

1183

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRICULTURA



EFFECTOS DE LOS METODOS DE LABRANZA SOBRE LA EROSION
EOLICA EN LA REGION DE PANFILO NATERA, ZAC.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO
ORIENTACION SUELOS

PRESENTA:

CARLOS EDUARDO BARRAGAN VILASEÑOR

GUADALAJARA, JALISCO, 1986



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Facultad de Agricultura

Agosto 26, 1965

Expediente

Número

C. PROFESORES

ING. ARTURO CURIEL BALLESTEROS. DIRECTOR.
ING. ROGELIO HUERTA ROSAS. ASESOR.
ING. FLORENTINO SANCHEZ SAMANTEGO. ASESOR.

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

"EFECTOS DE LOS METODOS DE LABRANZA SOBRE LA EROSION EOLICA EN LA REGION DE PANFILO MATERA, ZAC."

presentado por el PASANTE ~~CARLOS EDUARDO BARRAZA VILLASEOR~~ han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

"PIENSA Y TRAJAJA"
EL SECRETARIO.

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL.



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

Al contestar este oficio sírvase citar fecha y número



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Facultad de Agricultura

Expediente

Número

Agosto 20, 1965.

ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRICULTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.
PRESENTE.

Habiendo sido revisada la Tesis del PASANTE _____
CARLOS EDUARDO BARRAGAN VILLASENOR titulada,
"EFECTOS DE LOS METODOS DE LABRANZA SOBRE LA EROSION EOLICA EN LA
REGION DE PANFILO MATERA, ZAC."

Damos nuestra aprobación para la impresión de la
misma.

DIRECTOR.

ING. ARTURO CURIEL BALLESTEROS.

ASESOR.

ING. ROGELIO HUERTA ROSAS.

ASESOR.

ING. FLORENTINO SANCHEZ SAMANIEGO.

hlg

Al contestar este oficio sírvase citar fecha y número

D E D I C A T O R I A



**ESCUELA DE AGRICULTURA:
BIBLIOTECA**

A mis padres:

Adolfo y Martha

que con su amor han contribuido en mi formación profesional así como en mi persona.

A mis hermanos:

Beatriz, Blanca, Sergio, Mario, Ana y Marthita
por su ayuda y su comprensión.

A mis abuelos paternos:

Ramón y Marfa.

por su cariño que siempre me han brindado.

A mi tío:

Carlos

quien ha sido un segundo padre, le doy gracias por su cariño y confianza.

A mi abuelita materna:

Mary

por su apoyo moral.

A quien mi corazón ha escogido como compañera de mi vida.

Paty.

A todos mis tíos y tías, especialmente a mis tías

Chelo y Cachy

por su cariño y apoyo moral.

A todos mis primos, para que continúen por el camino de la superación.

A mi amigo de toda una vida:

Fernando

por su amistad incondicional y siempre sincera.

Con afecto a mis amigos:

Alejandro, Andrés, Gerardo, Javier y Perita

por su confianza y amistad.

A todos los que de una forma u otra contribuyeron en la realización de esta tesis.



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

A G R A D E C I M I E N T O S

Este trabajo se realizó gracias a la ayuda de muchas personas que con su dirección y apoyo colaboraron conmigo.

Al Dr. Benjamín Figueroa Sandoval, Profesor-Investigador y Director del CREZAS-CP por su asesoría incondicional otorgada durante todo mi trabajo.

A la Dra. Susan E. Meyer, ex-Profesor-Investigador del CREZAS-CP, por sus valiosas sugerencias.

Al Dr. Maximino Luna Flores, Investigador del Campo Agrícola Experimental de Calera, Zac. por su orientación brindada en la realización de mi trabajo.

A los catedráticos de la Facultad de Agricultura de la -- Universidad de Guadalajara: Ing. Arturo Curiel Ballesteros, -- Ings. Florentino Sánchez Samaniego y Rogelio Huertas Rosas, Director y Asesores respectivamente de este trabajo por su cooperación y sugerencias.

A las Secretarías del CREZAS-CP: Esperanza Robledo Martínez, Galita Figueroa, Lidia López Monsiváis, Ma. Guadalupe Estrada de F. y a Ma. de la Luz Cerda, por su cooperación en cada una de las etapas de mi trabajo.

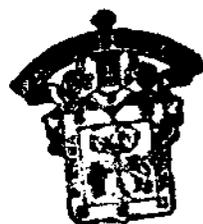
Un agradecimiento sincero a la Sra. Esperanza Robledo por su eficiente labor mecanográfica en la realización de esta tesis.

A mis compañeros del CREAS-CP por su ayuda y apoyo brindado a lo largo de mi estancia en el Centro.

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
ESCUELA DE AGRICULTURA

METODOS DE LABRANZA Y LA EROSION EOLICA DE LA
REGION DE PANFILO NATERA, ZAC.

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRONOMO
ESPECIALISTA EN SUELOS
PRESENTA
CARLOS EDUARDO BARRAGAN VILLASENOR



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

GUADALAJARA, JAL.

1986

Este trabajo se realizó en el Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas del Colegio de Postgraduados (CREZAS-CP), como parte de su programa de Becas para Tesis de Licenciatura en Agronomía y Biología.

La realización de la investigación se llevó a cabo durante el período comprendido de Febrero/84 a Marzo/85.



CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
1.1. Justificación	1
1.2. Trabajos previos e importancia en México.	3
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS	5
2.1. Objetivo	5
2.2. Hipótesis	5
2.3. Supuestos.	5
III. ANTECEDENTES	6
3.1. Generalidades	6
3.2. Definición de la erosión	6
3.3. Agentes de la erosión	6
3.4. Definición de erosión eólica	7
3.5. Factores de la erosión eólica	7
3.5.1. Factor viento	7
3.5.1.1. Velocidad del viento sobre una super- ficie estable.	7
3.5.1.2. Velocidad del viento sobre una super- ficie erosionable.	10
3.5.1.3. Fuerzas en el umbral del movimiento- del suelo	12
3.5.1.4. Comienzo del movimiento del suelo	14
3.5.1.5. Movimiento de las partículas del sue- lo	16
3.5.1.6. Mecánica del proceso erosivo del --- viento	19
3.5.1.6.1. Remoción	20
3.5.1.6.2. Transporte	20
3.5.1.6.3. Deposición	22
3.5.1.7. Formas de erosión eólica	24
3.5.2. Factor suelo	26
3.5.2.1. Factores primarios del suelo que in- fluyen en la erosión eólica.	26



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

	Pág.
3.5.2.1.1. Humedad del suelo y efectos de las gotas de lluvia.	26
3.5.2.1.2. Tamaño, forma y densidad de las fracciones del suelo erodables y no erodables	28
3.5.2.1.3. Estabilidad mecánica y abrasabilidad de las unidades estructurales del suelo	30
3.5.2.1.3.1. Agregados primarios (estables en agua)	31
3.5.2.1.3.2. Agregados secundarios, agregados secos o terrones.	33
3.5.2.1.3.3. Materiales finos entremezclados con los agregados secundarios	34
3.5.2.1.3.4. Costra superficial	35
3.5.2.2. Factores básicos del suelo	37
3.5.2.2.1. Textura del suelo	37
3.5.2.2.2. Estructura estable en agua	39
3.5.2.2.3. Materia orgánica	40
3.5.2.2.4. Carbonatos de Calcio	42
3.5.3. Factor superficie del suelo	43
3.6. Control de la erosión eólica	44
3.6.1. Atrapamiento de las partículas del suelo en movimiento	45
3.6.1.1. Principios de las barreras superficiales	45
3.6.1.2. Cubierta vegetal	47
3.6.1.3. Métodos de labranza	48
3.6.1.3.1. Implementos agrícolas	48
3.6.1.3.1.1. Máquinas que voltean la capa labrada.	49
3.6.1.3.1.2. Máquinas que revuelven el suelo.	51

3.6.1.3.1.3. Máquinas que cortan bajo la superficie sin revolver ni voltear la capa labrada.	51
3.6.2. Consolidación y agregación de las partículas atrapadas y revegetación de la superficie (dunas)	53
3.7. Vientos.	54
IV. MATERIALES Y METODOS	57
4.1. Localización de la zona de estudio	57
4.2. Localización del experimento	58
4.3. Descripción del área del experimento	58
4.3.1. Ubicación	58
4.3.2. Clima	59
4.3.2.1. Precipitación	60
4.3.2.2. Temperatura	60
4.3.2.3. Heladas	60
4.3.2.4. Granizo	60
4.3.2.5. Vientos	61
4.3.3. Geología	61
4.3.4. Topografía	62
4.3.5. Suelo	63
4.3.6. Vegetación	63
4.4. Establecimiento y conducción del experimento	66
4.4.1. Preparación del terreno	67
4.4.2. Toma de muestras de suelo y mediciones	67
4.4.2.1. Antes de la preparación del terreno	67
4.4.2.2. Antes de la época de viento	68
4.4.2.3. Después de la época de viento	69
4.4.2.4. Medición de las varillas	69
4.4.3. Siembra	69
4.4.4. Labores de cultivo	70
4.4.5. Toma de datos fenológicos	70
4.4.6. Cosecha	71
4.4.7. Rendimiento	71

	Pág.
4.4.8. Análisis estadísticos	73
V. RESULTADOS	74
5.1. Antes de la preparación del terreno	74
5.1.1. Densidad aparente (DA)	74
5.1.2. Resistencia al penetrómetro	77
5.2. Datos obtenidos en el establecimiento de los métodos de labranza	78
5.2.1. Antes de la época de viento	78
5.2.1.1. Densidad aparente	78
5.2.1.2. Resistencia al penetrómetro	82
5.2.2. Después de la época de vientos	84
5.2.2.1. Densidad aparente	84
5.2.3. Medición de las varillas	86
5.2.4. Humedad del suelo	89
5.3. Siembra	89
5.3.1. Humedad del suelo	89
5.3.2. Germinación	92
5.3.3. Datos fenológicos	92
5.3.3.1. Altura de planta y número de hojas - de maíz	92
5.3.3.2. Altura de planta y número de vainas - en frijol	92
5.4. Cosecha	96
5.4.1. Maíz	96
5.4.2. Frijol	96
VI. DISCUSION	100
6.1. Antes de la preparación del terreno	100
6.1.1. Densidad aparente	100
6.1.2. Resistencia al penetrómetro	101
6.2. Datos obtenidos en el establecimiento de los métodos de labranza	101
6.2.1. Antes de la época de viento	101
6.2.1.1. Densidad aparente	101

	Pág.
6.2.1.2. Resistencia al penetrómetro	102
6.2.2. Después de la época de viento	103
6.2.2.1. Densidad aparente	103
6.2.3. Medición de las varillas	104
6.2.4. Humedad del suelo	109
6.3. Siembra	110
6.3.1. Humedad del suelo	110
6.3.2. Germinación	111
6.3.3. Datos fenológicos	112
6.3.3.1. Altura de planta y No. de hojas en - maíz	113
6.3.3.2. Altura de planta y No. de vainas en- frijol.	114
6.4. Cosecha	114
6.4.1. Maíz	114
6.4.2. Frijol	116
VII. CONCLUSIONES	118
VIII. RESUMEN	119
IX. LITERATURA CITADA	121
X. APENDICE	126



INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Area de estudio expresado en ha y en % por Estado	58
2	Límites de confiabilidad para determinar la homogeneidad del terreno en cuanto a densidad aparente	76
3	Densidad aparente promedio de cada parcela donde se aplicarían posteriormente los tratamientos de labranza y su comparación por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)	76
4	Límites de confiabilidad para determinar la homogeneidad del terreno en cuanto a la resistencia a la penetración	81
5	Resistencia promedio al penetrómetro a las dos profundidades de cada parcela donde se aplicarían posteriormente los tratamientos de labranza y su comparación por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)	81
6	Densidad aparente promedio producida por los implementos agrícolas empleados en cada tratamiento al establecerse éstos en el terreno y su comparación por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)	83
7	Resistencia promedio a la penetración producida por los implementos agrícolas empleados en cada tratamiento al establecerse éstos en el terreno y su comparación por medio de la prueba de t ($\alpha = 0.05$), para varianzas no homogéneas	83
8	Densidad aparente promedio registrada al final de la época de viento y su comparación por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)	85
9	Comparación entre la densidad aparente promedio inicial y final de cada tratamiento, por medio de la prueba de Student's al 5% de probabilidad.	85
10	Variaciones medias de las varillas registradas por tratamiento, en las fechas en que se les tomó	

Cuadro	Pág.
su altura y su comparación mediante la prueba de t ($\alpha = 0.05$), para varianzas no homogéneas	87
11 Humedad promedio registrada dentro de los tratamientos, durante las fechas en que se tomó la altura de las varillas	91
12 Registro de la humedad promedio de los tratamientos de labranza, durante el período que duraron los cultivos en el campo y su comparación estadística por medio de la prueba de Duncan al 5% de probabilidad	93
13 Comparación del promedio de semillas germinadas de maíz y frijol por tratamiento, por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)	94
14 Comparación de altura de planta y No. de hojas promedio en maíz, registradas en cada uno de los tratamientos, mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)	95
15 Comparación de altura de planta y No. de vainas; promedio en frijol, registradas en cada uno de los tratamientos, mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)	97
16 Relación de la producción de maíz obtenida por los diferentes métodos de labranza (en la región de Pánfilo Natera, Zac.)	98
17 Relación de la producción de frijol obtenida por los diferentes métodos de labranza (en la región de Pánfilo Natera, Zac.)	99
18 Pérdidas finales de suelo, obtenidas por los tratamientos de labranza empleados en el sitio donde se realizó el presente trabajo y el estudio hecho anteriormente en la región de Pánfilo Natera, Zac.	108

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.	
1	Diagrama que ilustra las posiciones del suelo y de los elementos ásperos producidos por la vegetación sobre la superficie del suelo (marcado con las líneas sesgadas). Donde $K_t = D_h + A_r$; en la cual K_t es la superficie total de asperezas, D_h es la altura de desplazamiento cero y A_r es la superficie aerodinámica (Chepil y Woodruff, 1963).	9
2	Ejemplos de las distribuciones de velocidad por encima de una superficie del suelo cuando está en erosión (líneas discontinuas) y cuando no es erosionable (líneas gruesas) (Chepil, 1941 citado por Chepil y Woodruff, 1963)	12
3	Fuerzas actuando sobre un grano del suelo (Fuerza de gravedad, resistencia al avance y resistencia ascendente) en el umbral de su movimiento (Chepil 1959b)	13
4	Trayectoria del viento sobre una superficie. a) Las partículas pequeñas no penetran en la capa turbulenta y no son arrastradas por éste. b) Las partículas de mayor tamaño sí penetran en la capa turbulenta y son susceptibles al arrastre (FAO, 1961)	15
5	Tipos de movimiento de las partículas del suelo	16
6	Movimiento del suelo por acción del viento, como una función del diámetro de partículas (Hudson, 1971 citado por C.P. 1977)	20
7	Ilustración que representa las unidades estructurales de un suelo (Chepil, 1953b)	31
8	Diagrama que representa a las fracciones no erodables protegiendo a las fracciones erodables (principio de las barreras superficiales) (Chepil, 1960a)	46

Figura	Pág.
9 Movilización del viento: a) Remolinos, b) Corrientes intermitentes y c) Torbellinos (Colegio de Postgraduados, 1977)	55
10 Causa de los vientos	56
11 Localización del área de influencia del CREZAS-CP	57
12 Localización del área del experimento	59
13 Vientos que afectan el área de influencia del CREZAS-CP.	62
14 Área del experimento y ubicación de los tratamientos de labranza empleados, así como la localización de las varillas dentro de los mismos	66
15 Localización de las parcelas sorteadas al azar, durante la cosecha tanto en maíz como en frijol	72
16 Curvas que unen puntos con igual densidad aparente (D.A.) tomadas dentro del área del experimento, antes de aplicar los métodos de labranza (gr/cm^3)	75
17 Curvas que unen puntos con igual resistencia a la penetración a la prof. de 7.6 cm (3') tomados dentro del área del experimento, antes de aplicar los métodos de labranza (Kg/cm^2)	79
18 Curvas que unen puntos con igual resistencia a la penetración a la prof. de 12.7 cm (5') tomados dentro del área del experimento, antes de aplicar los métodos de labranza (kg/cm^2)	80
19 Promedio de las variaciones registradas en las varillas durante la época de viento (marzo-mayo) en las fechas en que se tomó su altura dentro de los tratamientos de labranza.	90

INDICE DE CUADROS EN EL APRENDICE

Cuadro		Pág.
1	Densidad aparente de cada punto del terreno donde se llevó a cabo el muestreo, antes de aplicar los métodos de labranza.	127
2	Resistencia al penetrómetro en cada punto del terreno donde se llevó a cabo el muestreo, antes de aplicar los métodos de labranza.	128
3	Datos obtenidos en el muestreo inicial en cada -- uno de los puntos donde se colocaron las varillas, una vez implantados los tratamientos de labranza sobre el terreno, antes de la época de viento.	129
4	Datos finales de densidad aparente registrados -- dentro de los tratamientos y por cada varilla, al término de la época de viento.	130
5	Registro de las variaciones obtenidas en la medición de las varillas durante el tiempo que duró el experimento, correspondiendo a la época de --- viento (marzo-mayo).	131



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

1. INTRODUCCION

1.1. Justificación.

En México las zonas áridas y semiáridas cubren alrededor de 100 millones de hectáreas, localizadas en la parte centro y norte del país. Estas áreas cubren una superficie mayor del -- 50% del total del país. En dichas zonas es donde se dan las -- condiciones más propicias para producirse la erosión eólica.

Una circunstancia común a casi todas las porciones susceptibles a la erosión de estas zonas es una repetida falta de humedad que limita el desarrollo de los cultivos y la presencia de vientos entre moderados y fuertes.

Según la FAO (1961) los daños que causa la erosión eólica son de tipo muy variado y entre los principales se tienen:

- a) Las tempestades de polvo son molestas, producen sofocación, enfermedades y hasta la muerte si se inhala mucho polvo.
- b) Las tempestades de polvo, entierran plantas, arbustos, -- cultivos, etc.
- c) Las semillas y las plántulas de cultivo pueden ser tapadas, arrancadas o incluso descubiertas y arrastradas por el viento.
- d) El viento arrastra y transporta las fracciones más finas del suelo (limo, arcilla, materia orgánica) y deja las -- fracciones mayores. Este efecto seleccionador no sólo elimina los materiales más importantes desde el punto de vista de la productividad y de la retención de la humedad, -- sino que el suelo que queda es más arenoso y por lo tanto más erosionable que el original.
- e) El repetido acarreo de los materiales por el viento llega

a crear condiciones tales que las posibilidades de desarrollo de los vegetales son mínimos, a la vez que la susceptibilidad de la erosión queda grandemente aumentada.

- f) El efecto más grave y significativo es, sin embargo, el cambio en la textura del suelo.

Por todo lo anterior expuesto, es necesario en las zonas áridas y semiáridas estudiar la mecánica de la erosión eólica, con la finalidad de predecir las condiciones para que ésta se presente y establecer métodos de control sobre ella.

Atendiendo a la mecánica de la erosión eólica, es evidente que existen métodos para combatirla. Dentro de estos métodos se encuentran los siguientes (FAO, 1961).

- a) Producir o hacer llegar hasta la superficie del suelo --- agregados o terrones que sean lo suficientemente grandes para resistir las fuerzas ejercidas por el viento.
- b) Crear una superficie irregular en los terrenos para reducir la velocidad del viento y captar las partículas transportadas.
- c) Establecer barreras o fajas trampa a determinados intervalos para reducir la velocidad del viento y el incremento de la carga transportada por el mismo.
- d) Establecer y mantener una vegetación o una cubierta de residuos vegetales que protejan al suelo.

Las dos primeras formas de combate anteriormente mencionadas, se pueden lograr por medio de prácticas de labranza adecuadas. La labranza tiene una gran influencia sobre la erosión eólica ya que puede controlarla o acelerarla. Se recomienda en general una labranza adecuada en las regiones donde la erosión por el viento es un peligro (Woodruff y Chepil, 1956; Woodruff et al. s/f).

Teniendo como base esta información se ha establecido una línea de investigación dentro del Programa de Producción de Cosechas en el Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas (CREZAS) dependiente del Colegio de Postgraduados (CP), para el estudio de la erosión del suelo producida por el viento. En un estudio realizado anteriormente sobre la erosión eólica en el CREZAS-CP, se ha determinado que las prácticas normales de labranza, dejan al suelo pulverizado y potencialmente erosionable con riesgo a que el viento cause los daños anteriormente mencionados. Por lo tanto se desea buscar una forma de preparar los suelos que contrarreste el efecto erosivo del viento, para que de esta manera se controle en cierta forma la erosión en esta región. Se debe señalar que para un control efectivo de la erosión deben combinarse varios métodos de combate al mismo tiempo, para llegar a tener resultados satisfactorios.

En el estudio de la erosión eólica se han obtenido avances de importancia en los últimos 30 años, especialmente en lo referente a las causas que originan tal proceso, así como los factores ambientales y las condiciones que se presentan en el suelo, en el momento de empezar a ser movido por el viento.

Gran parte de los adelantos en la materia se han originado en los EE.UU. y son aplicables solamente a las condiciones que prevalecen en las grandes llanuras, por lo que se tiene la necesidad de validar estos conocimientos para adaptar las técnicas o métodos recomendados a otras condiciones o regiones donde prevalecen factores climáticos, vegetación y suelos diferentes.

1.2. Trabajos previos e importancia en México

En la literatura revisada se encontró que hay muy pocos

trabajos que aborden el tema en México. El Colegio de Postgraduados (1977) en su Manual de Conservación del Suelo y Agua, - expone superficialmente el tema de la erosión eólica y una tesis* de licenciatura realizada en el CREZAS-CP, bajo el título de "Erosión Eólica", una medición de campo en Zac.-SLP.", son los únicos trabajos reportados en México referentes al tema. - El trabajo realizado en el CREZAS que anteriormente se señaló, fue un trabajo pionero, el cual puso las bases para que se iniciaran otras investigaciones sobre la erosión eólica en México. Una de estas investigaciones es el tema de esta tesis y se espera que contribuya a comprender un poco más la problemática - de la erosión eólica y su efecto en la agricultura de las zonas semiáridas, que ven agravados los problemas que tienen, debido a la escasa y mal distribuida precipitación, por la pérdida de la capa fértil y del perfil del suelo.

* Tesis todavía no publicada.

II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1. Objetivo

- 1) Determinar el efecto de los métodos de labranza en el control de la erosión eólica y en la producción de los cultivos.

2.2. Hipótesis

- 1) A mayor aspereza o rugosidad del suelo, mejor será el control de la erosión.
- 2) Con los diferentes métodos de preparación del suelo - distintas serán las condiciones para el desarrollo de los cultivos.

2.3. Supuestos

- 1) La textura es homogénea en toda el área de estudio.
- 2) La pendiente es uniforme dentro del área de estudio.
- 3) El viento tuvo una dirección perpendicular y una -- velocidad homogénea en toda el área del experimento.

III. ANTECEDENTES

3.1. Generalidades

En muchos países a lo largo del mundo, la erosión eólica ha reducido la fertilidad del suelo, y en ocasiones los ha transformado en desiertos arenosos. Porciones existentes en el Asia Central, Medio Oriente y Norte de Africa fueron una vez tierras que sustentan a una próspera población, pero a través de un uso inadecuado de las mismas, del sobrepastoreo, y del agotamiento del suelo cambiaron a su región en un erial actual (Chepil y Woodruff, 1963).

La erosión eólica ha estado activa en cierto grado desde tiempos prehistóricos, pero se ha vuelto más activa y más destructiva por la actividad del hombre. Esta "aceleración" de la erosión se debe a los métodos equivocados en el manejo de la tierra o al uso de la tierra para finalidades a las cuales no está adaptada (Stallings, 1951, Zingg, 1953; Woodruff y Chepil, 1956).

En Norteamérica ocurrió relativamente poca erosión eólica después de que el hombre empezó a sobrepastorear y a intensificar los cultivos. Siendo esto más crítico en las áreas áridas y semiáridas de las grandes llanuras de Norteamérica. Uno de los problemas más serios de erosión eólica en las grandes llanuras, ocurrió durante la década de los años 30. Las grandes pérdidas económicas causadas por la erosión eólica durante ese período ayudaron a estimular la atención a sus bases, causas y efectos para llegar a establecer medidas de control (Chepil y Woodruff, 1963; Chepil, 1965).

3.2. Definición de la erosión.

Erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento, arrastre y deposición de los materiales del suelo por los agentes de erosión (Colegio de Postgraduados, 1977).

3.3. Agentes de la erosión.

Los agentes de la erosión son: el agua y el viento, (Colegio de Postgraduados, 1977). Cada uno de estos agentes produce un tipo de particular de erosión. La que ocupa nuestra atención es la erosión causada por el viento, la cual, se conoce como "Erosión Eólica".

3.4. Definición de erosión eólica

Es el proceso físico por el cual, el viento desprende, transporta y deposita el material superficial suelto (Wilson y Cooke, 1980).

3.5. Factores de la erosión eólica

En la mecánica de la erosión eólica intervienen tres factores: el viento, el suelo y la naturaleza de la superficie -- (Baver, Gardner W.H. y Gardner W.R., 1973).

3.5.1. Factor viento

La erosión eólica tiene su base en la fuerza del viento sobre la superficie del suelo por sus efectos al iniciar el movimiento de las partículas, al transportarlas a lo largo de la superficie o en el aire y al depositarlas en un nuevo lugar -- (Baver, Gardner, W.H. y Gardner W.R., 1973).

3.5.1.1. Velocidad del viento sobre una superficie estable.

Varios investigadores han demostrado que el movimiento -- del suelo es causado por el flujo turbulento del aire en la su- perficie (Stallings, 1951; Woodruff, Lyles, Siddoway y Fryrear, 1972 citados por Woodruff y Siddoway, 1973). Este flujo turbu- lento aumenta proporcionalmente con el logaritmo de la altura- sobre la superficie aerodinámica media Z_0 . La altura Z_0 sobre- la superficie del suelo depende principalmente de la altura de la vegetación u otros rasgos de desigualdad superficial del -- suelo. Se le conoce con el nombre de altura de desplazamiento- cero ya que el aire se encuentra en calma o en movimiento len- to dentro de esta zona. La rugosidad total de la superficie es igual a la altura de desplazamiento cero más la rugosidad de - la superficie aerodinámica que depende de las variaciones de - altura, densidad y otras características de la superficie (Che- pil y Woodruff, 1963; Bayer, Gardner W.H. y Gardner W.R., 1973, Wilson y Cooke, 1980) (Fig. 1). La velocidad cero del viento - se encuentra a una altura K sobre la superficie aerodinámica.- La velocidad de la altura Z_0+K es un factor cero (0) si la su- perficie es estable tal como la superficie del suelo (Chepil y Woodruff, 1963).

La altura Z_0 separa el fluido libre o de movimiento rápi- do que pasa por encima de la cubierta vegetal y el fluido res- tringido o de movimiento lento que pasa por debajo de la parte superior de la cubierta (Chepil y Woodruff, 1963).

El aumento de la velocidad del viento con el logaritmo de la altura se conoce con el nombre de Velocidad de Resistencia- al Avance y se determina conforme a la ecuación de Prandtl --- (Brunt, 1944; Von Karman, 1934, citados por Chepil y Woodruff, 1963 y Wilson y Cooke, 1980).

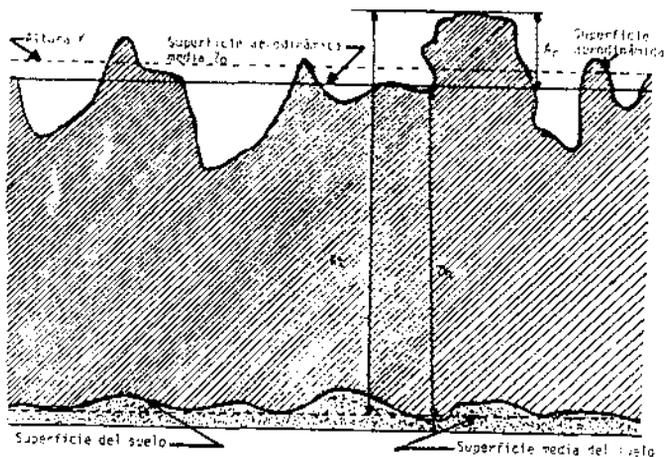


Fig. 1. Diagrama que ilustra las posiciones del suelo y de los elementos ásperos producidos por la vegetación sobre la superficie del suelo (marcado con las líneas sesgadas). Donde $K_z = D_h - A_p$ en la cual K_z es la superficie total de asperezas, D_h es la altura de desplazamiento cero y A_p es la superficie aerodinámica (Chepi) y Hoodmuff, 1953).



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

$$(1) \quad V_* = \frac{V_z}{5.75 \log \frac{z}{K}}$$

donde

V_* es la velocidad de resistencia al avance en cm/seg.

V_z velocidad a cualquier altura z ($z < 150$ cm) por encima de la superficie ae-

rodinámica media (Z_0) en cm.

K altura sobre la superficie aerodinámica media (Z_0) donde la velocidad es cero, en cm.

La velocidad de resistencia al avance V_* , depende de la tasa de incremento de velocidad con el logaritmo de la altura y aumenta con la intensidad del viento. En una superficie estable o inflexible, los valores Z_0+K permanecen constantes no importa qué tan fuerte sople el viento (Chepil y Woodruff, 1963; Wilson y Cooke, 1980).

3.5.1.2. Velocidad del viento sobre una superficie erosionable.

Una vez que se ha iniciado el movimiento de las partículas del suelo, éstas ejercen un efecto de retardamiento en el flujo del aire que a su vez alterará el perfil de velocidad (Baver, Gardner W.H. y Gardner W.R., 1973; Wilson y Cooke, 1980). En una superficie erosionable el gradiente de velocidad encontrado por Bagnold (1936), Chepil y Milne (1941a) citados por Chepil y Woodruff (1963) es considerablemente diferente al obtenido usando la ecuación (1) de Prandtl, la cual ya no es aplicable. Bagnold (1941) citado por Wilson y Cooke (1980) mostró que la arena y el movimiento del suelo en saltación reducía la velocidad del viento y observó que el nuevo perfil de velocidad es descrito por:

$$(2) \quad V_*^* = \frac{V_z - V_t}{5.75 \log(Z/K)} \quad \text{donde}$$

V_*^* Velocidad de resistencia al avance por encima de una superficie erodable en cm/seg.

V_t velocidad de umbral (la velocidad en la cual se inicia el movimiento de las -

partículas en cm/seg.

K' la altura por encima de la superficie aerodinámica media en la cual la velocidad es igual a V_t , en cm.

El punto K' permanece constante para todas las velocidades de resistencia al avance, la velocidad umbral también permanece inalterable no importa qué tan fuerte sopla el viento (Chepil y Woodruff, 1963; Wilson y Cooke, 1980). La Fig. 2 da ejemplos de los perfiles de velocidad sobre una superficie en erosión y otra no en erosión, con las mismas características de aspereza, donde las líneas continuas indican gradientes del viento sobre una superficie fijada en la cual no llegó a moverse el suelo y las líneas discontinuas indican los gradientes de velocidad cuando existió movimiento del suelo. La superficie del suelo fue fijada mediante una rociada de agua (Chepil y Woodruff, 1963).

Será evidente de que en la ecuación (2) y en la Fig. 2 -- que a mayor velocidad de resistencia al avance V_*' , mayor es la fuerza con que sopla el viento y menor es la velocidad debajo de la altura K' . Esta condición aparentemente ilógica es debida a la mayor concentración de granos saltadores con vientos fuertes, la cual tiende a disminuir la velocidad del viento bajo la altura K' (Bagnold, 1941; Chepil y Woodruff, 1963 citados por Wilson y Cooke, 1980). La altura K' es considerada el promedio de la altura de saltación de las partículas (Chepil y Woodruff, 1963). Las mediciones de campo hechas por (Chepil y Milne, 1941a citados por Chepil y Woodruff, 1963), indicaron también que la disminución de la velocidad del viento debido a al movimiento del suelo varía directamente con la erodabilidad del mismo, entre más erodable el suelo, mayor es la concentración de granos del suelo en movimiento y mayor es la reducción de la velocidad del viento cerca del mismo.

sobre el lado a sotavento de la partícula, ésta es conocida como presión de viscosidad. La suma de las dos presiones es la resistencia total al avance, F_c , referida frecuentemente como resistencia al avance, actúa en la dirección del viento cerca del nivel indicado en la Fig. 3. La tercera presión es negativa y actúa sobre el punto más alto de la partícula, es causada por el efecto Bernoulli. Es llamada presión estática o presión interna y causa un levantamiento sobre la partícula. La resistencia ascendente, generalmente actúa en ángulos rectos con la dirección del movimiento del flujo. L_c actúa a través del centro de gravedad (c.g)(Fig. 3).

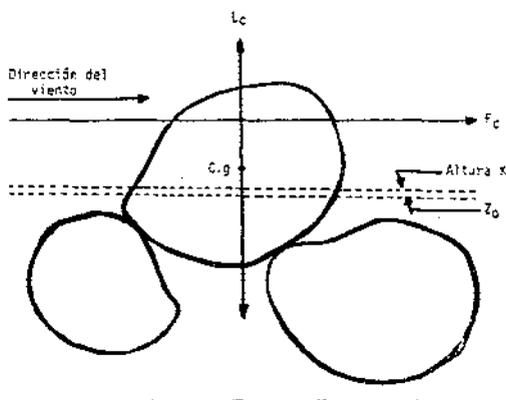


Fig. 3. Fuerzas actuando sobre un grano del suelo (Fuerza de gravedad, resistencia al avance y resistencia ascendente) en el umbral de su movimiento (Chepil, 1953b).

Al existir diferencias entre las presiones componentes de la resistencia al avance de los lados de sotavento y barlovento de un grano se produce su movimiento y al existir una disminución en la presión estática entre la parte alta y la parte baja del mismo se produce el alzamiento (Chepil y Woodruff, -

1963).

La fuerza de resistencia ascendente (L_c), disminuye con la altura y se vuelve difícilmente detectable en granos que se encuentran a pocos diámetros de altura sobre el suelo. Esta fuerza es causada, aparentemente por un rápido gradiente de velocidad del viento cerca del terreno.

La fuerza de resistencia al avance (F_c), por otro lado, se incrementa con la altura y es debida principalmente a la fuerza directa del viento contra el grano (Woodruff et al. s/f; Chepil, 1961; Wilson y Cooke, 1980).

3.5.1.4. Comienzo del movimiento del suelo

El movimiento comienza cuando las partículas más erodables son expuestas en la superficie del suelo (Chepil, 1957). Se requiere cierta velocidad mínima para iniciar el movimiento de estas partículas. Esta velocidad ha sido llamada "umbral mínimo de velocidad del fluido" (Bagnold, 1941; Chepil, 1945b citados por Stallings, 1951). El único factor que influye en la velocidad de umbral es el tamaño de los granos del suelo (Chepil, 1946b citados por Stallings, 1951). La velocidad de umbral más baja es para partículas comprendidas entre 0.1 a 0.25 mm de diámetro. Estas requieren una velocidad de 8 a 9 millas/hora (12 a 14 km/hora) a 6 pulgadas (15.2 cm) encima del suelo. La velocidad de umbral debe ser mayor al aumentar o decrecer el rango de tamaños de los diámetros de las partículas en relación a aquellas entre 0.1 y 0.25 mm (Stallings, 1951).

La alta resistencia de las partículas finas a la erosión eólica se debe a la cohesión entre ellas, pero principalmente a su tamaño que es muy reducido y evita que penetre en la capa de aire turbulento que está cerca de la superficie del suelo. Por otro lado las partículas mayores cuando penetran a esta ca

pa de aire turbulento absorben la mayor parte de las fuerzas - que actúan sobre la superficie. Si son suficientemente grandes o si están unidas a otras partículas podrán resistir el empuje de los vientos fuertes. (ver Fig. 4) (Stallings, 1951; FAO, --- 1961).

A medida que aumenta la intensidad del viento, partículas cada vez mayores son desplazadas hasta que se llega a una velocidad que provoca el movimiento de todos los tamaños de partículas erosionables. Este es el "umbral máximo de velocidad del fluido". El umbral mínimo requiere una velocidad menor del --- viento en virtud del impacto de las partículas en movimiento - contra las que no han sido aún desprendidas Bagnold (1941) citado por Wilson y Cooke (1980) le llamó "umbral de impacto".

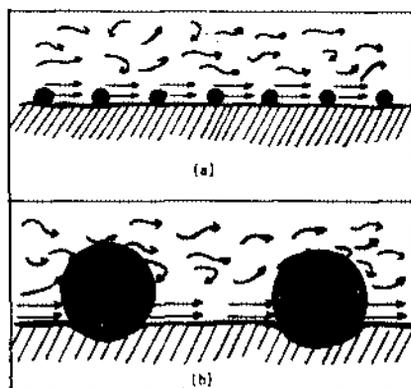
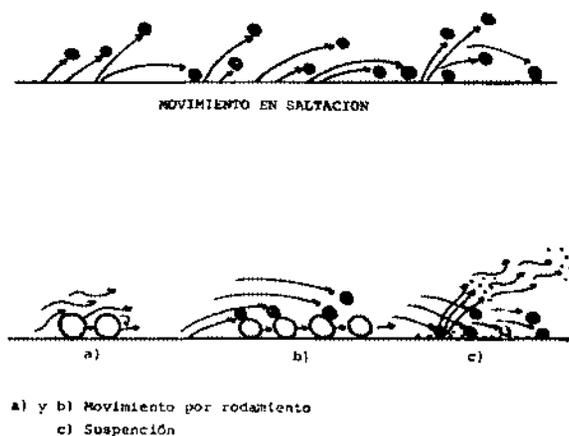


Fig. 4. Trayectoria del viento sobre una superficie. a) Las partículas pequeñas no penetran en la capa turbulenta y no son arrastradas por éste. b) Las partículas de mayor tamaño sí penetran en la capa turbulenta y son susceptibles al arrastre (FAO, 1961).

3.5.1.5. Movimiento de las partículas del suelo

Durante el proceso de la erosión eólica el suelo presenta simultáneamente tres tipos de movimiento, dependiendo de los diferentes diámetros de sus partículas (Stallings, 1951; Chepil, 1957; Chepil, 1958; Woodruff et al. s/f; FAO, 1961; Chepil y Woodruff, 1963); estos son: a) Saltación; b) Suspensión y c) Rodamiento (ver Fig. 5).

Fig. 5. TIPOS DE MOVIMIENTO DE LAS PARTICULAS DEL SUELO



a) Saltación. Se considera como el movimiento más importante debido no sólo a que la mayor parte del suelo se mueve de esta forma, sino que también cualquiera de los otros movimientos están sujetos a que haya habido saltación (Colegio de Postgraduados, 1977). La saltación de las partículas consiste en pequeños "saltos" sobre la superficie del suelo Chepil ---- (1945b) citado por Stallings (1951) hizo una descripción de este movimiento, indicando que las partículas de pronto saltaban al incrementarse la fuerza del viento. Vio también que las par

partículas brincaban cerca de 30 cm o más según la velocidad inicial de elevación sobre el suelo (cerca del 90% de ellas brincaban poco menos de 30 cm) (Chepil, 1945a citado por Chepil, 1965).

La fuerza de resistencia ascendente, L_c (lift), cambia rápidamente al elevarse la partícula y desaparece a pocos cm encima del suelo. Esta altura es considerablemente menor que la altura en que muchas partículas ascienden en saltación. Aparentemente la inercia causa, que las partículas asciendan por encima de la zona de elevación (Chepil, 1961 citado por Chepil, 1965). Los brinco más altos varían con el tamaño y densidad de las partículas del suelo, la aspereza de la superficie del terreno y la velocidad del viento (Chepil, 1957). Chepil también observó que los granos descendían casi en línea recta en ángulo de 6 a 12° con la horizontal. Este ángulo depende de la velocidad del viento y del diámetro equivalente de la partícula (Bagnold, 1943 citado por Chepil, 1965). En tanto que el desplazamiento longitudinal llega a ser de 30 hasta 200 cm (Colegio de Postgraduados, 1977). Al chocar estas partículas, rebotan y continúan su movimiento en saltación o pierden la mayor parte de su energía al chocar con otros granos y provocar su movimiento (Stallings, 1951; Chepil, 1957; Wilson y Cooke, 1980). Este movimiento afecta a las partículas de diámetro comprendido entre 0.05 y 0.5 mm, siendo más vulnerables las de 0.1 a 0.15 mm (Colegio de Postgraduados, 1977).

Los granos llevados en saltación pueden girar a una rapidez de 200 a 1000 revoluciones por seg; quizás más del 75% de los granos llevados en saltación giran (Stallings, 1951).

El material removido en saltación parece ser semejante para todos los tipos del suelo. Alguna variación fue encontrada en la proporción de los granos llevados a diferentes alturas.

Las partículas de los suelos granulosos de cuarzo son llevadas muy cerca del suelo mientras que las partículas de los suelos finamente pulverizados se elevan un poco más alto (Stallings, 1951).

b) Rodamiento o arrastre superficial. Es el arrastre de las partículas sobre la superficie del suelo impulsadas por el viento u otras partículas en movimiento principalmente en saltación (Bagnold, 1941 citado por Stallings, 1951). Los diferentes granos en saltación reciben su energía de impacto de la presión directa del viento, mientras los granos llevados por rodamiento obtienen su energía cinética de los impactos de los granos llevados en saltación (Stallings, 1951). La interacción del movimiento en saltación y de arrastre es constante (Chepil, 1957).

El rodamiento se realiza con partículas de diámetros comprendidos entre 0.5 y 2.00 mm (Colegio de Postgraduados, 1977).

c) Suspensión. Las partículas movidas en suspensión tienen una velocidad terminal de caída menor (determinada por el tamaño del grano, forma y densidad) que las corrientes medias de remolinos hacia arriba en el flujo del aire (Bagnold, 1941 citado por Wilson y Cooke, 1980; Woodruff et al. s/f.) En estas partículas al ser lanzadas hacia arriba durante la saltación la fuerza de gravedad es vencida por la fuerza del viento y debido a lo reducido de su tamaño y peso son transportadas a grandes distancias en forma de nubes de polvo (Stallings, 1951; Chepil, 1957; Bayer, Gardner W.H. y Gardner W.R., 1973).

Aunque las partículas de polvo tienen un diámetro menor de 0.1 mm son extremadamente resistentes al movimiento por presión directa del viento. Éstas en realidad son impulsadas por

las partículas en saltación. Una vez en el aire las partículas de polvo pueden ser lanzadas a grandes alturas dentro de la atmósfera por remolinos cuya velocidad de ascenso es por lo mínimo 100 a 150 cm por seg. esta es suficiente para levantar a una altura indefinida al limo (0.002 a 0.02mm) y algunas arenas muy finas (0.02 a 0.1 mm). Las nubes de polvo frecuentemente ascienden, 3000 a 4000 m y son los aspectos más visibles y por lo tanto los más dramáticos de las "tormentas de polvo". Pero las nubes de polvo son solo una muestra. El proceso dominante es la saltación de las partículas cerca del suelo. Sin la saltación las nubes de polvo nunca ocurrirían (Chepil, 1957; Chepil, 1958; Chepil, 1965).

La proporción de los 3 tipos de movimiento varía grandemente para los diferentes suelos. Entre el 50 y 75% del material edáfico desprendido y desplazado por acción eólica es llevado en saltación del 3 al 40% en suspensión y del 5 al 25% por rodamiento (Chepil, 1957; Chepil, 1945 citado por Chepil, 1965). Además el 50% del movimiento del suelo tiene lugar en los 50 mm superficiales mientras el 90% se desarrolla en los primeros 30 cm (Colegio de Postgraduados, 1977).

En la Fig. 6, se observan los rangos de tamaño de partículas afectadas por cada uno de los movimientos antes descritos.

3.5.1.6. Mecánica del proceso erosivo del viento

El proceso erosivo del viento consiste en general, de tres fases distintas: a) iniciación del movimiento de las partículas del suelo "Remoción", b) transporte y c) deposición (Udden, 1894 citado por Stallings, 1951; Colegio de Postgraduados, 1977).

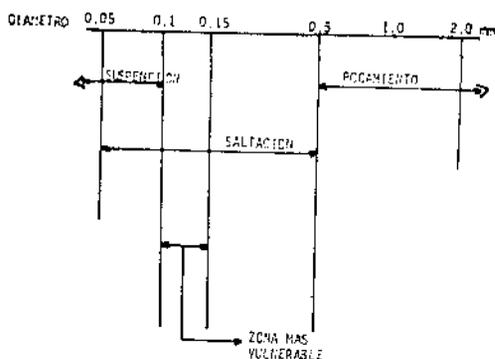


Fig. 6. Movimiento del suelo por acción del viento, como una función del diámetro de partículas (Hudson, 197; citado por C. P. 1977).

3.5.1.6.1. Remoción

La energía que posee el viento para erosionar, no es tan grande como para desprender los agregados del suelo fácilmente sin embargo, en suelos sueltos, donde las partículas se encuentran libres, la energía del viento es suficiente para iniciar el movimiento de las partículas y generar el proceso erosivo.

El primer movimiento de las partículas del suelo es la saltación, las cuales al elevarse caen aceleradas por la gravedad y el viento, con lo que adquieren una energía tal, que al chocar contra otras partículas del suelo inician una reacción de tipo desencadenante (Colegio de Postgraduados, 1977).

3.5.1.6.2. Transporte

Una vez desprendidos los granos del suelo e iniciado su movimiento comienza el transporte. La cantidad de suelo que puede ser movido por el viento depende (Colegio de Postgradua-

dos, 1977)

- a) Del tamaño de las partículas
- b) De la agregación del suelo
- c) De la velocidad del viento
- d) De la distancia sobre la cual actúa el proceso

Este proceso está sujeto a una aceleración que aumenta a través del tiempo y del espacio. A través del tiempo, porque constantemente se incrementa la cantidad de partículas en movimiento, dentro de las cuales habrá un gran número de éstas, de diámetro pequeño que se estarán moviendo en suspensión; al perder el suelo más partículas finas, la cohesión de las restantes disminuye y quedan así cada vez más expuestas al arrastre por acción eólica (Colegio de Postgraduados, 1977).

El proceso erosivo por acción del viento también aumenta progresivamente a través del espacio como puede apreciarse en los campos erosionados donde el fenómeno inicialmente actúa en áreas aisladas, para posteriormente extenderse, siguiendo la dirección del viento (Colegio de Postgraduados, 1977).

El transporte como se dijo anteriormente se incrementa en el tiempo y espacio, en consecuencia el número de partículas será mayor tanto más se avance en dirección del viento. Tal efecto se denomina, Incremento de Carga (FAO, 1961).

La tasa del transporte del suelo es cero sobre el lindero de barlovento de un campo erosionable y aumenta con la distancia en dirección del viento a sotavento, hasta que si el campo es grande se alcanza el flujo o carga máxima que un viento determinado puede transportar (FAO, 1961; Chapin, y Woodruff, 1963).

Chapin (1957) citado por Wilson y Cooke (1980), se refi-

rió al aumento cuesta abajo en la cantidad del material transportado calificándolo de "avalancha" y se define como el incremento en la tasa del flujo del suelo con la distancia viento-abajo sobre un campo desprotegido.

El flujo saturado (q) para una velocidad dada de viento es independiente del tipo de suelo y aproximadamente el mismo para todos los suelos (Chepil y Woodruff, 1963).

La distancia requerida para que el flujo del suelo llegue a una máxima en un suelo dado, es la misma para cualquier viento erosivo (Chepil y Woodruff, 1963). Chepil (1959b) citado -- por Wilson y Cooke (1980), hizo notar que la distancia varía inversamente con la erodabilidad de la superficie de un campo. Esto es, a mayor erodabilidad de la superficie más corta es la distancia en la cual se llega al máximo flujo. La distancia -- era aproximadamente 65 m para el suelo más erosionable y unos 900 m para el suelo menos erosionable. Estas distancias permanecieron aproximadamente iguales para todos los niveles erosivos del viento (Chepil y Woodruff, 1963).

Cualquier factor que influye en la erodabilidad de la superficie del terreno influye en la tasa del flujo del suelo -- viento abajo. A menor proporción de los terrones no erodables del suelo o a menor cantidad de residuos de cosechas, mayor es la erodabilidad de la superficie del terreno, y más alta es la tasa del flujo del suelo viento abajo (Chepil y Woodruff, 1963).

3.5.1.6.3. Deposición

El proceso de deposición ocurre en el momento en que la fuerza de gravedad supera a la que mantiene al suelo en movi-

miento, o bien cuando algún obstáculo físico reduce la velocidad y por lo tanto, la fuerza del viento (Woodruff et al. s/f; Stallings, 1951; Colegio de Postgraduados, 1977).

La deposición de todo material o de parte del mismo durante el transporte ocurrirá si se presenta uno de los factores siguientes: 1) el flujo atmosférico aminora, reduciendo o agotando su capacidad de transporte; 2) la velocidad del viento local se reduce por obstrucciones como son setos, cultivos y material edáfico no erosionable (o sea, una mayor aspereza superficial); 3) la superficie queda estabilizada por el inicio de la lluvia o irrigación; 4) el compactamiento en la superficie puede reducir la energía de las partículas ya que la mayor parte de la energía de los granos saltantes se disipa en el lecho y no en mantener el movimiento de las otras partículas --- (Bagnold, 1941 citado por Wilson y Cooke, 1980).

La deposición de las partículas se produce de una manera proporcional al diámetro de éstas (Colegio de Postgraduados, 1977). El viento mueve las partículas más livianas y finas más rápidamente que las más pesadas y más densas (Udden, 1898; Fly, 1935; Daniel, 1936 citado por Chepil, 1957a y Chepil y Woodruff, 1963). Las partículas finas permanecen suspendidas más tiempo en el aire y su dispersión es mayor que la de las partículas gruesas (Colegio de Postgraduados, 1977).

El viento separa el material del suelo en varios grados - (Chepil y Woodruff, 1963; Chepil, 1965):

- a) Materiales del suelo residuales. Terrones no erodables, rocas pesadas, gravas (materiales que permanecen en su lugar).
- b) Arenas pesadas, Gravas finas y agregados del suelo (granos semierodables que tan solo fueron movidos por arras--

- tre superficial).
- c) Dunas de arena y arcilla. Acumulaciones de granos altamente erodables que han sido movidos principalmente por saltación.
 - d) Loess. Polvo el cual fue una vez levantado del suelo por los impactos de los granos movidos en saltación y llevado a lo alto por el viento y depositado en capas uniformes - cerca y lejos de las dunas. El polvo es llevado en verdadera suspensión. La composición de los depósitos de polvo recientes es semejante a la composición de los loess depositados en la era del pleistoceno (Swineford y Frye, 1945; Chepil, 1957a; Péwe, 1951; Warn y Cox, 1951 citados por - Chepil y Woodruff, 1963). Los grandes depósitos de loess - en muchas regiones del mundo muestran la gran importancia del viento como una fuerza geológica (Chepil, 1965).

No hay señalamientos claros de tamaños entre los diferentes materiales seleccionados por el viento. El tamaño de una clase queda traslapado con el tamaño límite de otra (Chepil, - 1957b; Chepil y Woodruff, 1963).

3.5.1.7. Formas de erosión eólica

El fenómeno de la erosión eólica puede ser más fácilmente entendido si se considera la interdependencia de las cinco formas principales en las cuales las partículas son movidas y --- transportadas. Estas cinco formas pueden ser consideradas como fases diferentes del mismo fenómeno (Chepil, 1945d; Stallings, 1951) y son:

Detrusión: es el desalojamiento de los granos gruesos del suelo de las partes más altas de la superficie, lanzadas por - la presión del viento o por el bombardeo de los granos altamente erosivos que vienen del lado de barlovento.

Efluición: es la remoción de los granos del suelo con diámetros comprendidos en un rango de 0.05 a 0.5 mm, y es iniciado y mantenido por la presión directa del viento. La remoción es casi enteramente por saltación, pero una menor porción del suelo puede ser removida por arrastre superficial y algunas partículas finas pueden ser tomadas por el viento y llevadas lejos en verdadera suspensión.

Extrusión: es el empuje hacia adelante de las partículas del suelo, las cuales son muy gruesas o pesadas para ser removidas por la presión directa del viento. Si un terreno formado por estas partículas tiene en su lado de barlovento un área compuesta por partículas removibles por efluición, muchas de estas fracciones gruesas pueden ser removidas como resultado del bombardeo de los granos pequeños. La extrusión es llevada principalmente por arrastre superficial.

Efluación o Defluación: es la remoción del suelo en suspensión, resultando principalmente del movimiento de los granos gruesos en saltación. Esto es un problema serio porque constituye la remoción de las partículas finas del suelo, quedando el material menos movable como arena inerte y gravas (Stuntz y Free, 1946).

Abrasión: es el desmoronamiento de los terrones y otros materiales consolidados como resultado de los impactos de los granos movidos en saltación.

La abrasión o desgaste producido por las partículas transportadas a lo largo de la superficie del suelo acarreadas por el viento, es una fase importante de los procesos de la erosión eólica en todos los suelos (Chepil, 1945d).

Todas o algunas de estas formas de erosión pueden operar-

al mismo tiempo. Como quiera que sea, ninguna de ellas puede - existir sin efluji3n. En otras palabras, la efluji3n es un requisito previo para causar las otras formas de erosi3n e3lica. Por lo tanto, un programa de prevenci3n de la erosi3n e3lica - deber3 basarse en reducir la cantidad de partculas de tama3os comprendidos de 0.05 a 0.5 mm de di3metro o un mfnimo permisi- ble o proteger al suelo de la fuerza erosiva del viento (Che- pil, 1945d; Stallings, 1951).

3.5.2. Factor suelo

3.5.2.1. Factores primarios del suelo que influyen en la ero- si3n e3lica

Chepil (1958) encontr3 que las propiedades o condiciones- del suelo que influyen en la erosi3n e3lica pueden agruparse - dentro de las siguientes categorfas:

- a) La estabilidad del suelo contra la erosi3n, es influenci- da por fuerzas cohesivas y dispersoras del agua y de las- gotas de lluvia
- b) El estado de la estructura del suelo, tales como tama3o, - forma y densidad de las fracciones no erodables y eroda- bles
- c) Estabilidad de la estructura del suelo contra la desinte- graci3n causada por los agentes mec3nicos, tales como la- branza, abrasi3n producida por los materiales acarreados- por el viento y la fuerza directa del viento.

Estas propiedades son conocidas como propiedades prima- - rias porque ellas influyen directamente en la erodabilidad del suelo por el viento.

3.5.2.1.1. Humedad del suelo y efectos de las gotas de lluvia.

El agua edáfica tiende a unir los granos del suelo. En el caso de las arenas, el agua se elimina fácilmente por secamiento superficial y el vínculo cohesivo se rompe con facilidad. Donde predominan los materiales más finos, las propiedades de retención de la humedad son mucho mejores; las moléculas de agua se absorben en las superficies de los granos por las fuerzas electrostáticas (Hillel, 1971 citado por Wilson y Cooke, 1980) y se mantienen allí a pesar de las altas succiones causadas por secamiento; y al contacto entre los granos el agua absorbida se combina con el agua capilar (sostenida por la tensión superficial) para formar una cuña capilar (Hillel, 1971 - citado por Wilson y Cooke, 1980).

En los estudios realizados por Chepil (1956) y Chepil y Woodruff (1963) encontraron que la erodabilidad por el viento decrece en forma proporcional a la cantidad de agua higroscópica (considerando como agua higroscópica, en vez de agua absorbida, al contenido de humedad del suelo comprendida en el rango del punto de marchitez permanente donde la fuerza de absorción es aproximadamente 15 atm y la eliminación casi total de la humedad del suelo), la cual es difícilmente aprovechada por las plantas. Los resultados de estos estudios indican que a mayor cantidad de agua higroscópica y por lo tanto mayor espesor de las películas de agua, mayor es la fuerza de atracción entre las partículas del suelo en las cuales las películas de agua son absorbidas. La atracción entre las partículas del suelo es aparentemente a través de las moléculas de agua que rodean a las partículas.

La fuerza entre las partículas del suelo debe ser vencida por la fuerza del viento antes que la erosión puede ocurrir. Cuando el flujo del aire se incrementa gradualmente sobre las partículas erodables del suelo, viene un instante cuando unas-

cuantas partículas sobre la superficie son desalojadas y empiezan a moverse con el viento. En este instante la fuerza cortante del viento vence las fuerzas opuestas que actúan sobre la partícula del suelo como la fuerza de gravedad y la fuerza de atracción de las películas de agua absorbidas.

La erodabilidad del suelo por el viento es función de la fuerza de cohesión de las películas de agua absorbidas que rodean las partículas de suelo. La erodabilidad eólica para los suelos que contienen menos de alrededor de un tercio de la humedad del índice de marchitamiento es la misma que para los suelos secos; por encima de ese valor la erodabilidad decrece hasta que el contenido de humedad del índice de marchitez (pmp, 15 atm) la erodabilidad eólica cesa más o menos (FAO, 1980).

3.5.2.1.2. Tamaño, forma y densidad de las fracciones del suelo erodables y no erodables

Las partículas más ligeras son más erodables que las más pesadas, pero solamente si el diámetro de las partículas es cerca de 0.1 mm. Igualmente el tamaño y la densidad determinan el peso, y por lo tanto la erodabilidad de las partículas individuales.

Es conveniente expresar el tamaño y la densidad juntos como diámetro equivalente. El diámetro equivalente es aproximadamente igual a $\rho_e D / 2.65$ en donde: ρ_e es la densidad de las partículas erodables del suelo y D es el diámetro determinado por medio del tamizado en seco (Chepil, 1958; Chepil, 1960).

Las partículas más erosionables tienen una densidad de 2.65 y cerca de 0.1 mm de diámetro. Estas partículas requieren la mínima velocidad de arrastre, conocida como velocidad de re

sistencia al avance de umbral (V_{*t}), cercana a los 15 cm/seg - para iniciar el movimiento. Esta velocidad del viento es equivalente a 10 millas/hora (16.1 km/h) a un pie (30.0 cm) de altura sobre una superficie del suelo plano. Los tamaños mayores o menores que 0.1 mm de diámetro equivalente son menos erodables por el viento. El punto divisorio entre las partículas erodables y no erodables no es claro, porque varía con la velocidad de resistencia al avance del viento, con el rango de los diámetros equivalentes de las partículas erodables y con la proporción de partículas erodables y no erodables (Chepil, 1940; Chepil, 1958).

Relativamente pocas partículas mayores que 0.5 mm de diámetro equivalente son movidas por vientos erosivos ordinarios, si bien unas cuantas arriba de 2 mm de diámetro equivalente pueden ser movidas por vientos muy fuertes. Para los suelos minerales, las partículas de 0.5 mm de diámetro equivalente corresponde un diámetro real de 0.84 mm (Chepil y Woodruff, 1963).

El tamaño de 0.84 mm se ha utilizado porque es uno de los tamaños en la serie de tamices empleados en los E.U.A. y separa a las partículas erodables de las no erodables (Chepil y Bisal, 1943; Chepil, 1952 citados por Chepil y Woodruff, 1963). Las fracciones erodables raramente exceden de 0.84 mm de diámetro (Chepil, 1960).

Los terrones y agregados del suelo que son todavía más grandes no son movidos por el viento y son más efectivos en la protección de las partículas erodables del suelo (Chepil, 1958).

Las partículas de polvo, especialmente aquellas menores de 0.02 mm de diámetro son altamente resistentes al movimiento por la fuerza directa del viento (Chepil, 1958).

3.5.2.1.3. Estabilidad mecánica y abrasabilidad de las unidades estructurales del suelo

La resistencia de un suelo seco a la descomposición por agentes mecánicos, tales como: a) la abrasión que ejerce el material arrastrado por el viento, b) las operaciones de cultivo, c) el impacto de las gotas de lluvia y d) congelamiento y deshielo alternados o por mojadura y sucesivo secamiento, es conocida como estabilidad mecánica (Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, 1963; Baver, Gardner, W.H. y Gardner, W.R., 1973).

La rapidez de la desintegración de las partículas o agregados mide la fuerza de cementación dentro de estas unidades; la rapidez con la cual las partes consolidadas se desintegran en unidades estructurales individuales es una medida de la cementación entre estas unidades (Chepil, 1953b).

La superficie del suelo, tal y como existe en el campo después de humedecimiento y secado no es homogénea, no obstante frecuentemente parece ser así. Esta está compuesta de varios tipos de unidades estructurales cementados en diferentes grados (Chepil, 1951; Chepil, 1953b). La fuerza de cementación y consecuentemente la abrasabilidad cuando el suelo está seco varía grandemente para los diferentes suelos y las diferentes unidades estructurales del suelo (Chepil, 1958). Dos tipos de materiales cementosos parecen ser los responsables de la consolidación del suelo. (1) Materiales insolubles en agua y (2) Materiales solubles en agua. Estos materiales cementantes parecen ser responsables para la formación de los siguientes tipos de unidades estructurales (Chepil, 1951; Chepil, 1953b; Chepil, 1953b; Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, 1963) con distintos grados de estabilidad mecánica y abrasabilidad del suelo: (1). Agregados primarios (estables en agua); (2) Agregados secundarios, agregados secos o terrones; (3) Materiales finos entre-

mezclados con los agregados secundarios y (4) Costra superficial.

Estas unidades estructurales del suelo pueden observarse en la Fig. 7.

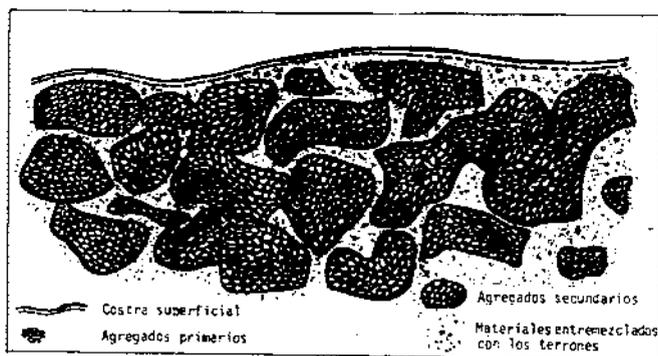


Fig. 7. Ilustración que representa las unidades estructurales de un suelo (Chepil, 1953b).

3.5.2.1.3.1. Agregados primarios (estables en agua)

Estos agregados primarios los cuales raramente exceden de 1 mm de diámetro en los suelos cultivados secos, son unidos -- por materiales cementantes insolubles en agua, compuestos por partículas arcillosas y por coloides orgánicos e inorgánicos -- irreversibles o poco reversibles (Mc Calla, 1950 citado por -- Chepil y Woodruff, 1963). Los gránulos estables en agua poseen gran fuerza de cohesión y estabilidad contra las fuerzas desintegradoras del clima (Chepil, 1951; Chepil, 1953b). En vista -- de que ellos son las unidades estructurales más estables del -- suelo, representan las unidades finales dentro de la desintegración de los agregados secundarios por las fuerzas del clima

y la acción abrasiva del material del suelo acarreado por el viento. Los agregados estables en agua son fácilmente separados de las otras fracciones del suelo por el viento y frecuentemente son acumulados en dunas o montículos dentro y fuera de los campos erosionados (Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, 1963). A falta de una cantidad apreciable de otros materiales cementantes en el suelo, los gránulos estables en agua tienden a permanecer como unidades individuales. En algunos suelos estos gránulos son lo bastante grandes para resistir la fuerza erosiva del viento; mientras que otros no lo son (Chepil, 1951). Los granos de arena y los agregados arcillosos acumulados presentan mayor estabilidad mecánica mientras que los de textura intermedia presentan poca estabilidad mecánica (Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, 1963).

Las partículas estables en agua <0.02 mm y >0.84 mm de diámetro, indistintamente de que sean partículas primarias o agregados, influyen grandemente en la agregación y erodabilidad del suelo por el viento. Ambos tamaños de fracciones tienden a incrementar la terronosidad del suelo y decrecen la erodabilidad por el viento. La cantidad de partículas estables en agua <0.02 mm es más alto en suelos secos cultivados que las partículas >0.84 mm. Estas partículas finas son en parte responsables de la formación de terrones bastantes resistentes a la fuerza del viento (Chepil, 1953b; Chepil, 1957).

Las partículas estables en agua entre 0.02 y 0.05 mm y entre 0.42 y 0.84 mm tienden a reducir la erodabilidad, pero no tanto como las partículas <0.02 mm y >0.84 mm. Los suelos más erodables por el viento son los que tienen mayor proporción de partículas estables en agua comprendidas entre 0.05 y 0.42 mm de diámetro. Los límites de los tamaños de las fracciones del suelo mencionados anteriormente obedecen a observaciones de t]

no práctico y no deben tomarse de manera estricta (Chepil, --- 1953b).

Los suelos secos están desprovistos de agregados estables en agua suficientemente grandes para resistir el movimiento -- por el viento. Su resistencia a la erosión eólica ha sido acrecentada por la formación de agregados secundarios conocidos como terrones.

3.5.2.1.3.2. Agregados secundarios, agregados secos o terrones

Los agregados secundarios tienen un amplio rango de tamaños y de estabilidad mecánica, dependiendo de la clase de suelo, profundidad y tratamiento de labranza. Se forman en un estado seco principalmente por elementos solubles en agua actuando bajo presión de la profundidad del suelo y el tiempo. Los elementos cementantes están compuestos principalmente de partículas solubles en agua más pequeñas que 0.02 mm de diámetro -- (Chepil, 1951; Chepil, 1953; Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, 1963).

La resistencia de los suelos a la erosión eólica depende de su capacidad para formar terrones. En efecto, los métodos -- de emergencia para el control de la erosión eólica se basa -- principalmente en métodos de labranza que lleven a la superficie del suelo terrones o gránulos densos (Chepil, 1953b). A mayor profundidad y más largo tiempo sin laboreo, mayor es la -- compactación y la estabilidad mecánica de los agregados secundarios en estado seco. Muchos de estos agregados cuando son -- llevados cerca de la superficie mantienen su identidad por algún tiempo aún después de repetidos humedecimientos y secados -- en el campo (Chepil, 1951; Chepil, 1957). Una sola lluvia frecuentemente produce la dispersión de una cantidad suficiente -- de limo y arcilla menores de 0.02 mm de diámetro, para formar-

una masa del suelo más o menos consolidada cuando éste se llegue a secar (Chepil, 1951).

Las lluvias tienen pequeña influencia en la forma y compactibilidad de los terrones bajo la superficie, pero ocasionan la posterior pérdida de su identidad después de que el suelo es mojado y secado.

En los estudios hechos por Chepil (1953b), se mostró que la formación de los agregados secundarios es debida principalmente a la proporción de partículas del suelo dispersables en agua, del tamaño de la arcilla quizás de ambos orígenes mineral y orgánico obtenidos cuando los agregados son agitados en agua y removidos por decantación repetida. Cuando esta fracción junto con las partículas de limo dispersa son removidos del suelo los agregados estables en agua provenientes de los agregados secundarios permanecen sueltos de manera muy semejante a los granos de arena. Chepil demostró con este estudio que los micro-agregados (agregados estables en agua) son virtualmente incapaces de formar los agregados secundarios o terrones a menos que una cierta cantidad o proporción de fracciones cementantes del tamaño de la arcilla esté dispersa entre estos agregados.

3.5.2.1.3.3. Materiales finos entremezclados con los agregados secundarios.

Los grados de cementación que mantienen a los terrones unidos después de que el suelo ha sido mojado y secado son debidos en gran medida a la cantidad de partículas del tamaño del limo o arcilla dispersables en agua (Chepil, 1958). El humedecimiento aparentemente causa que algunos materiales cementantes solubles o insolubles en agua se liberen de las distintas unidades estructurales; en el secado, los materiales cemen-

tantes causa un cierto grado de cementación entre las unidades. A mayor cantidad de partículas finas dispersables en agua; mayor es el grado de cementación entre las unidades estructurales y mayor es la resistencia del suelo a la desintegración -- por las fuerzas mecánicas (Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, -- 1963).

Las partículas finas que tienden a cementar los terrones y otras unidades estructurales, están compuestos de limo y arcilla y varios materiales de origen orgánico e inorgánico (Chepil y Woodruff, 1963). El limo usualmente no es considerado como un cementante del suelo, actúa como un cementante débil para resistir suficientemente la fuerza del viento (Chepil, --- 1955d). Las partículas de limo son dispersadas más fácilmente en el agua que las partículas de arcilla. La presencia de grandes cantidades de partículas de limo dispersas en el suelo causa la formación de una estructura sólida y compacta, la cual resiste por mucho tiempo la erosión eólica. Sin embargo los -- contenidos grandes de limo pueden causar un serio problema estructural (Chepil, 1953b; Chepil, 1958). Chepil y Woodruff --- (1963) concluyeron que los suelos compuestos por partículas finas de limo son difíciles de manejar debido a que tienen una estructura de granos separados cuando las partículas finas se dispersan en agua.

3.5.2.1.3.4. Costra superficial.

Debido a los impactos de la lluvia, los materiales de la superficie del suelo, se hacen más dispersos que los materiales subyacentes. En el secado el suelo dispersado forma una -- costra superficial delgada que es más compacta y mecánicamente

más estable que algunas de las partes que se encuentran bajo el suelo (Chepil, 1953b; Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, ---- 1963).

La costra frecuentemente no excede los 0.2 mm de espesor, pero ocasionalmente puede alcanzar un espesor de 0.6 mm o más. La costra es fácilmente reconocible por su estructura compacta y plana. Con la profundidad este tipo de estructura se vuelve menos diferente a la del material subyacente, hasta hacerse igual (Chepil, 1958).

Los suelos de textura media contienen una proporción alta de limos que están sujetos a la dispersión en el agua, por esta razón estos suelos producen la más gruesa y la más compacta de las costras. Esta propiedad contribuye a que las texturas medias de los suelos sean altamente resistentes a la erosión eólica. Los suelos arenosos generalmente están menos sujetos a la formación de costras superficiales, porque ellos no contienen una alta proporción de limo y arcilla. Esto hace que los suelos arenosos sean altamente erodables por el viento. Los suelos arcillosos son muy variables en lo que respecta a la erosión eólica ya que contienen una proporción alta de partículas finas solubles en agua, además tienden a encharcarse lo que los convierte en resistentes a la erosión eólica. Por otro lado algunas arcillas no están sujetas a altos grados de dispersión, consecuentemente la costra superficial y los terrones tienden a permanecer como gránulos finos, siendo algunos movidos rápidamente por el viento (Chepil, 1953; Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, 1963).

Las lluvias muchas veces se lleva algunas de las partículas solubles más finas y los materiales cementosos solubles en agua a estratos inferiores del suelo, dejando las partículas gruesas, tales como arena o agregados estables en agua en la -

superficie. Algunas de estas partículas gruesas quedan sueltas en la superficie y frecuentemente, pueden ser movidas por el viento tan pronto se secan después de haber cesado de llover, aún antes de que se seque la superficie del suelo, el movimiento se manifiesta claramente (Chepil, 1958). La abrasión de estas partículas tiende a desgastar la parte superior de la costra, acelerando el secado de la superficie y acrecentando el movimiento del suelo (Chepil, 1958; Chepil y Woodruff, 1963).

En muchos suelos la tasa del movimiento del suelo es lenta en el comienzo, pero es acelerado cuando la costra superficial es desgastada continuamente y existe un suelo débilmente consolidado bajo la costra, que es expuesto a la erosión (Chepil, 1953b).

3.5.2.2. Factores básicos del suelo.

Los factores básicos del suelo afectan a la erosión eólica indirectamente. Los más importantes son (Chepil y Woodruff, 1963).

- (1) La textura del suelo
- (2) La estructura estable en agua
- (3) Materia orgánica, microorganismos del suelo y varios productos de descomposición de la M.O.
- (4) Carbonato de Calcio.

3.5.2.2.1. Textura del suelo.

La textura del suelo influye sobre la erodabilidad del mismo a través del tipo de agregados que es capaz de producir (Chepil, 1953). La influencia de la textura sobre la erodabilidad está relacionada en gran medida con las propiedades de retención de la humedad (Wilson y Cooke, 1980). Chepil (1953); -

Chepil, (1957) observó que las texturas más gruesas y las más finas son en promedio más erodables que los suelos de textura media.

Los suelos de textura gruesa evidentemente carecen de cantidades suficientes de limo y arcilla para unir las partículas sueltas de arena. Consecuentemente, tales suelos forman una estructura de granos separados extremadamente susceptibles a la erosión por el viento, o ellas pueden formar terrones cementados frágiles que son rápidamente destruidos y erosionados por el viento; ya que las partículas de arena no tienen o tienen poca propiedad cohesiva, y estas son rápidamente desprendidas por la fuerza de impacto de los materiales abrasivos acarreados por el viento (Chepil, 1953; Chepil, 1955a; Chepil, 1957, Chepil y Woodruff, 1963). Los suelos de textura fina, por otro lado, tienen demasiada arcilla y producen terrones los cuales bajo la acción de humedecimiento y secado, congelamiento y deshielo se desintegran rápidamente en gránulos finos, condición erodable (Chepil, 1953; Chepil, 1957). En suelos de textura media, tales como franco arcillo limoso, la proporción de limo y arcilla parecen ser suficientes para unir los granos de arena (Chepil, 1953).

Chepil (1955a) observó que el limo y la arcilla presentan una propiedad cohesiva y actúan como agentes de unión en la formación de terrones resistentes a la erosión. La eficacia de limo y arcilla como agentes de unión depende un poco de la proporción de cada uno de ellos y de la fracción de arena (Chepil y Woodruff, 1963).

En los trabajos hechos por Chepil (1955a) se observó que el primer 5 por ciento de limo y arcilla mezclados con arena producen una formación igual de terrones, pero la calidad de terrones fue diferente en los dos casos: Los formados por la

arcilla y arena fueron más duros y menos sujetos a la abrasión que los formados con limo y arena. Del 5 al 100 por ciento, el limo forma más terrones, pero son más suaves y más fácilmente desgastados que los formados por la arcilla.

Chepil y Woodruff (1963) observaron que los terrones que manifestaban un mayor grado de estabilidad (por ejemplo; resistencia a la abrasión), consistían en mezclas que contenían del 20 al 30% de arcilla, del 40 al 50% de limo y del 20 al 40% de arena.

3.5.2.2.2. Estructura estable en agua

Los efectos de los agregados estables en agua y las partículas finas solubles en agua sobre el estado y estabilidad de los terrones y en la erodabilidad por el viento fueron descritos anteriormente (punto 3.5.2.1.3.1). Este inciso determina la influencia total de la estructura estable en agua sobre la terronosidad del suelo y la erodabilidad por el viento.

Russell (1938) citado por Chepil y Woodruff (1963) en su artículo sobre la estructura del suelo referidas a las partículas estables en agua (determinadas por sedimentación y elutriación) indica que son los cimientos para la construcción de la estructura de los suelos. Algunas de estas partículas son partículas primarias de arena, limo y arcilla y algunas son agregados estables en agua, referidos como agregados primarios. Pocas partículas o agregados primarios existen individualmente en los suelos. Ellos usualmente se agrupan en agregados secundarios comúnmente llamados terrones. Chepil (1953a) indicó que las partículas estables en agua <0.02 mm y >0.84 de diámetro, ya sean partículas o agregados primarios, incrementan la terronosidad del suelo y decrecen la erodabilidad de los mismos. La cantidad de terrones guarda una estrecha relación con los por-

centajes de partículas estables en agua <0.02 y >0.84 mm de -- diámetro (Baver, Gardner, W.H., Gardner, W.R., 1973).

3.5.2.2.3. Materia orgánica

Observaciones generales en Canadá han indicado que los - suelos que tienen un alto contenido de M.O., son de una alta - fertilidad y fácil laboreo pero fácilmente erosionados por el viento (Hopkins, 1935; Hopkins et al., 1946 citados por Chepil y Woodruff, 1963). Los experimentos preliminares intentaron ve rificar estas observaciones mostrando que la paja de trigo en el proceso de descomposición incrementaba la terronosidad y de crecía la erodabilidad por el viento. Esto se invirtió después de que la paja fue descompuesta (Departamento de Agricultura - de Canadá, 1949 citado por Chepil, 1955b; Chepil y Woodruff, - 1963).

En los trabajos realizados por Chepil (1955b) se notó en algunos suelos de los campos experimentales en las grandes pla nicies de los E.U.A. que durante el tiempo de la rápida descom posición del material vegetativo la proporción de los agrega-- dos gruesos estables en agua >0.84 mm de diámetro se incremen-- taban y el contenido de las partículas finas estables en agua <0.02 mm decrecía, también se incrementaba significativamente la proporción de los terrones secos mayores que 0.84 mm, y de-- crecía marcadamente la erodabilidad del suelo por el viento.

Los incrementos en la agregación del suelo no son percep-- tibles hasta después que haya empezado la descomposición de la M.O. Los efectos de la agregación son debidos evidentemente a los productos de descomposición y no a la acción de enlazamien-- tos de las fibras vegetativas en el suelo. Los productos cemen-- tantes de la descomposición incrementa el tamaño de los agrega-- dos estables en agua y de los agregados secundarios o terrones.

Estos productos no son enteramente solubles en el agua, de lo contrario no se formarían agregados estables en agua. Muchos de los agregados estables en agua formados por la descomposición del material vegetativo son suficientemente grandes para resistir la erosión eólica (Chepil, 1955b; Chepil y Woodruff, 1963).

Gradualmente, los materiales cementantes iniciales pierden sus propiedades viscosas o son destruidos y reemplazados por materiales secundarios. Es obvio que las fuerzas mecánicas de expansión y contracción del suelo por el humedecimiento y secado y especialmente del congelamiento y deshielo causan los materiales cementantes secundarios, desmoronándose los agregados primarios y secundarios, a una condición más o menos granulada. Los materiales cementantes secundarios son menos resistentes y causan más granulación que los productos iniciales. Los gránulos son esencialmente estables en agua. Ellos forman un suelo suave y friable, el cual es más erodable por el viento (Chepil, 1955e; Chepil y Woodruff, 1963).

Los niveles altos de materia orgánica son esenciales para mantener la fertilidad del suelo. Por lo tanto, el material vegetativo debe añadirse continuamente al suelo. Las adiciones continuas de materia orgánica al suelo tiende a producir algunos agregados resistentes al viento y tiende a equilibrar la excesiva granulación y el incremento de la erodabilidad del suelo por el viento causado por los productos secundarios de la descomposición (Chepil, 1955b; Chepil y Woodruff, 1963). En base a la información recibida de estudios sobre este tema, los beneficios obtenidos de los productos primarios de descomposición al aumentar la resistencia del suelo a la erosión eólica son pocos, comparados con los efectos perjudiciales de los productos secundarios de la descomposición que en forma colectiva se conoce como "humus". No obstante, se debe mantener-

un alto contenido del humus en el suelo a pesar de sus efectos perjudiciales porque los efectos benéficos del humus en el aumento en la fertilidad del suelo excede grandemente sus efectos perjudiciales. Mayores beneficios para el control de la erosión, serían obtenidos si los residuos de la vegetación, se dejaran protegiendo la superficie del suelo contra la erosión por el viento. De este modo la cubierta vegetal y no solo la materia orgánica es la base efectiva para la estabilización y conservación del suelo (Chepil, 1955b; Chepil y Woodruff, 1963).

3.5.2.2.4. Carbonatos de Calcio

Hopkins (1935 citado por Chepil, 1954a), observó en Canadá que suelos con altos contenidos de carbonatos de calcio (CO_3Ca), o cal y materia orgánica han sido erosionados severamente por el viento.

Thompson (1952 citado por Chepil, 1954; Chepil y Woodruff, 1963) afirma que la presencia en los suelos de grandes cantidades de calcio, frecuentemente en forma de CO_3Ca , tiende hacia el desarrollo de una estructura granular. Si los gránulos son pequeños entonces serán erosionados rápidamente por el viento. La granulación en tierras secas tiende a inducir la erosión eólica (Hopkin et al., 1946 citado por Chepil, 1954a; Chepil y Woodruff, 1963).

En las regiones semiáridas, los cuales son caracterizados generalmente por un estrado de acumulación de CaCO_3 , localizado justamente abajo de la capa arable. Esta capa frecuentemente es llevada hacia la superficie por los implementos de la labranza. La exposición de la capa de CaCO_3 incrementa los peligros de la erosión eólica (Chepil, 1954a).

En las regiones húmedas, en ocasiones se requiere de aplicaciones de cal, para corregir la acidez del suelo. Las cantidades de cal aplicadas al suelo en tal caso del orden de 7 a 8 ton por acre (4.5 a 11 ton/ha) conforme a los grados de acidez del suelo. Estas cantidades son demasiado pequeñas para tener un efecto apreciable en la estructura del suelo y la erodabilidad por el viento. Además, las condiciones favorables de humedad del suelo en estas regiones impiden los peligros de la erosión eólica (Chepil, 1954a; Chepil y Woodruff, 1963).

3.5.3. Factor superficie del suelo

Las condiciones de la superficie que tienen relación con la erosión eólica son la rugosidad de la superficie, el grado de protección por la cubierta vegetal y la protección de la superficie contra el impacto directo del viento (FAO, 1961; Bayer, Gardner, W.H., Gardner, W.R., 1973). La erosión disminuye al aumentar las desigualdades de la superficie. Además de las desigualdades del terreno creadas por la presencia de terrones y agregados, los lomos y depresiones formados por los instrumentos de labranza modifican también la velocidad del viento - (FAO, 1961; Bayer, Gardner, W.H., Gardner, W.R., 1973). Estas rugosidades sólo son efectivas si están constituidas por unidades estructurales no erosionables. Debe de tomarse en cuenta - que los lomos sobresalen más a las capas turbulentas del viento quedando así sujetos a la acción de fuerzas mayores. Por -- consiguiente es muy importante que la cresta de los lomos sea terronoso en grado suficiente para resistir estos nuevos es--- fuerzos. Por ejemplo, un lomo de arena sería pronto arrastrado y aplanado por el viento (FAO, 1961; Bayer, Gardner, W.H., --- Gardner, W.R., 1973).

La vegetación no solo añade irregularidad a la superficie sino que además proporciona una cubierta protectora del suelo-

que no sólo reduce la velocidad del viento en la superficie, - sino que absorben gran parte de las fuerzas ejercidas por él. - La altura de la cubierta vegetal determina la altura de despla- zamiento cero, al igual que la desigualdad de la superficie - (FAO, 1961; Bayer, Gardner, W.H., Gardner, W.R., 1973).

Una vegetación alta aumenta el factor de rugosidad más -- que aquella pequeña. Las plantas que ceden y se inclinan por - la acción del viento tienen una rugosidad total menor que las- que permanecen erguidas. La vegetación densa, como los césped- es de gramíneas y el rastrojo de cereales de grano pequeño, - dan mayor cubrimiento de la superficie que los rastrojos gran- des, como el maíz y el algodón. Los materiales en pie son de - lo más eficaz aunque deben estar debidamente adheridos al ter- reno para no ser arrastrados por el viento. Los materiales ve- getales detienen además las partículas del suelo en movimiento lo cual evita el incremento normal de la carga arrastrada en - dirección del viento (FAO, 1961; Bayer, Gardner, W.R., Gardner, W.R., 1973).

3.6. Control de la erosión eólica.

Las medidas del control de la erosión se basan en la pro- tección de las fracciones del suelo erosionables contra los - fuertes impactos erosivos del viento y en la captación de las- partículas arrastradas entre las barreras superficiales o a so- tamento de estas barreras. La vegetación viva o los residuos - de la cubierta vegetal anterior constituyen el mayor esfuerzo- de control en virtud de su efectividad (Bayer, Gardner, W.H., Gardner, W.R., (1973).

La estabilización del suelo precede bajo condiciones natu- rales o es llevada a cabo por el hombre en tres principales --

etapas sucesivas: (1) Atrapamiento de las partículas del suelo en movimiento, (2) Consolidación y agregación de las partículas atrapadas y (3) Revegetación de la superficie (Chepil y Woodruff, 1963).

3.6.1. Atrapamiento de las partículas del suelo en movimiento

Al atrapamiento de las partículas erosionadas se le conoce como detención de la erosión. El atrapamiento puede ser llevado a cabo por medio de: (1) asperezas o barreras de la superficie, (2) la cubierta vegetal y (3) prácticas de labranza (Chepil y Woodruff, 1963).

3.6.1.1. Principios de las barreras superficiales.

Los suelos desnudos contienen una mezcla de fracciones erodables y no erodables. La cantidad de suelo removido por el viento es limitado por la altura y el número de las fracciones no erodables que se presentan en la superficie. La erosión continúa hasta que las fracciones o terrones no erodables sobresalgan suficientemente por encima de la superficie dando protección a las fracciones erodables (Chepil, 1950a; Chepil y Woodruff, 1963; Chepil, 1965) (Fig. 8).

El tiempo requerido para que cese el movimiento varía grandemente con las condiciones estructurales del suelo y la longitud del campo paralelo a la dirección del viento. Entre menor sea el tamaño de las fracciones no erodables, mayor es la tasa inicial del movimiento del suelo y más corto el tiempo requerido para que cese el movimiento. A mayor proporción de fracciones erodables a no erodables, mayor es la tasa inicial del suelo removido y más largo es el tiempo requerido para que cese el movimiento. También, a mayor extensión del campo, mayor es el tiempo requerido para remover las fracciones eroda-

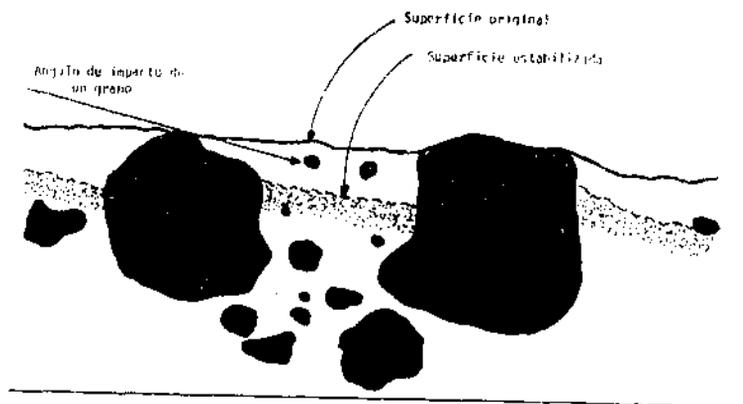


Fig. 6. Diagrama que representa a las fracciones no erodables protegiendo a las fracciones erodables (principio de las barreras superficiales) (Chepil, 1950a).

bles (Chepil, 1950a; Chepil y Woodruff, 1963).

Un suelo que contiene una gran proporción de fracciones - erodables y pocos terrones no erodables por unidad de área de suelo está más expuesto a la erosión eólica. Los terrones no erodables bajo tal condición tienen que alcanzar una altura -- considerable antes de que llegue a cesar la remoción del suelo. Por otro lado si el suelo contiene una pequeña proporción de - fracciones erodables, muchos terrones no erodables serán ex-- puestos en la superficie por el viento y su altura cuando el - movimiento del suelo cese será relativamente poca. A mayor número de terrones expuestos en la superficie, menor es su altura cuando el movimiento del suelo cesa (Chepil, 1950a; Chepil y Woodruff, 1963).

En los campos extensos grandes cantidades de fracciones - no erodables son convertidas en partículas erodables por la -- abrasión de las partículas en movimiento. Las barreras superficiales bajo tales condiciones tienden a ser destruidas y la ta

sa del movimiento del suelo tiende a aumentar, la disminución y finalmente el cese del movimiento del suelo es posible solamente si las barreras superficiales sobresalen y son indestructibles (Chepil, 1950a; Chepil y Woodruff, 1963). Los suelos de sérticos compuestos de una capa de gravas no erodables es un ejemplo de la indestructibilidad de una superficie estabilizada (Chepil y Woodruff, 1963).

3.6.1.2. Cubierta vegetal

El manejo de la cubierta vegetal comprende toda la planeación agrícola, desde cultivos de cobertera, en fajas, rotaciones de cultivo hasta el uso de residuos de cosechas (Colegio de Postgraduados, 1977).

Cualquier tipo de vegetación proporciona protección al suelo contra la acción erosiva del viento. Los cultivos en desarrollo actúan como cubierta vegetal durante parte del año. Los cultivos densos ofrecen una protección más eficiente; en cambio los de escarda como el sorgo, maíz y algodón, etc., que crecen en hileras proporcionan una cubierta incompleta mientras el cultivo alcanza su desarrollo total (FAO, 1961; Chepil y Woodruff, 1963; Colegio de Postgraduados, 1977). En tales casos puede conseguirse una protección adicional durante la temporada de crecimiento de los cultivos mediante el trazo de los surcos en dirección perpendicular a los vientos dominantes -- (FAO, 1961; Colegio de Postgraduados, 1977), dentro de las medidas de control por medio de la cubierta vegetal se tienen:

1. Cultivos de cobertera
2. Cultivos de faja
3. Rotación de cultivos
4. Rompivientos y cortinas protectoras
5. Residuos vegetales.

3.6.1.3. Métodos de labranza

La labranza ha sido y probablemente seguirá siendo un factor importante en la agricultura. Los dos fundamentos en que descansa la importancia es en la destrucción de las malas hierbas y la adecuada preparación del terreno. Otros beneficios posibles, son la mayor infiltración y la mejor evaporación (Woodruff y Chepil, 1956; FAO, 1961). Sin embargo, un abuso en la labranza tiende a pulverizar el suelo y propiciar su acarreo por el viento (Chepil y Woodruff, 1963; Colegio de Postgraduados, 1977).

En las zonas semiáridas, donde el problema de erosión eólica es mayor debe tenerse particular cuidado en la selección del método y los implementos de labranza. El criterio del manejo a seguir debe ser tal, que evite en lo posible el disturbio del suelo mediante la eliminación de algunas prácticas de labranza que favorecen la destrucción de agregados del suelo (Colegio de Postgraduados, 1977). El concepto de labranza mínima puede ser definido como el laboreo reducido únicamente a aquellas operaciones oportunas y necesarias para producir un cultivo tratando de evitar el perjuicio del suelo (Phillips, S.H. y Young, H.M. (1981). En los E.U.A., la práctica de este tipo de labranza ha tenido buenos resultados, ya que la preparación del terreno se mantiene al mínimo, y consisten de ordinario en una sola labor previa a la siembra (FAO, 1961).

3.6.1.3.1. Implementos agrícolas

Al estudiar la maquinaria relacionada con la erosión eólica y con su combate, se observa una gran variedad de instrumentos y máquinas para fines concretos (FAO, 1961). El uso de los implementos agrícolas en áreas afectadas por erosión eólica, debe propiciar la formación de obstáculos físicos que aumentan

la rugosidad del terreno y disminuir así la velocidad del viento sobre la superficie del suelo (Colegio de Postgraduados, -- 1977).

La elección de las máquinas y su adecuado empleo dependen de muchos factores. La humedad, estructura y textura del suelo son importantes. El objetivo de la labranza ya se trate de una labor ordinaria de preparación del terreno, de una labor de urgencia en un lugar erosionable, influirá sobre la elección de la máquina y sobre su uso (FAO, 1961).

La maquinaria de labranza, siembra y cultivo puede clasificarse en tres grupos generales (FAO, 1961).

- a) máquinas que voltean la capa labrada
- b) máquinas que revuelven el suelo
- c) máquinas que cortan bajo la superficie sin revolver ni -- voltear la capa labrada

3.6.1.3.1.1. Máquinas que voltean la capa labrada

Arado de vertedera y arado de discos. El arado de vertedera es de gran eficacia para remover una capa de suelo relativamente profunda y para incorporar y enterrar los residuos durante las labores. El arado de discos tiene mayor penetración de los residuos y mejor separación de los suelos adherentes con las rasquetas. Estas máquinas no se adaptan en general a zonas más áridas en que la erosión eólica sea un grave peligro (FAO, 1961). La objeción principal al empleo de estas máquinas es -- que los residuos vegetales tan importantes para combatir la -- erosión, quedan enterrados (Woodruff y Chepil, 1956; FAO, 1961; Woodruff y Lyles L., 1967). Otros inconvenientes son: la rápida desecación de la capa de suelo relativamente profunda que --

se invierte, el elevado costo de funcionamiento, la poca velocidad de labranza y el peligro de que si los suelos cohesivos se labran estando demasiado húmedos, se produzcan efectos nocivos para su estructura (FAO, 1961).

Pese a estos inconvenientes, los arados pueden utilizarse con ciertas finalidades concretas en las zonas sujetas a erosión eólica. Si faltan residuos vegetales el arado producirá una superficie terronosa, cosa que no harían la mayor parte de las demás máquinas, sobre todo cuando los suelos se hallan relativamente secos y la superficie suelta (Woodruff y Chepil, 1956; FAO, 1961; Lyles L., Woodruff, 1962). Dentro de la labranza de emergencia los arados de disco principalmente y el de vertedera invierten el perfil del suelo y crean así una superficie de textura más fina y entierran delgadas capas de arena o arena margosa (FAO, 1961; Woodruff y Lyles L., 1967).

Arado alomador. El arado alomador presenta dos rejas y -- vertederas simétricas que empujan el suelo labrado en direcciones opuestas. Según la profundidad de trabajo, el arado alomador forma camellones con terrones en la cresta cuando encuentra un suelo compacto. Esta superficie es muy resistente a la erosión eólica, sobre todo si la operación se efectúa en sentido perpendicular al de los vientos dominantes. No solo la superficie es irregular, sino que los surcos detienen las partículas de suelo transportadas (FAO, 1961; Colegio de Postgraduados, 1977). En la labranza de emergencia este implemento es muy efectivo ya que aumenta las irregularidades en la superficie por la creación de surcos y terrones (Chepil y Woodruff, 1955; Woodruff y Lyles L., 1967). Este es uno de los implementos más efectivos en la labranza de emergencia para el control de la erosión eólica (Woodruff et al. s/f).

3.6.1.3.1.2. Máquinas que revuelven el suelo.

Rastra de discos y arado-rastra. Cuando abundan los residuos vegetales puede utilizarse cualquiera de estos implementos. En general, trituran los residuos en forma apreciable y alrededor de la mitad quedan enterrados o incorporados al suelo. Cuando la cantidad de residuos es de alrededor de 4,500 kg/ha, o más, la proporción cubierta es menor (FAO, 1961). Así, pues, cuando estas condiciones se dan en la agricultura de cobertera de rastrojo (Stubble mulch farming), el empleo de esta máquina es del todo satisfactorio, ya que conservan más residuos en la superficie sobre todo el arado-rastra (Woodruff y Chepil, 1956; FAO, 1961; Woodruff y Lyles L., 1967).

Sin embargo, cuando los residuos no abundan o faltan en absoluto, no convienen estas máquinas. Su acción, sobre todo la de la rastra de discos es violenta y deja una superficie lisa y pulverizada que en general es muy susceptible a la erosión. Con un residuo escaso de 2,200 kg/ha o menos, el enterrado de éstos no se aconseja nunca, excepto en los suelos más resistentes a la erosión (FAO, 1961). El arado-rastra, en general mantiene al suelo bajo severas condiciones de erosión (Chepil y Woodruff, 1955).

Arado rotativo. Se le conoce también como fresadores rotator, rototiller, rotocultor. El arado rotativo pica, mezcla y pulveriza una capa de suelo de 5 a 15 cms de profundidad. Los más pesados pueden llegar hasta 22 cm. Este arado no debe emplearse para moler terrones porque deja al suelo como polvo (destruye su estructura), y se compacta rápidamente impidiendo la infiltración y facilitando la erosión (Ulloa T. Omar, 1981).

3.6.1.3.1.3. Máquinas que cortan bajo la superficie sin revolver ni voltear la capa labrada.

Una tercera forma de trabajar el suelo es mediante implementos que realizan labores subsuperficiales, rompiendo, resquebrajando el suelo bajo la superficie sin invertir ni cambiar de posición el suelo, a profundidades que pueden variar entre 5 cm hasta un metro o más.

Los principales implementos para realizar este tipo de labores son: el cultivador de campo y arado de cinceles (Ulloa - T. Omar, 1981).

El cultivador pie de pato (cultivador de campo), produce una considerable remoción de la superficie del suelo, y por regla general, las malezas quedan eficazmente destruidas si son pequeñas. Los residuos vegetales no se reducen apreciablemente y al mismo tiempo se obtiene una superficie bastante irregular y alomada. Si actúa a suficiente profundidad para alzar el suelo compacto (ordinariamente 10 a 15 cm) llegan a la superficie muchos terrones. Este tipo de máquina se presta muy bien a su empleo en la agricultura con cobertera de rastrojo. Los residuos no suelen quedar demasiado triturados ni profundamente enterrados, sino que más bien mezclados en la capa superficial del suelo o sobresalen de ésta. Cuando no existen residuos, este tipo de instrumento es también muy eficaz siempre que la erosión no sea extrema y que los órganos de trabajo puedan llegar hasta las capas compactas del suelo (FAO, 1961).

El cultivador de rejas (arado de cinceles, arado de rejas) se proyectó en un principio para una labranza más profunda que la conseguida con el cultivador pie de pato. Por ello, su construcción es más robusta. Cuando funciona con rejas reneradoras estrechas el removido de la superficie es menos intenso que el causado por el cultivador pie de pato, por ser mayor el espaciado de sus brazos. Si se encuentran capas consolidadas del suelo a 15 ó 20 cm de profundidad, podrán traerse a-

la superficie terrones grandes siempre que la máquina trabaje a la debida velocidad. Su efecto es múltiple: combate de malezas, no pulveriza el suelo y de ordinario, crea una superficie irregular (FAO, 1961). Hay que tomar en cuenta que los cultivadores de rejas son efectivos en tierras compactas pero inefectivos en suelos de textura arenosa y franco arenosa (Chepil y Woodruff, 1955), o extremadamente arenoso (Woodruff y Lyles L., 1967).

En la labranza de emergencia, los cultivadores de campo y rejas son muy efectivos pues dejan muchos residuos vegetales y además producen suficientes terrones resistentes a la erosión (Woodruff et al. s/f; Woodruff y Lyles L., 1967; Fryrear, D.W., 1969).

3.6.2. Consolidación y agregación de las partículas atrapadas y revegetación de la superficie (dunas)

Las dunas son montículos de arena que pueden estar aislados o agrupados. Se forman cuando la arena transportada por el viento tropieza contra un arbusto u otras irregularidades topográficas obstructoras que reducen la fuerza del viento y el acarreo, tanto a barlovento como a sotavento del obstáculo y hacen que las arenas se amontonen (Colegio de Postgraduados, - 1977).

Las dunas movedizas, casi siempre carentes de vegetación, forman grandes extensiones que son una constante amenaza para los suelos fértiles, ciudades, vías de comunicación, etc.

Al planear la fijación de las dunas es necesario estudiar la composición de la arena; la frecuencia y dirección de los vientos y la cantidad, duración y distribución de las lluvias. Además de observar si en las dunas, o cerca de ellas, existe -

vegetación natural (Colegio de Postgraduados, 1977).

La única solución permanente para este tipo de problema es el establecimiento de una cubierta vegetal en la superficie de la duna (Stallings, 1953). La vegetación natural podrá invadir las dunas sólo si el movimiento de éstas se interrumpe por completo por medio de barreras trazadas en sentido transversal a la dirección del viento dominante, o bien en forma de tablero de dunas cuando el viento proviene de distintas direcciones; estas barreras o rompevientos se pueden formar con cercas de carrizo, junquillos, cañuela de sorto, ramas, etc.

Una vez estabilizada el área de duna, la vegetación natural empezará a invadir esta zona si en su vecindad hay asociaciones de plantas en cantidad suficiente, que se propaguen por sí mismas en ese medio (Colegio de Postgraduados, 1977).

En caso que no haya vegetación, se procederá a revegetar el área en tres etapas sucesivas: Primero plantando pastos o zacates que estabilicen la zona. Después sembrando o plantando leguminosas y por último se plantará una vegetación permanente, ya sean hierbas, matorrales o árboles, adaptada a las condiciones climáticas de la región (Stallings, 1953).

En el caso de zonas localizadas con peligro de erosión -- dentro de los terrenos, se ha visto que un tratamiento especial con paja, ramas o incluso grava o piedras desmenuzadas -- puede ser muy eficaz para estabilizarlas e impedir así que la erosión se propague a otras porciones del campo (FAO, 1961).

3.7. Vientos

Papel muy importante desempeñan los vientos ya que si el conjunto de las condiciones se presentan críticas (alta veloci

dad del viento, fuerte oscilación de temperatura, poca humedad y escasa vegetación se produce el movimiento de partículas sobre la superficie del suelo (Wilson y Cooke, 1980).

Siendo el viento un agente físico que influye en la erosión de los suelos, se tratará de describir brevemente qué son los vientos, cómo se originan y cuáles son los que afectan el área de estudio.

Los vientos son masas de aire en movimiento (Sánchez M. - Andrade de H. y García D., 1971). El viento al desplazarse o al avanzar genera a su vez tres tipos de movimiento: (Colegio de Postgraduados, 1977). (Fig. 9):

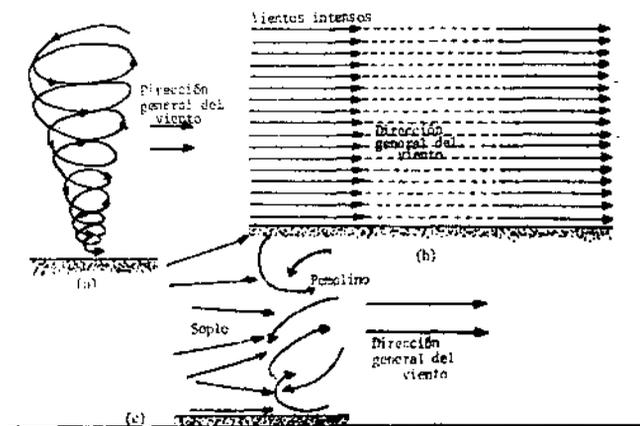


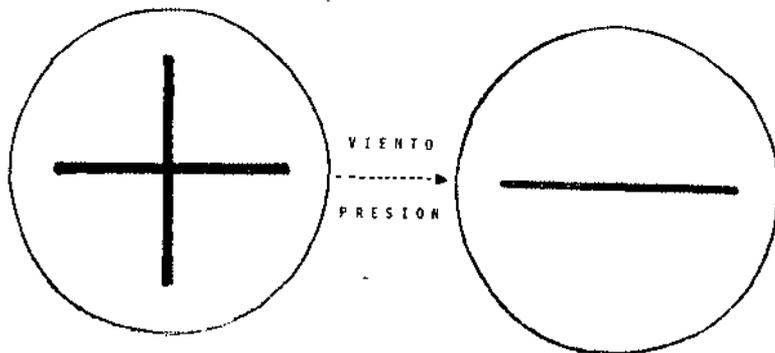
Fig. 9. Movilización del viento: a) Remolinos, b) Corrientes intermitentes y el Terbellino. (Colegio de Postgraduados, 1977).

- a) Remolinos: cuando el movimiento presenta forma de un embudo giratorio (tolva) ubicado sobre un punto del terreno. Este tipo de movimiento es muy frecuente en épocas de estiaje.

- b) Corrientes intermitentes de aire: son variaciones repentinas de mayor a menor intensidad.
- c) Torbellinos: son choques de una corriente con un remolino produciendo una gran agitación dentro de la masa de aire.

Los vientos se deben a diferencias de temperaturas y en consecuencia de presiones. Cuando la presión de un lugar es mayor que la de otro, se origina una corriente a lo que se llama viento, que sopla del sitio de mayor presión al sitio de menor presión para tratar de establecer el equilibrio. Entre mayor sea la diferencia de presiones mayor es el movimiento de la masa de aire y por tanto mayor su velocidad (Sánchez M., Andrade de H. y García D., 1971) (Fig. 10).

Fig. 10. CAUSA DE LOS VIENTOS



IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización de la zona de estudio

El Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semi-áridas (CREZAS) se encuentra ubicado en la población de Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. Dicho Centro tiene una zona de influencia que se encuentra comprendida entre los paralelos $23^{\circ}30'$ y $21^{\circ}45'$ Latitud Norte y por los meridianos $102^{\circ}40'$ y $101^{\circ}00'$ Longitud Oeste. Esta zona cubre una superficie de $3'141,575$ ha (Fig. 11), en parte de los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco y Guanajuato (Cuadro 1) (Aguirre, García M. y Figueroa S., 1982).

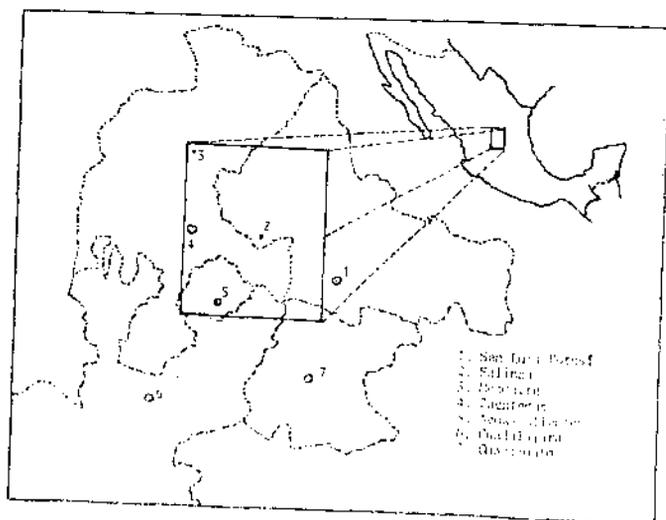


Fig. 11. Localización del área de influencia del CREZAS.

Cuadro 1. Area de estudio expresado en ha y en % por Estado

Estado	Superficie	%
San Luis Potosí	1'551,750	49.5
Zacatecas	1'182,375	37.6
Aguascalientes	267,275	8.5
Jalisco	109,000	3.5
Guanajuato	31,175	0.9
	3'141,575	100

4.2 Localización del experimento

El experimento se estableció en el ejido de Pánfilo Natera, Zac. localizado en el paralelo 22°41' Latitud Norte y el meridiano 102°07' Longitud Oeste, quedando dentro de la zona de influencia del CREZAS, a una altitud de 2,150 m.s.n.m. (Cetenal, 1977)(Fig. 12).

4.3. Descripción del área del experimento

4.3.1. Ubicación

El presente trabajo se realizó en el municipio de Pánfilo Natera, anteriormente La Blanca, ubicado al SE del estado de Zacatecas, a 45 km al NW de Salinas de Hgo., SLP, por la carretera Federal No. 49 San Luis Potosí-Zacatecas (Cetenal, 1977).

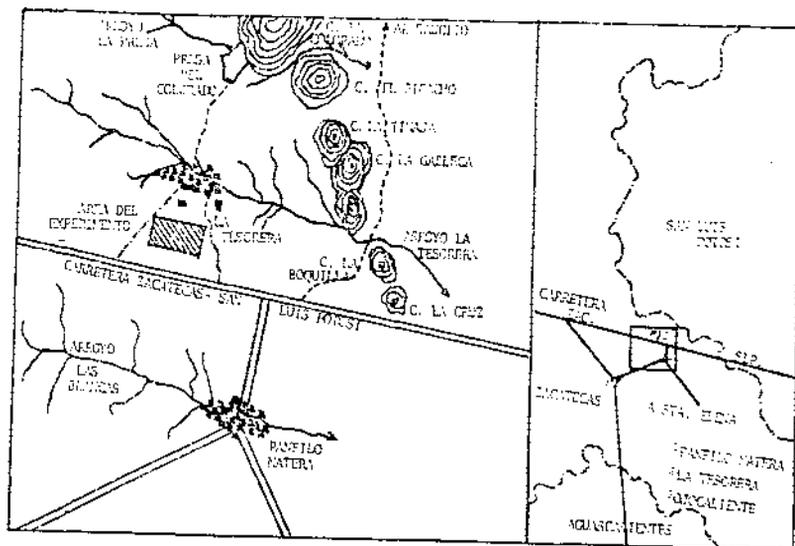


fig 12. Localización del área del experimento.

4.3.2. Clima

El área presenta según W. Köppen, clima con clasificación de un BSkwg, clima de estepa, con vegetación xerófila, lluvias durante el verano, frío con media anual inferior a 18°C y con media del mes más caluroso, superior a 18°C . La temperatura máxima es anterior al solsticio de verano (Espinoza, 1965).

4.3.2.1. Precipitación

En el área la distribución de la precipitación consiste en una época lluviosa bien definida de los meses de marzo a octubre variando en ambos sentidos, es notorio considerar que durante el invierno en ocasiones se presentan algunas precipitaciones debido a los llamados Nortes, pero sin que esta precipitación llegue a modificar la estación seca. Por los datos se observa una precipitación media anual de 360-400 mm, encontrándose años en donde la precipitación excede a los 500 mm. El período de lluvias está localizado del 15 de mayo a fines de octubre, siendo los meses más lluviosos junio, julio y agosto, época en la cual se efectúan los cultivos de secano (Espinoza, 1965).

4.3.2.2. Temperatura

Espinoza (1965) observó que las temperaturas medias anuales están comprendidas entre los 16 y 18°C encontrándose variaciones en los meses de diciembre y enero.

4.3.2.3. Heladas

Las heladas son comunes en esta zona siendo ésta un factor limitante en los cultivos que ahí se establecen, pues son frecuentes las heladas en los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre (Espinoza, 1965). El número de heladas puede ser entre 20 y 40 días anuales, pero en ocasiones puede aumentar. (SPP, 1981).

4.3.2.4. Granizo

Otro factor dependiente del clima lo constituye las graniz

zadas, las cuales se presentan aunque aisladas, en los meses de mayo a septiembre (Espinoza, 1965). El número de granizadas puede ser entre 2-4 días anuales (SPP, 1981).

4.3.2.5. Vientos

Los vientos que afectan el área de estudio son: a) Los Vientos Alisios del Este, éstos dejan sentir su influencia sobre el Altiplano pero presentan poca humedad, ya que la condensación se da a barlovento en las regiones de Veracruz y las Huastecas (Tamayo, 1981). Una vez que atraviesan la Sierra Madre Oriental van tornándose cada vez más secos. b) Los Vientos Alisios del SW al entrar a las costas del Pacífico producen algunas lluvias pero a medida que éstos se desplazan al Altiplano van tornándose secos completamente, explicándose así la aridez del centro de Zacatecas (Velázquez, 1962; Espinoza, 1965). Los Alisios del SW dejan sentir su presencia en los meses de enero a abril en que adquieren importancia en esta región debido a la erosión que causan al suelo. Estos vientos tienen una velocidad de 8 m/seg alcanzando en cierto momento más de 80 km/hr (obs, personal). Rzedowski (1965) afirma que estos vientos secos llevan en suspensión gran cantidad de partículas de tierra y presentan ciertos rasgos de las tempestades de arena de tipo desértico (Fig. 13).

4.3.3. Geología

La geología de la zona principalmente la constituyen rocas ígneas. Entre las rocas ígneas se distinguen las ígneas intrusivas como: Granito, Diorita y Grano diorita. Estas rocas datan de la Era Terciaria. (SPP, 1981).

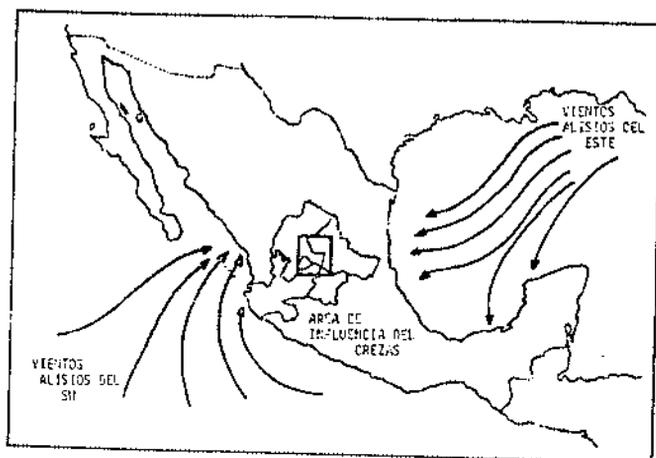


fig 13. Vientos que afectan el área de influencia del CREZAS-CP.

4.3.4. Topografía

La zona estudiada se encuentra sobre una loma a 2150 msnm, con una pendiente suave menor de 8%. El terreno se encuentra rodeado en la parte N y NE por los cerros: La Cruz, Boquilla, La Gallega, La Tinaja, El Picacho y El Colorado.

En la parte baja de la loma se encuentra el lecho del arroyo La Tesorera, el cual solamente en época de lluvia alcanza cierto caudal y la mayor parte del año, éste se encuentra seco (Cetonal, 1977).

4.3.5. Suelo

Espinoza (1965) ubicó a los suelos rojos del estado de Zacatecas que comprenden a los suelos del área del experimento, dentro de los sistemas modernos de clasificación.

a) Dentro de la clasificación Rusa, los suelos rojos quedan comprendidos dentro del séptimo grupo de los subtropicales y zona de bosque tropical, en donde se encuentran las lateritas; dentro de este grupo de las lateritas, a los migajones rojos.

b) Dentro de la taxonomía de suelos por sus características no es posible llegar a clasificarlos hasta llegar a un gran grupo. Estos suelos se encuentran dentro del 9º grupo de los oxisoles.

c) Dentro de la clasificación francesa, estos suelos quedan incluidos en la 8a clase de los suelos con sesquióxidos, subclase de los suelos rojos mediterráneos lixiviados. La conclusión que llegó el autor, considera que las características de estos suelos son los más parecidos a los encontrados en los suelos rojos del Estado de Zacatecas, y la literatura francesa es la que mayores informes proporciona para entender las características de los mismos.

4.3.6. Vegetación

La vegetación de esta zona fue estudiada por Brand, 1933; Shreve, 1939; Miller, 1939-1947; Leopold, 1950; Rzedowski, 1955-1957; Rzedowski y Miranda, 1959; Claverán, 1960 y Velázquez, 1962 (citados por Espinoza, 1965).

En la zona de estudio se encuentra una vegetación tipo no

palera-mezquitera-pastizal, siendo este tipo de vegetación que Rzedowski llama "matorral crasicaule", con abundancia de cactáceas principalmente del género *Opuntia* ("nopal") y *Myrtillocactus* ("garambullo") que son exclusivos de este tipo de vegetación.

Como principales características, son de notarse que esta vegetación se encuentra donde prevalece el substrato riolítico, ocupando laderas de cerros y abanicos aluviales, llegando a bajar a llanuras contiguas de suelos rojos bien drenados.

Dentro de esta área de distribución del material crasicaule es donde el hombre ha concentrado la mayor parte de sus actividades agrícolas por lo tanto la vegetación sufre los mayores disturbios y destrucción. Por otra parte, sin embargo, en muchos sitios, especialmente en cercanías de poblados, campos abandonados, sobrepastoreados, etc., ocurren invasiones de nopales favorecidas intencional o casualmente por actividades humanas. No siempre es fácil distinguir una nopalera natural de una secundaria. En algunos casos para colindancias en parcelas de cultivo se dejan durante el desmonte franjas nopaleras, dejando así un panorama general de área de cultivo dentro del matorral crasicaule. Característica que le ha valido para llamarle a esta forma vegetativa nopalera-pastizal (Claverán, 1961 - citado por Espinoza, 1965).

Las especies que dominan dentro de este tipo de vegetación lo constituyen arbustos de mayor altura (2-4 m) con dominancia de *Opuntia*; entre ellas se encuentra:

<i>Opuntia leucotricha</i>	"duraznillo"
<i>Opuntia streptacantha</i>	"cardón"
<i>Opuntia imbricata</i>	"cardenche"
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	"cuija"

<i>Opuntia robusta</i>	"tapón"
<i>Opuntia tunicata</i>	
<i>Opuntia spp</i>	

Otros géneros presentes son:

<i>Prosopis juliflora</i>	"mezquite"
<i>Yucca descipiens</i>	"palma"
<i>Acacia tortuosa</i>	"huizache"
<i>Acacia constricta</i>	"huizache"

Los estratos de menor tamaño lo forman:

<i>Dalea tuberculata</i>	
<i>Gymnosperma corymbosa</i>	"tatalencho"
<i>Jatropha dioica</i>	"sangre de drago"
<i>Buddleia scorpioides</i>	"escobilla"
<i>Larrea divaricata</i>	"gobernadora"
<i>Mimosa biuncifera</i>	"uña de gato"
<i>Echinocactus bisnaga</i>	"bisnaga"
<i>Mamillaria spp</i>	

Dentro de los principales zacates en orden de importancia están:

<i>Bouteloua gracilis</i>	"pasto navajita"
<i>B. curtipendula</i>	
<i>Aristida spp</i>	
<i>Buchloë dactyloides</i>	
<i>Sporobolus airoides</i>	
<i>Muhlenbergia spp</i>	
<i>Lycurus pheoides</i>	
<i>Setaria macrostachya</i>	
<i>Hilaria mutica</i>	
<i>Tridens pulchellus</i>	
<i>Tridens grandiflorus</i>	

En su mayoría presentan condiciones de sobrepastoreo, esto se debe a que se encuentran dentro de la parte más perturbada como anteriormente se mencionó, a las labores agrícolas o al hábito ganadero de libre pastoreo.

4.4. Establecimiento y conducción del experimento

Se solicitó el terreno al ejido La Blanca, Mpio, de Pánfilo Natera, Zac. Para obtener el permiso se tuvo que dialogar con el Presidente Municipal, con el Comisariado Ejidal y con los agricultores que tenían sus parcelas dentro del área que se había determinado para el experimento. Estando ellos de acuerdo se procedió a reconocer el área, marcando los límites del experimento.

El área del experimento quedó enmarcada en una superficie de 10 ha (200 x 500 m) perpendicular a la dirección de los vientos dominantes del SW (Fig. 14).

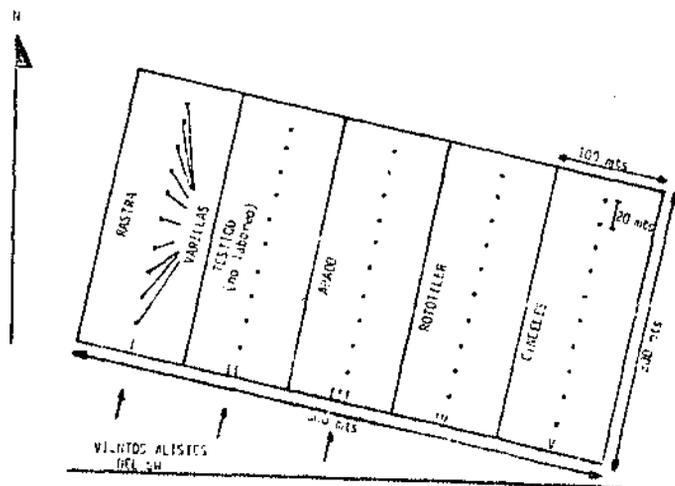


Fig. 14. Área del experimento y ubicación de los tratamientos de labranza empleados, así como la localización de las varillas dentro de los mismos.

4.4.1. Preparación del terreno

El terreno se dividió en cinco partes quedando cada una de 2 ha (200 x 100 m). Cada parte se preparó en forma diferente usando los siguientes implementos agrícolas:

1. Rastra de discos
2. Arado de discos
3. Rototiler
4. Arado de cinceles

Quedando una división sin preparar, sirviendo como testigo.

El orden en que quedaron en el campo fue al azar, como muestra la Fig. 14. La preparación se llevó a cabo a principios del mes de marzo antes que empezara la época de vientos que abarca los meses de marzo, abril y parte de mayo. Las divisiones quedaron paralelas a la dirección del viento (SW-NE) para que no hubiera interferencia entre los tratamientos. La forma en que se trabajó el suelo fue perpendicular a la misma dirección para ofrecer más resistencia al viento y evitar el transporte de las partículas del suelo por acción del mismo, ya que los bordos y surcos quedaron perpendiculares a la dirección del viento sirviendo de trampas.

4.4.2. Toma de muestras de suelo y mediciones

4.4.2.1. Antes de la preparación del terreno

Antes de la preparación del terreno, se tomaron 50 muestras repartidas en todo el terreno. Para esto se hizo una cuadrícula en el terreno de 40 x 50 m, y en cada punto de intersección se tomaron varias muestras. Las muestras se tomaron en

surtos y lomos con el fin de ver cuál era el estado físico inicial del terreno tomándose cada punto las siguientes muestras:

1. Muestra de suelo para densidad aparente¹
2. Muestra de suelo para humedad²
3. Dos lecturas de resistencia al penetrómetro, una a 3 - pulg (8 cm) y otra a 5 pulg (13 cm) de profundidad con 3 repeticiones cada una³

4.4.2.2. Antes de la época de viento

Quedando preparadas las parcelas (divisiones), se marcaron los sitios en donde se iban a poner las varillas⁴. Se colocaron 10 varillas por tratamiento, separadas una de otra a 20m, las cuales se ubicaron a lo largo del tratamiento y por la línea centro del mismo (Fig. 14). Las varillas sirvieron como marco de referencia para observar el movimiento del suelo en cada uno de los tratamientos.

En el lugar donde se colocó cada varilla se volvieron a realizar los siguientes muestreos y observaciones:

1. Muestras de suelo para densidad aparente
2. Muestras de suelo para humedad
3. Dos lecturas de resistencia al penetrómetro a 3 pulg (8 cm) y 5 pulg (13 cm) de prof. con 3 repeticiones cada una.

1 (realizado por el método de G.R. Blake)

2 (realizado por el método de Walter H. Gardner)

3 (realizado por el método de Donald T. Davison)

4 (realizado por el método de clavos y rondanas propuesto por el CP, 1977).

Estas determinaciones se realizaron con el fin de observar los cambios físicos que sufrió el suelo al aplicarse los diferentes tratamientos de labranza.

4.4.2.3. Después de la época de viento

De igual manera, después de la época de viento, como a mediados de mayo para el sitio adyacente a cada varilla, se volvieron a realizar las mismas determinaciones que al inicio para observar los cambios sufridos por el suelo después del embate del viento.

Durante toda la época de vientos se tomaron cada semana muestras de suelo para la determinación de humedad, a dos profundidades, siendo en un principio de 0 a 5 cm y después de 5 a 10 cm.

4.4.2.4. Medición de las varillas

En los últimos días de marzo, durante el mes de abril y a mediados de mayo se registraron las alturas de las varillas cada semana, para observar el movimiento de suelo producido por el viento en cada tratamiento.

4.4.3. Siembra.

El 22 de julio/84 se procedió a sembrar. La siembra se realizó en cada uno de los tratamientos, en parcelas de 12 x 100 m. Siéndose maíz y frijol. La variedad de maíz fue el VS-202 y la del frijol fue Bayo Zacatecas. El objeto de la siembra fue determinar el efecto de la preparación del suelo sobre la producción. Siendo esta preparación cada uno de los tratamientos que se le aplicó al suelo para medir la erosión óptica.

La siembra se realizó utilizando una sembradora de siembra directa. Esta sembradora está diseñada para no perturbar la superficie del suelo, ya que solamente afloja el área donde va depositando la semilla y el fertilizante al mismo tiempo.

Se sembraron 8 surcos de maíz y 8 surcos de frijol, a lo largo de las parcelas. La distancia entre los surcos fue de 80 cm y la distancia entre plantas fue de 10 cm para el maíz y de 7 cm para frijol.

Se sembró aproximadamente media hectárea en total. Para ello se utilizaron 10 kg de maíz y 20 kg para frijol. Estas cantidades fueron tomadas de las recomendadas para la región que son respectivamente de 20 y 40 kg/ha.

En el momento de la siembra se aplicó el fertilizante, utilizando Urea (46% N) y la fórmula 18-46-00 para completar las fórmulas: 40-40-00 para maíz y 40-60-00 para frijol.

4.4.4. Labores de cultivo

El día 24 de julio se asperjó con herbicidas (transquat, para hoja ancha) utilizándose un litro para media hectárea disueltos en 200 litros de agua. Esta concentración se obtuvo de la concentración recomendada de 2 lt/ha disueltos en 400 litros de agua. Además se agregó un surfactante Super-Coral ADH, utilizándose 40 cm³ para media hectárea.

Se hizo un deshierbe con yunta el 28 de agosto, para combatir las plantas que volvieron a retoñar después de la aspersión.

4.4.5. Toma de datos fenológicos

Después de la germinación que aconteció el 28 de julio, -

tanto en maíz como en frijol, se tomaron cada mes altura de planta y número de hojas de 10 plantas tomadas al azar a lo largo de cada parcela, las cuales se etiquetaron para su identificación posterior.

4.4.6. Cosecha

La cosecha se realizó el 16 de octubre. El maíz por la baja precipitación que hubo durante el ciclo no completó su madurez fisiológica reportándose solamente rendimiento de materia-seca. El frijol por otro lado sí alcanzó a madurar y a producir grano.

La forma en que se cosechó fue la siguiente: De cada tratamiento o parcela se escogieron los tres surcos centrales tanto para el maíz como para el frijol. Se hicieron 9 divisiones de 10 m cada una eliminando los primeros y últimos 5 metros para evitar los efectos de orilla con estas 9 divisiones (10 x 2.4 m) se sortearon 3 al azar para efectuar la cosecha y el muestreo siendo igual para el maíz y el frijol (Fig. 15), quedando 3 parcelas por tratamiento.

En cada parcela seleccionada al azar se contó el número de plantas y se cortaron las que quedaron dentro de éstas.

4.4.7. Rendimiento

En el caso de maíz se cortaron todas las plantas que quedaron enmarcadas dentro de cada parcela, como se dijo anteriormente fueron las parcelas de 10 m de largo por 2.4 m de ancho lo que abarca 3 surcos, siendo éstos de la parte central del cultivo. Las plantas cortadas por parcela se pesaron para obtener el peso del forraje en verde. Para estimar el peso de la materia seca se escogieron al azar 10 plantas por parcela, las

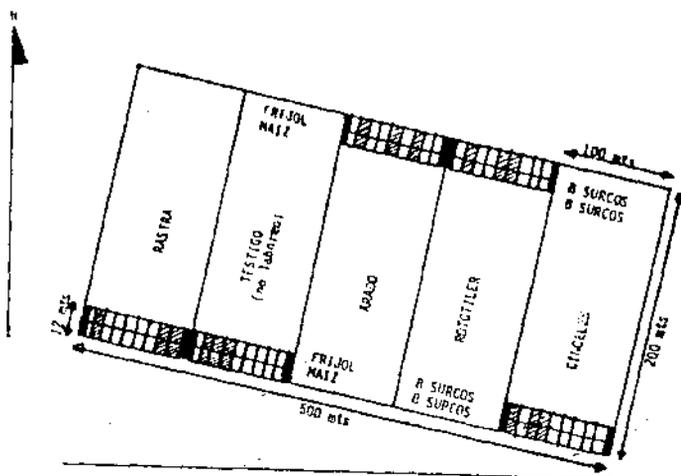


Fig. 15. Localización de las parcelas sorteadas al azar, durante la cosecha tanto en maíz como en frijol.

cuales se pesaron y se pusieron a secar en la estufa a 50°C - hasta peso constante, para determinar el porcentaje de humedad y así corregir el peso del forraje en verde obteniendo el peso de la materia seca.

En el caso del frijol se procedió de igual manera, se cortaron las plantas que quedaron dentro de la parcela. Separando después el grano de la planta, pesándose ambos, tanto grano como forraje en verde. Para obtener el peso seco del grano y forraje, se pusieron a secar en la estufa a 50°C hasta peso constante.

En base a esto se obtuvo el rendimiento por hectárea de materia seca y peso del grano (al 12% de humedad). Durante todo el ciclo de los cultivos se tomaron cada semana, muestras de suelo para determinar humedad a la profundidad de 5 a 10 cm.

4.4.8. Análisis estadísticos

Los datos obtenidos en campo se analizaron en forma sencilla, haciendo simplemente comparaciones de medias para observar cuál de los tratamientos de labranza era superior a los demás en cada una de las variables que se midieron.

El procedimiento que se siguió fue determinar una varianza ponderada (varianza común) para los cinco tratamientos utilizados, en cada una de las evaluaciones que se hicieron, siguiendo los principios o procedimientos dados por Snedecor y Cochran (1967) y Steel y Torrie (1981). Esta varianza común o ponderada corresponde, al cuadrado medio del error experimental en un diseño completamente al azar. Aunque no se aplicó ningún diseño experimental debido a las exigencias y limitantes que se tuvieron en el establecimiento del experimento, se analizaron los datos mediante las técnicas dadas por Snedecor y Cochran (1967). Por medio de esta técnica como se indicó antes, se determinó una varianza común para los tratamientos siempre y cuando estas varianzas sean homogéneas aplicando antes una prueba de homogeneidad de varianzas establecida por Bartlett citado por Snedecor y Cochran (1967).

La varianza ponderada o común se utilizó para determinar el límite de significancia (L.S.) al efectuarse la prueba de Duncan (al 5% de probabilidad) llevándose a cabo las comparaciones de medias por esta prueba.

En el caso donde las varianzas resultaron diferentes, el cálculo para comparar las medias, se hizo usando las varianzas de las medias involucradas en lugar de usar una varianza ponderada, siguiendo el procedimiento dado por Steel y Torrie (1981) para muestras independientes y de varianza diferente.

V. RESULTADOS

5.1. Antes de la preparación del terreno

5.1.1. Densidad aparente (DA)

La figura 16 muestra el área que se trabajó en la cual se observa la distribución de las curvas que unen puntos del terreno con igual densidad aparente, antes de aplicar los tratamientos de labranza en el mismo. Utilizando estos resultados se calcularon los límites de confiabilidad para este parámetro (Cuadro 2).

El área sombreada de la misma figura indica que las muestras de densidad tomadas en ella quedan fuera de los límites de confiabilidad establecidos, siendo éstas, diferentes estadísticamente. Se puede suponer entonces que el área enmarcada por este intervalo de confianza, es homogénea. Para comprobar esta aseveración se compararon los valores de DA de las parcelas del terreno donde se establecerían después los tratamientos de labranza, resultando estas porciones estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Duncan con una probabilidad del 5% como lo indica el Cuadro 3.

En el Cuadro 1 del Apéndice se observa la densidad aparente de cada punto del terreno donde se hizo el muestreo y la condición en que se realizó ya sea lomo o surco. Las medias de surco y lomo (1.6117 y 1.4957, respectivamente) al compararse por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) resultaron diferentes estadísticamente. Esta diferencia no altera la afirmación en cuanto a la homogeneidad del área por lo que concierne a densidad aparente, debido a que en cada parcela se presentaron condiciones de lomo y de surco, desapareciendo así tal diferencia (ver Cuadro 3), pero sí indica la conveniencia de incluir-

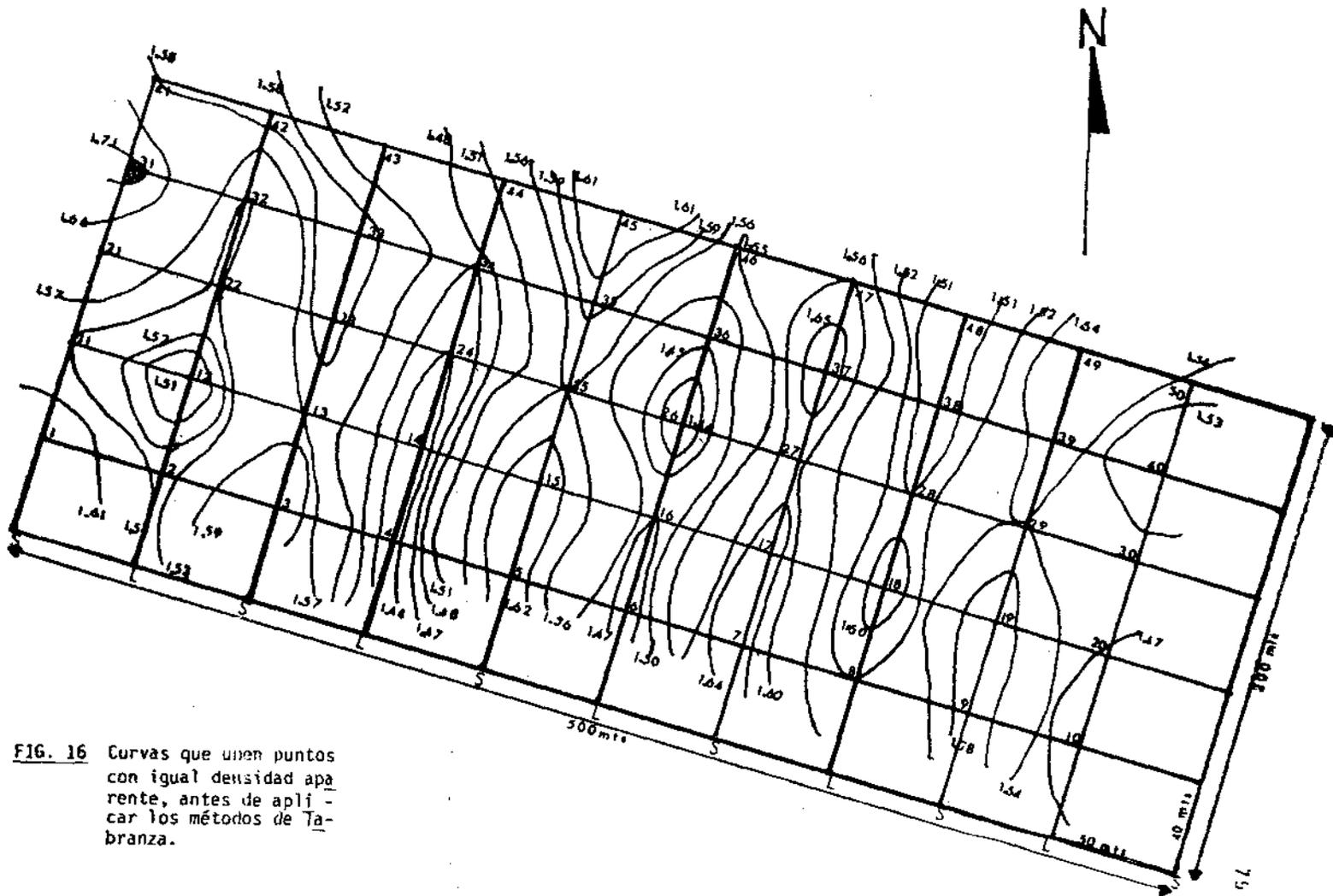


FIG. 16 Curvas que unen puntos con igual densidad aparente, antes de aplicar los métodos de Tabranza.

Cuadro 2. Límites de confiabilidad para determinar la homogeneidad del terreno en cuanto a densidad aparente

L.C.	\bar{X}^* (gr/cm ³)	Densidad aparente gr/cm ³		CV %
		Valor mínimo	Valor máximo	
Límite inferior = 1.40		1.4191		4.45
Límite superior = 1.71			1.7441	

$$* \bar{X} \pm S\bar{X} \pm 0.05 \text{ (GL49)}$$

Cuadro 3. Densidad aparente promedio de cada parcela donde se aplicarían posteriormente los - tratamientos de labranza y su comparación por medio de la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$).

Parcela	No. de obs.	Dap. \bar{X} gr/cm ³	Agrupación	CV %
1	15	1.5807	A	4.87
2	15	1.5533	A	5.99
3	15	1.5813	A	5.50
4	15	1.5693	A	4.33

Medias con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

tanto lomos como surcos en las determinaciones de DA a fin de evitar sesgos en el valor reportado.

5.1.2. Resistencia al penetrómetro

Las Figuras 17 y 18 muestran también el área que se trabajó, observándose en ellas la distribución de las curvas que -- unen puntos del terreno con igual resistencia a la penetración en las dos profundidades tomadas (7.6 y 12.7 cm) antes de aplicar los tratamientos de labranza en el mismo. Al igual que con la densidad aparente este muestreo fue un reconocimiento inicial para determinar la homogeneidad o heterogeneidad del área de estudio.

Los límites de confiabilidad que se establecieron para determinar dicha homogeneidad se muestra en el Cuadro 4. En base a estos límites se puede decir que el área es homogénea tanto para las lecturas tomadas a 7.6 y 12.7 cm de profundidad.

En apoyo a esta afirmación se compararon las parcelas del terreno donde se establecerían posteriormente los tratamientos de labranza, resultando estas porciones iguales estadísticamente al aplicar la Prueba de Duncan con una probabilidad del 5%, como lo indica el Cuadro 5.

En el Cuadro 2 del Apéndice se pueden observar las lecturas de resistencia al penetrómetro de los puntos muestreados en el terreno, a las dos profundidades y la condición en que se realizaron ya sea en lomo o en surco. Las medias de las profundidades 7.6 y 12.7 cm tomadas tanto en lomo como en surco (3.25, 14.68 y 6.43, 21.12 respectivamente) resultaron ser estadísticamente diferentes. Utilizándose la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) en la profundidad de 7.6 y la prueba de t ($\alpha = 0.05$)

para varianzas no homogéneas en la profundidad de 12.7 cm. Esta diferencia no altera la homogeneidad de las áreas debido a que en cada parcela se presentaron condiciones de lomo y surco.

5.2. Datos obtenidos en el establecimiento de los métodos de labranza.

En la Figura 14 puede verse la posición de los tratamientos utilizados en el presente estudio una vez establecidos en el terreno, y el lugar donde se implantaron las varillas en cada tratamiento.

5.2.1. Antes de la época de viento

5.2.1.1. Densidad aparente

La densidad aparente inicial del terreno sufrió cambios al establecerse los métodos de labranza empleados para el experimento. Este cambio fue proporcional con el movimiento de la masa de suelo al ir trabajando los implementos agrícolas en el terreno.

Los cambios de densidad aparente sufridos por la preparación del suelo pueden observarse en el Cuadro 6 donde se compara la densidad creada por la maquinaria utilizada en cada tratamiento con el testigo, en el cual no se empleó ningún implemento agrícola, conservando las características físicas iniciales del terreno.

Las comparaciones de las medias de los tratamientos incluyendo la del testigo se hizo mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) observándose diferencia significativa solamente entre Testigo-Arado y Rototiler-Arado las demás comparaciones no fueron significativas estadísticamente.

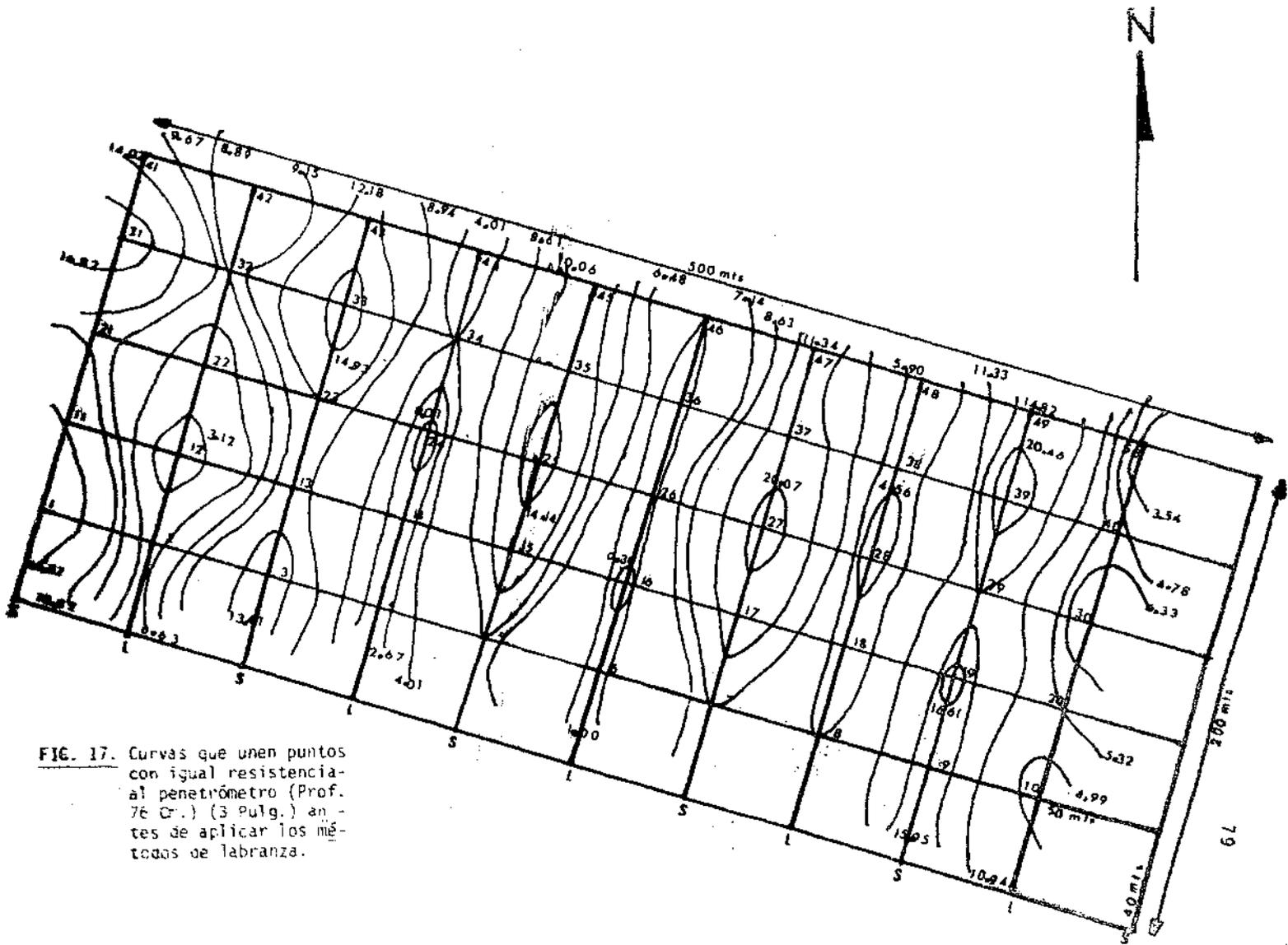


FIG. 17. Curvas que unen puntos con igual resistencia al penetrómetro (Prof. 76 Gr.) (3 Pulg.) antes de aplicar los métodos de labranza.

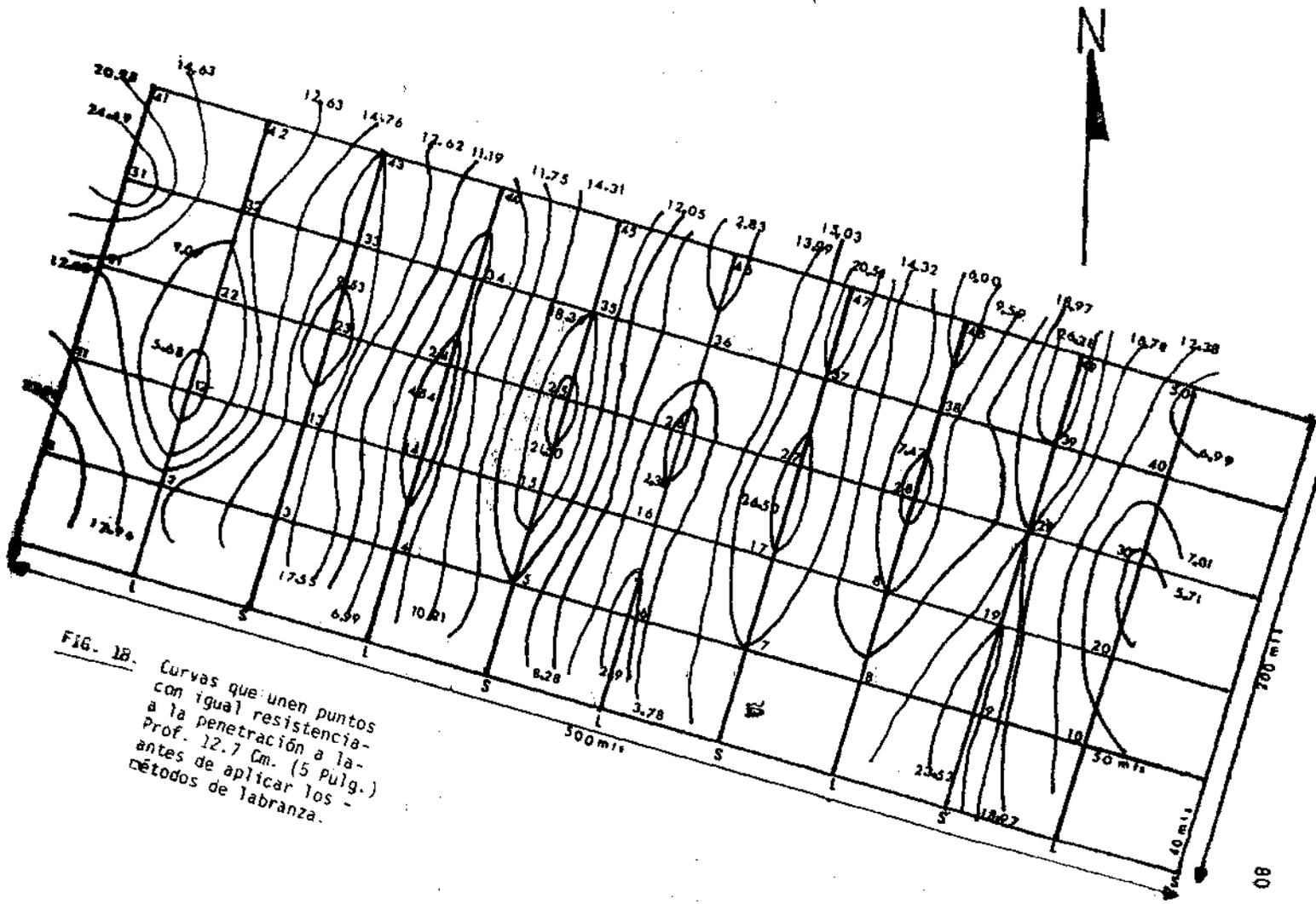


FIG. 18. Curvas que unen puntos con igual resistencia a la penetración a la Prof. 12.7 Cm. (5 Pulg.) antes de aplicar los métodos de labranza.

Cuadro 4. Límites de confiabilidad para determinar la homogeneidad del terreno en cuanto a la resistencia a la penetración.

Profundidad pulgadas	L.C.	\bar{X}^{**} (kg/cm ²)	Resistencia al penetrómetro (kg/cm ²)		CV %
			Valor mínimo	Valor máximo	
3	Límite inferior = -4.033* Límite superior = 21.963		0.11	21.33	72.06
5	Límite inferior = -4.132* Límite superior = 31.682		1.40	27.99	64.61

*Los valores negativos resultan por la gran variabilidad que se registró en las lecturas que se tomaron

** $\bar{X} \pm S\bar{X} \pm 0.05$ (GL49)

Cuadro 5. Resistencia promedio al penetrómetro a las dos profundidades de cada parcela donde se aplicarían posteriormente los tratamientos de labranza y su comparación por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

Parcela	No. de obs.	Resistencia al penetrómetro (kg/cm ²)				CV%	
		Prof. 5.6 cm		Prof. 12.7 cm		Prof. 5.6 cm	Prof. 12.7 cm
		\bar{X}	Agrupación	\bar{X}	Agrupación		
1	15	12.22	A	16.55	A	51.15	42.42
2	15	9.33	A	14.51	A	63.45	49.14
3	15	8.96	A	14.47	A	74.44	64.48
4	15	11.97	A	18.18	A	54.55	44.00

Medias con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

5.2.1.2. Resistencia al penetrómetro

La resistencia inicial del terreno a la penetración se alteró al establecer los sistemas de labranza que se utilizaron en el experimento. Este cambio fue diferente para cada tratamiento, debido a los implementos agrícolas empleados en la preparación del terreno.

En el cuadro 7 pueden observarse los cambios sufridos en la resistencia del suelo a la penetración a las dos profundidades tomadas, donde se compara las nuevas condiciones creadas por la maquinaria utilizada en cada tratamiento con el testigo, en el cual, no se alteró las condiciones físicas iniciales del terreno.

Se compararon las medias de los tratamientos incluyendo la del testigo mediante la prueba de t ($\alpha = 0.05$) para varianzas no homogéneas, tanto para la profundidad de 7.6 cm como para la de 12.7 cm. En la prof. 7.6 cm no se observan diferencias significativas entre Testigo y Rototiler pero sí hubo diferencia significativa al comparar Testigo con Rastra, Cinceles y Arado; esto mismo sucede al comparar Rototiler con el resto de los tratamientos. No manifiestan diferencias estadísticas significativas Rastra y Cinceles, pero sí hubo significancia al comparar estos tratamientos con Arado. En la prof. a 12.7 cm, el Testigo resultó significativamente mayor que los demás tratamientos. Esto mismo sucede para el Rototiler al comparar con Rastra, Cinceles y Arado. La Rastra resultó ser significativamente mayor que Cinceles y Arado. Siendo estos dos tratamientos iguales debido a que no presentaron diferencias significativas.

El Cuadro 3 del Apéndice presenta los datos iniciales re-

Cuadro 6. Densidad aparente promedio producida por los implementos agrícolas empleados en cada tratamiento al establecerse éstos en el terreno y su comparación por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Tratamiento	Implemento agrícola	No. de muestras	Densidad aparente \bar{X} gr/cc	Agrupación	CV%
2	(Testigo)	10	1.5519	A	3.67
4	Rototiler	10	1.5468	AB	5.50
1	Rastra	10	1.5073	ABC	5.17
5	Cinceles	10	1.4889	ABC	5.10
3	Arado	10	1.4559	C	5.70

Medias con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

Cuadro 7. Resistencia promedio a la penetración producida por los implementos agrícolas empleados en cada tratamiento al establecerse éstos en el terreno y su comparación por medio de la prueba de $t(\alpha = 0.05)$, para varianzas no homogéneas.

Tratamiento	Implemento agrícola	No. de muestras	Resistencia al penetrómetro \bar{X} (kg/cm ²)				C.V. %	
			Prof. 5.6 cm	Agrupación	Prof. 12.7 cm	Agrupación	Prof. 5.6 cm	Prof. 12.7 cm
2	(Testigo)	10	2.742	A	14.908	A	102.1	65.1
4	Rototiler	10	2.349	A	5.910	B	29.8	23.1
1	Rastra	10	0.270	B	0.690	C	151.4	93.0
5	Cinceles	10	0.173	B	0.345	D	75.2	55.8
3	Arado	10	0.021	C	0.114	D	66.6	198.8

Medias con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba t al 5% de probabilidad.

robados en cada uno de los tratamientos antes de la época de viento, tanto para densidad aparente como de resistencia al penetrometro a sus dos profundidades (7.6 y 12.7 cm) en los puntos o sitios donde se colocaron las varillas. También muestra la condición en que fueron establecidas las varillas haya sido en surco o en lomo, en caso de que el tratamiento los tuviera.

5.2.2. Después de la época de vientos

5.2.2.1. Densidad aparente

La densidad aparente que se registró al final de la época de viento es presentada en el Cuadro 8 donde se muestra también la comparación de las medias de los tratamientos incluyendo la del testigo por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$). No se observan diferencias significativas entre Rastra y Testigo. Si se detectan diferencias estadísticas al comparar Rastra con Arado, Rototiler y Cinceles. También hay diferencia estadística significativa entre Testigo y Cinceles. Las demás comparaciones mostraron igualdad de medias ya que no se presentaron diferencias significativas.

En el Cuadro 9 se muestra la comparación entre la densidad aparente inicial y la densidad aparente final promedio de cada tratamiento, por medio de la prueba de T_0 Student's al 5% de probabilidad. Se observa en el mismo cuadro, que solamente hubo diferencia significativa entre las dos densidades tomadas en Rastra y Arado, las comparaciones de densidad en el Testigo, Rototiler y Cinceles no mostraron diferencias estadísticas significativas.

En el Cuadro 4 del Apéndice se presenta la densidad aparente final de cada uno de los puntos donde se implantaron las varillas dentro de cada tratamiento y la condición en que se -

Cuadro 8. Densidad aparente promedio registrada al final de la época de viento y su comparación por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Tratamiento	Implemento agrícola	No. de muestras	Densidad aparente (\bar{X}) gr/cm ³	Agrupación	CV %
1	Rastra	10	1.6271	A	4.61
2	(Testigo)	10	1.5976	AB	7.64
3	Arado	10	1.5295	BC	3.53
4	Rototiler	10	1.5174	BC	4.02
5	Cinceles	10	1.4633	C	8.00

Medias con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

Cuadro 9. Comparación entre la densidad aparente promedio inicial y final de cada tratamiento, por medio de la prueba de Student's al 5% de probabilidad.

Tratamiento	Implemento agrícola	No. de muestras	Densidad aparente \bar{X} (gr/cm ³)	
			Inicial	Final
1	Rastra	10	1.5073	1.6271 *
2	(Testigo)	10	1.5519	1.5976 NS
3	Arado	10	1.4559	1.5295 *
4	Rototiler	10	1.5468	1.5174 NS
5	Cinceles	10	1.4889	1.4633 NS

* Significativo

NS No significativo

realizaron.

5.2.3. Medición de las varillas

El Cuadro 10 muestra los promedios de las variaciones registradas en las varillas, en las fechas en que se les tomó su altura dentro de cada tratamiento, además se muestra la pérdida (ton/ha) promedio de cada tratamiento debida a la variación que se registró en las varillas en las fechas en que se realizó tal medición.

Las comparaciones de las medias se hizo bajo la prueba de t ($\alpha = 0.05$) para varianzas no homogéneas, ya que al aplicar la prueba de Bartlett resultaron ser heterogéneas o diferentes. Observándose que en el muestreo fecha I no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. En el segundo muestreo, solamente hubo diferencias estadísticas significativas al comparar Arado, Rastra y Testigo con Rototiler. En los muestreos III y IV hubo diferencias estadísticas significativas solamente al comparar Arado y Rastra con Rototiler. En los muestreos V y VI únicamente presenta diferencia estadística -- significativa la comparación entre Arado y Rototiler.

No se detectaron diferencias estadísticas significativas entre Cinceles con los tratamientos restantes, debido a lo elevado de su coeficiente de variación.

En la Fig. 19 se observan los promedios de las variaciones registradas en las varillas durante la época de viento -- (marzo-mayo) en las fechas en que se les tomó su altura. Tal figura presenta la variación que hubo dentro del tratamiento I (Rastra) observándose pérdidas mayores de suelo en las tres últimas mediciones, siendo mayor la pérdida de suelo en la fecha 5. También se observa que en las mediciones iniciales registra

Cuadro 10. Variaciones medias de las varillas registradas por tratamiento, en las fechas en que se les tomó su muestra y su comparación mediante la prueba de t ($\alpha = 0.05$), para varianzas no homogéneas.

Muestreo	Fecha	Trat.	Implemento agrícola	Dbs.	Dap. inicial gr/cm ² (\bar{X})	Capa pérdida (\bar{X}) (mm)	Pérdida ton/ha \bar{X}	Agrupación	CV %
I	2/IV/84	5	Cinceles	10	1.4889	* 2.50	* 37.22	A	100.32
		3	Arado	10	1.4559	0.15	2.18	AB	31.38
		2	Testigo	10	1.5519	0.20	3.10	ABC	34.33
		1	Rastra	10	1.5073	0.50	7.54	ABCD	31.45
		4	Rototiler	10	1.5468	1.70	20.11	ABCD	30.72
II	9/IV/84	5	Cinceles	10	1.4889	* 4.80	* 64.02	A	73.59
		3	Arado	10	1.4559	* 0.35	* 5.21	AB	9.63
		1	Rastra	10	1.5073	0.25	3.77	ABC	11.95
		2	Testigo	10	1.5519	0.90	13.97	ABCD	6.27
		4	Rototiler	10	1.5468	2.20	34.03	A	5.33
III	16/IV/84	5	Cinceles	10	1.4889	* 3.65	* 54.34	A	76.06
		3	Arado	10	1.4559	* 0.05	* 0.73	AB	8.51
		1	Rastra	10	1.5073	0.50	7.54	ABC	8.35
		2	Testigo	10	1.5519	1.05	16.29	ABCD	6.02
		4	Rototiler	10	1.5468	2.25	34.80	A D	8.89
IV	1/V/84	5	Cinceles	10	1.4889	* 3.65	* 54.34	A	76.33
		3	Arado	10	1.4559	0.80	11.65	AB	12.02
		1	Rastra	10	1.5073	1.80	27.13	ABC	7.57
		2	Testigo	10	1.5519	2.05	31.05	ABCD	9.95
		4	Rototiler	10	1.5468	3.10	47.95	A D	7.48
V	8/V/84	5	Cinceles	10	1.4889	0.75	11.17	A	55.00
		3	Arado	10	1.4559	0.85	12.38	AB	11.68
		2	Testigo	10	1.5519	2.30	35.69	ABC	10.92
		1	Rastra	10	1.5073	2.50	37.68	ABCD	9.45
		4	Rototiler	10	1.5468	2.70	41.76	A CD	7.85
VI	15/V/84	3	Arado	10	1.4559	0.50	7.28	A	95.24
		5	Cinceles	10	1.4889	1.10	16.38	AB	91.73
		1	Rastra	10	1.5073	1.95	29.39	ABC	31.70
		2	Testigo	10	1.5519	2.35	36.47	ABCD	15.43
		4	Rototiler	10	1.5468	2.90	44.86	BCD	34.20

* Depositista

Medias con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba de t ($\alpha = 0.05$).

ron menor pérdida de suelo. También puede observarse las variaciones que mostró el tratamiento II (Testigo) donde las pérdidas fueron incrementándose gradualmente. Señalando claramente que en las tres últimas mediciones sufrió las mayores pérdidas, siendo más bajas en las mediciones iniciales.

La Figura muestra también las variaciones que se presentaron en el tratamiento III (Arado) se puede observar que hubo deposiciones en las primeras mediciones registrándose después en las últimas fechas pérdidas, siendo mayor en la fecha 5. -- Las variaciones del tratamiento IV (Rototiler) se observan en la Fig. 19. Este tratamiento registró desde un principio pérdidas de suelo más alta en comparación con los otros tratamientos. En las tres últimas mediciones se registraron las mayores pérdidas siendo mayor en la fecha 4.

En la misma Fig. se observa las variaciones que presentó el tratamiento V (Cinceles). En este tratamiento hubo deposiciones en las primeras fechas en que se tomó la altura de las varillas registrándose después pérdidas en las últimas mediciones, siendo mayor en la fecha 6.

En términos generales puede observarse en estas gráficas muchas similitudes en cuanto a la forma gradual en que fueron perdiendo suelo los tratamientos. En la descripción particular de cada tratamiento se observó que en los primeros muestreos fue muy lenta la remoción del suelo en unos tratamientos tales como Rastra, Testigo y Rototiler mientras que Arado y Cinceles presentaron deposiciones, al final todos los tratamientos mostraron pérdida de suelo.

El Cuadro 5 del Apéndice presenta las variaciones registradas en las fechas en que se tomó la altura a cada varilla dentro de los tratamientos. El signo - se refiere a las pérdi-

das que se dieron en las varillas y el signo + indica que hubo deposiciones de material acarreado por el viento.

5.2.4. Humedad del suelo

El Cuadro 11 presenta la humedad promedio del suelo tomada en cada fecha en que se registró también la altura de las varillas. Se puede observar como menguó la humedad en la superficie(s) del suelo (0-5 cm) conforme transcurrió el tiempo se fue incrementando en algunos tratamientos (Testigo y Rototiler) las pérdidas de suelo (ver Fig. 19), no así en las muestras tomadas a la profundidad de 10 a 15 cm (P), la cual no manifestó un orden decreciente durante el período que se muestreó.

También puede observarse en el mismo cuadro, que en la última fecha de muestreo fue más alta la humedad superficial que la inicial en cada tratamiento debido a una ligera lluvia que cayó días antes del muestreo final.

5.3. Siembra

5.3.1. Humedad del suelo

En el Cuadro 12 puede observarse el contenido de humedad que se registró cada semana durante el tiempo que permanecieron los cultivos en el campo. También se establece la comparación de las medias de cada tratamiento por medio de la prueba de Duncan con una probabilidad del 5%, y la prueba de t para varianzas no homogéneas. En términos generales el arado mantuvo en comparación con los demás tratamientos una cantidad mayor de humedad, siguiéndole cinceles y rastra permaneciendo inferiores testigo y rototiler.

Cuadro 11. Humedad promedio registrada dentro de los tratamientos, durante las fechas en que se tomó la altura de las varillas.

Tratamiento	Implemento agrícola	Obs.	Fecha	Nivel	Humedad del suelo \bar{x} (gr-gr)	Capa perdida de suelo \bar{x} (mm)
1	Rastra	10	2/IV/84	S	0.0063	0.50
		10	9/IV/84	S	0.0046	0.25
		10	16/IV/84	P	0.0198	0.50
		10	1/V/84	P	0.0316	1.80
		10	8/V/84	P	0.0336	2.50
		10	15/V/84	S	0.0114*	1.95
2	No Laboreo (Testigo)	10	2/IV/84	S	0.0053	0.20
		10	9/IV/84	S	0.0037	0.90
		10	16/IV/84	P	0.0229	1.05
		10	1/V/84	P	0.0202	2.05
		10	8/V/84	P	0.0225	2.30
		10	15/V/84	S	0.0104*	2.35
3	Arado	10	2/IV/84	S	0.0048	0.15
		10	9/IV/84	S	0.0030	0.35**
		10	16/IV/84	P	0.0300	0.05**
		10	1/V/84	P	0.0285	0.80
		10	8/V/84	P	0.0203	0.85
		10	15/V/84	S	0.0131*	0.50
4	Rototiler	10	2/IV/84	S	0.0056	1.30
		10	9/IV/84	S	0.0039	2.20
		10	16/IV/84	P	0.0260	2.25
		10	1/IV/84	P	0.0261	3.10
		10	8/IV/84	P	0.0324	2.70
		10	15/V/84	S	0.0088*	2.90
5	Cinceles	10	2/IV/84	S	0.0056	2.50**
		10	9/IV/84	S	0.0036	4.30**
		10	16/IV/84	P	0.0283	3.65**
		10	1/IV/84	P	0.0319	3.65**
		10	8/IV/85	P	0.0235	0.75
		10	15/V/84	S	0.0093*	1.10

* Fecha en que llovizó

** Depositiones

5.3.2. Germinación

En el Cuadro 13 muestra el promedio de semillas germinadas por tratamiento, tanto para el maíz como para el frijol, tomando como base surcos de 100 mts. de longitud. También se observa su comparación mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$), habiendo diferencia significativa en maíz solamente entre arado y rototiler siendo las demás comparaciones iguales estadísticamente. En frijol no hubo diferencias observándose igualdad de medias entre los tratamientos.

5.3.3. Datos fenológicos

5.3.3.1. Altura de planta y número de hojas en maíz

En el Cuadro 14 se observa la altura de planta y el número de hojas promedio, registrándose cada mes estas variables. En altura de planta (final) las comparaciones hechas por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) detectan diferencias estadísticas significativas entre arado y cinceles; arado y rototiler y entre rastra y rototiler, en las demás comparaciones no se observan diferencias significativas, siendo las medias iguales estadísticamente.

En el número de hojas (final) se detectan diferencias estadísticas significativas entre arado y rototiler; arado y t_g tigo y entre arado y rastra, no se detectaron diferencias significativas en las demás comparaciones siendo las medias iguales estadísticamente.

5.3.3.2. Altura de planta y número de vainas en frijol

El Cuadro 15 muestra la altura de planta y el número de vainas promedio que se registraron cada mes y en cada trata---

Cuadro 12. Registro de la humedad promedio de los tratamientos de labranza, durante el período que duraron los cultivos en el campo y su comparación estadística por medio de la prueba de Duncan al 5% de probabilidad*.

Fecha		Contenido de humedad (gr-gr)**				
		Mostró	Testigo	Arado	Mototiller	Cincel
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
31/07/84***	\bar{X}	0.0825	0.0860	0.0991	0.0776	0.0946
	CV %	27.77	15.38	17.48	11.16	27.46
07/08/84	\bar{X}	0.0628	0.0696	0.0682	0.0655	0.0695
	CV %	35.61	20.32	14.66	6.83	27.66
14/08/84***	\bar{X}	0.0637	0.0547	0.0721	0.0532	0.0690
	CV %	28.20	15.82	15.51	21.02	16.20
21/08/84	\bar{X}	0.0523	0.0413	0.0516	0.0514	0.0511
	CV %	13.52	20.97	9.69	16.85	9.78
28/08/84	\bar{X}	0.0355	0.0381	0.0472	0.0485	0.0426
	CV %	14.08	13.12	23.69	20.62	7.42
04/09/84	\bar{X}	0.0418	0.0311	0.0291	0.0327	0.0328
	CV %	37.25	38.04	12.15	11.84	34.42
11/09/84***	\bar{X}	0.0582	0.0583	0.0582	0.0560	0.0557
	CV %	12.15	8.58	12.15	15.46	12.69
18/09/84	\bar{X}	0.0404	0.0371	0.0397	0.0326	0.0398
	CV %	17.50	30.14	8.91	15.33	21.76
25/09/84***	\bar{X}	0.0524	0.0489	0.0502	0.0396	0.0461
	CV %	16.53	17.71	28.17	25.25	10.85
21/10/84	\bar{X}	0.0297	0.0222	0.0446	0.0237	0.0377
	CV %	21.95	10.07	34.91	27.07	25.46
09/10/84	\bar{X}	0.0232	0.0248	0.0226	0.0205	0.0253
	CV %	32.68	18.03	18.51	16.42	16.53
16/10/84***	\bar{X}	0.0367	0.0379	0.0359	0.0454	0.0435
	CV %	25.12	23.60	17.62	15.58	7.27
	\bar{X}	0.0463	0.0458	0.0515	0.0456	0.0506
	Agrupación	A	A	A	A	A

* Los datos son valores medios de 5 observaciones

** Prof. 5 a 10 cm.

*** Fecha en que cayó una lluvia ligera

Medias con la misma letra o línea son iguales estadísticamente, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) y por la prueba de t ($\alpha = 0.05$) para varianzas no homogéneas¹.

Fecha	X ₃	X ₅	X ₂	X ₄	X ₁
31/07/84***	-----	-----	-----	-----	-----
07/08/84	-----	-----	-----	-----	-----
14/08/84***	-----	-----	-----	-----	-----
21/08/84	-----	-----	-----	-----	-----
28/08/84	-----	-----	-----	-----	-----
04/08/84	-----	-----	-----	-----	-----
11/09/84***	-----	-----	-----	-----	-----
18/09/84	-----	-----	-----	-----	-----
25/09/84***	-----	-----	-----	-----	-----
02/10/84	-----	-----	-----	-----	-----
09/10/84	-----	-----	-----	-----	-----
16/10/84***	-----	-----	-----	-----	-----

Cuadro 13. Comparación del promedio de semillas germinadas de maíz y frijol por tratamiento, por medio de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Tratamiento	Implemento agrícola	Obs.	No. de semillas germinadas* maíz (\bar{X})	CV %	No. de semillas germinadas* frijol (\bar{X})	CV %
X ₁	Rastra	3	383	21.46	141.5	40.27
X ₂	No laboreo	3	334.5	9.51	170	8.32
X ₃	Arado	3	484	3.80	136	16.63
X ₄	Rototiler	3	265.5	45.00	180	106.07
X ₅	Cinceles	3	376	9.40	126.5	68.75

* Surco de 100 mts

Medias con la misma línea son iguales estadísticamente

Maíz	X ₃	X ₁	X ₅	X ₂	X ₄
	<hr/>				
Frijol	X ₄	X ₂	X ₁	X ₃	X ₅
	<hr/>				

Cuadro 14. Comparación de altura de planta y No. de hojas promedio en maíz, registradas en cada uno de los tratamientos, mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Fecha de muestreo	Trat.	Implemento agrícola	Obs.	Altura de planta (cm)	Agrupación	Trat.	Obs.	Número de hojas / planta	Agrupación
28/VIII/84	X ₃	Arado	10	39.70	A	X ₁	10	10.90	A
	X ₂	Rastra	10	35.45	AB	X ₃	10	10.40	AB
	X ₂	Testigo	10	31.90	BC	X ₂	10	9.70	BC
	X ₅	Cinceles	10	29.40	C	X ₅	10	9.40	C
	X ₄	Rototiler	10	27.90	C	X ₄	10	8.90	C
28/IX/84	X ₃	Arado	10	124.20	A	X ₃	10	10.10	A
	X ₂	Rastra	10	104.40	AB	X ₅	10	9.40	AB
	X ₂	Testigo	10	97.00	BC	X ₁	10	9.20	AB
	X ₅	Cinceles	10	88.70	BC	X ₄	10	9.10	B
	X ₁	Rototiler	10	74.20	C	X ₂	10	9.00	B
15/X/84 Final	X ₃	Arado	10	124.10	A	X ₃	10	10.10	A
	X ₁	Rastra	10	103.80	AB	X ₅	10	9.40	AB
	X ₂	Testigo	10	96.50	ABC	X ₄	10	9.00	B
	X ₅	Cinceles	10	84.00	BC	X ₂	10	8.90	B
	X ₁	Rototiler	10	73.60	C	X ₁	10	8.80	B

Medias con la misma letra son iguales estadísticamente, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).

nimiento. En altura de planta (final) se observa que solamente hay diferencia estadística significativa entre arado y rototiler, siendo las demás comparaciones entre medias iguales estadísticamente. En el número de vainas promedio (final) arado, testigo y cincales al compararse con rototiler presentaron diferencias estadísticas significativas, mientras que el resto de las comparaciones entre medias resultaron ser iguales estadísticamente.

5.4. Cosecha

5.4.1. Maíz

El Cuadro 16 muestra la relación de la producción por ha de MS de maíz obtenida por los diferentes métodos de labranza. Se observa que en arado, testigo y rastra fueron estadísticamente iguales, mientras que cincales y rototiler fueron estadísticamente inferiores al aplicar la prueba de Duncan a una probabilidad de $\alpha = 0.05$.

5.4.2. Frijol

El Cuadro 17 muestra la producción obtenida de frijol por los métodos de labranza utilizados. Se observa en el cuadro -- que el arado, testigo, cincales y rastra fueron iguales estadísticamente mientras que rototiler fue inferior estadísticamente al aplicar la prueba de Duncan ($\alpha 0.05$) para varianzas -- no homogéneas.

Cuadro 15. Comparación de altura de planta y No. de vainas; promedio en frijol, registradas en cada uno de los tratamientos, mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Fecha de muestreo	Trat.	Implemento agrícola	Obs.	Altura de planta (cm)	Agrupación	Trat.	Obs.	Número de vainas/planta	Agrupación
28/VIII/84*	X ₃	Arado	10	13.65	A				
	X ₅	Cinceles	10	12.05	AB				
	X ₁	Rastra	10	12.05	ABC				
	X ₂	Testigo	10	11.25	ABCD				
	X ₄	Rototiler	10	10.80	ABCD				
28/IX/84	X ₃	Arado	10	25.30	A	X ₃	10	7.20	A
	X ₂	Testigo	10	23.40	AB	X ₂	10	6.90	AB
	X ₁	Rastra	10	22.20	AB	X ₅	10	5.50	ABC
	X ₅	Cinceles	10	20.90	AB	X ₁	10	4.40	ABCD
	X ₄	Rototiler	10	19.50	B	X ₄	10	2.70	D
15/X/84	X ₃	Arado	10	24.90	A	X ₃	10	7.20	A
	X ₂	Testigo	10	22.85	AB	X ₂	10	6.90	AB
	X ₅	Cinceles	10	20.60	AB	X ₅	10	5.50	ABC
	X ₁	Rastra	10	20.25	AB	X ₁	10	4.40	ABCD
	X ₄	Rototiler	10	18.90	B	X ₄	10	2.70	D

Medias con la misma letra son iguales estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).

* La comparación en esta fecha se hizo por medio de la prueba de t ($\alpha = 0.05$) para varianzas no homogéneas.



Cuadro 16. Relación de la producción de maíz obtenida por los diferentes métodos de labranza (en la región de Pánfilo Natera, Zac.).

Tratamiento	No. parcela*	Peso materia verde (kg) PMS	C.V %	Peso materia seca (kg) PMS	C.V %	Rend. materia seca/ha Rend. M.S	C.V %	No. plantas/ parcela No. PL	C.V %	No. plantas/ ha No. PH	C.V %
	Rep.										
RASTRA 1	2 (1)	7.686		2.097		873.750		79		32.500	
	8 (2)	11.184		3.018		1.257.500		105		43.750	
	9 (3)	7.456		2.330		970.833		117		48.750	
	PROMEDIO	8.775	23.81	2.482	19.30	1,034.028	19.29	100	19.97	41.667	19.67
TESTIGO 2	2 (1)	4.373		1.100		458.333		77		32.083	
	3 (2)	8.612		2.179		907.917		82		34.167	
	4 (3)	19.738		6.467		2,694.583		100		41.667	
	PROMEDIO	10.908	72.75	3.249	87.38	1,353.611	87.38	86	14.07	35.972	14.01
ARADO 3	2 (1)	16.305		5.417		2,257.083		128		53.333	
	5 (2)	11.084		4.352		1,813.333		120		50.000	
	7 (3)	13.837		4.829		2,012.083		114		47.500	
	PROMEDIO	13.742	18.00	4.866	10.96	2,027.500	11.13	121	5.80	50.278	5.82
ROTAVILAR 4	2 (1)	2.749		0.809		337.083		79		32.917	
	5 (2)	0.667		0.210		87.500		37		15.417	
	6 (3)	6.426		1.947		811.250		83		34.583	
	PROMEDIO	3.281	87.72	0.989	88.23	411.944	89.24	66	38.63	27.639	38.41
CINCELES 5	1 (1)	6.286		1.888		786.667		132		55.000	
	3 (2)	2.726		0.802		334.167		95		39.583	
	4 (3)	5.086		1.568		653.333		114		47.500	
	PROMEDIO	4.703	38.54	1.419	39.30	591.389	39.32	114	16.23	47.361	16.28

* Parcela (1) = 10x2.40 m = 24 m²

Notas: con la misma línea son iguales estadísticamente según la prueba de Dunnett ($\alpha = 0.05$)

PMS	X ₁	X ₂	X ₃	X ₅	X ₆
PMS	X ₃	X ₂	X ₁	X ₆	X ₅
Rend. M.S	X ₄	X ₂	X ₃	X ₅	X ₆
No. PL	X ₇	X ₅	X ₁	X ₂	X ₆
No. PH	X ₃	X ₅	X ₁	X ₂	X ₆

Cuadro 17 Relación de la producción de frijol obtenida por los diferentes métodos de labranza (en la región de Pánfilo Matara, Zac.).

Tratamiento	No. parcela*	Peso materia verde (gr) PMV	C.V %	Peso materia seca (kg/ha) PMS	C.V %	Peso semilla al 12%** (gr) PESS	C.V %	Rend. semilla (kg/ha) RENDS.	C.V %	No. Plantas/ parcela No. PL	C.V %	No. plantas/ ha No. PH	C.V %
Rep.													
ASTAS 1	1 (1)	181.860		145.920		178.730		74.470		62		25.833	
	8 (2)	213.070		191.040		189.920		79.133		70		29.167	
	9 (3)	143.500		133.860		133.904		55.793		45		18.750	
	PROMEDIO	172.817	20.86	156.940	19.21	167.518	17.70	69.799	17.70	59	21.64	24.583	21.64
TESTIGO 2	2 (1)	80.320		71.570		83.758		34.899		39		16.250	
	3 (2)	111.210		263.730		391.180		162.991		76		31.667	
	4 (3)	591.830		483.810		698.225		290.927		83		34.583	
	PROMEDIO	327.787	78.15	273.037	76.56	391.054	78.57	162.939	78.57	66	35.82	27.500	35.82
AAADO 3	2 (1)	466.830		407.470		527.099		219.624		117		48.750	
	5 (2)	360.380		335.930		433.095		180.456		84		35.000	
	7 (3)	389.340		341.130		409.289		170.537		85		35.417	
	PROMEDIO	412.183	11.53	361.510	11.03	456.494	13.65	190.206	13.65	95	19.76	39.722	19.68
NOFOTILER 4	2 (1)	33.950		30.610		30.929		12.687		38		15.833	
	5 (2)	167.08		99.420		133.394		55.580		67		27.917	
	6 (3)	104.910		97.740		122.039		50.849		65		27.083	
	PROMEDIO	81.980	50.76	75.923	51.70	95.454	58.84	39.772	58.84	57	28.42	23.611	28.58
CINCELES 5	1 (1)	65.080		59.930		66.646		27.769		53		22.083	
	3 (2)	335.240		297.360		395.352		164.730		127		52.917	
	4 (3)	222.160		210.550		257.779		107.407		95		39.583	
	PROMEDIO	210.827	67.87	189.280	53.47	239.926	68.80	99.969	68.80	92	40.34	38.194	40.49

* Parcela útil 16x2.40 m = 24 m²

** 12% de humedad

Medias con la misma línea son iguales estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

La comparación de las medias se hizo por medio de la prueba de t ($\alpha = 0.05$) para varianzas no homogéneas.

PMV	X ₃	X ₂	X ₅	X ₁	X ₄
PMS	X ₃	X ₂	X ₅	X ₁	X ₄
PESS	X ₃	X ₂	X ₅	X ₁	X ₄
REND	X ₃	X ₅	X ₂	X ₁	X ₄
No. PL	X ₁	X ₅	X ₂	X ₁	X ₄
No. PH	X ₁	X ₅	X ₂	X ₁	X ₄

VI. DISCUSION

6.1. Antes de la preparación del terreno

6.1.1. Densidad aparente

Por medio de los límites de confiabilidad (ver Cuadro 2), se detectó que el área que se trabajó fue casi en su totalidad homogénea en lo que se refiere a esta variable, solamente una porción muy pequeña de la misma fue estadísticamente diferente. Reafirmando lo anterior se observa en el Cuadro 3 que las parcelas donde se implantarían los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí, resultando ser homogéneas debido a que se presentaron en cada parcela condiciones de lomo y surco. Si se observa la Fig. 16 la parcela N° 5 no se comparó con las demás debido a que no se tomaron las muestras suficientes dentro de la misma. No obstante el área muestreada fue estadísticamente igual, tomándose como punto de referencia para observar después los cambios físicos que sufriera ésta al aplicarse los métodos de labranza.

Las muestras tomadas tanto en lomo como en surco presentan poca variabilidad, siendo el coeficiente de variación general (CV) de 4.95 lo cual indica que los datos son confiables.

Es interesante hacer notar que el hecho de encontrarse diferencias estadísticas entre lomo y surco, aunque no invalida la suposición de homogeneidad del terreno, por tenerse lomos y surcos en cada parcela si previene sobre la forma de muestreo para hacer comparaciones recomendándose un muestreo que incluya lomos y surcos o en su defecto comparaciones usando solo el lomo o el surco.

6.1.2. Resistencia al penetrómetro

Los límites de confianza que se establecieron, determinaron la homogeneidad del área que se trabajó (ver Cuadro 4), en lo referente a esta variable, tanto para las profundidades de 5.6 y 12.7 cm siendo el área en su totalidad homogénea. Apoyando esta aseveración se observa en el Cuadro 5 las parcelas donde se establecerán posteriormente los tratamientos resultaron ser homogéneas debido a que se presentaron en cada parcela condiciones de lomo y surco. Observando las Figs. 17 y 18 la parcela No. 5 no se comparó con el resto de las parcelas, debido a que no se tomaron las muestras suficientes en la misma. No obstante el área muestreada fue estadísticamente igual u homogénea, sirviendo de referencia para observar los cambios físicos que sufriera ésta en el momento de aplicar los métodos de labranza.

Las lecturas tomadas con el penetrómetro tanto en lomo como en surco y a las dos profundidades presentaron una gran variabilidad debido a la mayor compactación en el surco que en el lomo, siendo los coeficientes de variación muy altos tanto para la profundidad a 5.6 cm como para la de 12.7 cm, siendo éstos 72.06 y 64.61 respectivamente.

6.2. Datos obtenidos en el establecimiento de los métodos de labranza

6.2.1. Antes de la época de viento

6.2.1.1. Densidad aparente

La densidad aparente inicial del terreno sufrió cambios al establecerse los métodos de labranza empleados. Este cambio fue proporcional con el movimiento de la masa del suelo al ir-

trabajando los implementos agrícolas en el terreno. La densidad aparente disminuyó en todos los tratamientos coincidiendo con lo señalado por Ortiz Villanueva (1980) sobre el aumento del espacio poroso y disminución de la densidad aparente, debido a la preparación del terreno. La parcela que no se laboreó (testigo) conservó las características físicas iniciales del terreno, mientras que el resto de las parcelas que se prepararon sufrieron cambios físicos. El arado de discos fue implemento agrícola que modificó más las condiciones físicas iniciales del suelo, debido a que tiene mayor penetración produciendo un gran aflojamiento de la capa del suelo al invertirse ésta como lo indica FAO (1961), le sigue el cincel el cual aflojó simplemente al suelo sin invertir ni revolver la capa labrada (FAO, 1961). La rastra y rototiler hicieron un trabajo muy superficial revolviendo y pulverizando la capa arable (ver Cuadro 6). Los coeficientes de variación que se observan en el mismo cuadro representan a datos muy uniformes.

6.2.1.2. Resistencia al penetrómetro

La resistencia inicial del terreno a la penetración se alteró al establecer los sistemas de labranza que se utilizaron. Este cambio fue diferente para cada tratamiento, debido a los implementos agrícolas empleados en la preparación del terreno. Los cambios que se produjeron fueron proporcionales al movimiento de suelo que los implementos agrícolas hicieron en el terreno, de igual manera que con la densidad aparente, estando estrechamente relacionada ésta con la resistencia a la penetración, siendo directamente proporcionales. Por lo tanto, el tratamiento que menos resistencia tuvo a la penetración fue el que se hizo con el arado debido a que el suelo quedó muy poroso y separado, le sigue el cincel, ya que este implemento aflojó el suelo, sin voltearlo ni revolverlo, quedando el suelo suelto en la capa superficial, lo continúa la rastra, ésta realizó un trabajo su-

perforando aflojando y pulverizando la capa labrada, continuando después el rototiler cuyo trabajo fue como el de la rastrero pero un poco más violento debido a que pulverizó fuertemente la superficie del suelo, siendo la capa pulverizada de unos 5 cm de espesor como lo indica Ulloa (1981). El testigo conservó las características físicas iniciales del terreno debido a que no se trabajó con ningún implemento agrícola siendo el tratamiento que tuvo la mayor compactación y por lo tanto mayor resistencia a la penetración (ver Cuadro 7). Los coeficientes de variación de los tratamientos son elevados debido a la gran variabilidad que hubo en las muestras tomadas.

6.2.2. Después de la época de viento

6.2.2.1. Densidad aparente

Los cambios físicos que sufrió el suelo durante el tiempo que transcurrió después del primer muestreo que se hizo al aplicar los tratamientos de labranza, aumentaron la densidad aparente al final de la época de viento que en esta región es de marzo a mayo. Estos cambios principalmente se deben al reacomodo del material sólido dentro de los poros del suelo, reduciendo el espacio poroso total y aumentando la densidad aparente como lo establece Ortiz (1980) (ver Cuadro 8). Por lo tanto los nuevos valores de densidad aparente se deben al reacomodo de la masa del suelo y éste es mayor mientras más se haya perturbado las capas del suelo o más violenta haya sido la acción de las maquinarias sobre la preparación del terreno, como lo establece Delorit (1976). Los implementos agrícolas que provocaron un intenso movimiento de la masa del suelo fueron arado y rastra. Por lo tanto estos tratamientos tuvieron al final una alta densidad siendo estas significativas al compararse con la densidad aparente inicial. En el caso del rototiler y cincelos los nuevos valores de densidad aparente fueron menores que los iniciales y al compararse resultaron ser estadísti

camente iguales esto pudo deberse a causas accidentales o al azar, en el momento de tomar las muestras. La densidad aparente final del testigo fue mayor que la inicial, esto se debe también a la compactación de la fase sólida del suelo, decreciendo los espacios porosos del mismo (ver Cuadro 9).

6.2.3. Medición de las varillas

Las variaciones que se registraron en las varillas en cada fecha en que se realizó su medición (ver Cuadro 10), muestran que arado y cinceles lograron contrarrestar más eficientemente los efectos erosivos del viento, en comparación con el resto de los tratamientos. La pérdida de suelo va ligada directamente con la aspereza de la superficie del suelo. Bayer (1973) señala que la erosión disminuye al aumentar las desigualdades de la superficie, tales como la presencia de terrones, agregados, lomos y depresiones. Esta aspereza es formada por los instrumentos de labranza. Por lo tanto los implementos agrícolas que más asperezas formen en el terreno, serán más eficientes para controlar la erosión eólica. En el caso del arado de discos que fue el implemento agrícola que más terrones formó debido a la inversión de la capa labrada. Además que estos terrones fueron de gran tamaño y resistentes a la abrasión causada por el material acarreado por el viento. Por tal motivo este tratamiento fue el que menos pérdidas registró al final de la época de viento, por la superficie terronosa que produce y que, como lo menciona Woodruff y Chepil (1956), ocasionan algunas disposiciones de material transportado por el viento al encontrar obstáculos en su trayectoria como lo indica el Cuadro 10, registrándose deposiciones en la fecha II, volviendo a perder suelo a partir de la fecha III. Esto pudo estar relacionado con el principio de las barreras superficiales como establece Chepil (1950a). El tratamiento de cinceles logró contrarrestar los efectos erosivos del viento por dejar-

la superficie con lomos y depresiones los cuales sirvieron de trampas a las partículas acarreadas por el viento. Se producen deposiciones de material en las primeras fechas I y II. Después se observa que este tratamiento empezó a perder suelo a partir de la fecha III, debido a que poco a poco se fue empinando y aplanando la superficie del terreno siendo las asperezas poco eficaces para controlar la erosión como lo indica Chepil y Woodruff (1955). No obstante las pérdidas detectadas o registradas estuvieron muy por abajo de los otros tratamientos, como se observa en los Cuadros 10 y 5 del Apéndice. En lo que respecta a la rastra de discos se observó que la superficie del terreno preparado por este implemento produjo pocos terrones, el suelo quedó algo pulverizado y liso sin irregularidades apreciables en la superficie. Los terrenos existentes no lograron contrarrestar eficientemente la erosión debido a la mayor proporción de fracciones erodables al quedar medianamente pulverizado el suelo. Se observa en el Cuadro 10 que paulatinamente se fue perdiendo suelo habiendo unas pequeñas deposiciones en las fechas II y IV. Estas deposiciones pueden deberse al principio de las barreras superficiales que Chepil (1950a) estableció. El rototiler fue el implemento que menos disminuyó los efectos erosivos del viento y además fue el que más pérdidas de suelo presentó en cada una de las mediciones que se hicieron como se observa en el Cuadro 10. Esta pérdida de suelo se debió principalmente a la falta de asperezas en la superficie, ya que el trabajo realizado por este implemento fue muy violento, dejando a la superficie muy pulverizada, los lomos y depresiones que se presentaron en el terreno no fueron muy eficaces, para proteger y detener las partículas erodables, además no estuvieron totalmente perpendiculares a la dirección del viento sino sesgados a ésta. También se observa en el Cuadro 10, que hubo una pequeña deposición en la fecha V, volviendo a perder nuevamente en la fecha IV. Esto está relacionado principalmente como se dijo anteriormente para arado y rastra-

al principio de las barreras superficiales. El testigo fue el tratamiento que quedó sin laborear, conservando las características físicas iniciales del terreno. Esta parcela estaba formada por los lomos y surcos ya establecidos para los cultivos de escarda P-V/83. Este tratamiento gradualmente fue perdiendo --suelo, al irse destruyendo lentamente la costra superficial --que lo cubría, como lo establece Chepil (1953b y 1958), debido a esto poco a poco fue exponiéndose un suelo más erodable, lo que explica el continuo aumento en las pérdidas en cada una de las fechas en que se llevó a cabo la medición (ver Cuadro 10), además de los surcos estuvieron sesgados a la dirección predominante del viento.

En términos generales estas variaciones se presentan gráficamente en la Fig. 19. Donde las pequeñas deposiciones que se observan en los tratamientos de rastra en las fechas II y VI arado en las fechas II y VI, rototiler en la fecha V puede haberse debido como se indicó anteriormente, al principio de las barreras superficiales que Chepil (1950a), Chepil y Woodruff (1963), Chepil (1965) establecieron.

En los tratamientos de rastra y arado se observa en la Fig. 19 que hubo pérdidas máximas de suelo en la fecha V y esto coincide con las fuertes ráfagas de aire que se presentaron en la zona días antes de que se efectuara la medición de las varillas en la fecha arriba indicada, siendo la velocidad del viento de 25 mts/seg (90 km/hora).

En el testigo no se sucedió el principio de las barreras superficiales por tal motivo las pérdidas de suelo fueron gradualmente aumentando como se observa en la Fig. 19.

En el caso de cinceles fue diferente, ya que si se observa la Fig. 19, desde un principio hubo deposiciones de suelo.

Este material que se depositó pudo provenir de los lomos, pues si se observa en el Cuadro 5 del Apéndice, las varillas colocadas en los lomos en todas las fechas en que se tomó su altura, presentaron pérdidas, lo que supone que este material se precipitó en los surcos, además del material que el viento transportaba de otros sitios fue detenido por las asperezas de la superficie como los lomos y los surcos. Este fenómeno solamente se presentó en las fechas I y II a partir de la fecha III empezó a presentarse pérdidas, esto se debió tal vez a que los lomos empezaron a aplanarse y los surcos a llenarse por el material depositado, resultando un emparejamiento de la superficie, en donde las asperezas (lomos y surcos) ya no fueron tan eficaces para el control de la erosión ya que este implemento funciona muy satisfactoriamente en tierras compactas pero son inefectivos en suelos de textura arenosa y franco arenoso como lo establece Chepil y Woodruff (1955), o en suelos extremadamente arenosos como lo indica Woodruff y Lyles (1967).

El Cuadro 18 presenta las pérdidas finales registradas en cada uno de los tratamientos empleados en el experimento y su comparación con la pérdida de suelo producida en un trabajo de investigación que se realizó anteriormente en la misma región, pero con un tratamiento diferente de labranza; en el cual se expuso al suelo a las condiciones más favorables para producirse el acarreo eólico.

Estos datos confirman lo señalado anteriormente puesto -- que si tomamos lo reportado en La Blanca como la condición más susceptible cualquier manejo de suelo que produzca mayor rugosidad o agregados más estables (de mayor tamaño) debe ocasionar una pérdida menor tal y como se observó en este estudio.

Cuadro 18. Pérdidas finales de suelo, obtenidas por los tratamientos de labranza empleados en el sitio donde se realizó el presente trabajo y el estudio hecho anteriormente en la región de Pánfilo Natera, Zac.*

La Blanca** (Investigación anterior)					La Tesorera (Investigación actual)				
Tratamiento	Implemento agrícola	Dap. (gr/cc) \bar{X}	Capa pérdida (mm) \bar{X}	Pérdida ton/ha \bar{X}	Tratamiento	Implemento agrícola	Dap. (gr/cc) \bar{X}	Capa pérdida (mm) \bar{X}	Pérdida ton/ha \bar{X}
Barbecho y Rastreo	Arado de discos con rastra de discos	1.55	9.65	149.6	3	Arado de discos	1.4559	0.50	7.28
					5	Cinceles	1.4889	1.10	16.38
					1	Rastra de discos	1.5073	1.95	29.39
					2	(No laboreo)	1.5519	2.35	36.47
					4	Rototiler	1.5468	2.90	44.86

* Los resultados que se muestran en este cuadro, corresponden a la época en que se presentan los vientos sobre la región (marzo-mayo) siendo el tiempo que duró la investigación.

** Datos obtenidos por el Ing. Héctor Tovar S. (trabajo por imprimirse).

6.2.4. Humedad del suelo

Con las muestras tomadas superficialmente, se observa que hay cierta relación entre el contenido de humedad y la pérdida de suelo, como en los tratamientos de rototiler y testigo (ver Cuadro 11), en que al tornarse la superficie del suelo más seca fue incrementándose la tasa de remoción de estos tratamientos, debido a la falta de asperezas en la superficie (ver punto 6.2.3) esto por un lado y por el otro, el constante decremento de humedad entre las partículas del suelo, ya que es conocido que las películas de agua que rodean a estos granos --- tienden a unirlos siendo muy difícil para el viento vencer esta fuerza cohesiva, pero a medida que se va perdiendo la humedad van haciéndose más delgadas estas películas hasta que el viento es capaz de mover las partículas como lo indica Chepil (1956) y Chepil y Woodruff (1963) y empezar así la remoción o la pérdida del suelo.

En los tratamientos de rastra y arado, no se observa esta tendencia aunque la humedad superficial fue disminuyendo conforme transcurrió el tiempo no siempre se incrementaba la tasa de remoción del suelo (ver Cuadro 11). Debido a que en estos tratamientos contenían asperezas (terrones) en la superficie --- sirviendo de obstáculo en la trayectoria del viento y a las partículas transportadas por él (ver punto 6.2.3.)

La humedad que se registró en cinceles y el movimiento del suelo registrado por las varillas va acorde a lo establecido por Chepil (1956) y Chepil y Woodruff (1963) en que la erodabilidad por el viento aumenta o decrece en forma proporcional a la cantidad de agua hidrocópica en el suelo. Las deposiciones observadas (ver Cuadro 11) como se estableció anteriormente (punto 6.2.3) provino en parte del material que formaba a los lomos ya que este tratamiento su aspereza superficial es

laba formado por lomos y surcos. Al irse perdiendo humedad entre partículas que constituyan o formaban los lomos éstas eran fácilmente desprendidas por el viento e iban a depositarse al fondo de los surcos como lo indica el Cuadro 5 del Apéndice, - en donde los lomos tuvieron pérdidas de material y los surcos presentaron ganancia o deposiciones:

Con las muestras tomadas a la profundidad de 10 a 15 cm - no se encontró relación alguna con las pérdidas de suelo, debido a que el contenido de humedad del suelo a esta profundidad - no presentó variaciones conforme transcurrió el tiempo.

6.3. Siembra

6.3.1. Humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo que se registró en cada uno de los tratamientos fue variable. Esta variación se debió principalmente a la forma de preparar el terreno. Se encontró que en los tratamientos de arado, cinceles y rastra mantuvieron un nivel de humedad más alto en comparación con los otros tratamientos, durante la mayor parte del ciclo de los cultivos.

Aunque no se hayan detectado diferencias significativas - entre los promedios generales de humedad de los tratamientos - debido posiblemente al bajo número de observaciones o a lo elevado del coeficiente de variación (38.10). En las comparaciones que se hicieron en cada fecha sí se detectaron diferencias significativas, resultando ser superiores los tratamientos -- arriba mencionados (ver Cuadro 12).

El arado particularmente presentó las mejores condiciones de humedad para los cultivos en comparación con los demás tratamientos, esto fue debido a la mayor captación que hubo de -

agua cada vez que cayó una lluvia, como lo muestra el Cuadro - 12. Esta captación fue posible a la mayor profundidad de preparación del suelo y por dejar la mayor parte de los residuos o desperdicios en la superficie aumentando la cantidad de agua - que penetra al suelo como lo indica Aldrich (1974).

Cinceles y rastra también mostraron un nivel alto de humedad en comparación con testigo y rototiler debido a que la preparación del terreno fue profunda en cinceles y menor en rastra permitiendo la captación del agua de lluvia, siendo menor en rastra.

Testigo y rototiler mantuvieron bajo el contenido de humedad en el suelo esto tal vez por la costra superficial formada, fue mayor el encostramiento en rototiler debido a que el suelo quedó finamente mullido impidiendo la infiltración del agua como lo indica Ulloa (1981), permaneciendo estos tratamientos bajos en humedad.

Rastra, cinceles y testigo variaron mucho en cuanto al contenido de humedad. Observando los coeficientes de variación en cada muestreo que se hizo en estos tratamientos se detectó la heterogeneidad que hubo en la distribución de la humedad en el suelo por los valores altos de estos coeficientes (ver Cuadro 12). En lo que concierne al arado y al rototiler, aunque también presentaron variaciones, éstas no fueron tan marcadas, como en los otros tratamientos, solamente que en arado permaneció más elevado el contenido de humedad mientras que el rototiler fue el más bajo.

6.3.2. Germinación

La diferencia significativa observada entre arado y rototiler en cuanto a la germinación de la semilla de maíz es ob-

via (ver Cuadro 13), debido a que el maíz requiere gran cantidad de humedad para su germinación y desarrollo, como lo indica Shmishi (1966) y Arnon (1972) citados por Pajarito R.A. (1983).

Como se indicó anteriormente el tratamiento de arado captó y conservó mejor la humedad además mantuvo una mejor aereación que el rototiler lo que facilitó la germinación de la semilla de maíz.

La población de las plantas nacidas de maíz fue más uniforme en arado que en cualquier otro tratamiento, siendo su coeficiente de variación (3.80, el cual es muy bajo indicando que las observaciones fueron muy semejantes entre sí. En rototiler la población de plantas nacidas fue muy heterogénea al observar su coeficiente de variación (45.00) indicando que las observaciones tomadas fueron muy poco uniformes.

En frijol no hubo diferencias significativas en el número de semillas germinadas entre tratamientos (ver Cuadro 13), tal vez debido a que el frijol no es tan exigente como el maíz en cuanto a humedad se refiere como lo indica Chapman (1976). Pero los coeficientes de variación muestran la poca homogeneidad de las observaciones especialmente en el tratamiento de rototiler cuyo coeficiente de variación fue muy elevado (106.07), así como en cinceles (68.75 y rastra (40.27)). La variación se debió principalmente a la forma de preparar el terreno. En el caso de rototiler pudo deberse a la costra superficial formada y a lo compactado del terreno afectando en cierta manera la germinación, en cinceles y rastra a la poca uniformidad de la humedad en el suelo.

6.3.3. Datos fenológicos.

6.3.3.1. Altura de planta y No. de hojas en maíz

Las diferencias significativas que resultaron al comparar la altura media de las plantas de maíz en cada uno de los tratamientos (ver Cuadro 14) se deben precisamente a la forma de preparación del terreno. Bajo las condiciones que prevalecen en la región la variedad de maíz utilizada (VS-202) alcanza una altura promedio de 124.40 cm como lo indica Pajarito (1983) siendo la altura de planta desarrollada por el arado de 124.10 cm muy semejante a la que se alcanza normalmente, debido a que en este tratamiento se presentaron mejores condiciones de humedad durante el ciclo del cultivo y fue mayor la profundidad de preparación permitiéndole un desarrollo radicular más vigoroso.

Cinceles y rototiler desarrollaron una altura de planta muy por abajo de la normal (88.70 y 74.20 cm respectivamente) ya que en estos tratamientos no se dieron las condiciones de humedad propicias para el buen desarrollo del maíz, pues en rototiler como se estableció anteriormente la humedad registrada durante el ciclo de los cultivos fue muy bajo y en cinceles aunque el contenido de humedad fue mayor que rastra y testigo no estuvo distribuida uniformemente en el terreno (ver Cuadro 12). Estos dos tratamientos desarrollaron una altura mayor que cinceles siendo de 96.50 y 103.80 respectivamente.

El número de hojas producidas, guardaron estrecha relación con la altura de planta en un principio como se observa en el Cuadro 14. El número de hojas promedio de los dos últimos muestreos fue variando en algunos tratamientos debido a la destrucción o desprendimiento de las mismas, por lo tanto no se observó claramente el efecto de los tratamientos en la medición de esta variable.

6.3.3.2. Altura de planta y No. de vainas en frijol

El frijol no fue tan marcada las diferencias que hubo en cuanto a la altura de planta que se desarrolló en cada uno de los tratamientos, ya que solamente se encontraron diferencias significativas entre arado y rototiler (ver Cuadro 15). Estas diferencias eran de esperarse debido a que las condiciones de humedad que prevalecieron en estos tratamientos fueron muy diferentes por lo expuesto anteriormente. En cuanto al número de vainas promedio se encontró que los tratamientos que presentaron condiciones más favorables como las que establece Chapman (1976), mayor contenido de humedad y mejor aereación, tales como arado y en menor medida, testigo y rastra, produjeron más vainas por planta que cincales y rototiler, que no mantuvieron esas condiciones.

6.4 Cosecha

6.4.1. Maíz

Debido a que la distribución de la precipitación fue irregular, el suelo se mantuvo en algunas etapas saturado (en un principio), en otras entre CC y PPM y en algunas ocasiones abajo de PMP (ver Cuadro 12). Lo que afectó seriamente los rendimientos a tal grado que no hubo producción de grano, evaluando se solamente materia seca. Aunque el contenido de humedad del suelo se mantuvo arriba de PMP durante la mayor parte del ciclo de cultivo, los porcentajes de humedad del suelo a PMP y a CC son muy bajos (3.75 y 6.54 respectivamente).

Los tratamientos que más humedad hayan retenido y mejor se haya distribuido en el suelo obtuvieron los mejores rendimientos de materia seca. Con lo establecido en el punto (6.3.1) era de esperarse los resultados que se observan en el Cuadro -

16, donde en arado se obtuvo los mayores rendimientos en materia seca, seguido después por testigo, rastra resultando muy bajos los rendimientos en cinceles y rototiler, los coeficientes de variación de cada uno de los tratamientos muestra la uniformidad o desigualdad que hubo dentro de los mismos. Se observa que hubo una gran variabilidad dentro del tratamiento de rototiler (89.24) debido a las condiciones desfavorables que se dieron (poca humedad y baja porosidad). El testigo (no laboreo), aunque obtuvo mejor rendimiento en M.S. después del arado tuvo una gran variabilidad siendo muy elevado el coeficiente de variación (87.38) debido tal vez a la alta compactación del suelo dentro de este tratamiento. Los cinceles y rastra presentaron coeficientes de variación altos (39.32 y 19.29 respectivamente) debido a la irregularidad de la distribución de la humedad en el suelo. El arado presentó el más bajo coeficiente de variación (11.13) debido a la mejor distribución de la humedad del suelo, mejor aereación y porosidad en el mismo.

En cuanto al número de plantas por parcela y por hectárea, el arado mantuvo una alta población y más uniforme (CV, 5.82) que los demás tratamientos (ver Cuadro 16), con una altura promedio final de 124.10 cm. Lo que explica el alto rendimiento en materia seca en comparación con los otros tratamientos, ya que en cinceles también se presentó una alta población tanto por parcela como por hectárea (114 y 47.361 respectivamente) pero menos uniforme (CV, 16.28). Las plantas no tuvieron buen desarrollo siendo su altura media final de 84 cm, baja en comparación con el resto de los tratamientos por lo que no hubo buen rendimiento en materia seca. En rastra hubo una población de 100 y 41.667 por parcela y por hectárea respectivamente, también poco uniforme (CV, 19.92) siendo la altura de planta promedio final de 103.80 cm, obteniendo mayor rendimiento que cinceles pero no así con el testigo, aunque su población ha sido menor (86 y 35.972, por parcela y por hectárea respectiva

mente) y también su altura promedio 96.6 cm, hay que recordar que dentro de este tratamiento hubo mucha variación (CV, 87.38). El rototiler mantuvo la más baja población por parcela y por hectárea (66 y 27.639 respectivamente) y fue menos uniforme -- que las demás poblaciones (CV, 38.41) con una altura promedio final de 73.60 cm, lo que explica el bajo rendimiento en materia seca en comparación con los otros tratamientos.

6.4.2. Frijol

La humedad del suelo estuvo arriba del PMP casi durante todo el ciclo; sin embargo, los porcentajes de humedad del suelo a PMP y CC son muy bajos por el tipo de suelo, lo que afectó los rendimientos.

Los tratamientos que más humedad retuvieron y mejor haya sido la distribución de la humedad, debido a la preparación -- del terreno, obtuvieron los mejores resultados (ver Cuadro 17). Como sucedió en el maíz el arado obtuvo el mejor rendimiento -- de grano (190 kg/ha) con una población de 39.722 plantas/ha, -- siendo ésta mayor en comparación con los otros tratamientos, -- también en arado fue mayor el número de vainas/planta (7.20) -- (ver Cuadro 15), lo que explica el mejor rendimiento entre los tratamientos, habiendo menos variación entre las repeticiones.

En el testigo se presentó mucha variación (CV, 78.57) entre las repeticiones. El rendimiento de grano fue también alto (163 kg/ha) con una población de 27.500 plantas/ha siendo muy inferior a la de cinceles que fue de 38.194 plantas/ha, solamente que en el testigo hubo mayor número de vainas/planta -- (6.90) que en cinceles (5.50) (ver Cuadro 15). El tratamiento de cinceles mostró mucha variación tanto en el rendimiento de grano/ha como en No. de plantas/ha, siendo éstos: 60.80 y --- 40.34 respectivamente debido a la irregularidad que hubo en la

distribución de la humedad en el suelo, lo que explica la producción de solamente 100 kg/ha. También en rastra hubo variación pero no tan marcada como en los tratamientos de cincelos, rototiler y el testigo, en cuanto al rendimiento de grano (CV, 17.70). La población de plantas/ha fue muy baja (24.583) siendo también bajo el número de vainas/planta (4.40) dando el bajo rendimiento que se observa. Rototiler presentó mucha variación (CV, 68.80) en el rendimiento de grano y también en el número de plantas/ha (CV, 28.58) siendo la población 23.611 plantas con bajo número de vainas/planta (2.70) resultando ser el rendimiento más bajo que se obtuvo solamente en 40 kg/ha.

VII. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) La cantidad de suelo perdido por erosión eólica es proporcional a la rugosidad producida durante la labranza.
- 2) Los tratamientos de labranza que más aflojaron el suelo - ocasionaron una mayor captación y almacenamiento del agua de lluvia en el suelo.
- 3) El rendimiento de los cultivos (maíz y frijol) fue mayor a medida que los tratamientos de labranza incrementaron - la captación y almacenamiento de agua de lluvia.

VIII. RESUMEN

En las zonas áridas y semiáridas son donde se dan las condiciones favorables para que se manifieste la erosión eólica. Debido a la falta de humedad, a la desforestación que ocurre cuando se abren al cultivo nuevas tierras, a los vientos entre moderados y fuertes que se producen en estas zonas entre enero a mayo. Dentro de las causas más importantes se encuentra el mal manejo de los suelos a los cuales se les explota para actividades o fines no apropiados y a la labranza inadecuada que se realiza en estos suelos.

La labranza tiene un gran efecto dentro de la erosión eólica ya que puede controlarla o acelerarla. En la aceleración de la erosión eólica ocurre cuando los implementos de labranza no son los adecuados para producir terrones o irregularidades en la superficie que logren contrarrestar los efectos erosivos del viento. Estos implementos dejan a la superficie del suelo pulverizada con escasos terrones, depresiones u otras irregularidades de la superficie, las cuales no protegen a las fracciones más erodables de las fuerzas cortantes del viento. El control de la erosión puede lograrse mediante implementos que lleven a la superficie terrones compactos y resistentes a la abrasión o a las irregularidades producidas como lomos y surcos -- que obstaculizan el movimiento de las partículas erodables y disminuyendo la velocidad del viento sobre la superficie del suelo.

Dentro de los implementos agrícolas que se utilizaron en el presente trabajo se encontró que el Arado y Cinceles lograron contrarrestar los efectos erosivos del viento, debido a los terrones y depresiones que produjeron. Por otro lado Raspa y Rototiller y Testigo no se logró un control efectivo de la erosión a causa de la ausencia de terrones o irregularida--

dos en la superficie del suelo, quedando la superficie en parte pulverizada y con muy pocos terrones incapaces de proteger a las partículas erodables.

Cada uno de los implementos que se utilizaron en la preparación del terreno, influyó en la producción de los cultivos (maíz y frijol). Entre más profunda haya sido la preparación - mejor fue la respuesta de los cultivos (arado). Por otro lado - entre más superficial y más pulverizado haya quedado el suelo - hubo más baja producción (Rototiler, Cinceles y Rastra).

IX. LITERATURA CITADA

- Aguirre R.J.R., García M.E., Figueroa S.B. 1982. "Los sistemas agrícolas del Altiplano Potosino-Zacatecano". CREZAS-CP - No. 5. Pág. 2-24.
- Aldrich Samuel R., Leng. Earl R. 1974. Producción Moderna del Maíz. Ed. Hemisferio Sur. Pág. 41-64.
- Baver, L.D., Gardner, W.H., Gardner, W.R. 1973. Física de Suelos. Editorial Uteha. pp. 504-525.
- Blake G.R. 1965. Bulk Density. In Black, C.A., Evans, D.D., -- White, J.L., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part. I. Publisher American Society of Agronomy Madison, Wisconsin, U.S.A. pp. 374-390.
- Cetenal. 1971. Carta Topográfica (Ojocaliente, Zac.)
- Chapman Stephen R. y Carter Lark P. 1976. Producción Agrícola, Principios y Prácticas. Ed. Acribia. Pág. 377-387.
- Chepil, W.S. 1940. Relation of wind erosion to the dry aggregate structure of a soil. pp. 488-507. Scientific Agriculture, Vol. 21.
- 1944. Utilization of Crop Residues for Wind Erosion Control. Scientific Agriculture Vol. 24, No. 7, pp. 307-319.
 - 1954d. Dynamics of wind erosion: IV. The translocating and abrasive action of the wind. Soil Science 61. pp. 167-177.
 - 1946. Dynamics of wind erosion: V. Cumulative intensity of soil drifting across eroding fields. Soil Science 61. pp. 257-263.
 - 1950a. Properties of soil which influence wind erosion: I. The governing principle of surface roughness. Reprinted from Soil Science Vol. 69, No. 2. pp. 149-162.
 - 1951. Properties of soil which influence wind erosion: V. Mechanical stability of structure. Reprinted from soil science. Vol. 72. No. 6. Kansan Agricultural Experiment Station. pp. 465-478.
 - 1953. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: I. Soil texture. Reprinted from Soil Science. Vol. 75. No. 6. pp. 473-483.
 - 1953b. Field structure of cultivated soils with special reference to erodibility by wind. pp. 185-190. Soil Science Society Proceedings 1953.

- 1953. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: II. Water-Stable Structure. Reprinted from Soil Science. Vol. 76. No. 5 pp. 389-399.
 - 1954a. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: III. Calcium carbonate and decomposed organic matter. Reprinted from Soil Science. Vol. 77. No. 6. pp. 473-480.
 - 1955a. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: IV. Sand, silt, and clay. Reprinted from Soil Science. Vol. 80, No. 2. pp. 155-162.
 - 1955b. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: V. Organic matter at various stages of decomposition. Reprinted from Soil Science. Vol. 80, - No. 5. pp. 413-421.
 - 1956. Influence of moisture on erodibility of soil by --- wind. Reprinted from Soil Science. Vol. 20, No. 2. pp. -- 288-292.
 - 1957. Erosion of soil by wind. Yearbook of Agriculture N° 2821 pp. 308-314. U.S. Department of Agriculture.
 - 1957a. Sedimentary characteristics of dust storms: I. Sorting of wind-eroded soil material. American Journal of -- Science, Vol. 255. pp. 12-22.
 - 1957b. Sedimentary characteristics of dust storms: III. - Composition of suspended dust. American Journal of Science, Vol., 255. pp. 206-213.
 - 1958. Soil conditions that influence wind erosion. United States Department of Agriculture. Technical Bulletin No.- 1185. pp. 1-38.
 - 1959b. Equilibrium of soil grains at the threshold of movement by wind. Reprinted from Soil Science Society of -- America Proceedings. Vol. 23, No. 6. pp. 422-428.
 - 1960. The cycles of wind erosion. Reprint Transactions - Vol. 1. pp. 225-231.
 - 1961. The use of spheres to measure lift and drag on wind eroded soil grains. Reprinted from Soil Science Society - of America Proceedings. Vol. 25, No. 5. pp. 343-345.
 - 1965. Transport of soil and snow by wind. Reprinted from Meteorological Monographs. Vol. 6. No. 28. pp. 123-132
- Chepil, W.S.; Woodruff, N.P. 1955. How to reduce dust storms.- pp. 3-11.

- 1963. The physics of wind erosion and its control, Adv. - Agron. 15: 211-302. Academic Press, N.Y., 1963.
- Colegio de Postgraduados. 1977. Manual de conservación del suelo y agua. pp. 1-24, 421-451.
- Davison Donald, T. 1965. Penetrometer measurements, In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.). Methods of soil analysis. Part. I. Publisher American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, U.S.A.- pp. 472-484.
- De la Loma J.L. 1980. Experimentación Agrícola. E. Uteha. Cap. IV.
- Delorit, Richard. J., Ahlgren, Hery, L. 1976. Producción Agrícola. 3a. Impresión. Ed. CECOSA. Pág. 50-130.
- Englehorn C.L., Zingg, A.W., Woodruff, 1952. The effects of -- plant residue cover and clod structure on soil losses by wind. Reprinted from Soil Science Proceedings. Vol. 16, - No. 1. pp. 29-33.
- Espinoza Hidalgo Julio M. 1965. Estudio genético de los suelos rojos del Edo. de Zacatecas. Tesis. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- FAO. 1961. La erosión eólica y medidas para combatirlas en los suelos agrícolas. Colección FAO, No. 6. Cuaderno de Formatos Agropecuarios No. 71. (Roma, 1961). pp. 1-67.
- 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos FAO y PNUMD. Roma, Italia, 80 p.
- Fenster C.R., Woodruff, N.P., Chepil, W.S. and Siddoway, F.H.- 1965. Performance of tillage implements in a stubble ---- mulch system: III. Effects of tillage sequence on Resi----dues, soil cloddiness, weed control, and wheat yield. Reprinted from the agronomy Journal Vol. 57. pp. 52-55.
- Fryrear, D.W. 1969. Reducing wind erosion in the southern ---- great plains. Texas A. & M. University. pp. 2-10.
- Gardner Walter H. 1965. Water content. In: Black, C.A., Evans-D.D., White, J.L., Ensminger, L.E. Clark, F.E. (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part. I. Publisher American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. pp. 82-127.
- I. Tamayo Jorge. 1980. Geografía de México. 9a. Edición. Editorial Trillax. pp. 82-114 y 150-156.

- Lyles, Leon y Woodruff, N.P. 1962. How moisture and tillage --- affect soil cloddiness for wind erosion control. Agricultural Engineering. Vol. 43, No. 3. pp. 150-153, 159.
- Ortiz Villanueva B., Ortiz Solorio C.A. 1980. Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 66-101.
- Pajarito R.A. 1983. Estudio de 10 especies vegetales anuales y variedades dentro de especies bajo secano en Pánfilo Mate ra, Zac. (tesis. CREZAS-CP).
- Phillips, S.H., Young, H.M. 1981. Agricultura sin laboreo, labranza cero. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. Pág. 25-32.
- Reyes Castañeda Pedro. 1980. Bioestadística aplicada.
- 1981. Diseño de experimentos aplicados. Ed. Trillas. Pág. 104-121.
- Rzedowski, J. 1957. Vegetación de las partes áridas de los --- Edo. de San Luis Potosí y Zacatecas. Tomo XVIII. No.1-4. pp. 49-101.
- 1965. Vegetación del Estado de San Luis Potosí. Tomos I y II. (Vol. V) Colegio de Postgraduados.
- Sánchez Molina Antonio, Andrade de Herrera Victoria y García - Díaz Natalia. 1971. Síntesis de Geografía Física y Humana. Editorial Trillas. pp. 91-117.
- Snedecor and Cochran. 1967. Statistical Methods. Chapter ten - pp. 258-298. Sixth edition. The Iowa State University --- Press Ames, Iowa, U.S.A.
- SPP. 1981. Cartas de Aspectos Climatológicos del Edo. de Zacatecas.
- Stallings, J.H. 1951. Mechanics of wind erosion. pp. 1-9. SCS-TP-108. Washington 25, D.C.
- 1953. Wind-erosion control. SCS-TP-115 Washington, D.C. - pp. 1-27.
- Steel, G.D., Torrie, H.J. 1981. Principles and procedures of - statistics a biometrical approach. Second edition. Cap. V. 86-121. McGraw Hill International Book Company.
- Stuntz y Free. 1946. The movement of soil material by wind. pp. 37-41.
- Ulloa, T. Omar. 1981. Maquinaria Agrícola. UACH. págs. 94-96, 99-110.

- Velázquez, C.R. 1962. Aspectos ecológicos de *Opuntia streptacantha* *Opuntia leucotricha* en la región árida de Zacatecas y San Luis Potosí. Tesis. SAG. Chapingo, Méx.
- Wilson, S.J. and Cooke, R.U. 1980. Wind erosion. In: Kirby, M. J. and Morgan, R.P.C. (Eds.) Soil erosion. John Willey & Son. Chichester: 217-248.
- Woodruff, N.P. s/f. Wind erosion mechanics and control.
- Woodruff, N.P., Chepil, W.S. 1956. Implements for wind erosion control. reprinted from agricultural engineering. Vol. 37. No. 11. pp. 751-754, 758.
- Woodruff, N.P., Fenster, C.R., Harris, W.W. y Lundquist Marvin. 1966. Stubble-Mulch Tillage and planting in crop residue- in the great plains. Transactions of the ASAE. Vol. 9, N° 6. pp. 849-853.
- Woodruff, N.P. and Lyles L. 1967. Tillage and land modifica-- tion to control wind erosion. Reprinted from: Tillage for greater crop production. pp. 63-70.
- Woodruff, N.P. y Siddoway, F.H. 1973. Wind erosion control. - Soil Conservation Society of America. pp. 156-162.
- Zingg, A.W., Woodruff, N.P., Englehorn, C.L. 1952. Effect of - wind-row orientation on erodibility of land in sorghum -- stubble. Reprinted from Agronomy Journal. Vol. 44, No. 5. pp. 227-230.
- Zingg, A.W. 1953. The wind erosion problem in the great plains. Trans. AGU, U. 35-2. pp. 252-258.

Cuadro 1. Densidad aparente de cada punto del terreno donde se llevó a cabo el muestreo, antes de aplicar los métodos de labranza.

Punto	Densidad aparente	Condición	Punto	Densidad aparente	Condición	\bar{x} Gral. gr/cm ³	CV Gral. %
	gr/cm ³			gr/cm ³			
1	1.6962	S	26	1.4334	L	1.5527	4.95
2	1.5157	L	27	1.6063	S		
3	1.6613	S	28	1.5122	L		
4	1.4302	L	29	1.5481	S		
5	1.6425	S	30	1.5552	L		
6	1.4564	L	31	1.7441	S		
7	1.6741	S	32	1.5313	L		
8	1.5157	L	33	1.6079	S		
9	1.5881	S	34	1.4702	L		
10	1.5009	L	35	1.5976	S		
11	1.5286	S	36	1.4680	L		
12	1.4968	L	37	1.6711	S		
13	1.5739	S	38	1.4884	L		
14	1.4192	L	39	1.5709	S		
15	1.6798	S	40	1.4914	L		
16	1.4707	L	41	1.5839	S		
17	1.6433	S	42	1.5938	L		
18	1.4848	L	43	1.4488	S		
19	1.6241	S	44	1.5108	L		
20	1.4726	L	45	1.6738	S		
21	1.6085	S	46	1.5513	L		
22	1.5292	L	47	1.6047	S		
23	1.5855	S	48	1.4621	L		
24	1.4369	L	49	1.5712	S		
25	1.5582	S	50	1.5447	L		

Cuadro 2. Resistencia al penetrómetro en cada punto del terreno donde se llevó a cabo el muestreo, antes de aplicar los métodos de labranza.

Punto	Obs.	Resistencia al penetrómetro (kg/cm ²)		Condición	Punto	Obs.	Resistencia al penetrómetro (kg/cm ²)		Condición	\bar{X} Gral. (kg/cm ²)		CV Gral. (%)	
		Prof 3'	Prof 5'				Prof 3'	Prof 5'		Prof 3'	Prof 5'	Prof 3'	Prof 5'
1	3	19.58	27.99	S	26	3	0.11	0.40	L	8.965	13.775	72.06	64.61
2	3	6.31	13.70	L	27	3	18.58	26.59	S				
3	3	15.86	20.67	S	28	3	2.59	5.81	L				
4	3	0.74	6.10	L	29	3	14.96	8.97	S				
5	3	7.98	14.31	S	30	3	3.35	5.79	L				
6	3	0.43	2.24	L	31	3	19.15	27.99	S				
7	3	8.59	15.03	S	32	3	8.89	11.02	L				
8	3	5.90	16.55	L	33	3	16.95	18.49	S				
9	3	16.23	24.89	S	34	3	4.01	6.75	L				
10	3	4.66	8.39	L	35	3	13.21	18.36	S				
11	3	14.05	17.96	S	36	3	0.80	3.79	L				
12	3	1.85	4.24	L	37	3	13.41	19.58	S				
13	3	10.95	18.96	S	38	3	4.56	9.05	L				
14	3	1.92	3.44	L	39	3	21.33	25.46	S				
15	3	12.13	20.08	S	40	3	4.78	7.52	L				
16	3	0.55	3.58	L	41	3	13.96	20.98	S				
17	3	14.09	26.40	S	42	3	5.37	8.29	L				
18	3	5.68	9.50	L	43	3	12.92	17.55	S				
19	3	16.97	23.52	S	44	3	3.96	7.22	L				
20	3	5.32	5.63	L	45	3	11.96	19.85	S				
21	3	10.84	12.64	S	46	3	1.01	1.86	L				
22	3	4.38	7.12	L	47	3	15.49	21.24	S				
23	3	12.18	20.57	S	48	3	1.76	2.94	L				
24	3	0.12	2.52	L	49	3	19.58	27.94	S				
25	3	16.15	22.71	S	50	3	2.30	6.45	L				

Cuadro 1. Datos obtenidos en el muestreo inicial en cada uno de los puntos donde se colocaron las verifitas, una vez implantados los tratamientos de labranza sobre el terreno, antes de la época de siembra.

Instalación	Implemento agrícola	Punto	Densidad aparente* (gr/cm ³)	Persistencia al penetrómetro (kg/cm ²) ^{**}		Condición
				Prof. 1 pulg.	Prof. 3 pulg.	
1	Mestra	1	1.6012	0.49	1.30	
		2	1.5503	0.73	1.49	
		3	1.5803	0.09	0.50	
		4	1.5478	0.15	0.45	
		5	1.4506	0.21	0.62	
		6	1.4314	0.27	0.49	
		7	1.4314	0.12	0.64	
		8	1.3780	0.35	0.61	
		9	1.5238	0.16	0.57	
		10	1.6784	0.13	0.27	
2	Testigo (No laboreo)	11	1.5669	0.95	3.59	L
		12	1.5078	1.86	20.33	S
		13	1.4501	1.93	8.55	L
		14	1.5092	9.01	26.91	S
		15	1.5236	1.43	24.11	S
		16	1.5679	1.37	6.54	L
		17	1.6585	2.62	21.71	S
		18	1.5668	1.34	4.62	L
		19	1.5723	6.61	26.21	S
		20	1.6098	0.35	6.51	L
3	Arado	21	1.4640	0.01	0.02	
		22	1.4378	0.02	0.04	
		23	1.2416	0.02	0.08	
		24	1.4344	0.01	0.02	
		25	1.5019	0.05	0.05	
		26	1.4950	0.02	0.04	
		27	1.5785	0.34	0.64	
		28	1.4917	0.01	0.09	
		29	1.5207	0.02	0.07	
		30	1.4427	0.01	0.69	
4	Rototiler	31	1.5566	0.66	5.72	L
		32	1.5993	2.63	7.71	S
		33	1.4747	2.02	2.87	L
		34	1.6178	3.06	5.90	S
		35	1.4492	2.59	5.11	S
		36	1.5259	2.77	6.56	L
		37	1.5007	2.40	5.77	S
		38	1.5525	2.95	7.83	L
		39	1.4498	1.90	5.34	L
		40	1.6816	2.51	6.34	S
5	Cinceles	41	1.4948	0.04	0.54	S
		42	1.5560	0.02	0.12	L
		43	1.4800	0.02	0.23	S
		44	1.6542	0.07	0.12	L
		45	1.5002	0.01	0.04	L
		46	1.4522	0.07	0.23	S
		47	1.4114	0.01	0.04	L
		48	1.4218	0.61	0.97	S
		49	1.5146	0.71	0.77	L
		50	1.4810	0.17	0.25	S

* Se hizo una sola observación por punto.

** Los promedios de 3 lecturas por punto.

Cuadro 4. Datos finales de densidad aparente registrados dentro de los tratamientos y por cada varilla, al término de la época de viento.

Trat.	Implemento agrícola	Punto	Densidad aparente (gr/cm ³)	Condición	Trat.	Implemento agrícola	Punto	Densidad aparente (gr/cm ³)	Condición
1	Rastra	1	1.6294		4	Rototiler	31	1.6137	L
		2	1.7048				32	1.6083	S
		3	1.5506				33	1.5180	L
		4	1.6911				34	1.4685	S
		5	1.6835				35	1.5844	L
		6	1.7464				36	1.4851	S
		7	1.6066				37	1.4966	L
		8	1.5687				38	1.4730	S
		9	1.5399				39	1.4643	L
		10	1.5504				40	1.4623	S
2	Testigo (No laboreo)	11	1.6489	L	5	Cinceles	41	1.3873	S
		12	1.7960	S			42	1.4271	L
		13	1.3871	L			43	1.5357	S
		14	1.6048	S			44	1.5250	L
		15	1.7504	S			45	1.7171	S
		16	1.5758	L			46	1.4269	L
		17	1.4733	S			47	1.3159	S
		18	1.5596	L			48	1.5122	L
		19	1.6476	S			49	1.3330	S
		20	1.5328	L			50	1.4528	L
3	Arado	21	1.4646						
		22	1.6063						
		23	1.5802						
		24	1.5950						
		25	1.4601						
		26	1.5393						
		27	1.4965						
		28	1.4898						
		29	1.5604						
		30	1.5025						

Cuadro 6 Registro de las variaciones obtenidas en la medición de las varillas durante el tiempo que duró el experimento, correspondiendo a la época de viento (marzo-mayo).

Tratamiento	Implemento agrícola	Sitio	Alt. inicial de varilla CM	Variaciones obtenidas (CM)						Condición
				1	2	3	4	5	6	
				10/III/84	2/IV/84	9/IV/84	16/IV/84	1/IV/84	8/V/84	
1	Resira	1	14.30	-0.20	-0.30	-0.10	-0.20	-0.20	-0.30	
		2	16.40	+0.20	+0.50	+0.30	-0.10	0.00	+0.10	
		3	14.40	-0.10	-0.15	-0.10	-0.20	-0.30	-0.10	
		4	12.20	-0.10	0.00	+0.05	0.00	-0.10	+0.10	
		5	13.60	-0.20	-0.30	-0.30	-0.40	-0.40	-0.40	
		6	13.10	0.00	0.00	-0.10	-0.20	-0.30	-0.30	
		7	12.80	+0.10	+0.20	+0.15	+0.05	0.00	+0.10	
		8	11.00	0.00	-0.05	-0.10	-0.15	-0.40	-0.40	
		9	12.60	-0.10	-0.10	-0.10	-0.30	-0.40	-0.35	
		10	11.90	-0.10	-0.05	-0.20	-0.30	-0.40	-0.40	
PROMEDIO X				-0.05	-0.025	-0.05	-0.18	-0.25	-0.195	
2	No Laboreo (Testigo)	11	9.70	0.00	-0.10	-0.20	-0.20	-0.10	-0.20	L
		12	11.30	0.00	0.00	-0.20	-0.05	-0.10	-0.20	S
		13	9.60	-0.10	-0.20	-0.20	-0.30	-0.20	-0.30	L
		14	13.10	+0.10	+0.10	+0.05	0.00	-0.10	-0.10	S
		15	14.00	+0.10	0.00	-0.10	-0.50	-0.60	-0.50	S
		16	11.70	-0.30	-0.30	-0.20	-0.30	-0.40	-0.30	L
		17	12.60	+0.10	0.00	+0.10	+0.05	+0.05	+0.10	S
		18	13.60	-0.10	-0.20	-0.20	-0.40	-0.40	-0.45	L
		19	14.40	-0.10	-0.10	-0.05	-0.25	-0.30	-0.30	S
		20	13.80	+0.10	-0.10	-0.05	-0.10	-0.15	-0.10	L
PROMEDIO X				-0.02	-0.09	-0.105	-0.205	-0.230	-0.235	
3	Arado	21	13.40	-0.05	-0.05	-0.10	-0.20	-0.20	-0.10	
		22	12.30	+0.20	+0.30	+0.30	+0.30	+0.30	+0.30	
		23	11.40	-0.10	-0.30	-0.30	-0.20	-0.20	-0.10	
		24	12.80	-0.20	0.00	+0.05	-0.20	-0.10	-0.10	
		25	10.90	+0.20	+0.30	+0.10	+0.40	+0.35	+0.40	
		26	12.80	-0.10	0.00	0.00	-0.20	-0.20	-0.20	
		27	11.80	0.00	0.25	0.00	-0.20	-0.30	-0.20	
		28	13.30	-0.10	-0.10	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	
		29	12.60	0.00	-0.10	+0.10	-0.10	-0.10	-0.10	
		30	12.00	0.00	+0.05	+0.10	-0.20	-0.20	-0.20	
PROMEDIO X				-0.015	+0.035	+0.005	-0.80	-0.685	-0.650	
4	Rototiler	31	12.60	-0.30	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.30	L
		32	14.30	-0.20	-0.30	-0.30	-0.40	-0.45	-0.40	S
		33	12.20	-0.10	-0.05	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	L
		34	12.40	-0.10	-0.30	-0.15	-0.20	-0.20	-0.10	L
		35	14.20	0.00	-0.10	-0.10	-0.30	-0.15	-0.20	S
		36	10.80	-0.20	-0.20	-0.40	-0.40	-0.20	-0.20	S
		37	10.10	-0.10	-0.35	-0.30	-0.45	-0.45	-0.50	L
		38	13.30	0.00	-0.20	-0.10	-0.20	-0.20	-0.30	S
		39	13.50	-0.11	-0.30	-0.40	-0.45	-0.50	-0.50	L
		40	12.70	-0.20	-0.20	-0.20	-0.40	-0.30	-0.30	S
PROMEDIO X				-0.130	-0.220	-0.225	-0.310	-0.270	-0.290	
5	Cinceles	41	14.90	+1.50	+1.70	+1.55	+1.65	+0.40	+0.60	S
		42	10.90	-1.50	-1.10	-1.10	-1.10	-1.90	-1.90	L
		43	11.90	+2.00	+2.80	+1.90	+1.90	+0.40	+0.60	S
		44	10.30	-1.50	-1.20	-1.20	-1.15	-1.20	-1.20	L
		45	10.80	+2.10	+2.10	+2.10	+2.00	+2.00	+2.00	S
		46	9.60	-1.00	-0.90	-1.00	-0.90	-1.00	-1.20	L
		47	11.70	+1.40	+1.30	+1.40	+1.40	+1.20	+1.20	S
		48	9.80	-1.90	-1.50	-1.50	-1.50	-1.60	-1.60	L
		49	14.10	+3.10	+3.70	+3.10	+3.15	+2.70	+1.80	S
		50	12.80	-1.70	-1.30	-1.60	-1.60	-1.75	-1.40	L
PROMEDIO X				+0.290	+0.440	+0.365	+0.365	-0.75	-0.110	



ALGUNOS TERMINOS ESPECIALES EN EROSION EOLICA

TRADUCCION	SIGNIFICADO
Resistencia al avance	En aerodinámica e hidrodinámica, es -- aquel componente de la fuerza ejercida sobre un cuerpo que está en la dirección de flujo media del líquido en relación al cuerpo.
Resistencia ascendente	En aerodinámica e hidrodinámica, es -- aquel componente de la fuerza ejercida sobre un cuerpo que está en dirección-normal a la dirección de flujo media - del líquido en relación al cuerpo.
Umbral	Punto o magnitud a partir de los cuales acaece un fenómeno.

NOTACION EN EROSION EOLICA Y SU TRADUCCION AL ESPAÑOL

SIMBOLO	TRADUCCION AL ESPAÑOL	SIGNIFICADO
	Constante empírica	Coficiente o exponente de varias ecuaciones, su valor difiere en cada ecuación (adimensional).
A_r	Rugosidad superficial aerodinámica	Se mide en cm o in.
c.g.	Centro de gravedad	Es adimensional.
D		Diámetro de una partícula de suelo o agregado; cm o in.
D_h	Altura de desplazamiento cero	Desplazamiento vertical del gradiente de velocidad del viento por la vegetación u otros componentes de la rugosidad de la superficie del terreno; cm o in.
F_c	Resistencia al avance de umbral	Resistencia al avance en el agregado que sobresale más de la superficie del suelo; dinas

Continúa...

SÍMBOLO	TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL	SIGNIFICADO
g		Aceleración de la gravedad; cm/seg ² o ft/seg ²
k		Altura por arriba de Z_0 en donde la velocidad media hacia el frente de un viento por encima de una superficie no erosionable en cero; cm o in.
k'		Altura por arriba de Z_0 en donde la velocidad del viento por encima de una superficie erosionable es constante independientemente de lo fuerte que sopla el viento; cm o in.
K	Rugosidad de la superficie del suelo	Rugosidad de la superficie del suelo expresada como rugosidad por bordos equivalente; cm o in.
K_t	Rugosidad de la superficie total	Es igual a $D_h + A_r$; cm o in.
L_c		Resistencia ascendente sobre el agregado más sobresaliente del terreno en el momento en que ésta experimenta la resistencia al avance de umbral F_c ; dinas.
q	Tasa de flujo del suelo	Peso del suelo arrastrado que pasa por unidad de anchura, normal a la dirección del flujo y de altura sin límite, y por unidad de tiempo g/cm/seg.
ρ_e		Densidad (peso por unidad de volumen) de los agregados secos de un suelo erodable.
V^*	Velocidad de resistencia al avance	Velocidad de resistencia al avance por encima de la superficie de un terreno no erodable; cm/seg o millas/hora
V'^*		Velocidad de resistencia al avance por encima de la superficie de un terreno erodable; cm/seg o millas/hora

Continúa...

SÍMBOLO	TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL	SIGNIFICADO
V^*t	Velocidad de resistencia al avance de umbral.	Velocidad de resistencia al avance mínima necesaria para iniciar el movimiento del suelo; cm/seg o millas/hora.
V_t		Velocidad del viento a una altura k' por encima de una superficie erosionable; cm/seg o millas/hora.
v		Velocidad del viento; cm/seg o millas/hora.
v_t	Velocidad de viento - umbral	Velocidad mínima a alguna altura dada z necesaria para iniciar el movimiento del suelo; cm/seg o millas/hora.
v_z		Velocidad del viento v a la altura z ; cm/seg o millas/hora.
Z_0	Superficie aerodinámica media	Una superficie por sobre la cual el flujo de aire turbulento no está restringido o es "libre" cuando se compara con flujo restringido, algunas veces laminar (como a través de la vegetación) por debajo de Z_0 (adimensional).
z		Altura por encima de Z_0 ; cm o ft.

