

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**EFECTO DEL INDICE DE DESGASTE (α) EN EL DESEMPEÑO DE LOS
DISCOS DE ARADOS EN UN SUELO FRANCO**

Por:

JAUDIEL PLIEGO GARCIA

Tesis

**Presentada como requisito parcial para obtener el Título de:
INGENIERO MECANICO AGRICOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio del 2003

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Influencia del índice de desgaste (α) en el desempeño de los discos de arados
en un suelo franco

Por:

JAUDIEL PLIEGO GARCIA

Tesis

Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
para Obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO AGRICOLA

Aprobado

Presidente del jurado

Ing. Juan Arredondo Valdés

Co-Director externo del INIFAP

Sinodal

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Dr. Martín Cadena Zapata

Coordinador de la División de Ingeniería

M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio del 2003

EFFECTO DEL INDICE DE DESGASTE (α) EN EL DESEMPEÑO DE LOS DISCOS DE ARADOS EN UN SUELO FRANCO

CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.	I
INDICE DE FIGURAS.	I
RESUMEN.	II
INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Justificación	2
1.3 Hipótesis y objetivos	3
II REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Evaluación de arados de discos	4
2.2 Teoría de arados de discos agrícolas	5
2.3 Fuerzas actuantes sobre las herramientas de trabajo de arados agrícolas	9
2.4 Propiedades mecánicas de los suelos agrícolas	12
2.5 Ecuación universal para el movimiento de tierras	14
2.6 Potencia en tractores agrícolas	15
2.7 Consumo de combustible	16
2.8 Desgaste de arados agrícolas	17
2.9 Teoría de transductores	17
2.10 Galgas extensiométricas	18
2.11 Diseño de experimentos	21
2.12 Norma mexicana para evaluación de discos agrícolas.	22
III MATERIALES Y METODOS	24
3.1 Fuente de potencia.	24
3.2 Implemento.	24
3.3 Discos.	24
3.4 Definición de índice de desgaste y medición de ángulos de los discos.	25
3.5 Metodología, materiales y equipo empleado en campo.	26
3.5.1 Caracterización del sitio de prueba.	26

	3.5.2	Pruebas de desempeño.							
									32
	3.5.3	Calidad de trabajo.							
									38
I	Ϸ	RESULTADOS Y DISCUSIONES							45
		4.1	Caracterización del sitio de prueba.						45
		4.2	Pruebas de desempeño.						49
		4.3	Calidad de trabajo.						54
		4.4	Información útil para el diseño de un banco de pruebas.						61
	Ϸ	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES							63
	ϷI	LITERATURA CITADA.							64
	ϷII	ANEXOS							65
		1.	Penetrómetro						66
		2.	Programa PERFILOMETROVISUAL 1.0						69
		3.	Dinamómetro de fuerzas						75
		4.	Uso del programa IMAGEN PROCESING 1.1						79

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Coberturas y pedregosidad en bloques . . . . .	.81
Cuadro 2. Porcentajes de humedad a 30 cm de profundidad antes de las pruebas.	.82
Cuadro 3. Resistencia a la penetración en el sitio de pruebas. . . . .	.83
Cuadro 4. Incorporación de residuos en los bloques de evaluación. . . . .	.84
Cuadro 5. Densidad aparente antes de las pruebas de evaluación.	85
Cuadro 6. Densidad aparente después de las pruebas de evaluación. . . . .	.86
Cuadro 7. Resultados microrrelieve. . . . .	.86
Cuadro 8. Fuerzas de tiro sensadas durante las pruebas. . . . .	.87
Cuadro 9. Tiempos, combustible y dimensiones de trabajo.. . . .	.88
Cuadro10. Lecturas de profundidad.	89
Cuadro11. Porcentaje promedio de patinaje.. . . .	90
Cuadro12. Incorporación de suelo. . . . .	.91
Cuadro13. Tamaño promedio de agregados por bloque. . . . .	.92

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Distribución de los índices de desgaste en los bloques del experimento.	93
Fig. 2. Densidad aparente bloque 1 antes.	94
Fig. 3. Densidad aparente bloque 1 después.	94
Fig. 4. Densidad aparente bloque 2 antes.	94
Fig. 5. Densidad aparente bloque 2 después.	94
Fig. 6. Densidad aparente bloque 3 antes.	95
Fig. 7. Densidad aparente bloque 3 después.	95
Fig. 8. Densidad aparente bloque 4 antes.	95
Fig. 9. Densidad aparente bloque 4 después.	95
Fig.10. Microrrelieve bloque 1 antes.	96
Fig.11. Microrrelieve bloque 1 después.	96
Fig.12. Microrrelieve bloque 2 antes.	96
Fig.13. Microrrelieve bloque 2 después.	96

Fig.14. Microrrelieve bloque 1 antes.	.	.	.	.	.	.	97
Fig.15. Microrrelieve bloque 1 después.	.	.	.	.	.	.	97
Fig.16. Microrrelieve bloque 2 antes.	.	.	.	.	.	.	97
Fig.17. Microrrelieve bloque 2 después.	.	.	.	.	.	.	97

AGRADECIMIENTOS

**“ A ti señor todo poderoso por ser el principal motivo de todos mis logros,
pero sobre todo por incluirme como un partcipe mas de este maravilloso
universo “**

“A mi inolvidable **ALMA TERRA MATER** por haberme brindado la oportunidad de
estudiar en sus aulas y ayudar a superarme profesionalmente. “

Al **Ing. Juan Arredondo Valdez** por todas las facilidades prestadas y por aceptarme como tesista en esta investigación.

Mi mas sincero agradecimiento y admiración al **Ph. Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**, por todos los conocimientos aportados al desarrollo de este trabajo y el tiempo dedicado, pero sobre todo y ante todo gracias a su calidad humana. Gracias doctor.

Al **Dr. Martín Cadena Zapata** por todos los conocimientos y tiempo empleados para el desarrollo de este departamento. Pero sobre todo por la mentalidad infundida en mis compañeros de generación.

Al **M. C. Héctor Uriel Serna Fernández**, por todos los consejos y la ayuda recibida de su persona.

A los maestros del departamento de Maquinaria Agrícola, **M.C Jesús Valenzuela, Ing. Tomas Gaytan, Ing. Blanca Elizabeth de la Peña, Dr. Aguinaldo García, M.C. Juan Antonio Guerrero**. Por brindarme todos sus conocimientos durante el desarrollo de mi carrera.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera intervinieron en mi formación durante mi estancia en la universidad.

A mis compañeros de la generación XCIV, de la carrera de Ing. Mecánico Agrícola, en especial a; **Agustina, Leticia, José Manuel Ozuna, Manuel Hinojosa, Adrián, Alfredo, Teofilo, Juan Carlos, Sarain, Jorge Armando, Alfredo, Carlos Cruz, José López, Alejandro, José Vásquez, Ángel, Félix, Mitzunory, Saúl, Ramiro, Rusell y a los que se me hallan olvidado.**

Al personal del Taller de Maquinaria Agrícola, por todas las atenciones prestadas en la realización de todas las pruebas de campo de este trabajo. Sr. Efraín, Sr. Mario, Sr. Acacio, a DON CHON y a Jhony.

A la cuadrilla de plantadores de cebolla y otras especias de mi natal Tenango Morelos, por las motivaciones y el apoyo que siempre me brindaron.

DEDICATORIAS**A MIS PADRES:**

Sra. Lidia García Beltrán.

Sr. Miguel Pliego López.

Gracias por haberme cuidado desde que era un morro, por haberme brindado su apoyo, su tiempo, sus corajes, sus consejos y sus desvelos, por haber depositado su confianza en mi y haber creído que era capaz de realizar mi sueño. Nunca hallare nada con lo cual pueda recompensar todos sus sacrificios y sufrimientos, gracias papá, gracias mamá.

A MI HERMANO:

Hernán Pliego García

Por todas las necesidades y buenos ratos que hemos pasado juntos y sobre todo por tu calidad como ser humano y por la motivación y ánimos que siempre me has ofrecido. Gracias Nanche.

A MIS ABUELITAS:

Sra. Irene Beltrán

Sra. Obdulia Flores.

Por todos los buenos consejos que siempre me han dado .

A MI NOVIA:

Leticia Marín Omaña.

Por todas las horas perdidas, por ser tolerante y por ser parte importante de mi vida. Gracias Lety.

“AL COECYT POR LA BECA BRINDADA COMO APOYO PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, POR SU COMPRENSIÓN Y TOLERANCIA GRACIAS.”

RESUMEN.

La finalidad de este trabajo es la de relacionar la reducción en el diámetro de los discos de arados agrícolas con la calidad de trabajo y su desempeño además de medir la cantidad de energía demandada

durante la aradura. Los objetivos planteados en este trabajo se enfocan a la obtención de información que muestre hasta que punto la reducción en el diámetro de los discos de arados afecta la calidad del funcionamiento, para esto se evaluaron cuatro niveles de desgaste con 0, 6, 12 y 20 % en cuatro parcelas de prueba mediante un diseño de bloques al azar con índices de desgaste como tratamientos. Las variables más importantes medidas durante el experimento fueron; Ancho de trabajo, Fuerza de tiro, Patinaje, Microrrelieve, Tamaño de agregados, Índice de rugosidad, Densidad aparente, Incorporación de suelo, Incorporación de residuos, Resistencia a la penetración, Profundidad de trabajo y Cobertura vegetal. Con los resultados obtenidos de la medición de estas variables se pudieron obtener resultados que muestran como afecta la disminución de diámetro de los discos a las relaciones índice de desgaste-Calidad de trabajo e Índice de desgaste – Energía demandada, al final estas relaciones pudieron mostrar el periodo de vida útil de los discos en función del diámetro.

Durante el transcurso de este trabajo se diseñaron y adecuaron herramientas para la medición de las variables medidas, estas herramientas fueron; un dinamómetro bajo la teoría de transductores axiales con galgas extensiométricas como sensores, un penetrómetro que permitió obtener lecturas de índices de cono a diferentes profundidades y expresarlas de forma digital mediante un sistema de adquisición y un programa para analizar las lecturas obtenidas del microrrelieve.

Dentro de las conclusiones más importantes obtenidas de este trabajo se encuentra que, la reducción en el diámetro de los discos

mas allá del 12 % empieza a afectar el desempeño y la calidad de trabajo del implemento, La reducción en el diámetro de los discos afecta muy ligeramente la cantidad de energía demandada durante la labor, el periodo de vida útil en función del diámetro termina cuando la distancia lineal medida desde el borde del disco al borde de la masa sea inferior a 19 cm.

Por otra parte es importante mencionar que se obtuvieron resultados que pueden ser de mucha importancia para las primeras etapas de diseño de un banco de pruebas que permita la evaluación de discos bajo diferentes condiciones en un menor tiempo y con un menor costo.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El arado de discos es un implemento utilizado por millones de agricultores en el mundo, su uso es de suma importancia ya que su trabajo consiste en cortar, desmenuzar e invertir una sección de tierra determinada con la finalidad de airear el terreno, darle una estructura adecuada e incorporar los restos de la cosecha anterior así como de las malas hierbas; interviniendo con esto en la preparación del suelo para el establecimiento de la cama de siembra de una gran cantidad de cultivos. El origen del arado de discos se encuentra inmerso en la necesidad bilateral de disminuir el rozamiento entre el suelo y los discos, ya que este fenómeno es el origen de una fracción importante del gasto de energía necesaria para la labor. La necesidad antes mencionada ha ocasionado que el arado de discos tenga una gran expansión en los campos agrícolas, (Cañavate, 1989).

En México, del año 1996 al año 1997 y tal como lo muestra la Tabla 1.1, la cantidad de arados distribuidos por los diferentes fabricantes tuvo un incremento de aproximadamente el 60 %, sin embargo del año 1997 al año 2000 el numero de unidades vendidas solo ha logrado mostrar un comportamiento constante. Dentro de las causas mas importantes atribuidas a este fenómeno se encuentran; la acelerada descapitalización del país, las políticas austeras implementadas por el gobierno en ese período, el incremento en el precio de los combustibles y la falta de información técnica debido directamente a la falta de normalización, (Sánchez, 2001).

Tabla 1.1 Arados vendidos del año 1996 al año 2000. Sánchez, 2001

AÑO DE VENTA	CANTIDAD DE ARADOS
1996	2538
1997	4086
1998	3988
1999	3826

2000	4000 (aprox.)
------	---------------

Con lo mencionado en el último párrafo nos damos cuenta claramente que el agricultor desconoce a ciencia cierta el periodo de vida útil y el desempeño real del arado de discos en el campo; debido a esto, uno de los propósitos más importantes de este trabajo fue el de determinar los puntos en los cuales el desgaste de los discos en conjunto con los ajustes correspondientes y la velocidad de trabajo no afecten el consumo de energía ni la calidad de trabajo de dicho implemento durante la labor.

1.2 Justificación

Con la realización de esta investigación se propone obtener información que nos muestre la forma en que la reducción en el diámetro de los discos del arado afecta las demandas de energía y la calidad en el trabajo realizado. La relación índices de desgaste - calidad de trabajo nos puede determinar que diámetros de disco realizan la mejor incorporación de suelo, la mejor incorporación de residuos vegetales y el tamaño óptimo de agregados; ya que son estos los principales parámetros que se persiguen durante la labranza, (Donell, 1991). La relación índices de desgaste - demandas de energía nos puede mostrar que diámetros de disco exigen la mayor cantidad de fuerza y volumen de combustible consumido durante el trabajo. Al final con toda la información generada podemos inferir de manera confiable en el periodo de vida útil de los arados de discos en función de los índices de desgaste.

En términos sencillos podemos afirmar que con la realización de esta investigación se puede obtener información que muestre al agricultor y al fabricante; los diámetros, los ajustes y la velocidad en los que se obtiene la mejor calidad de trabajo y el menor consumo de energía durante la labranza. Además de que se podría contribuir en la optimización de sus recursos económicos, en la disminución del desgaste del tractor y sobre todo a mejorar la calidad de preparación del terreno.

El desarrollo de esta investigación puede también aportar parámetros básicos que pueden ser sometidos a consideración para el desarrollo y construcción de un banco de

pruebas para discos de arados. Dicho banco permitiría evaluar discos bajo diferentes condiciones en un tiempo menor y con un menor costo.

1.3 Hipótesis y Objetivos

ψ **Hipótesis.**

Es factible inferir en la vida útil de los discos agrícolas si se correlaciona la pérdida de diámetro o índice de desgaste (α) con la calidad de trabajo realizado y la energía empleada para el mismo.

ψ **Objetivos.**

- 1) Determinar el diámetro de los discos en el cual con sus respectivos ajustes y a una velocidad determinada el arado demande la menor cantidad de energía.
- 2) Determinar en que diámetro o diámetros del disco con sus respectivos ajustes y a una velocidad determinada se logra la mejor calidad de trabajo (expresada en tamaño de agregados, incorporación de residuos e incorporación de suelo principalmente).
- 3) Inferir en el periodo de vida útil de los discos utilizando los datos de diámetro, consumo de combustible, cantidad de potencia demandada y calidad de trabajo realizado.
- 4) Proporcionar información útil para la construcción de un banco de pruebas (magnitud de las fuerzas, velocidad sistema arado – tractor, ciclos del disco, etc.).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Evaluación de arados de discos.

Chávez et. al. (2000), realizaron un estudio en el cual se determino el efecto del ajuste del arado y de la velocidad de avance sobre la fuerza de tiro horizontal demandada y de la calidad de trabajo de un arado de tres discos en un suelo franco arenoso. Todos los datos obtenidos fueron analizados o tratados con un diseño experimental con 3 bloques completamente al azar y un diseño de tratamientos factorial (4x3x2); donde el primer factor fue velocidad de avance con cuatro niveles 4, 5.1, 6.2 y 7.5 Km \ hr, el segundo factor fue ángulo de corte de cada disco con tres niveles 39, 42 y 45° y el tercer factor fue ángulo vertical de cada disco con 2 niveles 15 y 25°. Los resultados obtenidos mostraron que conforme se incrementa la velocidad de avance del sistema arado – tractor se incrementa la fuerza de tiro horizontal demandada y área seccional de trabajo, pero por otra parte se reduce la calidad de trabajo; finalmente el menor valor de la fuerza de tiro horizontal demandada y el mayor valor del área de corte se obtuvo cuando el ajuste del arado se encontraba en 15 y 42° de ángulo vertical y de corte respectivamente de cada disco. Los índices de calidad de trabajo que se contemplaron fueron; cubierta vegetal e índice de incorporación de residuos, densidad aparente, porosidad, relación de vacíos, resistencia al corte de la veleta, profundidad, ancho de trabajo, fuerza de tiro horizontal y fuerza de tiro horizontal específica. Según las conclusiones la finalidad de este trabajo es proporcionar ecuaciones para predicción de fuerzas de tiro, con el fin de determinar la potencia del tractor

a utilizar en un suelo franco arenoso. La conclusión de este trabajo afirma que para un suelo franco arenoso en la labor de aradura y con la finalidad de reducir el consumo de energía se debe de ajustar el arado en $15^\circ * 42^\circ$, y para obtener una buena calidad de trabajo se debe de ajustar en arado en $25^\circ * 42^\circ$ o $25^\circ * 45^\circ$ y a una velocidad de avance de 5.1 Km. / hr.

A su vez Wills et. al. (1985), dicen que un disco puede ser considerado como parte de una esfera hueca y que cuando un disco vertical se mueve a través del suelo, la interacción del mismo puede ser definida en términos de las áreas y volúmenes proyectados de los lados cóncavos y convexos del disco, y pueden ser relacionados con su geometría, profundidad de trabajo, ángulo relativo y dirección del viaje. El tamaño físico y la forma de un disco, su colocación relativa a la dirección del movimiento a través del suelo y las propiedades del suelo en sí mismo determinan sus características de desempeño. Estas pueden ser medidas y expresadas en términos de fuerza de tiro, profundidad de trabajo, adherencia del suelo sobre la superficie del disco, compactación del suelo o incluso en la forma de aradura, dependiendo para lo que se requiera. Una comprensión de la interacción entre el disco y el suelo permitiría la predicción del funcionamiento del disco. Un disco podría entonces ser caracterizado para operar en un suelo en particular, a una profundidad determinada y con un mínimo de fuerza de tiro. La interacción geométrica entre un disco y el suelo puede ser expresada en términos de 4 parámetros básicos: El radio de curvatura de la esfera del disco, el diámetro del disco, el ángulo del disco y la profundidad de penetración.

2.2 Teoría de arados de discos agrícolas.

Ψ Características de los arados de discos.

Cañavate (1989), indica que con los arados de discos se busca transformar las fuerzas debidas al rozamiento con la superficie de trabajo en fuerzas de rodadura. Los arados de discos se emplean, sobre todo, en terrenos difíciles, como son los duros y secos, donde el disco puede penetrar debido a su peso, y en terrenos pedregosos o rocosos, donde el disco, al girar, franquea los obstáculos, mientras que la vertedera se rompería. Por otra parte, mezclan mejor la tierra que los arados de vertedera. La profundidad de corte varia según el diámetro del disco, y la labor a realizar, de 3 a 11 pulgadas, la profundidad máxima depende del diámetro del disco, siendo normalmente el limite de la profundidad de labor la tercera parte de su diámetro. La anchura de corte oscila entre 7 y 12 pulgadas, dependiendo el ángulo que tenga el plano

ST = superficie de trabajo.

N = numero de discos.

D = diámetro del disco.

α = ángulo del disco.

γ = ángulo de inclinación.

Ψ Velocidad periférica de los discos.

Cuando el arado avanza a una velocidad V , el disco gira con una velocidad periférica V_u a razón de:

$$V_u = V \operatorname{sen} \alpha \quad (2.4)$$

La velocidad periférica teórica es la velocidad de avance multiplicada por el seno del ángulo del disco, sin embargo, debido al rozamiento del disco en el suelo ocurre un gran resbalamiento. De esta conclusión resulta que la velocidad periférica efectiva vale:

$$V_p = (0.4 - 0.8) V_u \quad (2.5)$$

Para terrenos sueltos:

$$V_p = (0.7 - 0.9) V_u \quad (2.6)$$

Para terrenos fuertes:

$$V_p = (0.4 - 0.6) V_u \quad (2.7)$$

V_p = Velocidad del disco

En terrenos pesados, para una posición incorrecta del disco, puede ser V_u inferior a estos valores, llegando a no girar. En discos accionados se llega hasta valores de $V_u = 3 \text{ m/s}$ (Cañavate, 1989).

Ψ Cinemática de los discos agrícolas

Nartov (1985), menciona que la parte de trabajo del disco tiene una superficie esférica. La parte baja del disco corta, deforma y mueve la capa del suelo en un línea particular. Los principales parámetros del disco agrícolas pueden visualizarse en la Figura 2.1.

- D. Diámetro del disco.
- R. Radio de curvatura de la superficie esférica .
- C. Angulo entre el diámetro horizontal del disco y la dirección de movimiento del implemento (Angulo de ataque, conocido también como ángulo del disco).
- B. Inclinación del disco con respecto a su eje vertical (Angulo de inclinación).
- E. Espesor del disco.
- I. Angulo del borde cortante.
- F. Angulo cortante del borde trasero del disco.
- G. Angulo en el cual cae la capa de suelo cortada.

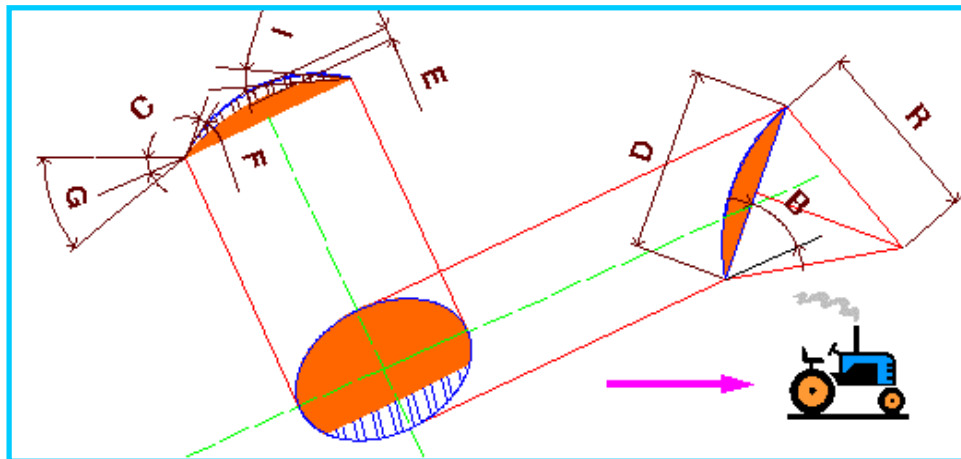


Fig. 2.1 Parámetros geométricos de un disco. Nartov 1985

La superficie de trabajo de los discos esféricos desempeña un movimiento complejo. Además de seguir un movimiento horizontal con la maquina, el disco rota sobre su eje bajo la acción de fuerzas reactivas del suelo. Durante el movimiento de trabajo del

disco la reacción del suelo puede ser dividida en dos componentes: fuerza de fricción y fuerza de corte. La fuerza de fricción es la resultante de todas las fuerzas elementales de fricción aplicadas a la superficie lateral del segmento cortante sumergido en el suelo. Las fuerzas elementales de fricción actúan en dirección opuesta a los vectores de velocidad de áreas elementales correspondientes de la superficie lateral del cortador, tal y como lo muestra la Figura 2.2.

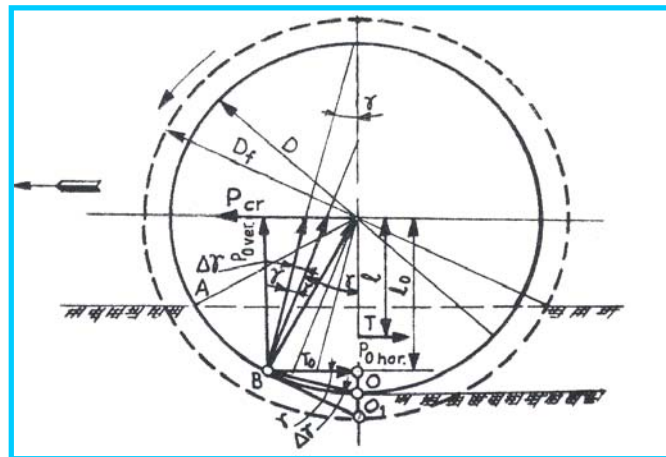


Fig. 2.2 Determinación de las fuerzas de fricción actuando sobre un disco cortador. Nartov, 1985.

2.3 Fuerzas actuantes sobre las herramientas de arados agrícolas

Ψ Fuerzas actuantes en discos .

Según Nartov (1985), uno de los principales componentes de las reacciones es la fuerza cortante requerida para separar el corte del horizonte superior del suelo. esta fuerza depende de la naturaleza de corte del suelo, de las herramientas de trabajo y la magnitud del ángulo de corte. Estas fuerzas determinan los requerimientos de potencia del implemento y son los datos iniciales para diseñar un análisis computacional. **“Las herramientas de trabajo deben de tener los parámetros para los cuales se asegure**

no únicamente las apropiada calidad del suelo trabajado sino que también requieran de una mínima potencia”.

Kepner (1978), indica que un implemento de labranza moviéndose a una velocidad constante esta sujeto a tres fuerzas principales o sistemas de fuerzas las cuales deben estar en equilibrio. estas fuerzas son:

- 1. fuerza de gravedad que actúa sobre el implemento.**
- 2. las reacciones del suelo que actúan sobre el implemento.**
- 3. las fuerzas que actúan entre el implemento y el tractor.**

Clyde (1936), subdivide el total de las reacciones del suelo en fuerzas útiles y fuerza parásitas, y define las fuerzas útiles como aquellas que la herramienta debe vencer como resultado de las fuerzas de corte, rompimiento, y movimiento del suelo. Las fuerzas parásitas son aquellas que actúan (incluidas las fuerzas de fricción y rodamiento) sobre las superficies de estabilización tales como las de empuje lateral que actúan sobre las ruedas guía. Bajo la configuración dada de condiciones de operación con un implemento específico, el operador tiene poco control sobre las fuerzas útiles de resistencia del suelo.

Ψ Angulo de corte

Según Nartov (1985), **el ángulo de corte tiene un apreciable efecto sobre la resistencia de trabajo del implemento. Un incremento de 15 a 60 grados en este ángulo incrementa 1.9 veces la resistencia de trabajo.**

Ψ Resistencia al trabajo

Nartov (1985) , realizo un experimento para determinar la fuerza reactiva total que actúa en los discos usando la técnica del dinamómetro espacial, este experimento fue realizado en un suelo limoso con una dureza de 11- 12 Kg. / cm² y una humedad de 7.5 a 8.5 % con discos de diferentes parámetros y velocidades de 4 y 1.8 km / hr (se utilizaron discos frenados y discos en rotación). El equipo de Nartov construyo un dinamómetro trolley para realizar los experimentos, la finalidad de este dinamómetro fue

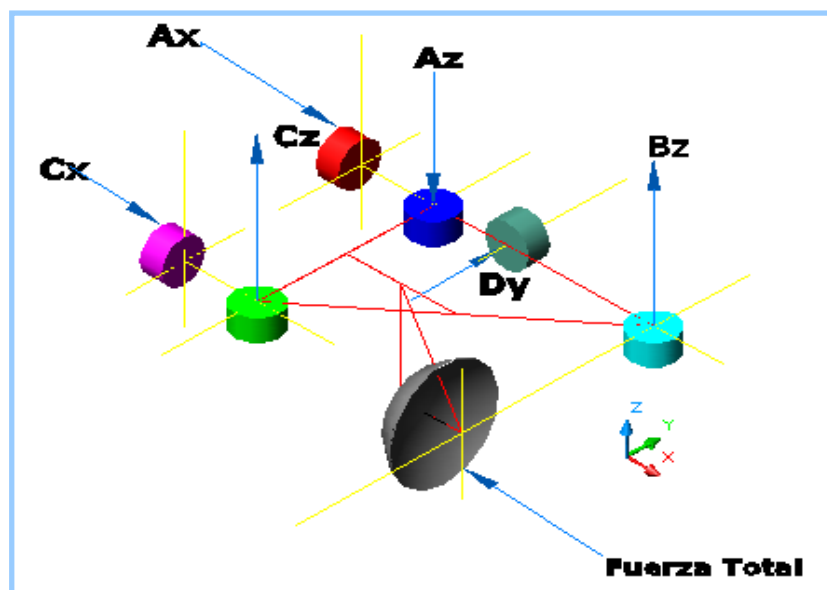
la de medir los componentes de reacción A_x , C_x , D_y , A_z , B_z , C_z , por medio de 6 transductores, las reacciones se muestran en la Figura 2.3.

Una de las partes mas importantes de este experimento consistió en determinar que P_x es la resistencia al trabajo y de acuerdo a la configuración del dinamómetro esta dada por:

$$P_x = A_x + C_x (2.8)$$

Los experimentos de Nartov mostraron que el valor de esta fuerza depende sobre todo de los parámetros geométricos de la herramienta de trabajo. Dijo que al haber variación en los parámetros hay un cambio no únicamente en la forma de la superficie de trabajo del disco, sino que también en el área de la sección transversal del surco.

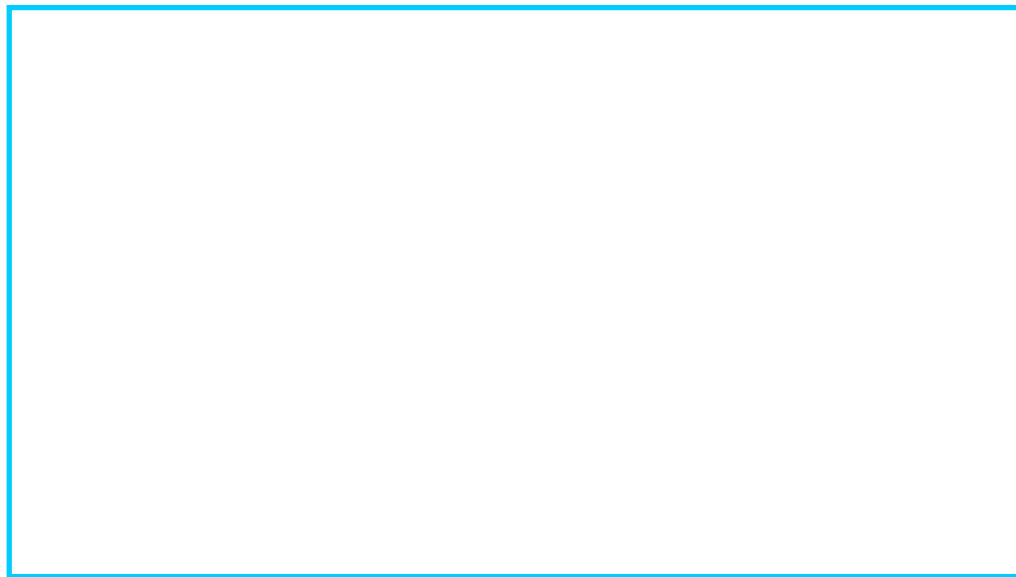
También determinaron que esta fuerza varia dentro de un limite en función directa del ángulo del disco, Figura 2.1. **Una de las observaciones mas importantes de este experimento fue que el diámetro de los discos tiene muy poco efecto en el comportamiento de esta fuerza.**



**Figura 2.3. Configuración de dinamómetro para obtener una fuerza total.
Nartov 1985**

Ψ Representación estática de fuerzas actuantes en un disco

Kepner (1978), afirma que el efecto neto de todas las fuerzas del suelo actuando sobre un disco como resultado de las operaciones de corte, pulverización, elevación e inversión del corte del surco, además de cualquier otra fuerza parásita actuando sobre el disco, puede ser expresada en varias formas, una forma sintetizada de esta afirmación se muestra en la Figura 2.4.



**Fig. 2.4 Ejemplo de las fuerzas resultantes del suelo actuando sobre una hoja de disco vertical de 61 cm (24 pulgadas) en condiciones normales de campo en un suelo de textura media, los efectos totales son presentados por dos fuerzas intersectantes a) una fuerza de empuje t , mas una fuerza radial u , y b) una fuerza horizontal r_h , mas una fuerza vertical v .
Kepner, 1978.**

2.4 Propiedades mecánicas de los suelos agrícolas

SEGÚN CAÑAVATE (1989), LOS SUELOS AGRÍCOLAS SON OBJETO DE UNA SERIE ACCIONES POR PARTE DE LOS VEHÍCULOS Y MAQUINAS AGRÍCOLAS. PARA SU MEJOR UTILIZACIÓN, LOS DISEÑADORES Y USUARIOS HAN DE CONOCER LA RESPUESTA DEL SUELO A TODO TIPO DE OPERACIÓN MECÁNICA EN LA QUE ESTÉ IMPLICADO ADEMÁS DE LAS CONDICIONES PROPIAS DEL MISMO (TIPO DE SUELO, PEDREGOSIDAD, HUMEDAD, COBERTURA VEGETAL, ETC).

LA UTILIZACIÓN DE EQUIPOS E IMPLEMENTOS INADECUADOS TIENE UNA INCIDENCIA NEGATIVA EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO, CONSUMO DE ENERGÍA, FACILIDAD DE EROSIÓN, DESGASTE PREMATURO DEL EQUIPO, TIEMPO DE TRABAJO Y DESDE LUEGO UN AUMENTO EN LOS COSTOS Y UNA DISMINUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD ENTRE OTROS FACTORES.

SEGÚN CAÑAVATE (1989), LAS VARIABLES MAS IMPORTANTES A TOMAR EN CUENTA PARA MEDIR LOS EFECTOS DEL SUELO SOBRE EL DESEMPEÑO DE LOS DISCOS DE ARADO SERÁN:

- Ψ COMPACTACIÓN*
- Ψ ESTADOS DE CONSISTENCIA*
- Ψ ESFUERZO CORTANTE*
- Ψ RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO METAL-SUELO*
- Ψ RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN*

A continuación se describen las propiedades mecánicas mas importantes, descritas por Cañavate (1989).

Ψ COMPACTACIÓN.

PROCESO POR EL CUAL SE GENERA UNA DISMINUCIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO BAJO LA ACCIÓN DE FUERZAS DE COMPRESIÓN QUE PUEDEN SER DE ORIGEN MECÁNICO O NATURAL, LA CUANTIFICACIÓN DEL ESTADO DE COMPACTACIÓN SE REALIZA EN BASE A LOS VALORES QUE TOMAN UNA SERIE DE PROPIEDADES DEL SUELO, TALES COMO: POROSIDAD, ÍNDICE DE HUECOS, DENSIDAD APARENTE Y DENSIDAD REAL.

Ψ ESFUERZO CORTANTE.

OPOSICIÓN MÁXIMA QUE PRESENTAN LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO A UN DESPLAZAMIENTO RELATIVO, BAJO CIERTAS CONDICIONES DADAS PRINCIPALMENTE DE DRENAJE. UN SUELO INVARIABLEMENTE PIERDE CONSTANCIA BAJO UNA COMBINACIÓN DE ESFUERZOS NORMALES Y CORTANTES EN EL PLANO DE FALLA, LOS ESFUERZOS NORMALES PROPORCIONAN UNA PARTE DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DEBIDA A LA FRICCIÓN.

Ψ RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN.

La resistencia de un suelo a la penetración de una determinada herramienta de sondeo, constituye una variable que aglutina otras propiedades del suelo tales como compactación, cohesión y rozamiento interno. Nos da una idea de la dureza para las condiciones específicas que se encuentran en un determinado momento. Aunque los valores obtenidos no reflejan mas que un índice, siempre podemos encontrar una relación que nos lleve a establecer un valor para este parámetro y su relación con un implemento de trabajo determinado o un neumático.

2.5 Ecuación universal para el movimiento de tierras

Reece (1965), reconoció que los mecanismos de movimientos de tierra tienen comportamiento similar ya que tienden a formaciones poco profundas sobre el suelo tal y como lo describe Terzagui (1943), los efectos cuantitativos de la máxima presión del

rodamiento por el peso del suelo, cohesión y presión por sobrecarga alrededor del nivel de formación pueden ser separados y son algebraicamente aditivos. Reece propuso lo siguiente como ecuación universal del movimiento de tierras, esto con la finalidad de describir la fuerza necesaria para cortar el suelo con una herramienta de trabajo.

$$P = (\gamma g d^2 N_\gamma + c d N_c + q d N_q) w \quad (2.9)$$

Donde :

P = fuerza total de la herramienta.

γ = densidad total del suelo.

g = aceleración de la gravedad.

d = profundidad de trabajo de la herramienta de trabajo.

c = fuerza de cohesión del suelo.

q = presión de sobrecarga vertical actuante sobre la superficie.

w = ancho del implemento.

N_γ , N_c , N_q = son factores que dependen no únicamente de la fuerza de fricción, sino que también dependen de la geometría de la herramienta y de las propiedades de fuerza del suelo hacia la herramienta.

Las variables geométricas de la herramienta en las cuales influye en la magnitud de los coeficientes N son; el ángulo horizontal, la posible curvatura de la forma de la herramienta y la profundidad de anchura o angostura del radio de la herramienta.

2.6 Potencia en tractores agrícolas.

Según Hunt (1991), una de las medidas en el rendimiento económico de una maquina es la efectividad con la que se aplica la potencia para alcanzar los objetivos de la producción agrícola. La comprensión de la naturaleza de la potencia y de su uso óptimo es esencial para el buen uso de la maquinaria.

A su vez afirma que, el rendimiento eficiente de la potencia incluye la selección de implementos que ni sobrecarguen, ni fallen al usar adecuadamente la potencia disponible de un tractor o de una maquina autopropulsada. Los requerimientos de potencia de las maquinas de campo constan de requerimientos funcionales y de requerimientos de la resistencia al rodamiento.

Los implementos de labranza solo presentan resistencia funcional cuando su peso es llevado en su estructura y es necesario para la penetración del instrumento. Los requerimientos funcionales dependen de las condiciones del suelo y del cultivo, los que varían considerablemente. El tiro en la labranza varia con el tipo de suelo y con el contenido de humedad del mismo, el tiro de los arados se incrementa cuando el suelo esta demasiado húmedo o demasiado seco.

El Cuadro 2.2 muestra algunos requerimientos de potencia para el arado de discos trabajando a una velocidad de 4.8 Km / Hr. y a una profundidad de 18 cm.

Cuadro 2.2. Requerimientos de potencia de un arado de discos. Hunt, 1991.

Arado de discos	Tiro, por anchura unitaria KN / m (lb /pie)	Energía o trabajo Kw.hr / Ha (HP.hr / Ha)
Suelos ligeros	3.2 – 6.3 (220 – 430)	8.7 – 17.5 (4.7 – 9.5)
Suelos medios	5.3 – 9.5 (350 – 650)	14.6 – 25.8 (7.9 – 14)
Suelos pesados	8.5 – 16.6 (580 – 1140)	22.1 – 46.1 (12 – 25)

2.7 Consumo de combustible

Según Hunt (1991), la mayoría de los operadores de tractores se interesan en las estimaciones del consumo de combustible. Weber et. al. han encontrado una estrecha correlación entre el consumo de combustible promedio de tractores en Illinois y el

consumo dado por la prueba del par motor a la mitad de 85% cuando se incluye la operación de un año completo. En el Cuadro 2.3 se estima el consumo de combustible tanto para cargas totales como parciales. Esta tabla se compilo a partir de los datos del rendimiento de 112 tractores probados en Nebraska desde 1968. Los tractores con transmisiones de accionamiento hidrostático y de cambio de potencia de rango completo se omiten en esta tabla. Se parte de consumos de combustible de 15 % arriba de los determinados en las pruebas, con el fin de determinar mas realisticallyamente el consumo de combustible de los tractores de campo en buenas condiciones, pero no nuevos como los tractores de Nebraska.

Cuadro 2.3. Rendimiento de combustible Kw.h / l [HP.hr / Gal.]. Hunt, 1991.

% Máximo de la carga de PBT¹	Diesel	
100 rango 2/3 promedio	2.54	[12.87]
	2.8 – 2.3	[14.2 – 11.5]
80 rango 2/3 promedio	2.46	[12.48]
	2.6 – 2.3	[13.4 – 11.7]
60 rango 2/3 promedio	2.18	[11.04]
	2.4 – 2.0	[12 – 10.1]
40 rango 2/3 promedio	1.72	[8.74]
	1.9 – 1.5	[9.8 – 7.7]
20 rango 2/3 promedio	1.19	[6.04]
	1.3 – 1	[6.7 – 5.3]

1) Prueba a la barra de tiro.

2.8 Desgaste de arados agrícolas

Según Askeland (1980), el desgaste por abrasión ocurre cuando el material se elimina de la superficie al contacto con partículas duras, las cuales pueden encontrarse presentes en la superficie de un segundo material o como partículas sueltas entre las dos superficies. A diferencia del desgaste por adherencia no ocurre unión. este tipo de desgaste es común en maquinas y equipos como **arados**, cuchillas de niveladoras, trituradoras y molinos para el manejo de materiales abrasivos, y puede ocurrir también cuando intencionalmente se introducen partículas duras entre las partes móviles de la maquinaria.

2.9 Teoría de transductores

Mojica (2000), dice que un transductor es un dispositivo que ha sido diseñado para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida que puede ser un desplazamiento o por lo regular un voltaje que posteriormente puede ser comparado o analizado dependiendo de los requerimientos del sistema donde se utiliza. Generalmente los transductores son empleados en la medición de magnitudes físicas, como por ejemplo, temperatura, presión, longitud, fuerzas, etc. La Figura 2.5 muestra un sistema típico de medición.

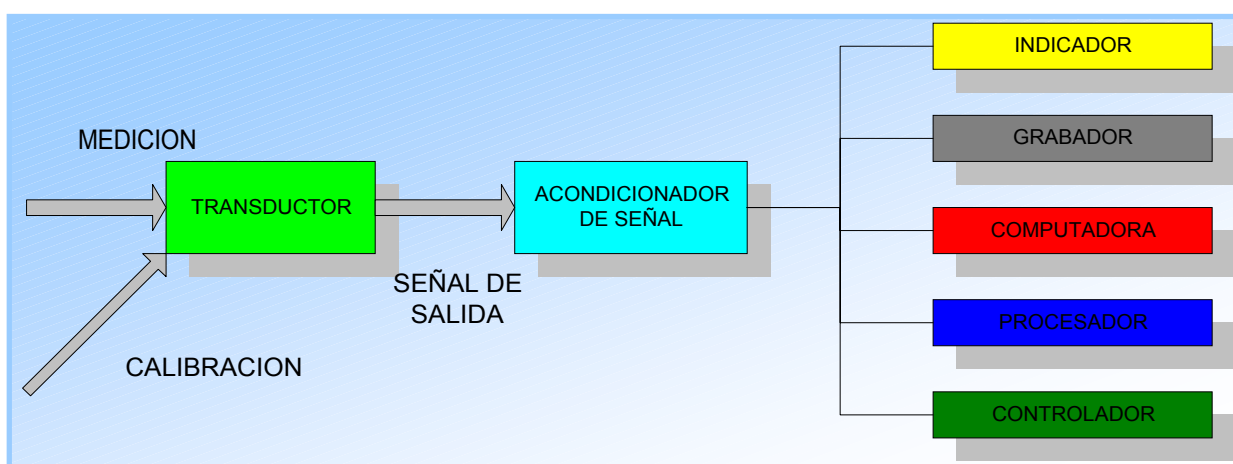


Fig. 2.5 Sistema típico de medición. Mojica, 2000.

Cuando un elemento de maquinaria se somete a una fuerza, este sufre una deformación proporcional a la fuerza aplicada. La deformación puede ser causada por una carga axial, por una torsión o por un momento. Esta deformación puede ser medida para conocer la fuerza que esta actuando sobre el elemento.

2.10 Galgas extensiométricas.

Cooper (1991), dice que la galga extensiométrica es un ejemplo de transductor pasivo que convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. La resistencia del alambre o de la lamina delgada cambia de longitud a medida que el material al cual esta soldada sufre tensiones o compresiones. En este cambio la resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de Wheatstone adaptado especialmente.

La sensibilidad de una galga extensiométrica se describe en términos de una característica llamada factor de galga, para las aplicaciones de mediciones de tensión mecánica es deseable un valor alto en la característica anterior.

Es interesante realizar un simple calculo para determinar que efecto tiene un esfuerzo aplicado sobre el cambio de resistencia de una galga extensiométrica. La ley de Hooke da la relación entre el esfuerzo y la tensión mecánica y esta dada por la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \sigma / E \quad (2.10)$$

Donde:

ε = Deformación unitaria.

σ = Esfuerzo.

E = Modulo de young.

Ψ Configuración de las galgas extensiométricas.

Según Cooper (1991), La forma del elemento sensor se selecciona de acuerdo con la tensión mecánica por medir; uniaxial, biaxial o multidireccional. Para aplicaciones uniaxiales a menudo se utilizan elementos sensores largos y angostos para maximizar la tensión del material sensor en la sección de interés como lo muestra la Figura 2.6:

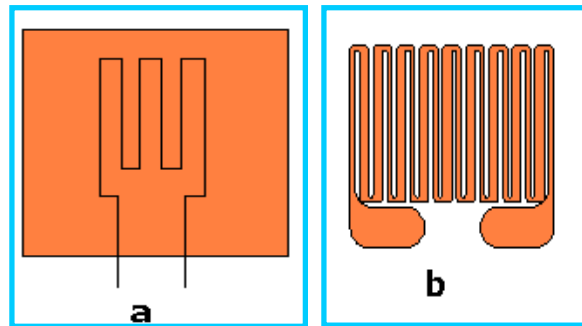
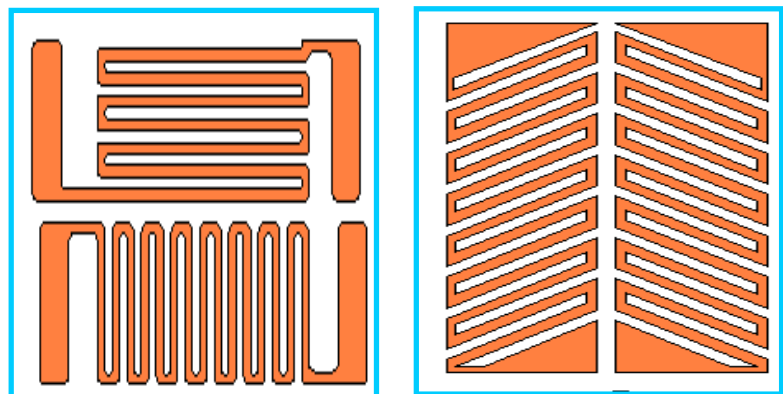


Fig. 2.6 (a) muestra un galga extensiométrica uniaxial de alambre, a su derecha (b) otra con las mismas características pero de laminilla. Se pueden lograr mediciones simultáneas de esfuerzos en más de una dirección colocando galgas de un solo elemento en la dirección correcta. Sin embargo, para simplificar esta tarea y tener mayor exactitud, se dispone de galgas de múltiples elementos o rosetas. Cooper, 1991.

Las rosetas de la Figura 2.7 pueden utilizarse en transductores de fuerzas. Las galgas se conectan en un circuito puente de wheatstone (Figura 2.8) para proporcionar una máxima salida.



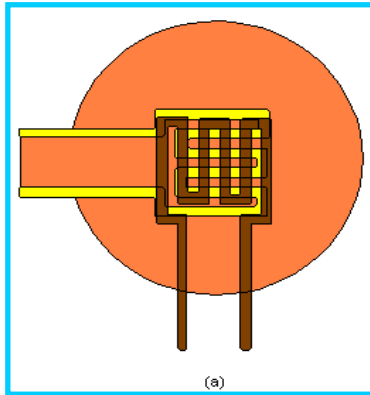


Fig. 2.7 Diferentes rosetas de dos elementos:

- a) laminillas apiladas a 90 grados; b) laminilla planar a 90 grados;
 c) laminilla plana sesgada a 45° (Cooper, 1991).

Ψ **El puente de Wheatstone.**

Según Sakurai (1996), los dispositivos que son usados comúnmente para medir diferencias de resistencia y convertirlas en medidas de deformación, son el potenciómetro y el puente de wheatstone. El puente de Wheatstone puede determinar lecturas extensiométricas dinámicas y estáticas. El voltaje de excitación puede ser corriente directa o corriente alterna su diagrama se muestra en la Figura 2.8.

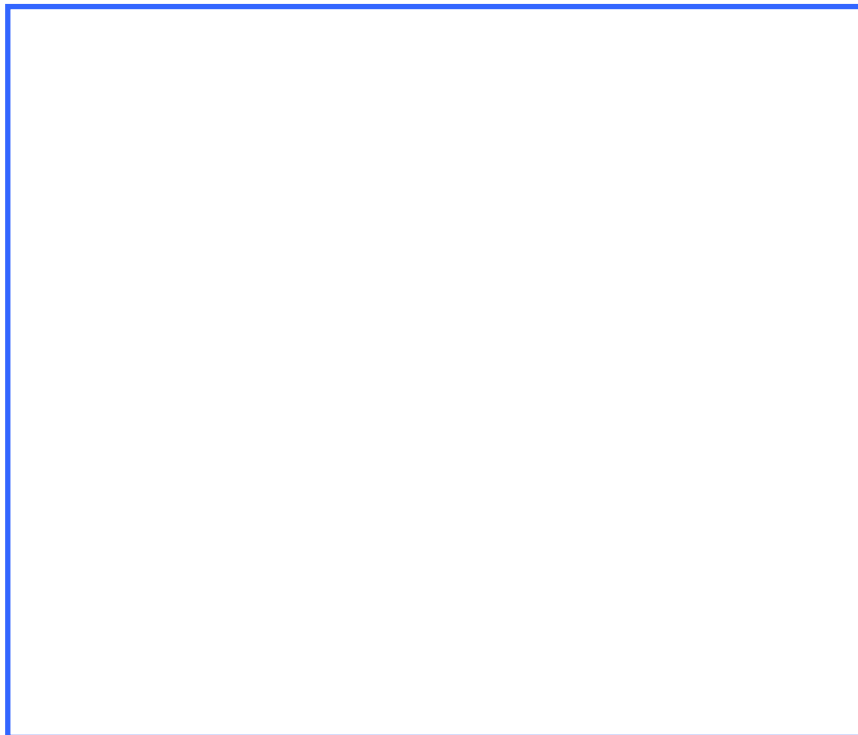


Fig. 2.8 Puente de wheatstone. Sakurai, 1996.

Ψ **Medida de fuerzas utilizando galgas extensiométricas.**

Según Sakurai (1996), la medida de fuerzas con alto grado de exactitud es de gran importancia en los análisis mecánicos de los problemas de ingeniería, en particular, la medida de la resistencia del suelo para diferentes maquinas de trabajo tales como el arado. El método de las galgas extensiométricas puede proveer un alto grado de exactitud y es el mas económico y practico camino. Las galgas extensiométricas pueden utilizarse para realizar diferentes medidas tales como; tensión, compresión, torsión, flexión, etc.

Para estados simples de tensión o compresión, cuando la línea de acción coincide con el eje por medir como se muestra en la Figura 2.9, la deformación ε estará dada por:

$$\varepsilon = \sigma / E = F / EA (2.11)$$

Donde: ε : deformación; σ : esfuerzo normal; E : modulo de elasticidad; F : fuerza aplicada; A: área de la sección transversal.

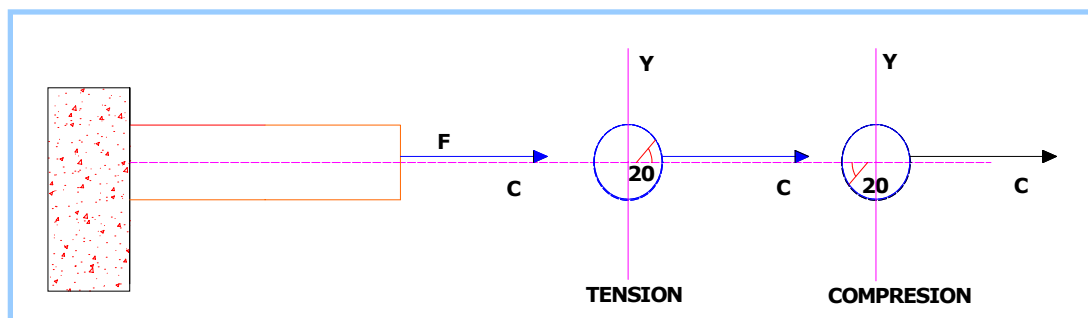


Figura 2.9 Estado general de esfuerzos. Sakurai 1996.

2.11 Diseño de experimentos.

Según Castañeda (1990), cuando se hacen experimentos simples en los cuales se investigan los efectos de tratamientos de un factor, se utilizan las distribuciones siguientes:

- ⊕ Parcelas apareadas o tratamientos apareados.
- ⊕ Comparación de grupos sorteados.
- ⊕ Distribución completamente al azar.
- ⊕ **Distribución en bloques al azar.**
- ⊕ Distribución en cuadro latino.
- ⊕ Distribución en cuadro latino modificado.
- ⊕ Distribución en bloques incompletos.

La distribución en bloques al azar es la de mayor uso en el diseño de experimentos y tiene grandes ventajas cuando el número de tratamientos no excede de 15 y cuando es posible agrupar las unidades experimentales en estratos o bloques uniformes, de tal manera que la variabilidad entre unidades experimentales es mínima, aun cuando la variación entre estratos o bloques es alta. En experimentos de campo, la distribución de bloques al azar es de uso común y más eficaz que la distribución completamente al azar, porque en las unidades experimentales agrupadas en estratos o bloques y en aquellos casos de unidades experimentales contiguas hay más similitud en su variación que cuando las unidades experimentales quedan dispersas.

2.12 Norma mexicana para evaluación de discos agrícolas.

Esta norma establece el método para realizar la prueba y evaluación de arados de disco que cuentan con mecanismos hidráulicos o manual para invertir la dirección de trabajo. Los objetivos principales de esta norma se mencionan a continuación:

Ψ General

Contribuir al desarrollo tecnológico de la maquinaria agrícola mediante la evaluación crítica y estricta del desempeño de la maquinaria.

Ψ Particular

Estudio de los aspectos relacionados con el funcionamiento, desempeño, la durabilidad, y seguridad de arados de disco que cuentan con mecanismos hidráulicos o manual para invertir la dirección de trabajo.

Según los estatutos fijados por esta norma la evaluación de dicho implemento debe de realizarse mediante las pruebas y estudios que a continuación se mencionan:

Ψ Datos de la maquinaria a utilizar.

- **Especificaciones del tractor de prueba**
- **Modelo**
- **Tipo (tractor de ruedas o tractor de orugas)**
- **Tipo de motor del tractor**
 - (1) Motor de gasolina o diesel
 - (2) Número y volumen del cilindro.
 - (3) Potencia en caballos, (nominal)
 - (4) Cantidad de revoluciones del motor
 - (5) Tipo de enganche.
 - (6) Fuerza en el sistema de levante en los tres puntos.
- **Número de marcha y velocidad de operación**

Ψ Evaluación en campo.

Cuadro 2.4 Pruebas para la evaluación de discos, CENEMA 2003.

Caracterización del sitio	Pruebas de	Calidad de trabajo.
---------------------------	------------	---------------------

de prueba	desempeño	
Tipo de suelo	Velocidad de operación	% de inversión del suelo
Textura	Consumo de combustible	% incorporación de residuos
Resistencia a la penetración	Patinaje	Tamaño de agregados
Humedad	Fuerza de tiro	Microrrelieve
Densidad aparente	Profundidad de trabajo	Densidad aparente
Microrrelieve	Ancho de trabajo	Índice de rugosidad
Índice de rugosidad	Tiempos	
Cobertura vegetal		
Pedregosidad		

MATERIALES Y METODOS

El equipo empleado para el desarrollo de esta investigación se menciona a continuación:

Fuente de potencia.

- Φ Tractor New Holland 5010 4WD, 70 y 63 HP de potencia al volante y TDF respectivamente, Motor 4 cilindros, Dirección Hidrostática y TDF independiente con flecha de 6 estrías a 540 rpm.
- Φ Tractor John Deere 2300 2WD, con una fuerza máxima de tiro de 45 KN, Motor 4 cilindros, Dirección hidrostática y TDF independiente con flecha de 6 estrías a 540 rpm.

Implemento.

- Φ Arado de 3 discos marca Kimball con reversión mecánica – hidráulica ARHK3 con 585 Kg. de peso.

Discos.

El cuadro 3.1 enlista las cuatro tercias de discos utilizados como **índices de desgaste** (IDD).

TERCIA	DIAMETRO	IDD	OBSERVACIONES
1	28 “	0 %	DISCOS NUEVOS
2	26 “	6 %	DISCOS DESGASTADOS
3	24 “	12 %	DISCOS DESGASTADOS
4	22 “	20 %	DISCOS DESGASTADOS

CUADRO 3.1 ÍNDICES DE DESGASTE UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Definición de Índice de desgaste y medición de ángulos de los discos.

Ψ Índice de desgaste.

En este trabajo el índice de desgaste fue manejado como el porcentaje de disminución del diámetro de cada tercia de discos utilizados con respecto a la tercia de referencia y estuvo dado por la siguiente relación lineal – porcentual:

$$\alpha = \left[1 - \frac{Dx}{Dy} \right] * 100 \quad (3.1)$$

Donde:

α = Índice de desgaste con respecto a el desgaste de referencia (%).

Dx = Diámetro de los discos a utilizar (cm, in).

Dy = Diámetro de los discos de referencia (cm, in).

Ψ Medición de ángulos.

Los ángulos vertical y horizontal fueron medidos utilizando un goniómetro, regla graduada, escuadras, nivel y barra de apoyo tal y como se muestra en la Figura 3.1 y 3.2.

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Angulo vertical: 26 °

Angulo Horizontal: 57 °



Fig. 3.1 Goniómetro.

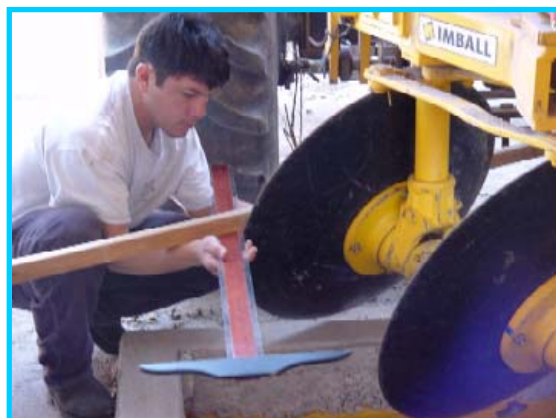


Fig. 3.2 Medición de ángulos.

Metodología, materiales y equipo empleados en el trabajo de campo.

Para la determinación de los efectos que ocasiona la reducción en el diámetro de los discos de arados agrícolas en la calidad de labranza y los niveles de consumo energético, se estableció un experimento en los terrenos experimentales de “ El bajío” de la

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), la cual se encuentra ubicada en la exhacienda de Buenavista, localizada a 7 Km. al sur de la ciudad de Saltillo, en las coordenadas 100° 59' 57" longitud oeste y 25°23'42" latitud norte, a una altitud de 1743 msnm. La vegetación y cultivos predominantes en la zona del experimento son principalmente nogales. El clima que se presenta de forma predominante es templado con veranos cálidos y lluvias intermedias en verano e invierno. La temperatura media anual es de 19.8 ° C y una precipitación media anual de 450 mm. El tipo de suelo del sitio de prueba es un Franco o Migajon, con un 44 % de arena, 36 % de limo y 20 % de arcilla.

El sitio de prueba fue dividido en cuatro bloques en los cuales se estableció un diseño de bloques al azar con cuatro diferentes índices de desgaste [0, 6, 12, 20 %] como tratamientos. Las variables mas importantes así como el método y equipo empleados para su medición se enuncian en las siguientes etapas:

3.5.1 Caracterización del sitio de prueba.

Ψ Cobertura vegetal y pedregosidad *

La finalidad de esta prueba fue la de determinar el porcentaje de cobertura vegetal y de pedregosidad sobre la superficie de cada una de los bloques de trabajo, esto se logro mediante el uso de un marco de 1 m² con un cuadro de plástico cuadrado con 100 cuadros de 10 x 10 cm previamente montado sobre la superficie de dicho marco, se realizaron 5 mediciones en zig - zag en cada una de las parcelas , en las cuales se coloco el marco y se inspecciono visualmente la cantidad de cobertura y pedregosidad presente sobre la cuadrícula del marco; cada cuadro represento el 1 % del total de la medición , Figura 3.3 y 3.4.

Notación utilizada : a / b

- a. Porcentaje de cobertura vegetal observado en uno de los cien cuadros de la cuadrícula del marco.

b. Porcentaje de pedregosidad observado en el mismo cuadro

Ejemplo: 80 / 50

Esta lectura quiere decir que en uno de los cien cuadros de la cuadrícula general se observó que la vegetación y la cantidad de piedras ocupaban el 80 y el 50 por ciento respectivamente del área total de dicho cuadro. Al final el porcentaje de cobertura vegetal y de pedregosidad por punto se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$\%CV = \frac{\sum(A/100)}{100} \quad (3.2)$$

$$\%P = \frac{\sum(B/100)}{100} \quad (3.3)$$

Donde:

%CV = Porcentaje de cobertura observado en un punto.

% P = Porcentaje de pedregosidad observado en un punto.

A = Porcentaje de área ocupado por la cobertura en uno de los cuadros de la cuadrícula del marco.

B = Porcentaje de área ocupado por la pedregosidad en uno de los cuadros de la cuadrícula del marco.

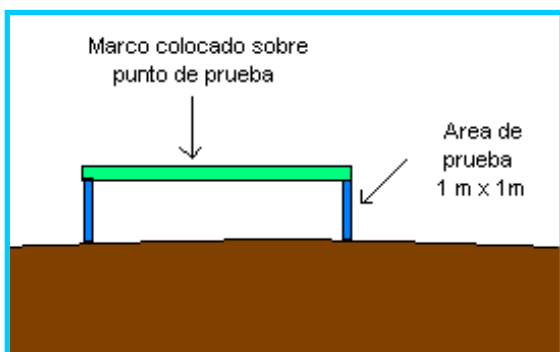


Fig. 3.3 Medidor de cobertura.

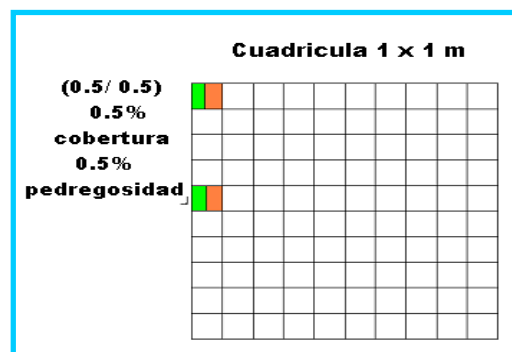


Fig.3.4 Cuadrícula montada en el medidor.

Ψ **Porcentaje de humedad. ***

penetrometro (Anexo 1) y el equipo para adquisición de datos DaqView. En cada uno de los puntos donde se realizaron las mediciones se almacenaron 3000 lecturas de voltaje que posteriormente mostraron la forma en que las tensiones se incrementaban a medida que se aplicaban cargas en intervalos de 5 cm hasta llegar a una profundidad de 30 cm.

El punto siguiente consistió en analizar las graficas obtenidas para obtener el valor de voltaje máximo de cada uno de los puntos, después este valor fue comparado con el valor de calibración del ring para obtener un valor de fuerza; finalmente los valores de fuerza en conjunto con el valor del área transversal del cono fueron utilizados para obtener los valores de la resistencia a la penetración. La resistencia a la penetración se refiere a el esfuerzo normal que una área determinada de suelo debe de soportar antes de ser disturbada (Figura 3.6) y esta dada por la siguiente formula:

$$E = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

Donde:

E = Resistencia a la penetración. (KN / m² , Pa)

F = Fuerza normal obtenida directamente del penetrometro. (KN)

A = Área transversal del cono utilizado.

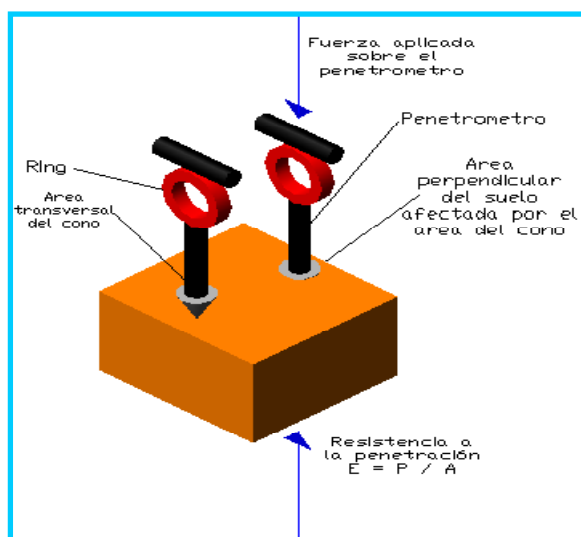


Fig. 3.6 Resistencia a la penetración.

Ψ Densidad aparente. *

El propósito por el cual se determinó la densidad aparente del suelo fue el de comparar la calidad de trabajo determinada por el paso de los discos con los diferentes índices de desgaste (α) en los cuatro bloques de prueba, esto se logró tomando 5 muestras al azar en cada uno de estos. La extracción de dichas muestras consistió en tomar un determinado volumen de suelo cada 5 cm hasta llegar a una profundidad final de 30 cm, esto utilizando el equipo para extracción de muestras de suelo (Figura 3.5). Posteriormente estas muestras fueron llevadas a un horno termostático a 110 ° C durante 24 horas para poder determinar la densidad aparente en base a la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{m}{v} \quad (3.6)$$

Donde:

Da = Densidad aparente de la muestra.

m = Masa del suelo seco obtenido de la muestra.

v = Volumen del cono utilizado para extraer la muestra.

Ψ Microrrelieve. *

El microrrelieve fue un parámetro fundamental en la evaluación de la calidad de trabajo de los cuatro índices de desgaste de los discos en los bloques de prueba y se refiere a el grado en el que el paso de los mismos modifica el relieve de la superficie del suelo. Para observar las modificaciones en el microrrelieve se realizaron 3 mediciones al azar en cada uno de los diferentes bloques registrando en cada medición 200 lecturas de alturas, esto utilizando el perfilometro de 2 m² con 20 varillas de lectura y 10 posiciones de recorrido (Figura 3.7). Por lo tanto queda claro que se registraron 600 valores de lecturas en 6 metros cuadrados de cada bloque, estas mediciones se realizaron antes y después de las pruebas de evaluación. La metodología para poder comparar la modificación del relieve de los cuatro bloques de prueba consistió primeramente en determinar las medias y las desviaciones estándar de cada uno de los puntos antes y después de las pruebas de evaluación, después se obtuvo una media y una desviación estándar de todos los promedios de las lecturas obtenidos de cada uno de los puntos para obtener una media y una desviación general de cada bloque antes y después de las pruebas. Los resultados fueron obtenidos utilizando el programa **PERFILOMETROVISUAL** (Anexo 2). Cabe aclarar que el perfilometro fue orientado de igual manera en todos los puntos antes y después de las pruebas para uniformizar los resultados.

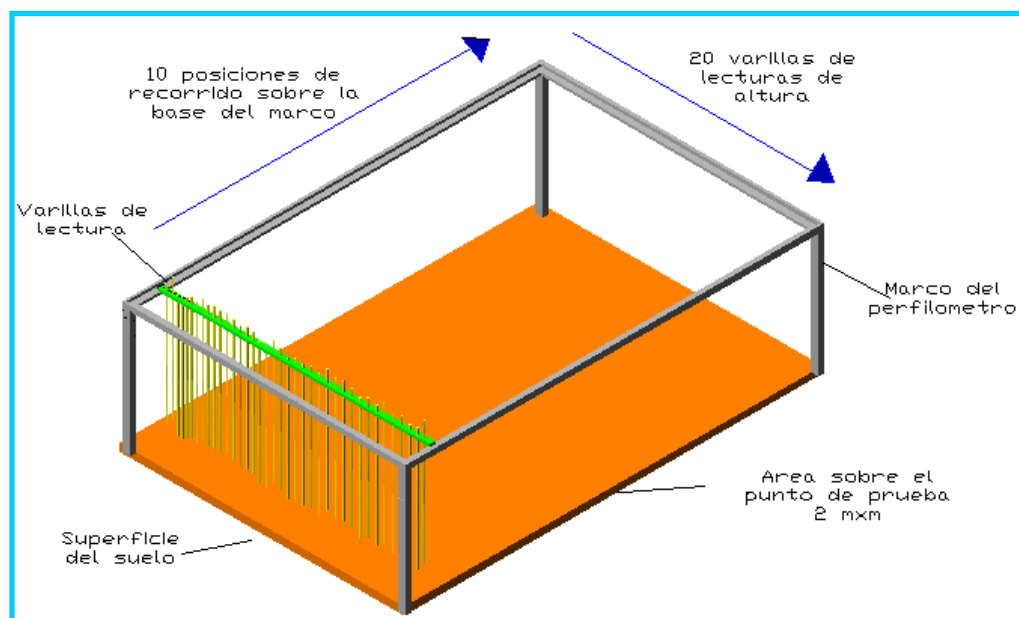


Fig. 3.7 Perfilometro para medición de microrrelieve.

Ψ **Indice de rugosidad.**

El índice de rugosidad del suelo se calculó según Steichen (1984), este autor establece que el valor de este parámetro depende de los valores de la desviación estándar obtenidos de las lecturas del microrrelieve.

- * El asterisco indica que a los resultados finales de estas pruebas fueron obtenidos mediante obtención y comparación de medias y desviaciones.

3.5.2 Pruebas de desempeño.

Ψ Ancho de trabajo.

Para determinar el ancho de trabajo, se realizaron 3 mediciones a lo ancho de cada bloque, la distancia de cada repetición se dividió entre el número de trayectos realizados por el tractor para posteriormente obtener un ancho promedio de trabajo del implemento.

Ψ Profundidad real de trabajo.

La prueba de profundidad aparente fue realizada de la siguiente forma; después de 2 vueltas completas de trabajo se realizaron 10 mediciones a lo largo del surco dejado por el arado tal y como lo muestra la Figura 3.8. La profundidad real fue medida introduciendo una varilla hasta suelo firme después del paso del arado, esta medición fue realizada al azar en 8 puntos de cada una de las parcelas de prueba, Figura 3.9.

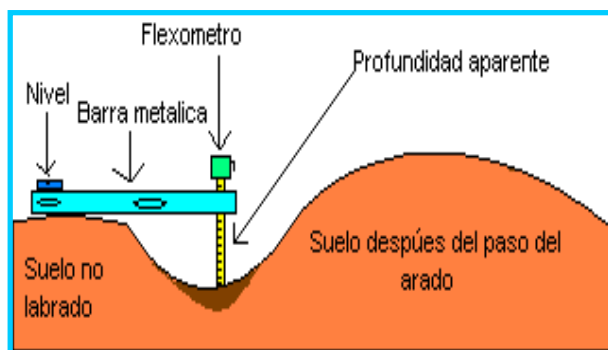


Figura 3.8 Profundidad aparente.

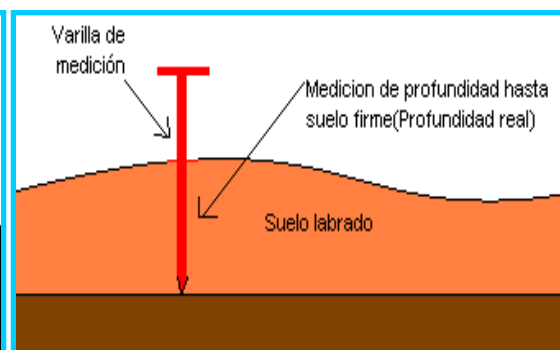


Figura 3.9 Profundidad real.

Al final la profundidad real promedio de los 4 índices de desgaste evaluados se obtuvo sacando un promedio de todas las lecturas realizadas en cada uno de los bloques.

Ψ **Velocidad promedio de trabajo.**

El valor de este parámetro se obtuvo con los datos de tiempo y dimensiones de cada uno de los bloques, estos datos fueron registrados durante las pruebas de evaluación.

Ψ **Consumo de combustible.**

La medición del consumo de combustible tuvo la finalidad de determinar la cantidad de diesel consumido por el tractor durante las pruebas de evaluación de los diferentes índices de desgaste, esto para observar las diferencias en los consumos en función de la reducción en el diámetro de los discos. La prueba consistió en medir el volumen de diesel consumido utilizando una probeta de 1000 ml y un recipiente de 5 litros adaptado al tractor el cual era llenado antes de la prueba y rellenado al final, la cantidad adicionada con la probeta fue el volumen consumido. Esta prueba fue realizada en cada una de los bloques.

Ψ **Capacidad teórica de campo.**

La capacidad teórica de cada uno de los índices de desgaste fue calculada utilizando los valores del ancho de trabajo promedio y de la velocidad del sistema arado tractor registrados en su respectivo bloque de evaluación. La formula utilizada se describe a continuación:

$$CTC = \frac{(APT).(VP).(36)}{10000} \quad (3.7)$$

Donde :

CTC = Capacidad teórica de campo. (ha / h)

APT = Ancho promedio de trabajo. (cm)

VP = Velocidad promedio del sistema arado tractor. (m / seg.)

Ψ **Patinaje de la rueda trasera del tractor.**

El patinaje fue medido realizando 8 mediciones durante las pruebas de evaluación en cada uno de los bloques. La metodología consistió en medir la distancia recorrida en 10 vueltas de la rueda trasera del tractor en uno de los recorridos de trabajo. Para el calculo del porcentaje de patinaje se comparó el valor calculado durante el trabajo y un valor previamente calculado de patinaje sin carga. El porcentaje final de patinaje fue obtenido utilizando la siguiente formula:

$$\%S = \left[1 - \frac{dcc}{dsc} \right] * 100. \quad (3.8)$$

Donde:

$\%S$ = Porcentaje de patinaje de la rueda trasera del tractor durante la prueba de evaluación.

dcc = Distancia recorrida por el tractor durante la prueba de evaluación (m).

dsc = Distancia recorrida por el tractor sin que el arado con los discos de prueba estuviera trabajando bajo el suelo

d_i ()

Ψ Fuerza de tiro.

La medición de la fuerza traccional fue uno de los objetivos medulares de este trabajo ya que el objetivo de estas mediciones fue el de apreciar de forma gráfica y numérica como la reducción en los diámetros de los discos afecta las demandas de fuerza traccional y por ende de potencia y energía empleada para la labranza.

La metodología para medir la fuerza de tiro demandada al tractor consistió en lo siguiente:

1. Montaje del equipo para adquisición de datos conformado por el amplificador, el convertidor A/D, batería 12 v, rectificador de corriente, laptop con el programa Daqview para adquisición de datos previamente configurado, Figura 3.10 .



Fig. 3.10 Equipo para adquisición de datos montado al tractor

2. Montaje del dinamómetro (Anexo 3) previamente calibrado al frente del tractor de prueba y a la barra de tiro del tractor de jalón, Figura 3.11. Estos dos montajes constituyeron el sistema de adquisición de datos utilizado en esta investigación, Figura 3.12.



Fig. 3.11 Montaje del dinamómetro en los dos tractores de prueba.

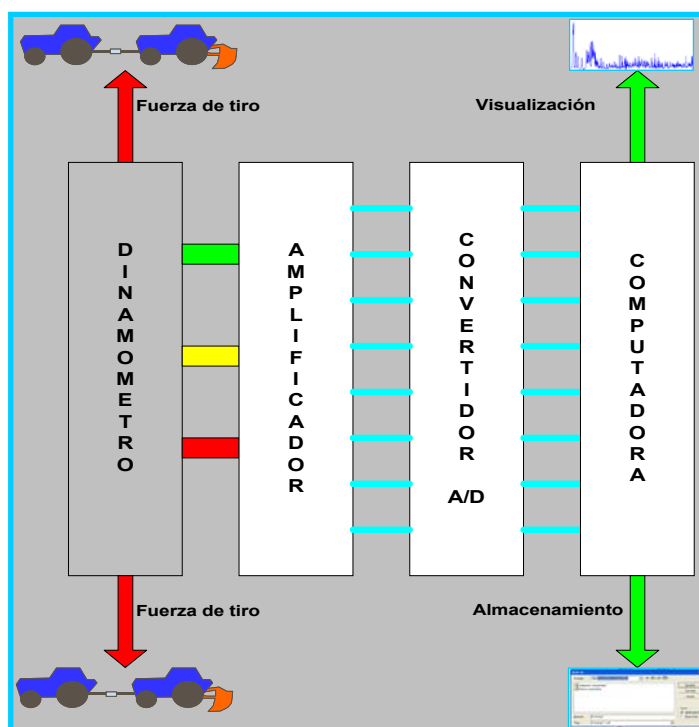


Fig. 3.12 Sistema de adquisición de datos.

3. Una vez unidos los dos tractores con el implemento enganchado y con el sistema para adquisición de datos preparado para registrar 128 datos por segundo y almacenar 8000 datos de voltaje en un archivo determinado durante una corrida, se registró el valor de voltaje del dinamómetro cuando no estaba sometido a tensión y se realizó una corrida fuera del bloque de prueba con el implemento levantado para obtener un valor de voltaje que en base a su calibración fue proporcional a la suma de los pesos del tractor y del implemento (Esta corrida de prueba se realizó dentro y fuera del bloque para observar variaciones ocasionadas por las propiedades físicas del suelo de la parcela de prueba).
4. El paso siguiente consistió en realizar cuatro corridas con el implemento abajo (4 recorridos de trabajo en la parcela) en las cuales se registraron y almacenaron un total de 32,000 datos de voltaje en diferentes archivos para posteriormente ser analizados.
5. El paso siguiente consistió en analizar todos los archivos de los valores de voltaje almacenados por el programa, esto se logró abriendo los archivos directamente en el debugger gráfico interactivo de Matlab versión 5.3 en donde fueron borradas las líneas de texto que designaban el canal de señal para evitar errores en los cálculos (Matlab coloca los archivos en una matriz por lo tanto y para nuestros fines dicha matriz debe de ser totalmente numérica). En el mismo editor estos archivos fueron guardados en carpetas dentro del path browser para ser identificados como ficheros.m.
6. El siguiente paso fue utilizar el programa para análisis espectral ANÁLISIS . m del cual se obtuvo un valor medio de voltaje y un valor del PSD (Power Spectrum Density) de las corridas de prueba y de las corridas con el implemento trabajando.

7. Por ultimo obtuvimos el valor final de la fuerza de tiro por cada corrida de la parcela en base a las siguiente formula:

$$FT = [(\bar{V} + PSD) - (\bar{V}_p + PSD_p)]K$$

(3.9)

Donde:

FT = Fuerza de tiro demanda por el arado en una corrida determinada.(KN)

\bar{V} = Voltaje promedio determinado por el programa análisis y correspondiente a la media de los valores de voltaje de la grafica donde se observó la mayor estabilidad de tensiones registradas por el dinamómetro durante la corrida con el arado trabajando.(Volts)

PSD = Valor del Power Spectrum Density obtenido directamente del programa análisis y se refiere a la suma de todos los valores de tensión de los picos observados en la grafica de la corrida con el arado trabajando (Volts).

\bar{V}_p = Voltaje promedio determinado por el programa análisis y correspondiente a la media de los valores de voltaje de la grafica donde se observó la mayor estabilidad de tensiones registradas por el dinamómetro durante la corrida de prueba (Volts).

PSDp = Valor del Power Spectrum Density obtenido directamente del programa análisis y se refiere a la suma de todos los valores de tensión de los picos observados en la grafica de la corrida de prueba (Volts).

K = Valor de calibración (KN.V).

8. Por ultimo estos valores fueron divididos entre el área seccional de trabajo para obtener el esfuerzo normal a la falla (KN / m^2) y fueron introducidos al programa estadístico de la Universidad de Nuevo León donde fueron sometidos a un diseño de bloques completamente al azar y a prueba de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.01.

Ψ Tiempos y dimensiones de trabajo.

$$Df = \frac{m}{[(Pt + hf) * Ar]} \quad (3.12)$$

$$hf = h1 - ho. \quad (3.13)$$

Donde:

Pt = Profundidad de trabajo. (cm)

m =Masa del suelo contenida en el volumen de referencia. (gr.)

Do =Densidad medida durante la caracterización. (gr / cm³)

hf =Incremento de altura. (cm)

ho= Altura promedio del bloque, obtenido de la prueba del microrrelieve antes de las pruebas de evaluación. (cm)

h1 =Altura promedio del bloque, obtenido de la prueba del bloque después de las pruebas de evaluación. (cm)

Df =Densidad aparente originada por el paso de los discos(gr/ cm³)

Ar = Area de referencia (1 m²).

Ψ Incorporación de suelo.

Esta prueba tuvo la finalidad de medir porcentualmente la cantidad de suelo incorporado durante las pruebas de evaluación de cada una de las tercias de discos con los índices de desgaste utilizados. Esta prueba se llevo a cabo colocando 6 puntos de cal en cada una de las parcelas (Figura 3.13) antes de la prueba de evaluación. Los puntos de cal fueron colocados utilizando el marco de 1 m² y por lo tanto cada punto colocado dentro de los bloques ocupó un área de 1 m², la anchura de la capa de cal fue tal que no permitía observar la superficie de suelo del punto de prueba (Figura 3.14). Una vez que se realizaron las pruebas, el paso siguiente consistió en determinar el porcentaje de suelo incorporado en cada una de las parcelas, esto se consiguió colocando el marco graduado de 1 m² en los mismos lugares donde se colocaron los puntos de cal. La medición se realizó visualizando la cantidad de cal que quedó después de la prueba (Figura 3.15) en cada uno de los cuadros de la graduación del marco. Al igual que en la prueba de cobertura y pedregosidad cada cuadro representó el 1 %.

El porcentaje de incorporación de suelo en cada uno de los puntos fue determinado utilizando las siguiente formulas:

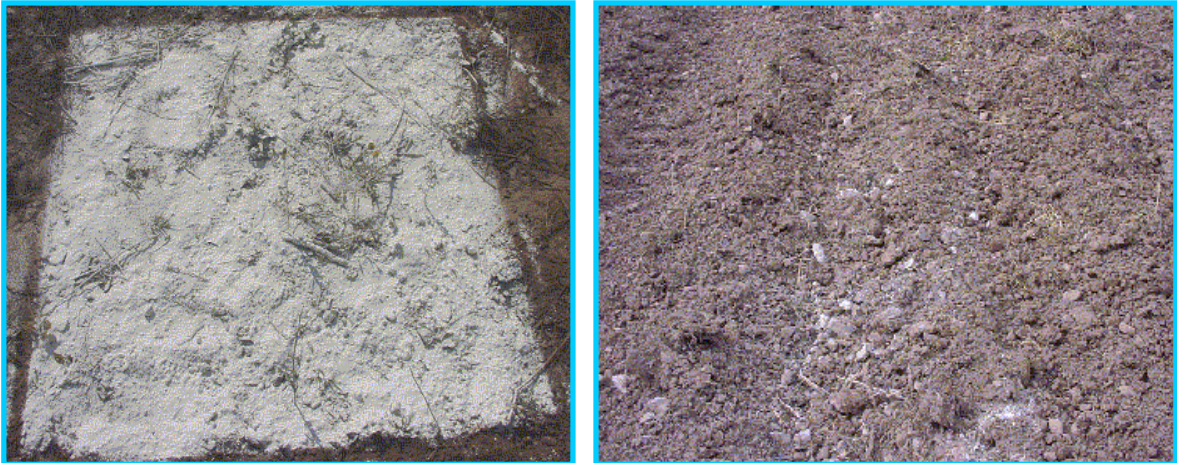


Fig. 3.14, 3.15 Punto de cal antes y después del paso de los discos de evaluación.

Ψ Tamaño de agregados.

El tamaño de agregados (Terrones) dejados por el paso de un implemento determinado es un factor de suma importancia en la evaluación del trabajo realizado, ya que dichos agregados determinaran la calidad de la cama de siembra para el cultivo a establecer. Para determinar el tamaño de agregados dejados por cada uno de los índices de desgaste evaluados se realizaron 6 mediciones en zig-zag en cada uno de los bloques de prueba. El tamaño de agregados se determinó obteniendo muestras de suelo hasta suelo firme en cada uno de los puntos utilizando un marco de 1 m² y una pala (Figura 3.16). Estas muestras fueron depositadas en un bloque de 5 tamices (Figura 3.17) para posteriormente pesar el contenido de cada uno de estos y obtener el peso en cada uno de los rangos utilizados (Figura 3.18). El tamaño promedio de terrón se obtuvo utilizando la siguiente formula:

$$d = 5 \left(\frac{21K + 19J + 17I + 15H + 13G + 11F + 9E + 7D + 5C + 3B + A}{W} \right) \dots (3.16)$$

Donde:

- d = Tamaño promedio de terrón (mm)
- w = Peso total de la muestra (Kg.)
- K = Terrones mayores a 100 mm (Kg.)
- J = Terrones entre 90 y 100 mm (Kg.)
- I = Terrones entre 80 y 90 mm (Kg.)
- H = Terrones entre 70 y 80 mm (Kg.)
- G = Terrones entre 60 y 70 mm (Kg.)
- F = Terrones entre 50 y 60 mm (Kg.)
- E = Terrones entre 40 y 50 mm (Kg.)
- D = Terrones entre 30 y 40 mm (Kg.)
- C = Terrones entre 20 y 30 mm (Kg.)
- B = Terrones entre 10 y 20 mm (Kg.)
- A = Terrones menores a 10 mm (Kg.)

Nota: las escalas utilizadas en los cinco tamices fueron los designados por las letras B, C, E, J y K. En esta prueba también se tomaron muestras de terrones en cada uno de los puntos de prueba para poder llevarlos al horno termostático y secarlos a 110 ° C durante 24 horas para poder obtener el porcentaje de humedad.



Fig. 3.16 Extracción de muestra de suelo hasta suelo firme.



Fig. 3.17 Bloque de tamices utilizados.



Fig. 3.18 Aspecto de las mallas utilizadas

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Caracterización del sitio de evaluación.

El Cuadro 4.1 muestra los valores obtenidos para los parámetros medidos durante la caracterización del sitio de prueba:

Cuadro 4.1. Valores registrados durante la caracterización del sitio de evaluación

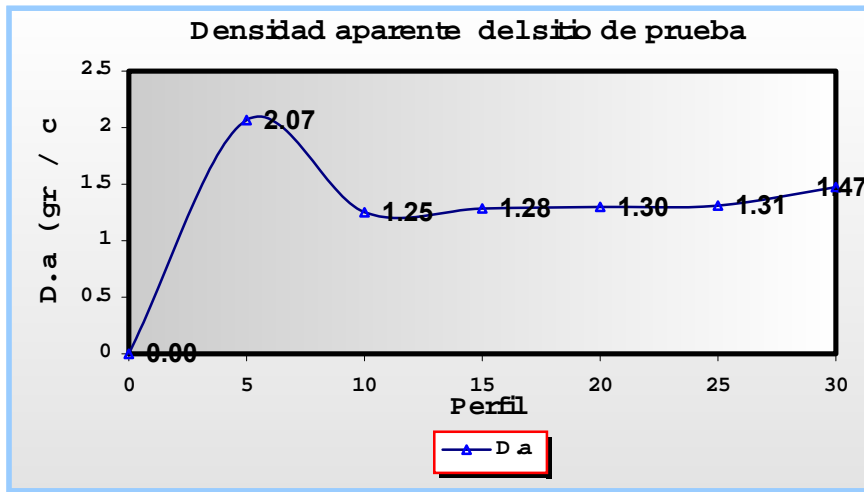
PARAMETROS	BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3	BLOQUE 4
	$\alpha = 0$	$\alpha = 6$	$\alpha = 12$	$\alpha = 20$
Cobertura vegetal (%)	64.12 Desv= 10.83	64.12 Desv= 10.83	65.35 Desv= 6	62.89 Desv= 16.91
Pedregosidad (%)	0 Desv= 0	0 Desv= 0	.83 Desv= .89	1.9 Desv= 2.74
Porcentaje de humedad	10.64 Desv= 3.64	11.42 Desv= 2.47	11.19 Desv= 2	11 Desv= 1.35
Resistencia a la penetración a 30 cm. (Mpa)	1.218 Desv= .5	1.056 Desv= .2	1.412 Desv= .5	1.341 Desv= .3
Densidad aparente a 30 cm. (gr / cm ³)	1.46	1.46	1.5	1.15
Microrrelieve (cm)	17.5 Desv= 1.72	17.5 Desv= 1.72	21.3 Desv= 3.41	16.7 Desv= 4.71
Índice de Rugosidad	1.32 Desv= .5	1.32 Desv=.5	1.73 Desv=.4	1.23 Desv= .4

Los resultados del Cuadro 4.1 muestran que en promedio el sitio de prueba presento un porcentaje de cobertura vegetal uniforme del 64 %, lo cual corresponde a una densidad de residuos expresada como materia seca de 6 Ton / Ha. Esto quiere decir que en promedio los cuatro bloques utilizados en el diseño para la evaluación de los cuatro índices de desgaste presentaron las mismas condiciones en cuanto a esta variable se refiere.

En cuanto a pedregosidad se refiere podemos decir que tal y como lo muestran los valores del cuadro anterior el sitio de prueba se encontraba libre de este parámetro.

Los datos del cuadro muestran que en promedio el sitio de prueba contenía un 11 % de humedad a 30 cm antes de las pruebas de evaluación.

La Figura 4.1 muestra los valores de densidad a través del perfil de 0 – 30 cm del sitio de prueba utilizado para la evaluación de los cuatro índices de desgaste, en esta grafica se puede observar que los valores máximos de densidad se presentan a 5 y 30 cm de profundidad, esto quiere decir que el sitio de prueba presento un encostramiento en las pruebas realizadas a 5 cm y mostró un piso de arado a partir de los 30 cm formado probablemente como consecuencia directa del paso de los implementos de labranza a esa profundidad. En general se puede decir que los bloques utilizados en el experimento presentaron valores de densidad aproximadamente iguales en el perfil de 0 a 30 cm de



profundidad.

Fig. 4.1 Valores de densidad en el perfil del suelo del sitio de prueba

En la Figura 4.2 se muestra el comportamiento de la resistencia a la penetración, podemos observar que tal y como lo sugieren los valores de la curva de densidad aparente las mayores oposiciones se registraron a 5 y 30 cm del perfil de profundidad debido a que en estos puntos fue donde se registraron los mayores valores de esta variable, esto nos indica que a estas profundidades el suelo presento una mayor compactación y por lo tanto mayor oposición a ser penetrado. Estos fenómenos como se mencionaba en el apartado de densidad aparente pueden ser atribuidos a un encostramiento originado por las características físicas del suelo y las actividades mecánicas realizadas en su superficie y al paso de los implementos de labranza durante los periodos de inactividad del terreno y los ciclos de cultivo respectivamente. De acuerdo a la Figura 4.2 el índice de cono en el rango de 10 a 25 cm muestra un comportamiento similar al de la curva de la densidad aparente. Estas observaciones y los valores mostrados en el Cuadro 4.1 nos indican que los cuatro bloques del diseño utilizaron aproximadamente la misma resistencia a la penetración en el perfil de 0 a 5 , de 10 a 25 y a 30 cm.

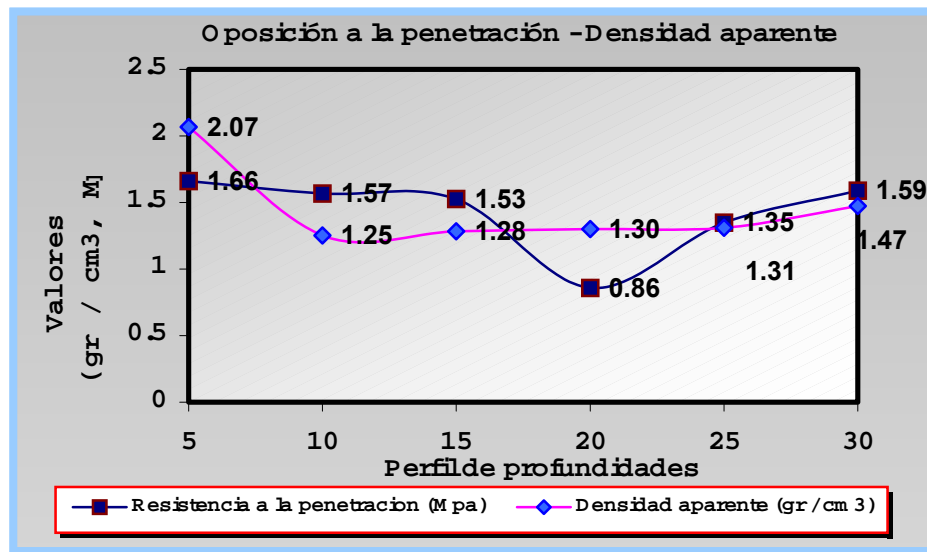


Fig. 4.2 Curvas de densidad y resistencia a la penetración registradas en el sitio de prueba

La figura 4.3 muestra un ejemplo del microrrelieve de la superficie del suelo de la parcela de prueba antes de las evaluaciones de los diferentes índices de desgaste, el índice de rugosidad obtenido de las desviaciones estándar de todas las pruebas realizadas, dio como resultado un valor de 1.3 cm; este valor comparado con la recomendación hecha por Steichen (1984), indica que las superficies de los cuatro bloques del experimento se encontraban prácticamente planas antes de las pruebas y que estaba expuesta a la erosión y no eran capaces de lograr una adecuada retención de humedad.

Es claro que esta falta de rugosidad es precisamente uno de los parámetros que los discos tienen que mejorar para evitar los problemas anteriormente mencionados y con esto optimizar su calidad de trabajo.

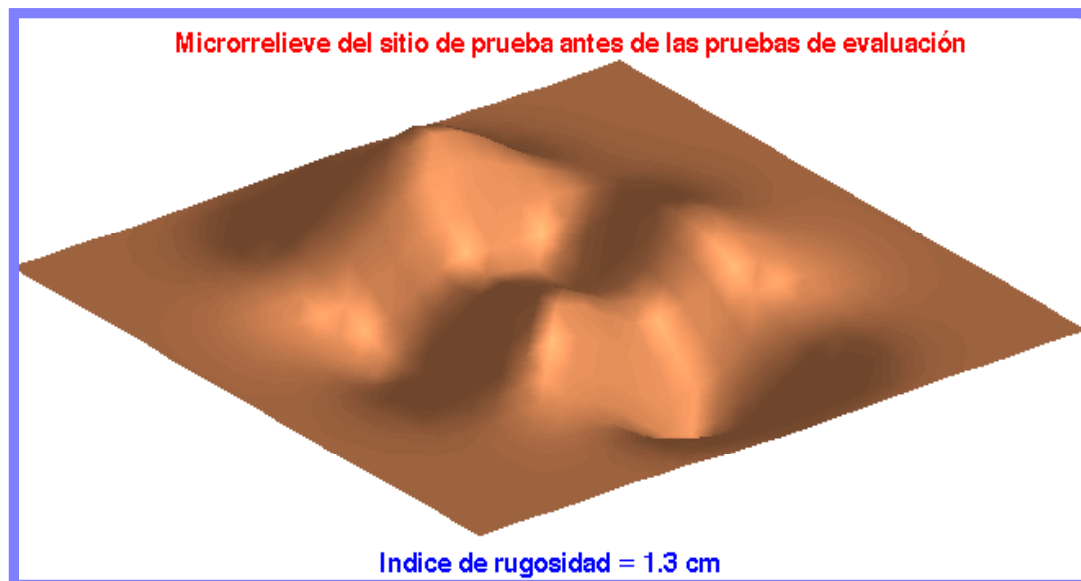


Fig. 4.3 Microrrelieve del sitio de prueba antes de las pruebas de evaluación

Pruebas de desempeño.

El cuadro 4.2 muestra los valores obtenidos para los parámetros medidos durante las pruebas de evaluación de los cuatro índices de desgaste en los bloques del experimento:

Cuadro 4.2 Valores obtenidos en las pruebas de desempeño

PARAMETROS	BLOQUE 1 $\alpha = 0$	BLOQUE 2 $\alpha = 6$	BLOQUE 3 $\alpha = 12$	BLOQUE 4 $\alpha = 20$
Ancho de trabajo (cm)	85 [A]	78 [AB]	75 [AB]	71 [B]
Profundidad real de trabajo (cm)	32.94 [A] Desv = 5.8	34.88 [A] Desv = 5.8	25.31 [B] Desv = 4.4	23.63 [B] Desv = 5.8
Velocidad promedio de trabajo (Km / hr)	5.13	5.96	5.75	6
Consumo de combustible (L / Ha)	24.94	25.76	21.73	24.86
Capacidad teórica de campo (ha / hr)	.43	.46	.43	.42
Patinaje (%)	10.5 [A] Desv = 5.4	6.26 [AB] Desv = 2.07	9.5 [A] Desv = 4.5	3.5 [B] Desv = 3.1
Fuerza demandada por el implemento (KN)	8.8 [A] Desv = 1.74	8.8 [A] Desv = .27	13.78 [A] Desv = 2.07	13.34 [A] Desv = .82
Esfuerzo unitario a la falla (KPa)	33.33	33.33	68.89	66.73
Potencia de tracción (KWatts)	12.54	12.54	22	22.15

*De acuerdo a la prueba de Tukey, los valores con letras diferentes en las filas indican una diferencia significativa al 0.01 entre las lecturas realizadas durante las pruebas en campo.

El Cuadro 4.3 muestra el análisis de varianza obtenido para las lecturas de profundidad realizadas en los diferentes bloques de la parcela de prueba, los valores obtenidos en dicho cuadro expresan que hay diferencia entre los cuatro índices de desgaste utilizados en el experimento, a su

vez el Cuadro 4.2 indica que las profundidades obtenidas con los discos del 0 y el 6 % fueron diferentes que los discos con el 12 y el 20 %, esto quiere decir que los discos desgastados en un 12 % tienden a reducir la profundidad de trabajo del implemento, este parámetro es de suma importancia ya que según Cañavate (1989), la profundidad de trabajo recomendada para una buena aradura es de 30 cm, esta profundidad asegurara un optimo desarrollo del sistema radicular de una gran cantidad de cultivos además una optima aireación.

Cuadro 4.3 Análisis de varianza para índices de desgaste y profundidades.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	738.93	246.31	7.86	.001
BLOQUES	7	193.62	27.66	.8837	.536
ERROR	21	657.31	31.3		
TOTAL	31	1589.87			

C.V. = 19.17 %

Los valores del Cuadro 4.2 indican que en promedio la velocidad del sistema arado tractor en los cuatro bloques fue aproximadamente igual. Por otro lado se puede observar que no existe diferencia en la cantidad de combustible demandado en cada uno de los índices de desgaste, es decir que la reducción en el diámetro de los discos de prueba no afecto el consumo de combustible del tractor utilizado en los diferentes bloques.

Los valores del cuadro 4.2 sugieren que la capacidad teórica de campo no es afectada por la reducción en el diámetro de los discos del arado, si observamos el análisis de varianza realizado para las lecturas del ancho de corte unitario en el Cuadro 4.4, podremos comprobar que la reducción en el diámetro de los discos afecta el ancho de corte unitario del implemento, ya que según la prueba de Tukey y tal como lo muestra el Cuadro 4.2 este se redujo de igual forma para los discos con el 0, 6 y 12 de desgaste, y se mostró crítico para los discos con el 20 % de desgaste, matemáticamente la capacidad teórica también debería reducir sin embargo si analizamos los valores de la fila de velocidad de trabajo del sistema arado - tractor podremos observar que hay pequeñas variaciones que influyen en los resultados arrojados por la formula empleada en la metodología de medición.

En base a este razonamiento podemos deducir que para fines de esta investigación y basados en el método de trabajo la disminución en el diámetro de los discos de arados no afecta considerablemente la capacidad teórica de campo del implemento. Cabe aclarar que si se uniformizara el valor de la velocidad del sistema y se correlacionara con la pérdida de diámetro de los discos indudablemente este parámetro se reduciría considerablemente. De igual forma es muy probable que al medir el perfil del suelo disturbado habría una diferencia apreciable del área de trabajo del implemento

Cuadro 4.4 Análisis de varianza para índices y Ancho de corte unitario.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	.030	.01	11.51	.008
BLOQUES	2	.0006	.00033	.38	.700
ERROR	6	.0052	.00088		
TOTAL	11	.036			

C.V. = 3.84 %

El cuadro 4.5 muestra el análisis de varianza para las lecturas de patinaje registradas en los diferentes bloques de evaluación, este análisis nos indica que existe diferencia significativa en las lecturas de patinaje realizadas en los diferentes bloques del experimento. Ahora si analizamos los datos registrados en el cuadro 4.2 y observamos el comportamiento de las curvas de la Figura 4.4 podremos apreciar que el valor de este parámetro es función directa del esfuerzo unitario a la falla y por ende de la sección transversal disturbada. Esta discusión nos lleva a establecer que el valor de la curva de patinaje de los cuatro índices de desgaste debería de tener un comportamiento similar a la del esfuerzo unitario a la falla, la prueba de Tukey nos dice que el valor de este parámetro fue igual para los discos con el 0, 6 y 12 % de desgaste y diferente para el índice del 20 % , esto pudo haberse debido principalmente a errores en las lecturas tomadas y al método de medición empleado.

Cuadro 4.5 Análisis de varianza para índices de desgaste y patinajes.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	237.05	79.21	6.24	.014

BLOQUES	7	122.69	17.86	1.38	.794
ERROR	21	265.7	12.65		
TOTAL	31	625.4			

C.V. = 19.17 %

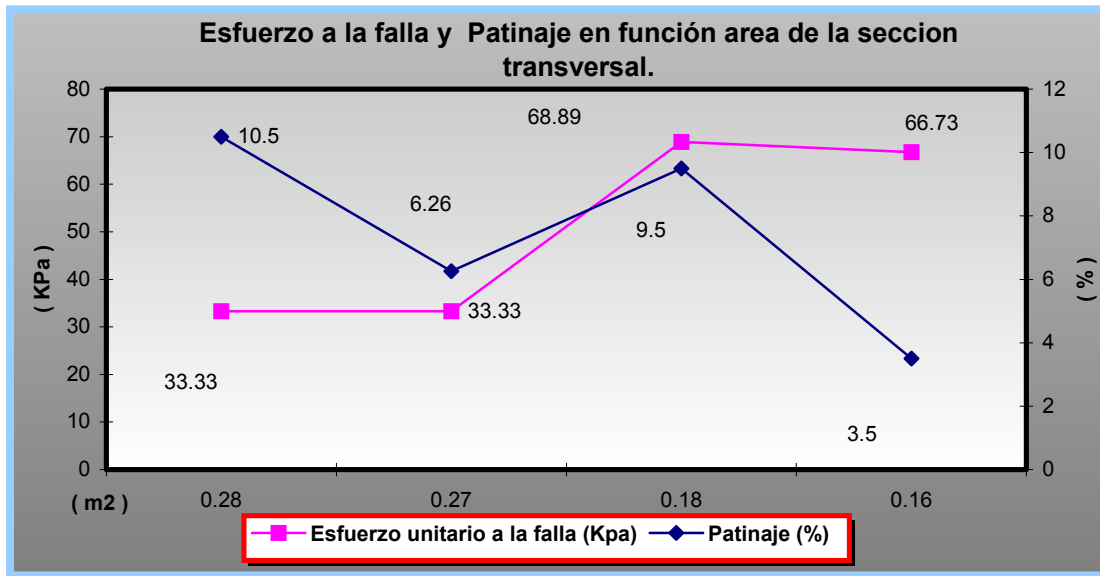


Figura 4.4 Porcentaje de patinaje en función directa de la sección transversal disturbada

El cuadro 4.6 muestra el análisis de varianza para las fuerzas demandadas por los cuatro índices de desgaste en los bloques de evaluación, si analizamos las medias obtenidas mediante la prueba de Tukey en el Cuadro 4.2 podemos observar que estadísticamente no existe diferencia entre los cuatro índices de desgaste evaluados; los discos con el 0 y el 6 % de desgaste demandaron un promedio de fuerzas de 8.8 KN, mientras que en los discos con el 12 y el 20 % este parámetro se incremento ligeramente adoptando valores de 13.78 y 13.34 KN. Esto nos indica que la pérdida de diámetro en los discos no incrementa la fuerza traccional demandada por el implemento durante la labranza. La Figura 4.5 nos indica que el incremento en la fuerza traccional trae como consecuencia, un aumento en el esfuerzo unitario a la falla y en la potencia traccional requerida. Según Nartov (1985), el diámetro del disco tiene muy poco efecto en las fuerzas demandadas por el implemento. Una de las causas en las pequeñas variaciones de los valores obtenidos pudo haberse debido a que aunque en promedio la resistencia a la penetración en el sitio de muestreo haya sido la misma, cada uno de los bloques mostró un valor propio y además de que por cuestiones climáticas las pruebas de los bloques 3 y 4 fueron realizadas después de las realizadas en el bloque 1 y 2 y por lo tanto el contenido de humedad probablemente pudo haber diferido. La figura 4.5 muestra los valores de la resistencia a la penetración y las fuerzas traccionales.

Cuadro 4.6 Análisis de varianza para índices de desgaste y fuerzas de tiro.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	91.14	30.38	9.03	.005
BLOQUES	3	3.05	1.01	.30	.824
ERROR	9	30.26	3.36		
TOTAL	15	124.46			

C.V.=16.37%.

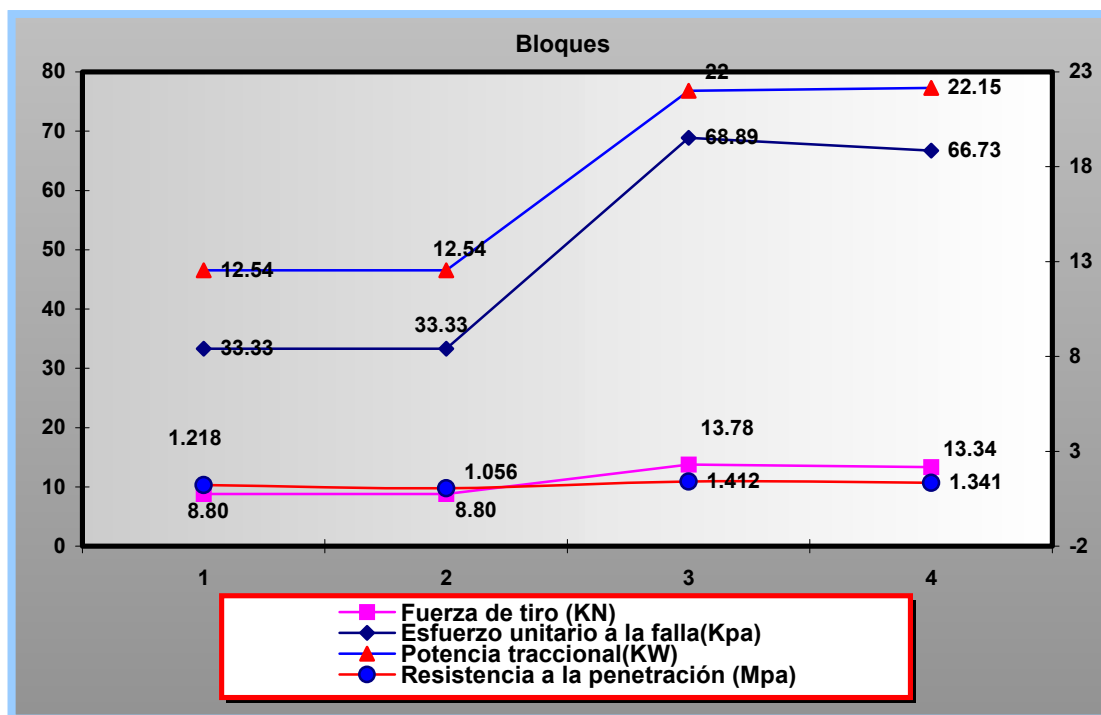
Fig. 4.5 Curvas de fuerza, esfuerzo unitario y potencia. Valores de Resistencia a la penetración.

Calidad de trabajo

El Cuadro 4.7 muestra los valores obtenidos después del paso de los discos con diferentes índices de desgaste, los valores de estos parámetros reflejan la calidad de trabajo originada por el paso de cada uno de los índices de desgaste de los discos utilizados en el experimento.

Cuadro 4.7 Valores para los parámetros medidos después de la evaluación.

PARAMETROS	BLOQUE 1 $\alpha = 0$	BLOQUE 2 $\alpha = 6$	BLOQUE 3 $\alpha = 12$	BLOQUE 4 $\alpha = 20$
------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------



Incorporación de residuos (Ton / Ha)	5.44 [A]	6.179 [A]	5.6 [A]	3.31 [A]
Microrrelieve (cm)	24.89 [A] Desv = .49	20.34 [A] Desv = 6.9	24.91 [A] Desv = 3.84	22.52 [A] Desv = 7.21
Índice de rugosidad (cm)	1.2 Desv = .34	.856 Desv = .18	5.238 Desv = 2.1	3.3 Desv = 1.07
Densidad aparente (gr / cm ³)	1.19 [A]	1.40 [A]	1.33 [A]	.93 [A]
Incorporación de suelo (%)	65.8 [AB] Desv = 13.79	80.9 [AB] Desv= 14.84	85.8 [A] Desv = 10.03	55.9 [B] Desv = 14.83
Tamaño de agregados (mm)	21.8 [A]	18.5 [A]	32.2 [A]	28.2 [A]

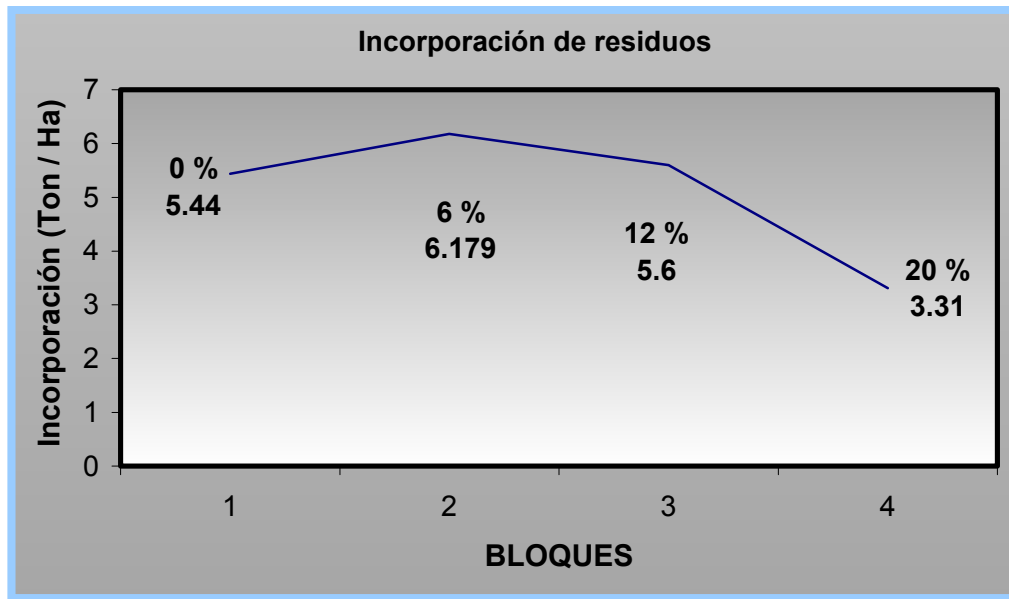
***De acuerdo a la prueba de Tukey, los valores con letras diferentes en las filas indican una diferencia significativa al 0.01 entre las lecturas realizadas durante las pruebas en campo.**

Los resultados obtenidos para la incorporación de residuos en las repeticiones de los bloques fueron sometidos a un diseño de bloques completamente al azar y los datos arrojados por el análisis de varianza del Cuadro 4.8, afirman que no existe diferencia media significativa entre las medias de los cuatro índices de desgaste registrados en el Cuadro 4.7, es decir que después de su paso en los bloques del experimento incorporaron la misma cantidad de residuos vegetales. Sin embargo, al observar los datos en la Figura 4.6. podemos analizar que en los bloques donde fueron evaluados los discos con el 0, 6 y 12 % no hay mucha variación en la cantidad de incorporación, pero con el índice del bloque 4 (20 %) el valor de la curva empieza a decrecer a razón de

aproximadamente 2 Ton / Ha, si este valor es expresado en términos de calidad de trabajo podemos afirmar que la disminución en el diámetro de los discos del arado hasta un 20 % afecta la cantidad de residuos incorporados durante su trabajo en campo.

Cuadro 4.8 Análisis de varianza para índices e Incorporación de suelo. C.V=40 %

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	19911.5	6637.1 9	1.71 1	.217
BLOQUES	4	38924.8	9731.2 1	2.50 8	.097
ERROR	12	46545.4	3878.7 8		



TOTAL	19	105381. 8			
-------	----	--------------	--	--	--

Fig. 4.6 Incorporación de suelo

Según el análisis de varianza mostrado en el Cuadro 4.9 no existe diferencia significativa entre el microrrelieve de los datos obtenidos en los bloques de evaluación de los cuatro índices de desgaste, esto sugiere que la reducción en el diámetro de los discos no afecta las lecturas de altura que representan el microrrelieve de la superficie del suelo registradas en el Cuadro 4.7.

Por otro lado, si analizamos el índice de rugosidad de los índices de desgaste podemos observar que los mejores valores para este parámetro lo obtuvieron los discos con el 12 y el 20 % , esto debido a que estos índices fueron los que originaron la mayor cantidad de terrones superiores a 100 mm, los discos con el 0 y el 6 % de desgaste dieron como resultado un menor índice de rugosidad pero ocasionaron el menor número de terrones mayores a 100 mm.

Es importante enfatizar en que un buen índice de rugosidad asegura buenas condiciones para la absorción de humedad y puede evitar en alguna manera la erosión, pero el tamaño de agregados es de suma importancia en la calidad de preparación del suelo ya que influye en gran manera en la preparación de la cama de siembra.

Cuadro 4.9. Análisis de varianza para índices de desgaste y alturas promedio de microrrelieve.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	43.2	14.4	.61	.631
BLOQUES	3	89.8	44.9	1.92	.226
ERROR	9	140	23.3		
TOTAL	15	273.1			

C.V.=20 %

El Cuadro 4.10 muestra el análisis de varianza obtenido para las lecturas de densidad en los diferentes bloques, los valores del análisis indican que no existe diferencia significativa entre las medias obtenidas para los valores de densidad aparente originados por el paso de los índices de desgaste, es decir que según el método descrito en el capítulo de metodología la disminución en el diámetro de los discos no afecta de forma significativa el valor de la densidad del suelo trabajado.

En la Figura 4.7 podemos observar las curvas de densidad obtenidas antes y después del paso de los índices en los bloques del experimento, la tendencia de las curvas y tal y como lo muestra el análisis el uso de discos de diámetros diferentes reduce en igual forma el valor de este parámetro.

Cuadro 4.10. Análisis de varianza para índices de desgaste y densidad aparente.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	.34	.11	3.2	.104
BLOQUES	2	.20	.10	2.83	.136
ERROR	6	.21	.03		
TOTAL	11	.76			

C.V.=15.5 %

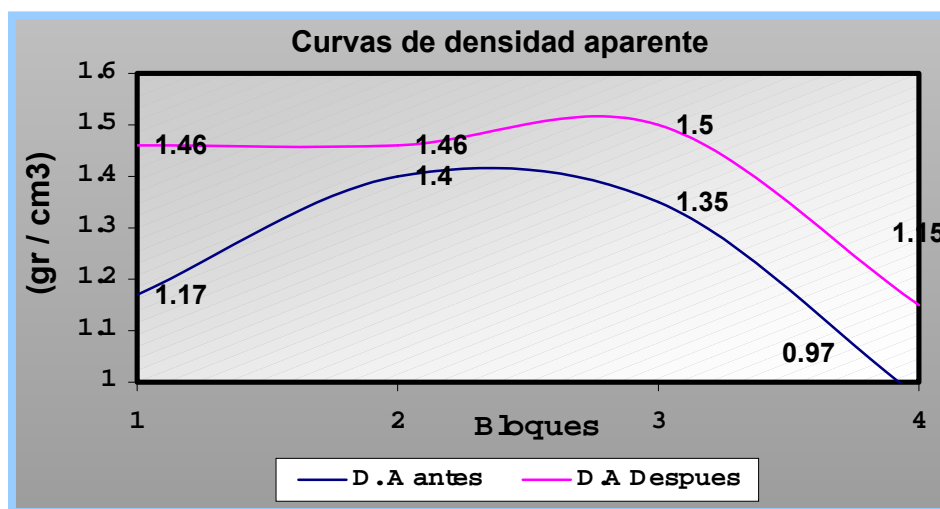


Figura 4.7. Curvas de densidad aparente antes y después de las pruebas de evaluación

El Cuadro 4.11 muestra el análisis de varianza obtenido de las lecturas de incorporación registradas en los bloques del experimento, esta tabla sugiere que existe diferencia entre los tratamientos aplicados en los bloques del diseño, si se observan los valores del cuadro 4.7 y los comparamos con los valores arrojados por las pruebas de Tukey podemos percatarnos de que los discos que realizaron la mejor incorporación fueron los discos con el 0, 6 y 12 % de desgaste, siendo el de 12 % el mejor de los tratamientos, el tratamiento con el 0 % de desgaste fue el que origino la menor incorporación de suelo de los tres mejores tratamientos; esto pudo haberse debido a la falta de rotación de los discos.

Sin embargo el análisis estadístico sugiere que el tratamiento con el 20 % de desgaste fue el peor de todos los tratamientos ya que solo logro incorporar un 55.9 % del suelo arado de su respectivo bloque de prueba.

Basados en este análisis podemos decir que la reducción en el diámetro de los discos trae como consecuencia una deficiente incorporación e inversión del suelo.

Este parámetro es de suma importancia durante la aradura, ya que con esta actividad se busca incorporar los restos vegetales que se encuentran sobre la superficie, además de influir de gran manera en la calidad de trabajo realizada en campo.

Cuadro 4.11 Análisis de varianza para índices e incorporación de suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	4480.7 5	1493.5	6.96	.002
BLOQUES	3	573.5	81.9	.37	.909
ERROR	9	4541.7 5	216.27		
TOTAL	15	9596			

C.V.=20 %

El cuadro 4.12 muestra el análisis de varianza para el tamaño de agregados originado por el paso de los diferentes índices de desgaste, este análisis indica que no existe diferencia significativa entre el tamaño representativo de terrón de los cuatro índices de desgaste, sin embargo si analizamos los valores del Cuadro 4.7 se puede observar que los mejores tamaños de agregados se obtuvieron con los índices del 0 y 6 % de desgaste. En los bloques 3 y 4 que fue donde se evaluaron los discos con el 12 y el 20 % de desgaste, el diámetro de terrón se incremento a 32 y 28 mm respectivamente.

En las muestras de los tamices de la parcela 1 y 2 fue donde se obtuvieron las mejores lecturas ya que fue donde se observaron las mayores lecturas de terrones menores a 10 mm y las menores lecturas de terrones mayores a 100 mm, esto es debido a que, estos dos índices realizaron una incorporación de suelo normal pero lograron realizar buenas aceleraciones e impactos de la masa de suelo cortada (3 metros adelante del punto de prueba) logrando con esto buenos tamaños de agregados.

Los discos con el 12 y el 20 % de desgaste fueron los que registraron las menores lecturas de terrones menores de 10 mm y las mayores lecturas de

terrones mayores a 100 mm, sin embargo los discos con el 12 % lograron la mayor inversión de suelo pero no lograron acelerar la masa de suelo (En los puntos de cal se observaron desplazamientos de suelo de apenas unos centímetros) trayendo con esto el mayor tamaño de diámetro de terrón; los discos con el 20 % de desgaste fueron los que tuvieron la menor incorporación de suelo y también originaron uno de los mayores diámetros de terrones, Figura 4.8.

Basados en este análisis podemos decir que la reducción en el diámetro de los discos hasta un 20 % respecto de su diámetro original ocasiona efectos desfavorables en el tamaño de agregados originados a su paso, factor que es de suma importancia en la preparación de la cama de siembra.

Cuadro 4.12 Análisis de varianza para índices y Tamaño promedio de agregados.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	656.4	216.8	1.85	.191
BLOQUES	4	1259.6	314.9	2.69	.082
ERROR	12	1403.6	116.9		
TOTAL	19	3313.7			

C.V.=42 %

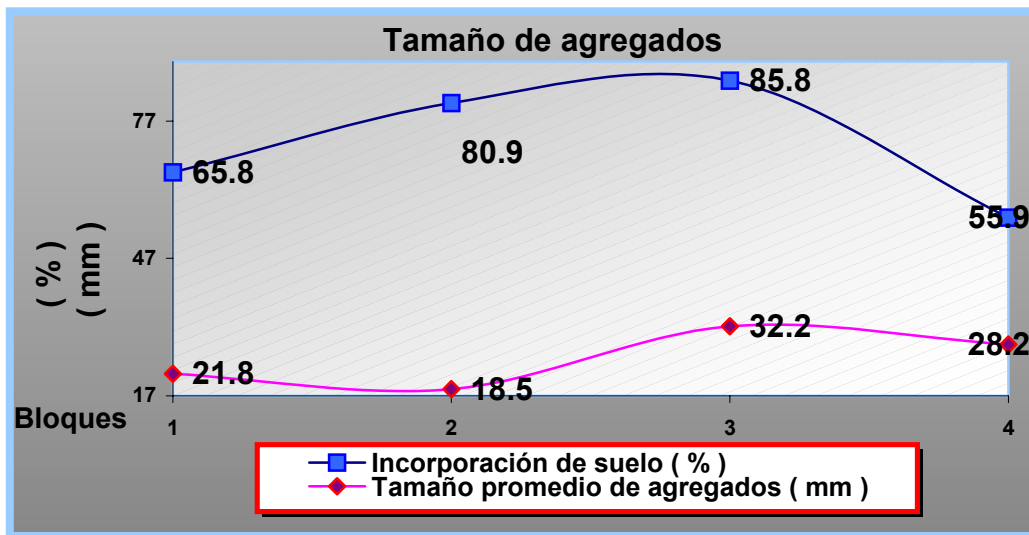


Fig. 4.7 Tamaño de agregados e incorporación de suelo.

Información útil para el diseño de un banco de pruebas.

Durante el desarrollo de esta investigación se pudieron obtener datos que pueden ser de mucha utilidad para el desarrollo de un banco de pruebas para evaluación de discos de arados en un suelo franco. Los valores registrados en el Cuadro 4.13 nos indican que para evaluar discos de 24 pulgadas de diámetro en suelo franco con un 44, 36 y 20 % de arena, limo y arcilla respectivamente, estos deben de ser accionados a 23 RPM (Para simular la velocidad del sistema arado tractor) imponiendo a estos un esfuerzo de $68.89 \text{ KN} / \text{m}^2$ y para discos con 22 pulgadas deberán ser accionados a 22 RPM imponiendo un esfuerzo de $66.73 \text{ KN} / \text{m}^2$. Ambos con un ángulo vertical y horizontal de 26 y 57 ° respectivamente.

Creemos que estos datos en conjunto con la información recopilada en esta tesis (% humedad, Resistencia a la penetración, consumo de combustible), podrían ser de mucha utilidad para realizar cálculos numéricos para el diseño conceptual de un banco de pruebas.

α	DRT (m)	RRT	RD	PDRT (m)	RPD	VPT (Km/ Hr)	ESFUERZO UNITARIO A LA FALLA (KPa)	ACCIONAMIENTO (r.p.m)
12 %	40.72	10	10	38	9	5.75	68.89	23
	35.32	10	8.5					
	37.5	10	8.5					
	38.05	10	9					
20 %	37.5	10	7	37	8	6	66.73	22
	36.3	10	9					

Cuadro 4.13 Información útil para el diseño de un banco de prueba

[DRT] Distancia recorrida por las ruedas traseras del tractor

[RRT] Revoluciones de la ruedas trasera

[RD] Revoluciones del disco

[PDRT] Promedio de las distancias recorridas por la rueda trasera

[RPD] Promedio de las revoluciones realizadas por el disco

[VPT] Velocidad promedio del tractor

Nota: Los valores de accionamiento y de esfuerzo fueron calculados en promedio para los tres discos, se tendría que realizar el análisis correspondiente para obtener los valores correspondientes para cada uno de los discos.

c. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos se puede decir que tal y como se plantea en la hipótesis formulada al inicio de esta investigación, la reducción en el diámetro de los discos de arados agrícolas afecta el desempeño y la calidad de trabajo realizada en campo, sin embargo no influye significativamente en la cantidad de energía demanda para la realización de la aradura en un suelo franco.

Los mejores resultados de desempeño y calidad de trabajo durante la labor en un suelo franco se originaron con el paso de discos que contenían el 0 y el 6 % de desgaste, a partir del 12 % estos valores tienden a ser afectados y en alguna forma llegar a ser críticos.

En base a las condiciones bajo las cuales fue realizado este trabajo se pudo observar que, para optimizar el uso de la energía empleada para el barbecho y obtener la mejor calidad de trabajo en un suelo franco, se deben de seguir los siguientes puntos:

- Ajustar el arado con un ángulo vertical de 26° y un ángulo horizontal de 57° .
- La velocidad del sistema arado-tractor debe de oscilar entre 5 y 6 Km. / hr.
- No usar los discos cuando en promedio el diámetro de estos haya sido reducido a mas del 12 %.

El periodo de vida útil de los discos de un arado accionado en un suelo franco; con ajustes AV = 26° , AH = 57° y operado entre 5 y 6 Km. / hr; finaliza, cuando el diámetro de estos ha sido reducido a menos de 25 pulgadas o cuando la distancia lineal del borde de la masa al borde del disco es menor a 19 cm.

Los datos obtenidos pueden ser sometidos a consideración para realizar un análisis en las primeras etapas del diseño de un banco de pruebas para evaluación de discos agrícolas.

LITERATURA CITADA

1. Avner, S.H. ; 1983, Introducción a la metalurgia física, México, Mcgraw – Hill .
2. Cañavate, J.O. ; 1989, Técnica de la mecanización agraria, Madrid España, Mundi – prensa.
3. Castañeda, P.R. ; 1990, Diseño de experimentos aplicados, México DF., Trillas.
4. Chávez, N.A. ; 2000, Generación de modelos de predicción de fuerza de tiro horizontal demandada por un arado de discos, Revista Chapingo; serie ingeniería agropecuaria.
5. Cooper, William D. ; Helfrick, Albert D. 1991, Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición, México, Prentice hall Hispanoamericana, S.A.
6. Donell, H. ; 1991, Maquinaria agrícola: Rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipo, México, Limusa.
7. Flamand, C.L.R. ; 1995, Introducción a la mecánica de los suelos, México, UACH.
8. Fuente la ciencia e ingeniería de los materiales, Donald r. Askeland. ed. grupo editorial iberoamericano
9. Kepner, R.A. ; 1978, Principles of farm Machinery, United States of America, Avi Publishing company, inc.
10. Mckyes, Edward; 1985, Soil cutting and tillage, Netherlands, Elsevier.
11. Mojica, E.D. ; 2000, Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurcos para labranza de conservación empleando equipos multiusos de tracción animal, Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz.
12. Nartov, P.S. ; 1985, Disk soil- working implements, India, Printsman press.
13. Richey, C.B. ; 1961, Agricultural Engineers' Handbook, United States of America, McGraw - Hill Book Company, Inc.
14. Sakurai, H. ; 1996, An application of strain gages to the agricultural machinery, Japon.
15. Sánchez, F.V. ; 2001, Impacto del programa de mecanización alianza para el campo en el mercado de maquinaria agrícola, artículo de las memorias de ingeniería agrícola, Págs. 157,158,159, 160,161,162.
16. Valdés R. J. U. 1985, Estudio edafológico de la UAAAN en el área correspondiente a Buenavista, Saltillo, Coahuila. Tesis licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México , PP. 91 – 92.
17. Wills, B.M.D. ; 1985, An analysis of the geometric and soil working parameters of a curved vertical disc.

ANEXOS

ANEXO 1

PENETROMETRO

Prueba: Resistencia a la penetración.

Se adecuo un ring para poder medir la resistencia a la penetración del sitio donde se estableció el experimento, este transductor en conjunto con el sistema de adquisición brindan la facilidad de almacenar datos de voltaje mediante la aplicación de cargas mecánicas sobre la base de un cono previamente maquinado, para después ser analizadas y apreciar la oposición del suelo a través del perfil de medición.

El ring en conjunto con el cono y otros componentes que pueden ser visualizados en el esquema de este anexo constituyeron lo que se conoce como penetrometro.

A continuación se enlistan los componentes que integran el sistema de adquisición, la calibración y el esquema general del penetrometro.

Ψ Sistema de adquisición.

1. Acondicionador de señales DBK-16 con ganancia de 10 a 1250 x marca IOTECH.
2. Convertidor analógico digital Dack Book 200 con 16 canales y velocidad de muestreo de 100 KHz.
3. Computadora personal Toshiba AMD-K6 (tm) 3D procesador 32 MB en RAM, W98.
4. Programa computacional Daq View 7.11.08 IOTECH, inc.
5. Conectores varios.

Ψ Calibración.

Para la calibración se utilizaron 2 pesos conocidos para poder obtener una ecuación que respondiera a las cargas a sensar.

A continuación se muestran las formulas para los voltajes y cargas generadas por el sensor:

$$V_{sal} = .0034W - 1.7028. \quad (1.1)$$

$$W = 292.6V + 498.35. \quad (1.2)$$

A continuación se muestran los valores de calibración y su grafica correspondiente:

Cuadro 1.1 Valores de calibración para el ring.

Peso(N)	Voltaje de salida		Línea regresión(V)
	Carga	Descarga	
0	-1.7	1.3	-1.7
441.45	-0.2	-0.16	-0.2
878	1.3	-1.68	1.28

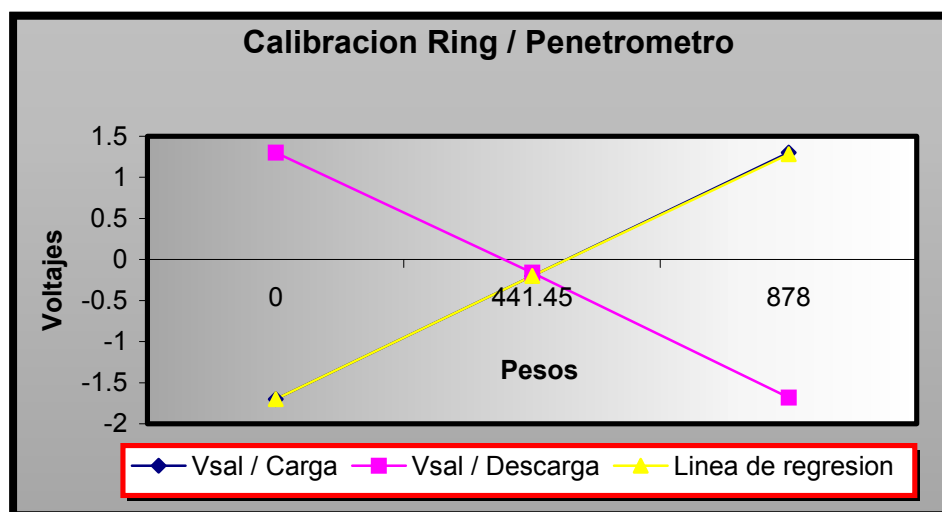


Fig. 1.1 Curvas de calibración para el ring.

Los valores para la curva de regresión fueron obtenidos mediante mínimos cuadrados.

ANEXO 2

PROGRAMA PERFILOMETRO VISUAL 1.0

PRUEBA: Microrrelieve

DESCRIPCIÓN:

La escritura de este programa fue realizada en MATLAB versión 5.3 utilizando la librería para diseño de interfaces graficas. Esta librería permite escribir programas en ambiente Windows que son muy sencillos de diseñar, además de que permite realizar visualizaciones en modo grafico con una gran cantidad de efectos que para este fin fueron de gran utilidad.

OBJETIVO:

El objetivo de este programa fue el de poder calcular las medias y las desviaciones estándar de las alturas obtenidas en las mediciones, además de poder visualizar de forma grafica el estado de los puntos de prueba antes y después del paso de los diferentes índices de desgaste utilizados. Los valores de las medias son para obtener una media general de todos los puntos de medición para que al final se pueda generar una grafica que represente el perfil del bloque y poder realizar las comparaciones correspondientes. Las desviaciones son de gran importancia, ya que indican la uniformidad de la superficie del suelo antes y después del paso de los diferentes índices evaluados(Indice de rugosidad).

ESCRITURA DE LA FUNCION PRINCIPAL DEL PROGRAMA:

A continuación se muestra la función principal del programa:

```
function JaudielProgramFcn(action)
switch(action)
case 'cargar',
    buscador=findobj(gcf,'Tag',
        set(gcf,'UserData',nombre)
        C10=perfil(:,10);
        M1=mean(C1)
        D1=std(C1)
        M2=mean(C2)
        D2=std(C2)
        M3=mean(C3)
        D3=std(C3)
        'puntual')
    nombre=get(buscador, 'string')
    lety=findobj(gcf,'Tag', 'texto')
    set(lety, 'string', nombre)
    plot(evalin('caller', nombre)
        M4=mean(C4)
        D4=std(C4)
        M5=mean(C5)
        D5=std(C5)
        M6=mean(C6)
        D6=std(C6)
        M7=mean(C7)
        D7=std(C7))
```

```

M8=mean(C8)
D8=std(C8)
M9=mean(C9)
D9=std(C9)
M10=mean(C10)
D10=std(C10)

MG=(M1+M2+M3+M4+M5+M6+M7+M8+M9+
M10)/10

DG=(D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7+D8+D9+
D10)/10
cuadro1=findobj(gcbf,'Tag',
'MUNO')
set(cuadro1,'string',
sprintf('%3.3f',M1))
cuadro2=findobj(gcbf,'Tag',
'DEUNO')
set(cuadro2,'string',
sprintf('%3.3f',D1))
cuadro3=findobj(gcbf,'Tag',
'MDOS')
set(cuadro3,'string',
sprintf('%3.3f',M2))
cuadro4=findobj(gcbf,'Tag',
'DEDOS')
set(cuadro4,'string',
sprintf('%3.3f',D2))
cuadro5=findobj(gcbf,'Tag',
'MTRES')
set(cuadro5,'string',
sprintf('%3.3f',M3))
cuadro6=findobj(gcbf,'Tag',
'DETRES')
set(cuadro6,'string',
sprintf('%3.3f',D3))
cuadro7=findobj(gcbf,'Tag',
'MCUATRO')
set(cuadro7,'string',
sprintf('%3.3f',M4))
cuadro8=findobj(gcbf,'Tag',
'DECUATRO')
set(cuadro8,'string',
sprintf('%3.3f',D4))
cuadro9=findobj(gcbf,'Tag',
'MCINCO')
set(cuadro9,'string',
sprintf('%3.3f',M5))
cuadro10=findobj(gcbf,'Tag',
'DECINCO')
set(cuadro10,'string',
sprintf('%3.3f',D5))
cuadro11=findobj(gcbf,'Tag',
'MSEIS')
set(cuadro11,'string',
sprintf('%3.3f',M6))
cuadro12=findobj(gcbf,'Tag',
'DESEIS')
set(cuadro12,'string',
sprintf('%3.3f',D6))
cuadro13=findobj(gcbf,'Tag',
'MSIETE')
set(cuadro13,'string',
sprintf('%3.3f',M7))
cuadro14=findobj(gcbf,'Tag',
'DESIETE')
set(cuadro14,'string',
sprintf('%3.3f',D7))
cuadro15=findobj(gcbf,'Tag',
'MOCHO')
set(cuadro15,'string',
sprintf('%3.3f',M8))
cuadro16=findobj(gcbf,'Tag',
'DEOCHO')
set(cuadro16,'string',
sprintf('%3.3f',D8))

cuadro17=findobj(gcbf,'Tag',
'MNUEVE')
set(cuadro17,'string',
sprintf('%3.3f',M9))
cuadro18=findobj(gcbf,'Tag',
'DENUEVE')
set(cuadro18,'string',
sprintf('%3.3f',D9))
cuadro19=findobj(gcbf,'Tag',
'MDIEZ')
set(cuadro19,'string',
sprintf('%3.3f',M10))
cuadro20=findobj(gcbf,'Tag',
'DEDIEZ')
set(cuadro20,'string',
sprintf('%3.3f',D10))
cuadro21=findobj(gcbf,'Tag',
'MPROMEDIO')
set(cuadro21,'string',
sprintf('%3.3f',MG))
cuadro22=findobj(gcbf,'Tag',
'DPROMEDIO')
set(cuadro22,'string',
sprintf('%3.3f',DG))
case 'mesh',
mesh( evalin('caller',get(gcbf,
'UserData'))))
R=findobj(gcbf,'Tag', 'rojo')
R1=get(R,'Value')
V=findobj(gcbf,'Tag',
'verde')
V1=get(V,'Value')
A=findobj(gcbf,'Tag', 'asul')
A1=get(A,'Value')
TR=findobj(gcbf,'Tag','ambiente')
)
set(TR,'color',[R1 V1 A1])

```

```

case 'surf',
surf( evalin('caller',get(gcbf
, 'UserData')))
case 'contour1',
contour3(evalin('caller',get(gcb
, 'UserData')), 90)
case 'contour2',
contour3(evalin('caller',get(gcb
, 'UserData')), 200)
case 'surfc',
surfc( evalin('caller',get(gcbf
, 'UserData')))
case 'meshz',
meshz( evalin('caller',get(gcbf
, 'UserData')))
case 'surfl',
waterfall(evalin('caller',get(gcbf
, 'UserData')))
case 'hidden',
hidden
case 'flat',
shading flat
case 'interp',
shading interp
case 'faceted',
shading faceted
case 'autumn',
colormap(autumn)
case 'bone',
colormap(bone)
case 'colorcube',
colormap(colorcube)
case 'cool',
colormap(cool)
case 'hot',
colormap(hot)
case 'copper',
colormap(copper)
case 'hsv',
colormap(hsv)
case 'mapa'
R=findobj(gcbf,'Tag','rojo')
R1=get(R,'Value')
V=findobj(gcbf,'Tag','verde')
V1=get(V,'Value')
A=findobj(gcbf,'Tag','asul')
A1=get(A,'Value')

TR=findobj(gcbf,'Tag','ambiente)

set(TR,'color',[R1 V1 A1])
case 'default'
colormap('default')
case 'limpiar'
refresh
case 'cerrar',
close(gcbf)
end

```

A continuación se muestra la ventana principal del programa:

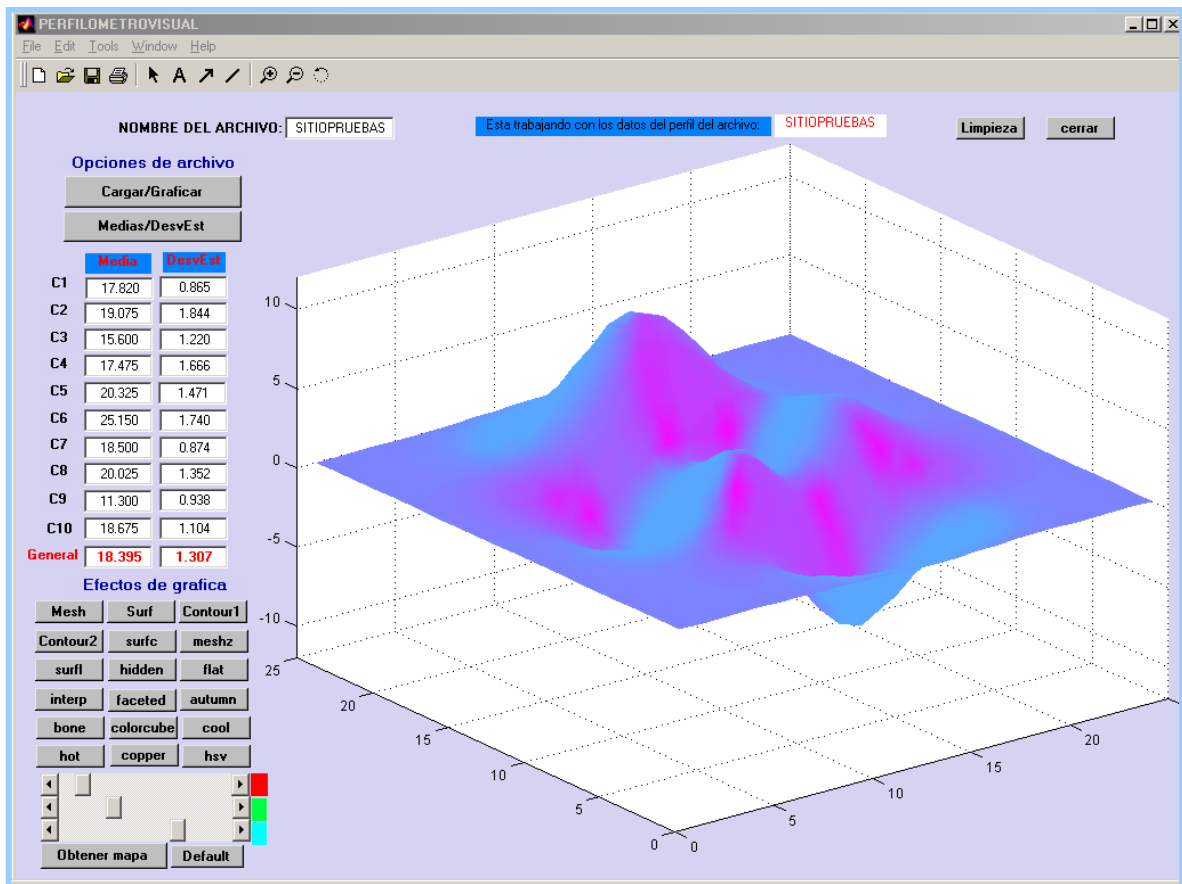


Fig. 2.1 Ventana principal del programa.

Nota: los valores de C1 a C10 indican las medias de las lecturas de las veinte varas en cada una de las 10 posiciones.

USO DEL PROGRAMA PERFILOMETRO PRUEBA: Microrrelieve

El programa para el análisis de los puntos de medición con el perfilometro se usa de la siguiente forma:

1. El programa fue adecuado para analizar 200 lecturas dadas por el marco de medición. En caso de querer analizar un numero mayor de lecturas hay que hacer los ajustes correspondientes al código.
2. Introducir las lecturas realizadas en el punto de medición a un archivo dentro de Excel para posteriormente ser guardado en una carpeta de trabajo dentro de Matlab. Estas lecturas también pueden introducirse directamente en el editor alfanumérico (Debugger) y posteriormente ser guardadas en una carpeta de trabajo como un archivo m.
3. Una vez que se tengan listos todos los archivos de análisis procedemos a abrir el programa previamente cargado en la misma carpeta de trabajo.
4. Una vez abierta la ventana del programa, procedemos a escribir el archivo con el que vamos a trabajar en el editable correspondientes, sin agregar la extensión del programa.
5. Después de introducir el nombre del archivo de trabajo procedemos a presionar el botón cargar - graficar, inmediatamente después aparecerá la grafica en dos dimensiones con los valores de alturas graficados, al mismo tiempo que la parte superior de la grafica indicara el archivo con el que se esta trabajando en ese momento. En caso de que no suceder esto valla a la ventana de principal de Matlab y cárguelo manualmente.
6. Para calcular los valores de las medias y las desviaciones oprima el botón calcular, inmediatamente aparecerán estos valores en las casillas y la grafica pasara a formar una superficie designada por los valores de las alturas del archivo.

7. Para lograr el efecto de superficie deseado, experimentar con los botones de la sección de efectos. Cada una de los resultados pueden ser guardados a conveniencia del usuario para su posterior análisis. Para salir del programa pulse salir.

Cuadro 3.1 Valores obtenidos para la calibración del dinamómetro.

Peso(N)	Voltaje de salida		Línea regresión(V)	Línea regresión(W)
	Carga	Descarga		
0	0	0.11	0.00	0
459.1	0.025	0.08	0.03	446.975
910.368	0.05	0.05	0.05	884.95
1351.818	0.08	0.03	0.08	1410.52
1793.268	0.1	0	0.10	1760.9

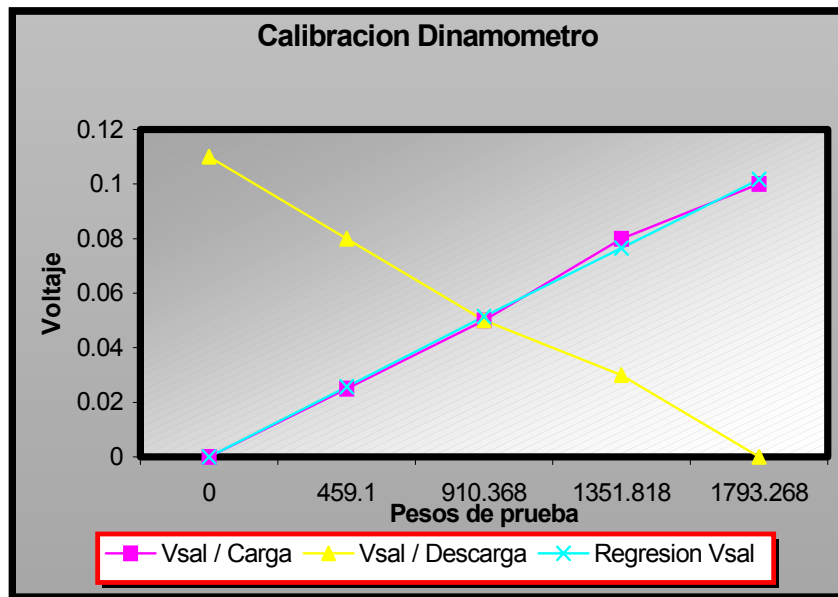


Fig. 3.1 Curva de calibración para el dinamómetro.

Los valores de la curva de regresión fueron obtenidos mediante mínimos cuadrados.

ANEXO 4

PRUEBA: INCORPORACION DE SUELO

METODO: IMAGEN PROCESING PROGRAM 1.1 (2003.03.17) by OHSHTA

DESCRIPCION DEL METODO:

Este método consistió en tomar una fotografía digital con una cámara digital (CIBERSHOT 1024 x 728) en los puntos donde se colocó la capa de cal (1 x 1 m) antes y después de la prueba.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA:

El funcionamiento del programa consiste en analizar cada una de las fotos con formato .bmp (imagen mapa de bits), e interpretar mediante efectos el número de puntos(píxeles) que contiene cada una. Después mediante la aplicación de la siguiente fórmula se puede obtener el porcentaje de incorporación de suelo en cada uno de los puntos de prueba:

$$\%IS = [(RA - RD)/(RA)] \cdot 100 \dots \dots \dots (4.1)$$

Donde:

%IS : porcentaje de incorporación de suelo después del paso de los discos.

RA: Ratio(parámetro del programa)de la foto antes de la prueba.

RD: Ratio de la foto después de la prueba.

EJEMPLO ILUSTRATIVO:

A continuación se presenta un ejemplo de un punto de la parcela número 3 donde se utilizaron los discos con un 12 % de desgaste:

1. Abrir la foto antes del paso de los discos, buscar y escribir un valor para la opción threshold en el cual al hacer click en el botón binary se observe la menor cantidad de puntos fuera del área de la capa de cal (escoger la casilla de verificación bw).

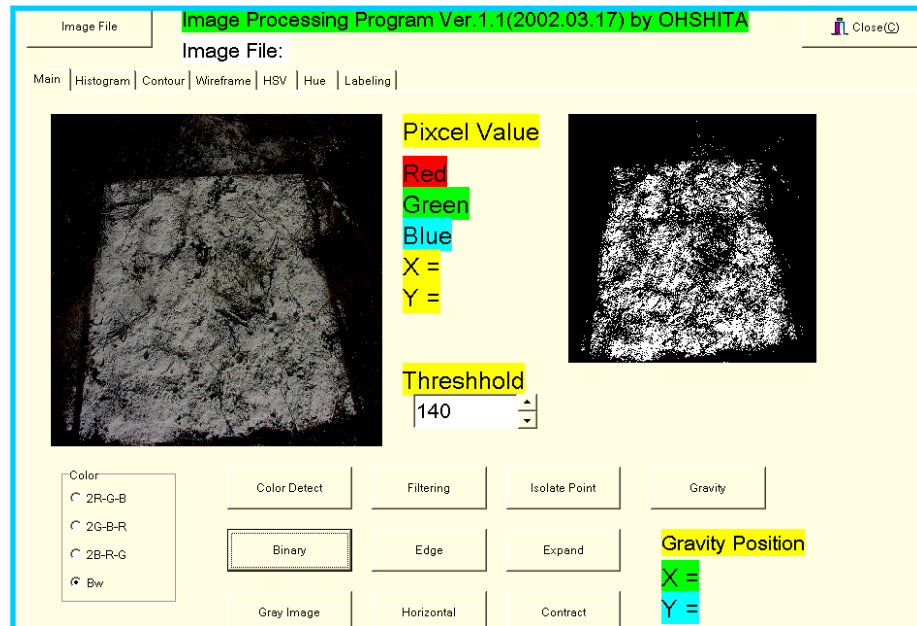


Fig. 4.1 Análisis de la foto antes del paso de los discos.

2. Hacer click en la pestaña wireframe , después hacer click en la casilla de verificación bw o 2G-B-R y en botón wireframe image. Lo que obtenemos es una grafica tridimensional de la distribución de la cal sobre el metro cuadrado de prueba.

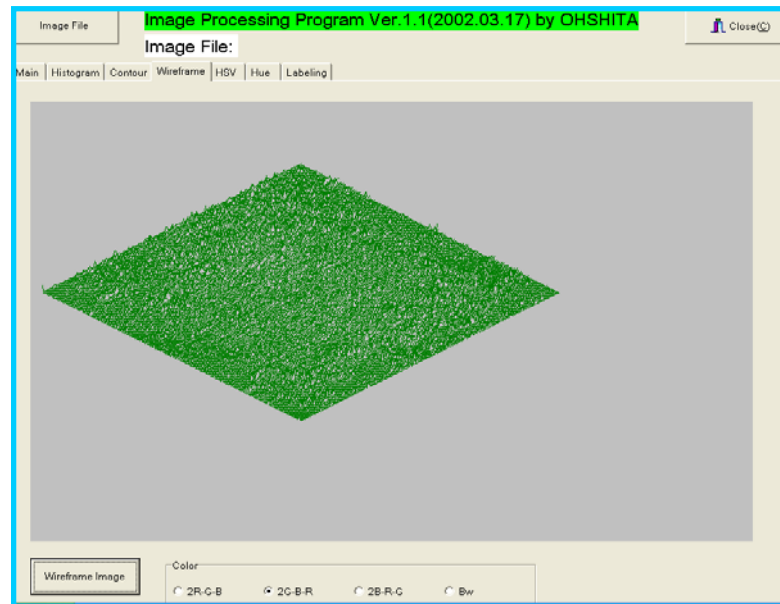


Fig. 4.2 Obtención de una grafica de picos de la foto antes de la prueba.

3. El siguiente paso consiste en hacer click en la pestaña histogram, escribir el mismo valor para el threshold del paso 1, escoger la casilla de verificación bw y oprimir el botón binary image, en la parte inferior obtendremos el valor del ratio correspondiente para esta foto. Realizar el mismo procedimiento para la foto después del paso de los discos. La incorporación de suelo se calcula con los dos ratios obtenidos de ambas fotos y aplicando la formula descrita.



Fig. 4.3 Obtención del radio para la foto antes de la evaluación.

Cuadro 1. Coberturas y pedregosidad en bloques

BLOQUES	REPETICION	%COBERTURA	%PEDREG.	%CP	%PP
1 y 2	1	55	0	64.12	0
0% Y 6%	2	71	0	Desv = 10.83	Desv = 0
DD	3	77	0		
	4	47	0		
	5	71	0		
	6	64	0		
	7	50.9	0		
	8	75.4	0		
	9	57.3	0		
	10	72.6	0		
3	1	68.65	0	65.35	0.83
12%	2	56.8	1	Desv = 6	Desv = .89
DD	3	72.9	2.15		
	4	63.75	0		
	5	64.65	1		
4	1	48.3	0	62.89	1.96
20%	2	89.9	1	Desv = 16.91	Desv = 2.74
DD	3	63.8	6.8		
	4	63.7	1		
	5	48.75	1		

Definición de literales:

%CP : Porcentaje promedio de cobertura observado

%PP : Porcentaje promedio de pedregosidad observado

Cuadro 2. Porcentajes de humedad a 30 cm de profundidad antes de las pruebas

BLOQUES	REPETICION	%H	%HP
1	1	6.43	10.64
0% DD	2	7.68	Desv = 3.64
	3	13.34	
	4	10.73	
	5	15.05	
2	1	15.15	11.42
6% DD	2	8.92	Desv = 2.47
	3	9.41	
	4	11.83	
	5	11.83	
3	1	10.75	11.19
12% DD	2	12	Desv = 2.065
	3	9.65	
	4	14.34	
	5	9.21	
4	1	9.28	11
20% DD	2	12.23	Desv = 1.35
	3	12.5	
	4	10.75	
	5	10.27	

Definición de literales:

%H : Porcentaje de humedad

%HP : Porcentaje de humedad promedio.

Cuadro 3. Resistencia a la penetración en el sitio de prueba.

BLOQUE	R	VOLTMAX (Volts)	FUERZA (KN)	FUERZAPROM (KN)	DESVEST	RESISTENCIA PENETRACION (MPA)	%H PROMEDIO
1	1	6.35	1.86	1.10	0.50	1.218	10.64
0 % DD	2	4.38	1.28			Desv = .5	
	3	3.3	0.97				
	4	1.76	0.52				
	5	3	0.88				
2	1	3	0.88	0.95	0.21	1.056	11.42
6 % DD	2	4.43	1.30			Desv = .2	
	3	3.38	0.99				
	4	2.5	0.73				
	5	2.98	0.87				
3	1	6.23	1.82	1.28	0.54	1.412	11.19
12 % DD	2	3.11	0.91			Desv = .5	
	3	6.2	1.81				
	4	2.04	0.60				
	5	4.21	1.23				
4	1	2.93	0.86	1.21	0.32	1.341	11
20 % DD	2	5.54	1.62			Desv = .3	
	3	4.14	1.21				
	4	3.24	0.95				
	5	4.84	1.42				

Área de cono = .0008157 m²
 Angulo del cono = 20 °

Cuadro 4. Incorporación de residuos en los bloques de evaluación.

Bloque	R	Peso seco (gr.) Antes prueba	Peso seco (gr.) Después prueba	PSPA (Ton/ha)	PSPD (Ton/ha)	IR (Ton/ha)
1	1	136.52	78	7.2	1.76	5.44
0%DD	2	164.35	23	Desv = 73	Desv = 23	
	3	175.48	48.36			
	4	305.82	23.1			
	5	118.31	48.46			
2	1	136.52	22.81	7.2	1.021	6.179
6%DD	2	164.35	13.07	Desv = 73	Desv = 13	
	3	175.48	39.25			
	4	305.82	13.17			
	5	118.31	39.35			
3	1	46	33.56	6.1	.5	5.6
12%DD	2	117.88	7.86	Desv = 100	Desv = 12	
	3	314.2	2			
	4	170	12			
	5	110	7			
4	1	110.11	32.3	4.11	.8	3.31
20%DD	2	85	9.8	Desv = 16	Desv = 10	
	3	117	25.4			
	4	85.1	9.9			
	5	117.1	25.5			

Definición de literales:

PSPA = Peso seco promedio antes de las pruebas de evaluación

PSPD = Peso seco promedio después de las pruebas de evaluación

IR = Incorporación de residuos

Cuadro 5. Densidad aparente antes de las pruebas de evaluación.

N	R	Densidad aparente (gr / cm ³)						Porcentaje de humedad en el perfil (%)						Promedios						Parámetros
		5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30		Perfil (cm)
1	1	2.88	1.18	1.45	0.928	1.19	*	3.2	7.88	14.78	10.7	10.35	*	2.88	1.26	1.31	1.26	1.28	1.46	Densidad (gr / cm ³)
0%	2	2.92	1.37	1.3	1.59	1.36	1.46	6.5	16.7	29	18.2	15.2	13.65	8.23	14.5	19.7	14.5	12.8	13.7	Humedad (%)
DD	3	2.85	1.22	1.17	*	*	*	15	19	15.36	*	*	*							
2	1	3.22	1.18	1.45	0.928	1.19	*	15.25	7.88	14.78	10.7	10.35	*	2.98	1.26	1.31	1.26	1.28	1.46	Densidad (gr / cm ³)
6%	2	2.87	1.37	1.3	1.59	1.36	1.46	5.5	16.7	29	18.2	15.2	13.65	9.35	14.5	19.7	14.5	12.8	13.7	Humedad (%)
DD	3	2.85	1.22	1.17	*	*	*	7.3	19	15.36	*	*	*							
3	1	1.43	0.76	1.23	1.53	1.57	1.62	19.4	14.5	11.8	12.1	11.83	11.4	1.26	1.03	1.24	1.53	1.37	1.5	Densidad (gr / cm ³)
12%	2	1.08	1.3	1.25	1.52	1.16	1.38	25.8	20.6	15.9	15.1	18.4	14.9	22.6	17.6	13.9	13.6	15.1	13.2	Humedad (%)
DD	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
4	1	1.443	1.46	1.37	1.045	*	*	18.7	13.2	11.6	12.9	*	*	1.25	1.46	1.28	1.15			Densidad (gr / cm ³)
20%	2	1.065	*	1.185	1.25	*	*	16.9	*	14.4	16.6	*	*	17.8	13.2	13	14.8			Humedad (%)
DD	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							

Cuadro 6. Densidad aparente después de las pruebas de evaluación.

Bloque	Ho (cm)	Hf (cm)	Densidad antes (gr / cm ³)	Prof. Trabajo (cm)	Densidad después (gr / cm ³)	Densidad después pruebas promedio (gr / cm ³)
1	17.8	25.4	1.46	32.94	1.19	1.19
	19	24.85	1.46	32.94	1.24	
	15.6	24.42	1.46	32.94	1.15	
2	17.8	23.89	1.46	34.88	1.24	1.40
	19	12.37	1.46	34.88	1.80	
	15.6	24.76	1.46	34.88	1.16	
3	20.3	20.48	1.5	25.31	1.49	1.33
	25.1	26.89	1.5	25.31	1.40	
	18.5	27.36	1.5	25.31	1.11	
4	20	23.39	1.15	23.63	1.01	0.93
	11.3	14.91	1.15	23.63	1.00	
	18.8	29.27	1.15	23.63	0.80	

Cuadro 7. Resultados Microrrelieve

BLOQUES	R	RESULTADOS ANTES				RESULTADOS DESPUES			
		Mpun	Dpun	PM	PD	Mpun	Dpun	PM	PD
1	1	17.8	0.75	17.5	1.32	25.4	0.873	24.89	1.202
0 % DD	2	19	1.72			24.85	1.566		
	3	15.6	1.5			24.42	1.168		
2	1	17.8	0.75	17.5	1.32	23.89	0.817	20.34	0.856
6 % DD	2	19	1.72			12.37	0.691		
	3	15.6	1.5			24.76	1.06		
3	1	20.3	2	21.3	1.73	20.48	3.168	24.91	5.238
12 % DD	2	25.1	1.3			26.89	7.374		
	3	18.5	1.9			27.36	5.171		
4	1	20	0.78	16.7	1.23	23.39	2.161	22.52	3.331
20 % DD	2	11.3	1.3			14.91	3.549		
	3	18.8	1.6			29.27	4.282		

Definición de literales:

PM [Promedio de todas las medias de las diferentes puntos de medición, cm]

PD [Promedio de las desviaciones]

Cuadro 8. Fuerzas de tiro sensadas durante las pruebas de evaluación.

BLOQUES	R	Vprom (Volts)	PSD (Volts)	V promvacio (Volts)	PSDvacio (Volts)	Voltaje de trabajo	Fuerza traccional (KN)	Fuerza traccional promedio (KN)	Fuerza promedio por unidad de área transversal (KN/M ²)	Potencia promedio (Kwatts)
1	1	1.4534	0.097	0.30	0.04	1.21	10.21	8.8	33.33	12.54
0 % DD	2	1.2616	0.109			1.03	9.31	Desv = 1.74		
	3	1.2594	0.123			1.05	9.43			
	4	0.9558	0.074			0.69	6.25			
2	1	1.2610	.109	0.30	0.04	1.03	9.30	8.8	33.33	12.54
6 % DD	2	1.4533	.098			1.22	10.22	Desv = 1.73		
	3	1.2595	.122			1.05	9.42			
	4	.9558	.071			.7	6.24			
3	1	1.3753	0.081	0.11	0.02	1.33	11.98	13.78	68.89	22
12 % DD	2	1.7042	0.152			1.73	15.58	Desv = 2.07		
	3	1.3753	0.081			1.33	11.98			
	4	1.7042	0.152			1.73	15.58			
4	1	1.526	0.101	0.09	0.02	1.52	13.64	13.34	66.73	22.15
20 % DD	2	1.3074	0.15			1.35	12.11	Desv = .82		
	3	1.4385	0.209			1.54	13.82			
	4	1.4385	0.209			1.54	13.82			

Cuadro 9. Tiempos, combustible y dimensiones de trabajo.

%DD	BLOQUE	Tiempo Muerto (min.)	Ancho de Trabajo (m)	Largo de trabajo (m)	Tiempo de Trabajo (min.)	Tiempo Efectivo (min.)	Velocidad promedio (km / hr)	Área parcela (m x m)	Combustible consumido (L)	Gasto Horario (L / hr)	Volumen Hectárea (L / Ha)
0	1	5.53	13.6	106.15	25.4	19.86	5.13	1443	3.6	8.5	24.94
6	2	5.28	12.53	103.5	21.93	16.65	5.96	1300	3.35	9.16	25.76
12	3	2.96	6	230	22.16	19.2	5.75	1380	3	8.12	21.73
20	4	3.22	5.7	230	21.23	18	6	1311	3.26	9.2	24.86

Cuadro 10. Lecturas de profundidad.

Bloque	R	Sin Arado	Con Arado	Lectura / suelo firme(cm)	PAP	PRSF	PMDA
1	1	30	30.5	23	31.5	32.94	39.55
0 % DD	2	23	31	30			
	3	32	40	31			
	4	30	35	35			
	5	35	50.5	43			
	6	33	52	31.5			
	7	33	39	33			
	8	30	39	37			
	9	25	36				
	10	43.5	42.5				
2	1	23	26.5	30.5	31	34.88	36.82
6 % DD	2	29	34.2	32.5			
	3	32.7	38	36.5			
	4	29.1	40	41			
	5	31.9	46.2	38.5			
	6	43.8	45.3	26			
	7	31	35	31			
	8	33	38	43			
	9	30	35				
	10	26	30				
3	1	25.5	37	34	21.3	25.31	27.9
12 % DD	2	24.5	34	26.5			
	3	16	19.5	26.5			
	4	24.5	30	26.5			
	5	16	19	18.5			
	6			23.5			
	7			24.5			
	8			22.5			
4	1	33	50	32	24.9	23.63	33.2
20 % DD	2	22	21	24			
	3	15.5	21	16			
	4	31	38	32			
	5	23	36	24			
	6			22			
	7			18			
	8			21			

Definición de literales:

[R] Repeticiones

[PAP] Profundidad aparente promedio medida en el fondo del surco

[PRSF] Profundidad real promedio medida hasta suelo firme

[PMA] Profundidad promedio medida después del paso del arado

Cuadro 11. Porcentaje promedio de patinaje

Parcela	Distancia / 10 r	% S	%PS	Desviación
1	41.1	3.8	10.5	5.4
0 % DD	39	8.7		
	36.7	14		
	40.25	5.8		
	38.68	14		
	34.56	19		
	39.18	8.3		
2	41.32	3.2	6.26	2.07
6 % DD	39.6	7.3		
	40.5	5.2		
	39.32	7.1		
	40.72	4.7		
	38.75	9.3		
	40.15	6		
3	35.53	16	9.5	4.5
12 % DD	39.25	8.1		
	40	6.3		
	39.84	6.7		
	35.53	16		
	39.25	8.1		
	40	6.3		
	39.84	6.7		
4	40.12	6.1	3.2	3.1
12 % DD	39.9	6.6		
	42.67	.1		
	42.25	1		
	40.12	6		
	39.9	6		
	42.67	.1		
	42.25	1		

Cuadro 12. Incorporación de suelo

Parcela	R	%CO	%IS	%PIS	Desviación
---------	---	-----	-----	------	------------

1	1	60	40	65.8	13.79
0 % DD	2	27	73		
	3	20	80		
	4	26	74		
	5	31	69		
	6	50	50		
	7	25	75		
	8	35	65		
2	1	6	94	80.9	14.84
6 % DD	2	38	62		
	3	9	91		
	4	10	90		
	5	19	81		
	6	22	78		
	7	5	95		
	8	44	56		
3	1	24	76	85.5	10.03
12 % DD	2	4	96		
	3	26	74		
	4	8	92		
	5	22	78		
	6	23	77		
	7	5	95		
	8	4	96		
4	1	42	58	55.9	14.83
20 % DD	2	50	50		
	3	29	71		
	4	70	30		
	5	42	58		
	6	41	59		
	7	56	44		
	8	23	77		

Definición de literales:

[% CO] Porcentaje de cal observada en los diferentes puntos de prueba

[% I S] Porcentaje de incorporación de suelo en cada uno de los puntos

[% P I S] Porcentaje promedio de incorporación de suelo

Cuadro 13. Tamaño promedio de terrones obtenidos de las lecturas de los tamices (TPt)

B	R	Mediciones en campo (Kg.)						% por rango						Promedio por rango (Kg.)						% por rango						mm	TPt	%H
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
1	2	0	1.4	1.4	2.7	7.58	38	0	2.8	2.7	5.25	14.9	74.4	1.4	3.1	2.37	2.29	6.4	21.7	3.73	8.4	6.4	6.2	17	58	21.8	5.7	
0%	3	2.3	5.7	2.9	2.6	4.85	8.6	8.6	21	11	9.51	18.1	31.9															
DD	4	0	0.5	1.4	1.5	7.08	25	0	1.3	3.9	4.24	19.7	70.8															
	5	3.3	4.9	3.8	2.4	5.9	15	9.3	14	11	6.86	16.9	42.1															
2	1	0	4.8	3	3.4	7.9	24	0	11	7	7.91	18.4	55.5	0.7	2.5	2.32	2.53	6.8	22.7	1.76	6.8	6.2	6.7	18	61	18.5	4.9	
5%	2	2.7	3.6	1.8	1.8	4.73	15	8.9	12	5.9	5.85	15.8	51.5															
DD	3	0	1.7	2.4	2.2	6.95	20	0	5.1	7.3	6.58	20.8	60.3															
	4	0	2.1	1.9	3.1	7.6	24	0	5.4	4.9	7.79	19.4	62.5															
	5	0.7	0.4	2.5	2.2	6.58	30	1.6	0.9	6	5.32	15.7	70.5															
3	1	1	1.7	2.6	1.9	6.55	29	2.3	3.9	6	4.41	15.2	68.1	4.7	2.6	2.45	2.37	5.6	15.8	14.2	7.9	7.3	7.1	17	47	32.2	7.9	
2%	2	2.1	3.5	4.1	3.5	5.73	9.5	7.5	12	14	12.3	20.1	33.4															
DD	3	4.7	2.8	2.7	3.3	7.88	20	11	6.7	6.4	7.99	18.9	48.6															
	4	15	2.5	1	1.5	2.99	7	49	8.6	3.3	4.94	10.1	23.7															
	5	1.2	2.6	1.9	1.6	4.75	13	5	11	7.6	6.61	19.2	51															
4	1	4.5	3.1	2.9	2.3	5.93	21	11	7.9	7.2	5.84	15	52.6	3.3	2.8	1.97		6.8	16.2	9.94	8.4	6	6.3	20		28.2	6.6	
0%	2	1	2.9	0.9	0.9	4.3	16	3.7	11	3.5	3.48	16.6	61.5															
DD	3	2.1	0.8	1.2	1.3	6.9	15	7.8	3.1	4.3	4.94	25.7	54.1															
	4	6.5	4.5	2.8	3.1	8.65	17	15	10	6.5	7.28	20.3	40.4															
	5	2.5	2.6	2.2	2.9	8.1	13	8	8.4	7.1	9.25	26.3	40.9															

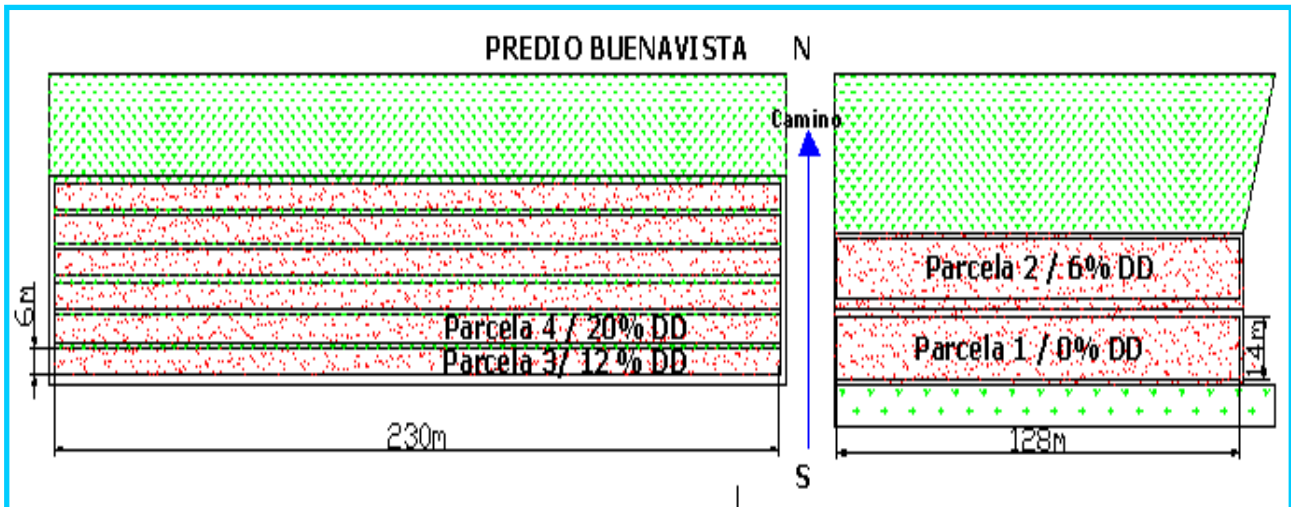
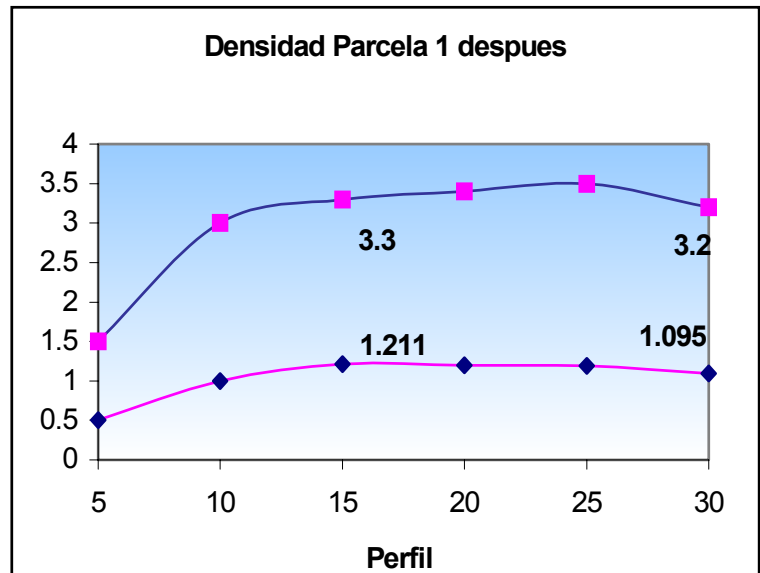
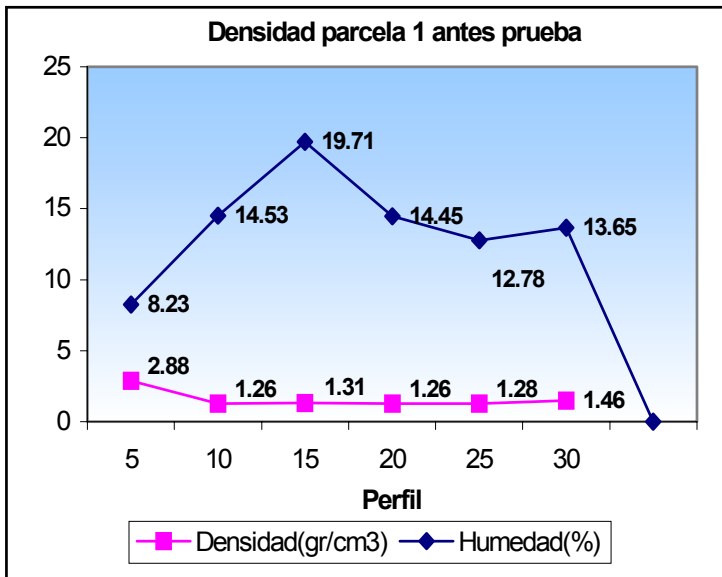
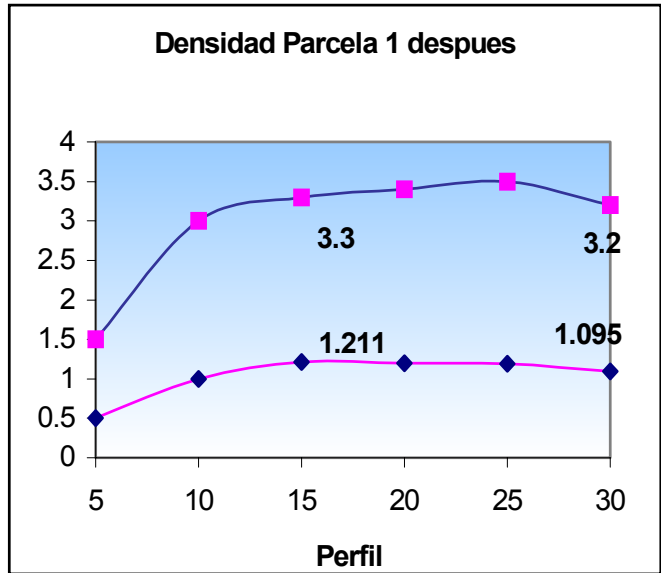
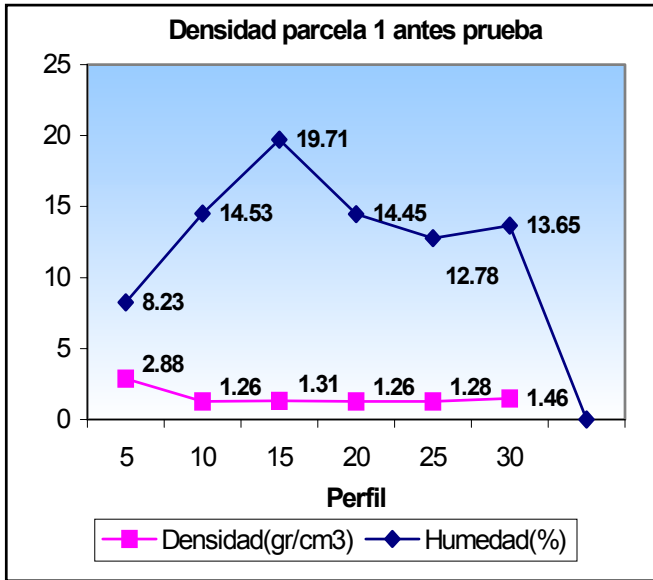


Figura 1. Distribución de los índices de desgaste en las cuatro bloques de prueba
 Bloque = Parcela





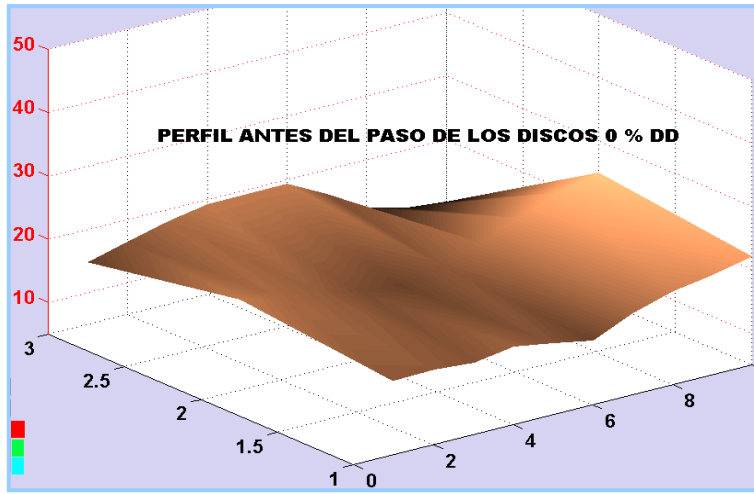


Figura 8.

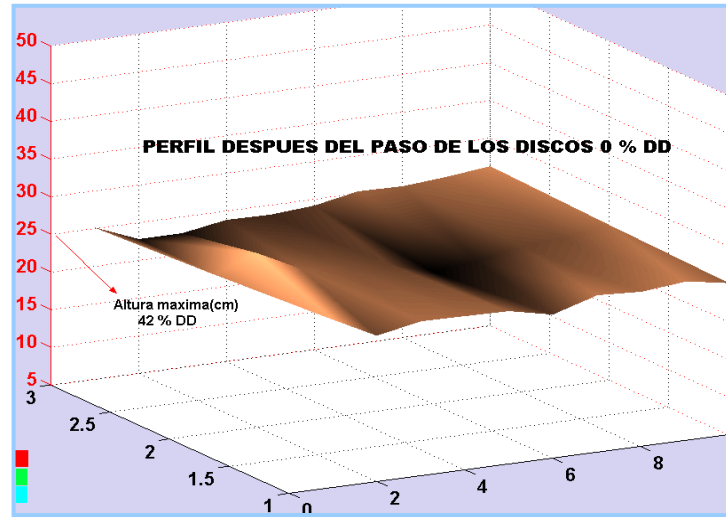
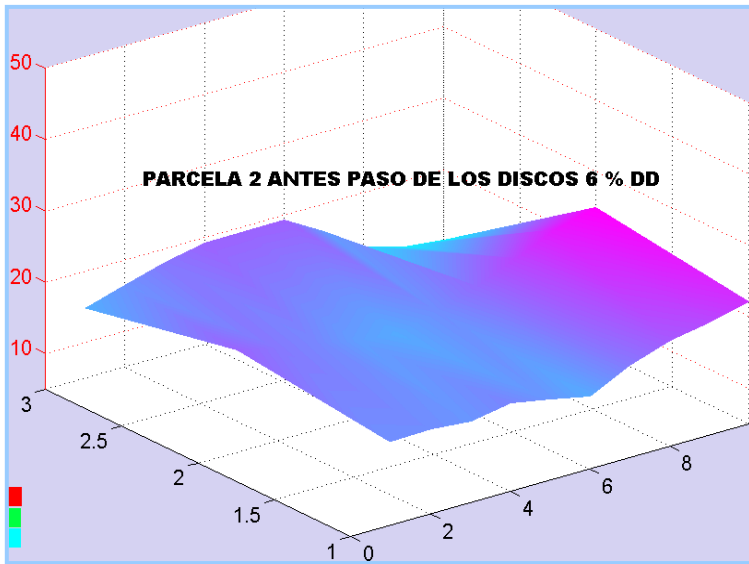


Figura 9.

Fig.10 Altura promedio=17.5cm Desviación 1.3



1.2

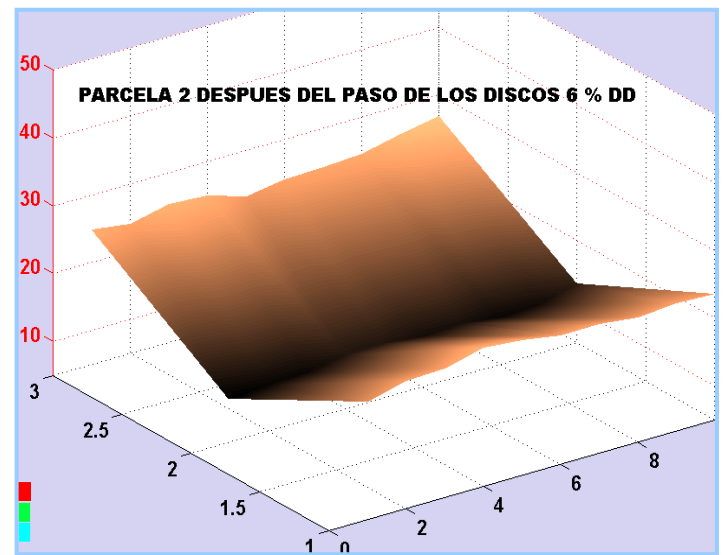


Fig. 11 Altura promedio = 24.89 cm / Desviación:

