele ir equipado con limpia discos, que en este caso si bien están presentes, su capacidad de limpieza está limitada por su excesivo desgaste y su inadecuada calibración.

Cuadro No. 7. Especificaciones técnicas de la excéntrica según modelo.

<b>Especificações Técnicas</b>		<b>Technical Specifications</b>		
<b>Modelo / Model / Modelo</b>	<b>CRI-R</b>	<b>CRI-R</b>	<b>CRI-R</b>	
Número de discos / <i>Nr of discs / Nr de discos</i>	12	14	16	
Dímetro dos discos / <i>Disc diameter / Diámetro de los discos (ø)</i>	28"   30"	28"   30"	28"   30"	
Espaçamento entre discos / <i>Disc spacing / Espaciamiento entre discos (mm)</i>	300	300	300	
Dímetro do eixo / <i>Axle diameter / Diámetro del eje (ø)</i>	2.1/4"	2.1/4"	2.1/4"	
Largura de trabalho / <i>Working width / Ancho de trabajo (mm)</i>	1650	1950	2250	
Profundidade de trabalho / <i>Working depth / Profundidad de trabajo (mm)</i>	150   250	150   250	150   250	
Peso aproximado 28" / <i>Estimated weight 28" / Peso aproximado 28" (Kg)</i>	1730	1840	2240	
Peso aproximado 30" / <i>Estimated weight 30" / Peso aproximado. 30" (Kg)</i>	-	1910	2310	
Potência aproximada / <i>Tractor required / Potencia del tractor (Hp)</i>	85 - 96	95 - 112	114 - 128	
• Rodeiro duplo opcional / <i>Double ground wheel optional / Rueda doble opcional: 14 a 26 discos / discs / discos</i>				

Fuente: tomado de Baldan (2018).

### 3.2.2. Forma de procesamiento de los datos

#### 3.2.2.1 Etapa de campo

Mediante observación directa se llenaron las planillas de datos, detallando en estas las actividades realizadas y el tiempo efectivo que la máquina trabajó de acuerdo al criterio preestablecido (inicio y fin de tarea, cuando la herramienta de labranza penetra y se eleva del suelo trabajado, respectivamente).

Se evaluó el tractor CAT, en la tarea de despejado de la línea de plantación, desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo. Por un lado se identificó la fila y se registró el tiempo insumido para realizar el despejado, y en forma simultánea el subsolado, tomando nota de las interrupciones debido a imprevistos, roturas, etc.

Posteriormente se midió el largo y ancho de cada fila identificada, se registró y se realizó la evaluación cualitativa. Esta consistió en marcar puntos, sobre el eje principal de la zona laboreada, de forma sistemática distantes 20m uno de otro y evaluar, en ese punto, la ausencia o presencia de residuos mayores a 5cm.

Este diámetro responde a diámetro a partir del cual la dimensión del residuo dificulta la tarea de labranza. Es obvio, que en otra situación este diámetro puede ser mayor o menor en función de la especie forestada previamente, como así también la cantidad y estado de descomposición.

El tractor Ford 8030 fue evaluado desde el punto de vista exclusivamente cuantitativo debido a la escasa presencia de residuos en el surco preparado por el equipo de despejado.

Se registró el tiempo efectivo insumido para realizar la tarea, y se individualizó la ubicación de cada fila a los efectos de visualizar en forma posterior el patrón de maniobra.

En ambos equipos se registró el trayecto realizado de modo de identificar el patrón de trabajo, con la finalidad de validar el mismo o en su defecto, presentar un patrón alternativo.

#### 3.2.2.2 Etapa de gabinete

Una vez concluida la etapa de campo se procedió de la siguiente manera:

- Se organizó la información recabada en campo.
- Se creó una base de datos en Microsoft Excel con esta información, teniendo en cuenta la máquina utilizada, la pendiente que presentaba la fila laboreada (ausencia de pendiente, presencia de pendiente, subida o bajada), la distancia recorrida y el tiempo insumido.
- Con la distancia recorrida y el tiempo empleado, para realizar la tarea, se calculó la velocidad promedio de la fila en cuestión manteniendo la información de la pendiente.
- Se calcularon los estadísticos más relevantes como son la media, así como la desviación estándar, varianza, mínimos y máximos valores.
- Se proyectó la productividad de los equipos, ha/h, para lo cual se presentó una fórmula (inédito) que permite incluir en la misma el largo de la fila, su ancho, y el tiempo insumido en la maniobra de cabecera.



### 3.2.2.3 Forma de análisis de la información

Se analizó los resultados obtenidos en función del rango de valores que toman los diferentes parámetros que influyen en el rendimiento por ha, entre los más importantes: velocidad de avance, tiempo en cabecera, largo de la fila y distancia de la entrefila.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó in situ la ejecución de las diferentes actividades, consecuentemente se analizó los resultados con el fin de determinar los rendimientos alcanzados por el tipo de maquinaria utilizada en cada actividad.

##### 4.1 RENDIMIENTO TRACTOR CAT D6T XL

Como se puede observar en el siguiente cuadro la velocidad de avance se ve modificada por la orientación de la pendiente, al igual que el equipo Ford, encontrándose un rango de velocidad de avance.

Cuadro No. 8. Velocidad (mín. y máx.) según orientación de la pendiente.

	Velocidad			
	km/h	m/s	km/h	m/s
Bajada	2,12	0,59	2,67	0,74
Paralelo	2,16	0,60	2,65	0,74
Subida	1,97	0,55	2,53	0,70

Si se considera la velocidad de avance a favor de la pendiente su valor se encuentra entre 0.59 m/s y 0,74 m/s, mínima y máxima, respectivamente, con una media de 0,66 m/s.

Tomando en cuenta la situación en el cual se realizó la operación en contra de la pendiente, los resultados son 0.55 m/s, 0,70 m/s, respectivamente, con una media de 0,62 m/s.

En ausencia de pendiente, se obtienen velocidades que oscilan entre 0,6 m/s y 0,74 m/s, mínima y máxima, respectivamente, con una media de 0,67 m/s.

En base a esto, teniendo en cuenta la longitud de las filas consideradas, además del tiempo demandado para realizar su laboreo y el dedicado a la maniobra en la cabecera, se logró calcular la capacidad teórica de trabajo, en forma sistematizada a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (ha/h): } 0,36 * LF * AF / ((LF / VAV) + TC + TM)$$

(siendo LF, largo de la fila en m; AF, ancho de la fila en m; VAV, velocidad de avance en m/s; TC, tiempo en cabecera en segundos; TM, tiempo dedicado al mantenimiento en segundos).

Tomando en cuenta los datos registrados y calculados, esto es longitud de fila y entrefila, velocidad de avance y tiempo dedicado a la maniobra; se presenta un cuadro con los rendimientos esperables en ha/h, fijando para este caso, en forma arbitraria un tiempo de 31 s dedicados a la maniobra en cabecera y ancho de fila de 3,5 m :

Cuadro No. 9. Rendimientos esperables (ha/h) del tractor CAT D6T XL.

Longitud de la fila en metros	Velocidad en km/h					
	2,09	2,20	2,30	2,41	2,59	2,70
60	0,40	0,42	0,43	0,45	0,47	0,47
80	0,43	0,44	0,46	0,48	0,51	0,52
100	0,44	0,46	0,48	0,50	0,53	0,55
120	0,46	0,48	0,49	0,51	0,55	0,57
140	0,46	0,48	0,50	0,52	0,56	0,58
160	0,47	0,49	0,51	0,53	0,57	0,59
180	0,48	0,50	0,52	0,54	0,58	0,60
200	0,48	0,50	0,52	0,54	0,58	0,60
220	0,49	0,51	0,53	0,55	0,59	0,61
240	0,49	0,51	0,53	0,55	0,59	0,62
260	0,49	0,51	0,53	0,56	0,60	0,62
280	0,49	0,52	0,54	0,56	0,60	0,62
300	0,50	0,52	0,54	0,56	0,60	0,63

Estos datos nos permiten informar que el tiempo dedicado al despejado varía en función principalmente de la velocidad de avance, largo y ancho de la fila. Tomando los extremos del cuadro anterior, esto es a 0,58 m/s y longitud de fila de 60 y 300 metros, se dedica el tiempo 77% al despejado y 23% a la maniobra en cabecera; 94% al despejado y 6% a la maniobra en cabecera; respectivamente.

Para el extremo de la velocidad, esto es a 0,74 m/s, y extremos de longitud de fila idénticos al anterior, se obtuvieron los siguientes resultados: para 60m el tiempo dedicado al despejado se ubica entre 72% y 28%, para despejado - maniobra, respectivamente.

Utilizando la misma velocidad de avance, 0,74 m/s, pero variando el largo de la fila (300m), se obtiene un tiempo dedicado al despejado de 93% y 7% utilizado en maniobra en cabecera.

#### 4.1.1 Análisis de la varianza

Mediante el programa de computadora InfoStat se realizó un análisis de la varianza para determinar si la orientación de la pendiente influye estadísticamente en la velocidad de trabajo, para eso se plantearon 2 hipótesis:

-Ho:  $v_1=v_2=v_3$

-Ha: al menos una v es diferente.

(dónde: v = velocidad; 1 = bajada; 2 = paralelo; 3 = subida).

<b>Análisis de la varianza</b>					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj	CV
km/h	27	0,30	0,24	7,36	

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,30	2	0,15	5,07	0,0146
pendientes	0,30	2	0,15	5,07	0,0146
Error	0,71	24	0,03		
Total	1,01	26			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,16750**

Error: 0,0296 gl: 24

pendientes	Medias	n	E.E.
paralelo	2,42	9	0,06 A
bajada	2,40	9	0,06 A
subida	2,19	9	0,06 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Según los resultados obtenidos, el valor  $p=0,0146$  del ANAVA sugiere el rechazo de la hipótesis nula (Ho), o sea, existen diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades considerando la variable orientación de la pendiente.

De acuerdo a la prueba LSD de Fisher la velocidad en subida presenta diferencias significativas estadísticamente con respecto a las otras velocidades,

tanto en bajada como en paralelo, por lo que en estas dos últimas orientaciones el tractor CAT D6T XL circula a mayor velocidad.

A continuación se presenta un cuadro con medidas de resúmenes:

Cuadro No. 10. Medidas de resumen CAT D6T XL.

Pendientes	Variable	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.
bajada	km/h	9	2,40	0,16	2,12	2,67
paralelo	km/h	9	2,42	0,19	2,16	2,66
subida	km/h	9	2,19	0,16	1,97	2,53

La desviación estándar obtenida es de 0,16 km/h, 0,16 km/h y 0,19 km/h para el caso de despejado en bajada, subida y ausencia de pendiente (paralelo), respectivamente, lo que indica que las velocidades calculadas están próximas de la velocidad promedio, lo que brinda un alto índice de confiabilidad, ya que la velocidad promedio alcanzado a favor, en contra y en ausencia de pendiente son de 2,40 km/h, 2,19 km/h y 2,42 km/h, respectivamente.

#### 4.2 CALIDAD DEL TRABAJO DE DESPEJADO

Se evaluó un total de 239 puntos, situados en el área que fue previamente cronometrada en este estudio, de los cuales 230 se presentaron sin residuos o en caso contrario residuos de menos de 5 cm, y en los restantes se observaron residuos mayores a 5 cm.

Es de destacar que este resultado no debería de ser considerado para comparar con otras situaciones debido a la gran variabilidad que presentan los rastrojos forestales. Esta variabilidad se debe en parte al diámetro crítico fijado como residuo al momento de realizar la cosecha.

Este diámetro es modificado incluso en diferentes partes del rodal en función del contenido de humedad en el suelo debido a que provoca una disminución en la capacidad portante de este.

#### 4.3 RENDIMIENTO TRACTOR FORD 8030

El contenido de humedad del suelo, si bien no fue medido, se estima que se encontraba por encima de los valores recomendados, produciéndose una excesiva adherencia del suelo con los órganos activos de la excéntrica (adhesión suelo/interfaz).

Como se puede observar en el siguiente cuadro la velocidad de avance se ve modificada por la orientación de la pendiente, al igual que el equipo Caterpillar, aunque en este caso con mayor influencia de este parámetro, encontrándose un rango de velocidad de avance.

Cuadro No. 11. Velocidad (mín. y máx.) según orientación de la pendiente.

	Velocidad			
	km/h	m/s	km/h	m/s
Bajada	3,00	0,83	6,00	1,67
Subida	3,08	0,86	6,24	1,73

Si se considera la velocidad de avance a favor de la pendiente su valor se encuentra entre 0.83 m/s y 1,67 m/s, mínima y máxima, respectivamente, con una media de 1,25 m/s.

Tomando en cuenta la situación en el cual se realizó la operación en contra de la pendiente, los resultados son 0.86 m/s y 1,73 m/s, mínima y máxima respectivamente, con una media de 1,3 m/s.

Al igual que con el tractor CAT D6T XL, se utilizó la misma fórmula de Rendimiento (ha/h) y se calculó la capacidad teórica de trabajo para el tractor Ford 8030, generando un cuadro con los rendimientos esperables en ha/h, fijando en forma arbitraria un tiempo de 31 s dedicados a la maniobra en cabecera y ancho de fila de 3,5 m :

Cuadro No. 12. Rendimientos esperables del tractor Ford 8030.

Longitud en metros	Velocidad en km/h						
	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
60	0,52	0,58	0,64	0,68	0,73	0,77	0,81
80	0,57	0,64	0,70	0,76	0,81	0,86	0,91
100	0,60	0,67	0,74	0,81	0,87	0,96	0,99
120	0,62	0,70	0,78	0,85	0,92	0,99	1,05
140	0,63	0,72	0,80	0,88	0,96	1,03	1,10
160	0,65	0,74	0,82	0,91	0,98	1,06	1,13
180	0,66	0,75	0,84	0,93	1,01	1,09	1,17
200	0,66	0,76	0,85	0,94	1,03	1,11	1,19
220	0,67	0,77	0,86	0,96	1,05	1,13	1,21
240	0,68	0,78	0,87	0,97	1,06	1,15	1,23
260	0,68	0,78	0,88	0,98	1,07	1,16	1,25
280	0,69	0,79	0,89	0,99	1,08	1,18	1,27
300	0,69	0,80	0,90	1,00	1,09	1,19	1,28

Este cuadro demuestra que el tiempo dedicado al laboreo con excéntrica varía en función principalmente de la velocidad de avance, largo y ancho de la fila. Con los valores extremos de dicho cuadro, esto es a 0,83 m/s y longitud de fila de 60 y 300 metros, se dedica un 70% del tiempo al laboreo y un 30% a la maniobra en cabecera; 92% al laboreo y 8% a la maniobra en cabecera; respectivamente.

Para el valor de velocidad de 1,67m/s, y extremos de longitud de fila idénticos al anterior, se observa que: para 60m el tiempo dedicado al laboreo con excéntrica representa 54% y 46% para maniobra en cabeceras.

Utilizando la misma velocidad de avance, 1,67 m/s, pero variando el largo de la fila (300m), se obtiene un tiempo dedicado al laboreo de 85% y 15% utilizado en maniobra en cabecera.

#### 4.3.1 Análisis de la varianza

Mediante el programa InfoStat, al igual que para el tractor CAT D6T XL, se realizó el análisis de la varianza para determinar si la orientación de la pendiente influye estadísticamente en la velocidad de trabajo, para eso se plantearon 2 hipótesis:

-Ho:  $v_1=v_2$

-Ha:  $v_1$  es diferente de  $v_2$ .

Dónde:  $v$  = velocidad; 1 = bajada; 2 = subida

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Km/h	14	4,7E-03	0,00	24,77	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,07	1	0,07	0,06	0,8149
Pendientes	0,07	1	0,07	0,06	0,8149
Error	14,65	12	1,22		
Total	14,72	13			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,28686					
Error: 1,2209 gl: 12					
Pendientes	Medias	n	E.E.		
bajada	4,53	7	0,42 Å		
subida	4,39	7	0,42 Å		
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )					

Según los resultados obtenidos, el valor  $p=0,8149$  del ANAVA sugiere el no rechazo de la hipótesis nula (Ho), o sea, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades considerando la variable orientación de la pendiente.

De acuerdo a la prueba LSD de Fisher la velocidad en bajada es igual estadísticamente con respecto a la velocidad en subida, por lo tanto la velocidad de trabajo no se ve alterada por la orientación de la pendiente.



A continuación se presenta un cuadro con medidas de resúmenes:

Cuadro No. 13. Medidas de resumen tractor Ford 8030.

Pendientes	Variable	n	Media	D.E.	Mín.	Máy.
bajada	km/h	7	4,53	1,01	3,00	6,00
subida	km/h	7	4,39	1,19	3,08	6,24

La desviación estándar obtenida para el caso de laboreo con excéntrica en bajada es de 1,01 km/h, y de 1,19 km/h en subida, lo que indica que a pesar de que trabajar a +/- 1 km/h supone una diferencia en la eficiencia de trabajo, es posible despreciar dicho desvío estándar ya que en subida o en bajada este valor es igual estadísticamente, por lo que brinda un alto índice de confiabilidad, ya que la velocidad promedio alcanzado a favor y en contra de la pendiente también son iguales estadísticamente.

## 5. CONCLUSIONES

Se logró determinar la velocidad de avance del tractor CAT D6 XL y Ford 8030, en las actividades de despejado con subsolador y primera pasada de excéntrica, así como calcular el rendimiento esperable.

Con respecto a la tarea de despejado se observó que hay una diferencia estadísticamente significativa en la velocidad del tractor cuando se trabaja en distintas orientaciones de la pendiente, por lo que se sugiere realizar el mantenimiento y calibrado del equipo, ya que por el tamaño y potencia del tractor utilizado para dicha labor no debería resentirse su velocidad en subida, disminuyendo así el rendimiento.

En la tarea de laboreo con excéntrica no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de trabajo en función de la orientación de la pendiente, sin embargo es necesario, al igual que el equipo anterior (despejador), realizar el mantenimiento y calibración del equipo, ya que se observaron detalles tales como discos de la excéntrica flojos, limpiadores de discos torcidos y gastados.

Para ambas actividades se observó que el rendimiento esperable es mayor a medida que el largo del surco aumenta, esto se debe a que el tiempo que tardan los tractores en la maniobra de giro en cabeceras es menor en términos relativos que con respecto a largos de surcos menores.

También es muy importante brindarles capacitaciones a los operarios (tales como en mecánica de tractores; uso y mantenimiento de implementos agrícolas; uso, manejo y cuidado de equipos de protección personal (epp); conservación de suelos; prevención y combate de incendios; primeros auxilios), para un mejor desempeño a campo tanto en rendimiento laboral, así como también solucionar imprevistos, y por último, pero no por eso menos importante, la necesidad de planificar y controlar las tareas a realizar, de esta forma se optimiza el tiempo y la calidad del trabajo.

Se observó la preparación de suelo en el sentido de la pendiente, lo que incrementa el riesgo de erosión, sumado al excesivo afinado del suelo más allá de lo necesario. Con respecto a esto es posible sugerir un cambio en el sentido de los surcos, es decir, diseñarlos de tal forma que no acompañen el sentido de la pendiente. Cabe destacar que esta es una operación muy costosa cuando se trata de terrenos que ya fueron forestados e insume mucho tiempo, lo que se traduce en costos elevados considerado en corto plazo, pero a largo plazo la pérdida de suelo (disminución de la fertilidad, pérdida de estructura,

etc.) por erosión puede superar estos costos ya que lo que se verá afectado será el rendimiento de los árboles como consecuencia de tal pérdida.

Se entiende imprescindible que se legisle sobre el uso de la tierra bajo producción forestal, como se hizo para la agricultura (planes de uso), a los efectos de proteger estos suelos con alto riesgo de erosión.

Ambas actividades (despejado y laboreo con excéntrica), en escenario de reforestación, son poco estudiadas, por lo que se hace difícil encontrar materiales con resultados que puedan utilizarse como referencia y a su vez establecer comparaciones para así saber si los rendimientos obtenidos son aceptables o no, por lo tanto los resultados obtenidos en este trabajo podrán ser utilizados como referencia para diferentes propuestas que involucre proyectos en similares condiciones, como también podrán ser utilizados por el personal encargado de la supervisión en las etapas de planificación como en las actividades de ejecución.

## 6. RESUMEN

El proceso de reforestación en el Uruguay es cada vez más común en la actualidad, esto puede deberse a los avances del mejoramiento genético en eucaliptos que ha logrado que los períodos de crecimiento de las plantaciones sean más cortos, como también al aumento de la reconversión de plantaciones de pinos a eucaliptos, por lo que la necesidad de la preparación inmediata del suelo para la actividad de replantación aumenta, en tanto la implementación de maquinarias para dicha tarea es fundamental si se desea ahorrar tiempo. Para eso es necesario reordenar los residuos de la cosecha que interrumpen las operaciones de labranza del suelo, por eso es importante contar con máquinas diseñadas exclusivamente para tal actividad, denominada de forma popular como “despejador”. El presente trabajo consiste en evaluar las operaciones de preparación de suelo para reforestación, más específicamente el estudio de tiempos de la actividad de despejado con subsolado y laboreo con primera excéntrica. El estudio se realizó en un monte cosechado de *Eucalyptus globulus sp globulus* y *Eucalyptus globulus sp maidenii*, se evaluó por una parte, de forma cuantitativa y cualitativa, la actividad de despejado, realizado con un tractor bulldózer CAT D6T XL, implementado con un chapón en forma de V en la parte delantera, encargado de retirar los residuos de cosecha de la fila en la cual se realizará la posterior plantación; por otra parte se evaluó cuantitativamente la tarea de laboreo con excéntrica realizada con un tractor Ford 8030 4X4. Para la tarea de despejado se observó, sistemáticamente, la ausencia o presencia de ramas (aspecto cualitativo) en la fila de la futura plantación, en este último caso se miden los residuos para saber si superan los 5cm de diámetro, tamaño establecido arbitrariamente considerado tal que interrumpa la posterior tarea de laboreo con excéntrica, y se obtuvo que en el 96% de los casos no habían residuos o eran de diámetros inferiores a 5cm. También se midió el largo de los surcos y el tiempo en el que el CAT tardaba en recorrerlos, de esta forma se calculó la velocidad y se la evaluó en distintas orientaciones de la pendiente, en subida, en bajada y en paralelo, y se obtuvo que en subida el tractor trabaja a menor velocidad. Esto último se realizó también para el caso del Ford 8030 en la actividad de laboreo con excéntrica, y se obtuvo que no hay diferencia estadísticamente significativa en laborear en subida o en bajada. Además se concluyó para ambas actividades que cuanto mayor es el largo del surco, el rendimiento esperable (ha/h) aumenta, ya que el tiempo que tardan los tractores en la maniobra de giro en cabeceras es menor en términos relativos que con respecto a largos de surcos menores.

Palabras clave: Reforestación; Estudio de tiempos; Despejado; Laboreo con excéntrica; Rendimiento esperable.

## 7. SUMMARY

The process of reforestation in Uruguay is increasingly common nowadays, this may be due to advances in genetic improvement in the eucalyptus that have reached the periods of growth of the shortest plantations, as well as the increase in the reconversion of plantations of pines to eucalyptus, so the need for immediate preparation of the soil for reimplantation activity increases, as well as the implementation of machinery for this task is essential if you do not want to save time. For that, it is necessary to get rid of crop residues that interrupt soil tillage operations, so it is important to have machines for the activity, popularly called "despejador". The present work consists in evaluating the operations of preparation of soil for reforestation, more specifically the study of times of the activity of flight with subsoil and work with first eccentric. The study was carried out in a mountain harvested of *Eucalyptus globulus* sp *globulus* and *Eucalyptus globulus* sp *maidenii*, on the one hand, it was evaluated, in a quantitative and qualitative way, the clearing activity, carried out with a bulldozer tractor CAT D6T XL, implemented with a flattened shape from V the front part, in charge of removing the crop residues from the row in which the subsequent planting takes place; On the other hand, the laboratory task with eccentric was performed quantitatively with a Ford 8030 4X4 tractor. For the task of cleaning, systematically, the absence or presence of branches, in the row of the future plantation, in the latter case the residues are measured to know if the five centimeters in diameter, the arbitrarily established size considered such as to interrupt the subsequent Laboratory task with eccentric, and that obtained 96% of the cases there were no residues or were diameters less than 5cm. We also measured the time of the furrows and the time in which the CAT took to register, in this way the speed was calculated and evaluated in different orientations of the slope, in ascent, in descent and in parallel, and it was obtained that in ascent the tractor works at a lower speed. The latter was also performed for the case of Ford 8030 in the laboratory activity with eccentric, and that did not obtain any statistically significant difference in the work in ascent or descent. In addition, it was concluded for the activities that more important is the length of the furrow, the expected yield (ha / h) increases, since the time it takes the tractors in the turning maneuver in the headers is lower in the parameters than with respect to lengths of minor grooves.

Keywords: Reforestation; Study of times; Clear; Work with eccentric; Expected performance.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echeverría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
2. Arballo, E.; Cravino, J. L. 1999. Aves del Uruguay: manual ornitológico. Montevideo, Hemisferio Sur. 465 p.
3. Ashburner, J.; Sims, B. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. San José, Costa Rica, IICA. 473 p.
4. Aulas Uruguay Educa, UY. 2018. Clima del Uruguay. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado may. 2018. Disponible en [http://aulas.uruguayeduca.edu.uy/mod/book/tool/print/index.php?id=1\\_1043](http://aulas.uruguayeduca.edu.uy/mod/book/tool/print/index.php?id=1_1043)
5. Baldan, BR. 2018. Máquinas e implementos agrícolas. (en línea). Río Grande do Sul. 2 p. Consultado jun. 2018. Disponible en <https://www.baldan.com.br/conteudo-arquivo/117>
6. Bossi, J. 1966. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. Departamento de Publicaciones. 469 p. (Colección Ciencias no. 2).
7. \_\_\_\_\_. 1968. Ensayo de clasificación geológica de las rocas ígneas. Facultad de Agronomía (Montevideo). Boletín no. 102. 27 p.
8. \_\_\_\_\_.; Campal, N.; Pineyro, D.; Schipilov, A.; Ferrando, L.; Navarro, R.; Dalla S. L.; Cingolani, C.; Varela, R.; Lopez de Luchi, M. 1996. Correlación Piedra Alta-Tandilia: Terreno Piedra Alta. Montevideo, Facultad de Agronomía. 77 p.
9. \_\_\_\_\_.; Piñeyro, D. 1998. El Cinturón San José: unidad clave del terreno Piedra Alta en Uruguay. In: Congreso Nacional de Geología Económica (6º., 1998, Buenos Aires). Actas. Buenos Aires, Asociación Argentina de Geólogos Economistas. pp. 52-57.
10. \_\_\_\_\_.; Ferrando, L. 2001. Carta geológica del Uruguay: versión 2.0. Digital, Montevideo, Uruguay, Geoeditores. Esc. 1:500.000. Color

11. Campal, N.; Chulepin, H. 1990. Carta geológica del Uruguay: hoja J24 / Talita. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. Esc. 1:100.000. Color
12. \_\_\_\_\_.; Gaucher, C.; Schipilov, A.; Bossi, J. 1995. El Uruaçuano en el Uruguay: evidencias geológicas, paleontológicas y radimétricas. In: Simposio Sul-Brasileiro de Geología (6°), Encuentro de Geología del Cono Sur (1°, 1995, Porto Alegre). Boletín de resúmenes expandidos. Porto Alegre, s.e. pp. 97-100.
13. CAT (Caterpillar, US). 2018. Tractores topadores D6T. (en línea). Peoria, Illinois. s.p. Consultado jun. 2018. Disponible en [https://www.cat.com/es\\_US/products/new/equipment/dozers/medium-dozers/1000028472.html](https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/dozers/medium-dozers/1000028472.html)
14. Cingolani, C.1990. Nuevos datos geológicos y geocronológicos del macizo granítico de Cerro Colorado, Florida, Uruguay. In: Congreso Uruguayo de Geología (1°, 1990, Montevideo). Resúmenes ampliados. Montevideo, s.e. pp. 101-105.
15. Coronel, N.; Oyhantcabal, P. 1988. Carta Geológica del Uruguay: memoria explicativa del fotoplano Pando (J-28). Montevideo, MIEM. DINAMIGE/FA/FHC. Esc. 1:100.000. 12 p.
16. Durán, A.; Califra, A.; Molino, J. H.; Lynn, W. 2006. Keys to soil taxonomy for Uruguay. Washington, D.C., USDA. NRCS. 77 p.
17. Escudero, R. 2004. Proyecto combinado GEF/IBRD Manejo Integrado de Ecosistemas y Recursos Naturales en Uruguay: informe de consultoría.(en línea). Montevideo, s.e. 46 p. Consultado abr. 2018. Disponible en <http://www.guayubira.org.uy/monte/DiagnosticoBosqueNativo.pdf>
18. Fernández, A.; Preciozzi, F. 1974. La Formación Arroyo Grande y los granitoides asociados. In: Congresso Brasileiro de Geología (28°, 1974, Porto Alegre). Anais. Sao Paulo, Sociedade Brasileira de Geología. pp. 213-226.
19. Ferrando, L. A.; Fernández, A. N. 1971. Esquema tectónico cronoestratigráfico del predevoniano en Uruguay. In: Congreso Brasileiro de Geología (25°, 1971, Sao Paulo). Anais. Sao Paulo, Sociedade Brasileira de Geología. pp. 199-210.

20. \_\_\_\_\_.; Eugui, W.; Cabrera, Z.; Elias, R. 1988. Carta geológica del Uruguay: Hoja P24 Carmelo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. Esc. 1:1.000.000. Color
21. \_\_\_\_\_. 1996. Cinturón Arroyo Grande. *In*: Bossi, J.; Campal, N.; Piñeyro, D.; Schipilov, A.; Ferrando, L. A.; Navarro, R.; Dalla S. L.; Cingolani, C.; Varela, R.; Lopez de Lucchi, M. eds. *Correlación Piedra Alta-Tandilia: terreno Piedra Alta*. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp.10-17.
22. García, P. F.; Pérez Bidegain, M.; Christie, S.; Santini, P. 2001. Efecto de la intensidad de laboreo en el crecimiento aéreo y radicular de *Eucalyptus dunnii* y sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia* (Montevideo). 5(1): 1-9.
23. Gonçalves, J. L. M.; Poggiani, F.; Stape, J. L.; Serrano, M. I. P. S; Mello, S. L. M.; Mendes, K. C. F. S.; Gava, J. L.; Benedetti, V. 1998. *Eucalypt plantations in the humid tropics: São Paulo, Brazil*. *In*: Nambiar, E. K. S.; Cossalter, C.; Tiarks, A. eds. *Site management and productivity in tropical plantation forest*. Pietermaritzburg, South Africa, CIFOR. pp. 5-12.
24. \_\_\_\_\_.; Stape, J. L.; Benedetti, V.; Fessel, V. A. F.; Gava, J. L. 2000. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. *In*: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. eds. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba, IPEF. pp. 1-57.
25. \_\_\_\_\_.; Gava, J. L. ;Wichert, M. C. P. 2004. Sustainability of Wood Production in Eucalypt Plantations of Brazil. *In*: Nambiar, E. K. S.; Ranger, J.; Cossalter, C.; Tiarks, A. eds. *Site management and productivity in tropical plantation forest*. Pointe-Noire, Congo, CIFOR.pp. 3-14.
26. Grela, I. A. 2004. Geografía florística de las especies arbóreas de Uruguay: Propuesta para la delimitación de dendrofloras. (en línea). Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Opción Botánica. Montevideo, Uruguay. Ministerio de Educación y Cultura/Universidad de la República. 97 p. Consultado may. 2018. Disponible en <http://www.guayubira.org.uy/monte/seminario/ponencias/TesisGrela.pdf>



27. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agrícola. Unidad de Agro-Clima y Sistemas de Información, UY). 2018. Banco datos agroclimático. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado may. 2018. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
28. Ledesma, J. J.; Heimann, A.; Bergalli, L. 2001. El metagabro de Cerro San Carlos: roca relacionada a una veta de cuarzo aurífero en el Cratón del Río de la Plata, SW de Uruguay. *In*: Congreso Latinoamericano de Geología (11°.), Congreso Uruguayo de Geología (3°., 2001, Montevideo). Resúmenes. Montevideo, s.e. 1 disco compacto.
29. Maldonado, S.; Bossi, J.; Piñeyro, D.; Cingolani, C.; Schipilov, A. 2001. Macizo de Pintos - Terreno Piedra Alta (Florida, Uruguay). *In*: Congreso Latinoamericano de Geología (11°.), Congreso Uruguayo de Geología (3°., 2001, Montevideo). Resúmenes. Montevideo, s.e. 1 disco compacto.
30. \_\_\_\_\_; Piñeyro, D.; Bossi, J. 2003. Terreno Piedra Alta: aporte a la estratigrafía del Basamento Cristalino del Uruguay. (en línea). *In* Taller sobre la Estratigrafía del Precámbrico del Uruguay (2°., 2003, Montevideo). Resúmenes ampliados. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología. no. 1:18 – 38. Consultado may. 2018. Disponible en <http://www.sugeologia.org/documentos/ARTICULOS/Publicaci%F3n%20especial%20SUG%20II%20Taller%20Prec%20E1mbrico%202003.pdf>
31. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo. Esc. 1:1.000.000. s.p. Consultado jun. 2018. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1620\\_1341437859cartamillon\\_0.jpg](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1620_1341437859cartamillon_0.jpg)
32. Mari, C.; Costa, H.; Infantozzi, E.; González, C. 1990. Estudio geofísico regional en Sierra Mahoma, San José. *In*: Congreso Uruguayo de Geología (1°., 1990, Montevideo). Resúmenes ampliados. Montevideo, s.e. t. 2, pp. 145-150.

33. Márquez Delgado, L. 1983. Financiación agraria, nuevas estrategias: áperos. (en línea). Agricultura, Revista Agropecuaria. no. 613: 578-583. Consultado abr. 2018. Disponible en [https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_Agri/Agri\\_1983\\_613\\_completa.pdf](https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri/Agri_1983_613_completa.pdf)
34. \_\_\_\_\_. 2004. Maquinaria agrícola: preparación primaria, trabajo del suelo, siembra, plantación y trasplante, distribución de fertilizantes, protección de los cultivos. Madrid, España, Blake y Helsey. 700 p. (Cuadernos de Agronomía y Tecnología).
35. MDN. DNM (Ministerio de Defensa Nacional. Dirección Nacional de Meteorología, UY). s.f. Base de datos meteorológica. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado may. 2018. Disponible en <http://www.meteorologia.com.uy/>
36. MGAP. DGRN (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales, UY). 2018. Descripción de grupos de suelos CO.N.E.A.T. (en línea). Montevideo. 62 p. Consultado jun. 2018. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/descripcion\\_de\\_grupos\\_de\\_suelos\\_coneat.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/descripcion_de_grupos_de_suelos_coneat.pdf)
37. \_\_\_\_\_. DIEA (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, UY). 2010. Anuario Estadístico de DIEA 2010. (en línea). Montevideo. 240 p. Consultado jun. 2018. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/diea-anuario-2010w.pdf>
38. Muttl, D.; Bossi, J.; Di Marco, A.; Piñeyro, D. 1996. The Archean volcanosedimentary San José Belt (Uruguay). In: Symposium Archean Terranes of American Plataform (1<sup>st</sup>., 1996, Brasilia). Proceedings. Brasilia, s.e. pp. 26-27.
39. New Holland Agriculture, AR. 2018. Tractores serie 30. (en línea). Buenos Aires. 2 p. Consultado jun. 2018. Disponible en [https://www.mercosur.com/media/filer\\_public/40/cd/40cdf9f2-98f8-4555-b94f-92d2c93bba27/8030.pdf](https://www.mercosur.com/media/filer_public/40/cd/40cdf9f2-98f8-4555-b94f-92d2c93bba27/8030.pdf)

40. Oyhantçabal, P.; Derregibus, M. T.; Muzio, R.; Nardi, L. V. S. 1998. The Socaintrusión: a rapakivi granite of Uruguay. *Journal of South American Earth Science*. 11: 169-178.
41. \_\_\_\_\_.; Spoturno, J.; Aubet, N.; Cazaux, S.; Huelmo, S. 2003. Proterozoico del Suroeste del Uruguay: nueva propuesta estratigráfica para la Formación Montevideo y el magmatismo asociado. (en línea). *In* Taller sobre la Estratigrafía del Precámbrico del Uruguay (2°. , 2003, Montevideo). Resúmenes ampliados. *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*. no. 1: 38-48. Consultado may. 2018. Disponible en <http://www.sugeologia.org/documentos/ARTICULOS/Publicaci%F3n%20especial%20SUG%20II%20Taller%20Prec%20E1mbrico%2003.pdf>
42. Preciozzi, F.; Spoturno, J.; Heinzen, W.; Rossi, P. 1985. Carta Geológica del Uruguay. Montevideo, Uruguay, MIEM. DINAMIGE. Esc. 1:500.000. 95 p. Color
43. \_\_\_\_\_.; Bourne, N. 1992. Petrography and geochemistry of the A° de la Virgen and Isla Mala plutons, southern Uruguay: early roterozoic tectonic implications. *Journal South American Earth Sciences*. 6(2): 169-181.
44. \_\_\_\_\_.; Basel, M. A.; Masquelín, H. 1999. New geochronological data from the Piedra Alta Terrane (Río de la Plata Craton). (en línea). *In*: Simposio Sudamericano de Geología Isotópica (2°. , 1999, Córdoba). Actas. Villa Carlos Paz, s.e. pp. 341-344. Consultado abr. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Henri\\_Masquelin/publication/292280075\\_New\\_geochronological\\_data\\_from\\_the\\_Piedra\\_Alta\\_Terrane\\_Rio\\_de\\_La\\_Plata\\_Craton\\_2\\_South\\_American\\_Symposium\\_on\\_Isotope\\_Geology/links/598b6099458515c333a334f5/New-geochronological-data-from-the-Piedra-Alta-Terrane-Rio-de-La-Plata-Craton-2-South-American-Symposium-on-Isotope-Geology.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Henri_Masquelin/publication/292280075_New_geochronological_data_from_the_Piedra_Alta_Terrane_Rio_de_La_Plata_Craton_2_South_American_Symposium_on_Isotope_Geology/links/598b6099458515c333a334f5/New-geochronological-data-from-the-Piedra-Alta-Terrane-Rio-de-La-Plata-Craton-2-South-American-Symposium-on-Isotope-Geology.pdf?origin=publication_detail)
45. Sánchez, P.A. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. San José, IICA. 643 p.
46. Soriano, A. 1992. Río de la Plata Grasslands. Ecosystems of the world 8A. *In*: Coupland, R. T. ed. *Natural grasslands: introduction and Western Hemisphere*. Amsterdam, Elsevier. pp. 367–407.

47. Trenal S.A., UY. 2018. Planta de tratamiento de residuos sanitarios contaminados. (en línea). Montevideo. p. irr. Consultado may. 2018. Disponible en <https://docplayer.es/41910643-Planta-de-tratamiento-de-residuos-sanitarios-contaminados-viabilidad-ambiental-de-localizacion.html>
48. Villar, L. M.; Segal, S. J. 1990. Caracterización petrológica y metalogenética del complejo gábrico próximo a San José de Mayo, Depto. de San José. Uruguay. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado may. 2018. Disponible en [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/42/067/42067660.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/067/42067660.pdf)