

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**EFFECTO DEL ENCOSTRAMIENTO DE LOS SUELOS EN LA  
GERMINACION Y EMERGENCIA DE LAS PLANTULAS  
SEMINARIO  
(OPCION II-A)**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA  
JAVIER GONZALEZ NARVAEZ**

T  
S593  
G6  
c.1

MARIN, N. L.

OCTUBRE DE 1984

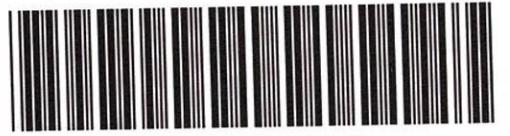
T  
S593  
G6  
C.1

MA

EF

©

U



1080060606

T  
5593  
G6

040.621  
FA6  
1984  
.6



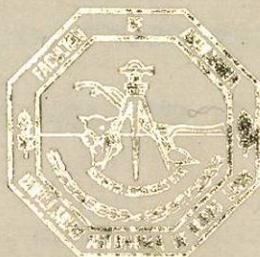
Biblioteca Central  
Magna Solidaridad

*F. tesis*



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



EFFECTO DEL ENCOSTRAMIENTO DE LOS SUELOS EN LA  
GERMINACION Y EMERGENCIA DE LAS PLANTULAS  
SEMINARIO  
(OPCION II-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA  
JAVIER GONZALEZ NARVAEZ

MARIN, N. L.

OCTUBRE DE 1984

BIBLIOTECA Agronomía UANL

6180 *[Signature]*

A MIS PADRES :

SR. CARLOS GONZALEZ MARTINEZ

SRA. MA. DEL CARMEN NARVAEZ DE GONZALEZ

Como un pequeño tributo a quienes todo lo debo.

Por su gran abnegación por las palabras de aliento y comprensión en los momentos más difíciles de mi vida. Por ser los padres más buenos y comprensivos, que saben alentar en mí el deseo de superación hasta llegar a la culminación de mis ideales.

Para ellos brindo éste pequeño tributo, que es tan pequeño comparado a todo lo bello que me han brindado.

A MIS HERMANOS:

CARLOS ANGEL

GERARDO

RICARDO

MA. DEL CARMEN

GRACIELA

Quienes fueron un estímulo más  
para llegar a la culminación  
de mi carrera.

Con gran afecto, rogando a Dios  
que siempre siga perdurando la  
unidad entre nosotros.

A MI NOVIA:

SRITA. ROSA LYNDA QUIROGA MALDONADO

Con el gran amor que le profesó, por  
la inmensa ternura y cariño que me ha  
dado y por su apoyo e impulso hacia  
la superación que me ha infundado.

A MI ASESOR:

DR. RIGOBERTO VAZQUEZ

Que con su ayuda desinteresada me  
fue posible la realización del  
presente escrito.

MI AGRADECIMIENTO ESPECIAL AL

ING. AGR. JORGE MARTINEZ VENEGAS

Por su valiosa ayuda y orientación  
en éste trabajo.

# I N D I C E

	PAGINA
1. I N T R O D U C C I O N.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades.....	3
2.2. Desarrollo del embrión.....	5
2.3. Condiciones necesarias para la germinación..	7
2.3.1. Condiciones intrínsecas.....	8
2.3.2. Condiciones extrínsecas.....	9
2.4. Factores que afectan la emergencia de la planta.....	15
2.5. Condiciones físicas y químicas del suelo....	19
2.5.1. Estructura del suelo.....	19
2.5.1.1. Tipos de estructura.....	20
2.5.1.2. Formación de agregados del suelo...	22
2.5.1.3. Estabilidad de la estructura.....	26
2.5.1.4. Los factores de la estabilidad o de la inestabilidad estructural.....	28
2.5.1.5. La estructura del suelo y el creci- miento de las plantas.....	40
2.5.2. Encostramiento.....	41
2.5.2.1. Mecanismos de formación.....	42
2.5.2.2. Evaluación de la resistencia de la costra.....	44

	PAGINA
2.5.2.3. Infiltración y encostramiento....	53
2.5.2.4. Medidas para prevenir la forma- ción del encostrado.....	54
2.5.2.5. Revisión de trabajos relacionados.	62
3. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	66
4. RESUMEN .....	70
5. BIBLIOGRAFIA.....	72

## INDICE DE TABLA Y FIGURAS

TABLA		PAGINA
1	Efecto de la planta cultivada y el contenido de humedad sobre la resistencia crítica de la costra a la salida de la plántula.....	51
FIGURA		
1	Tipos de estructura.....	22
2	Presentación esquemática del mecanismo en la formación de la estructura. Al evaporarse el agua las placas de arcilla se juntan y por medio de agentes cementantes se desarrolla la estructura.....	25
3	Aparato usado para el módulo de ruptura.....	44
4	Representación esquemática del módulo de ruptura.....	48

## 1. INTRODUCCION

La planta superior inicia su vida autónoma como un embrión, por lo que se llama embriofita, el embrión es ya una estructura organizada y relativamente diferenciada, mucho más que la masa de células iguales entre si en morfología y fisiología, que se formaron a partir de la óosfera fecundada. Si un embrión se secciona en dos partes y se cultiva en medio nutritivo, de una porción se formará tallo y de la otra raíz. Así puede asegurarse que aunque todas las células parezcan iguales hay diferencias invisibles entre el meristemo apical del tallo y el de la raíz (40).

Se llama germinación al fenómeno por el cual el embrión pasa, del estado de vida latente en que se encuentra la semilla, a un estado de vida activa. En otras palabras, es el desarrollo y transformación del embrión en una nueva y pequeña planta.

En las semillas maduras, el embrión se encuentra en estado de vida latente, durante el cual sus células no se reproducen y apenas si se efectúa la respiración y la nutrición (41).

Al colocar las semillas en condiciones óptimas de humedad y temperatura, aumentan de volumen, debido a la absorción de agua, principiando de esta manera la transformación del em

brión en azúcares, esto se lleva a cabo gracias a los procesos enzimáticos y a retrogradación química, obteniéndose principalmente glucosa, ésta es una fuente de energía que activa la división celular; posteriormente continúan los procesos bioquímicos, fisiológicos y morfológicos para la diferenciación y el desarrollo de los órganos del embrión.

La germinación se inicia desde el primer día que está la semilla en condiciones óptimas y así también la emergencia de la plántula es afectada por la influencia de la textura y estructura del suelo, la profundidad de siembra, la humedad y la temperatura, también por el fenómeno de encostramiento y otras condiciones adversas (39).

De la emergencia de las plántulas dependerá básicamente la implantación o establecimiento de cualquier cultivo en general, por lo que destaca su importancia dentro del manejo de pastizales y de la agricultura en general.

El objetivo fundamental del siguiente trabajo es el de ilustrarnos acerca del proceso de germinación y emergencia, así como de todos aquellos factores que lo afectan para su mejor solución.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades.

A diferencia del embrión animal, el embrión vegetal puede quedar inactivo una vez que se ha formado, permanecer en dicho estado por un largo tiempo si las condiciones del medio no son propicias para que pase al estado de vida activa. Si las condiciones cambian, el embrión reinicia la vida activa y entra en el siguiente estado fásico del desarrollo al germinar la semilla,

En el período de letargo del embrión, deben distinguirse dos fases, y es preferible, para evitar ambigüedades de lenguaje, llamar letargo a la primera y vida latente a la segunda. En muchas especies, cuando la semilla termina de formarse, el embrión entra en letargo y no germina aunque se coloque en un medio apropiado, sino hasta que pase un cierto tiempo, que puede ser de varios meses. Posteriormente, aunque esté listo para proseguir su desarrollo, si el medio no es apropiado no lo hace pero tampoco muere como sucedería con un embrión animal, sino que sigue viviendo con sus procesos fisiológicos casi suspendidos o suspendidos del todo, en vida latente; así pues, puede permanecer muchos años. No todas las especies presentan letargo; el trigo y el maíz, por ejemplo, pueden germinar en cuanto se forme el embrión y, si no se cosecha pronto,

puede germinar sobre la planta madre; en cambio, todas las especies tienen el poder de entrar en vida latente pudiendo ser guardadas por un tiempo variable pero en general durante años (40).

Las semillas en algunas plantas pueden perder su poder de crecimiento después de unos cuantos días, pero en otras permanece viva durante un largo tiempo, en algunos casos hasta 50 ó 100 años.

Hay semillas que no crecerán durante un tiempo, aún cuando sean perfectamente viables y las otras condiciones sean favorables. Tal letargo puede deberse a varios factores, entre los cuales destacan: a) Testa dura; algunas semillas tienen una cubierta que presenta gran resistencia mecánica y el hipocotilo no puede romperla; b) Testa impermeable; muchas semillas poseen cubiertas que son relativamente duras pero, principalmente son impermeables al agua y al oxígeno, factores básicos para que los coloides del embrión se hidraten y para que tenga energía respiratoria y pueda entrar en actividad; c) Embriones rudimentarios o indiferenciados, en algunas especies, la semilla o fruto parecen maduros, pero el embrión no se acaba de formar o bien está completo anatómicamente pero las células no han sufrido la diferenciación necesaria para pasar al siguiente estado fásico; d) Presen-

cia de inhibidores, es común que las semillas posean sustancias en la testa capaces de inhibir la germinación. Se han identificado como inhibidores naturales la cumarina, abscisina, el ácido paraseórbico y otros (19, 41, 44).

Por otra parte, el letargo plantea a menudo problemas al agricultor, que quisiera aprovechar una semilla en temporal. Es pues, muy conveniente poder romper el letargo y para ello se precisa conocer, las causas que originan éste fenómeno.

## 2.2. Desarrollo del embrión.

Al estudiar los cambios morfológicos del embrión durante la germinación, es necesario considerar dos tipos de semillas: las epigeas y las hipógeas. Las semillas epigeas son las que durante la germinación sus cotiledones se levantan fuera de la tierra, a cierta altura, por el alargamiento momentáneo del talluelo.

Cambios morfológicos. 1) La almendra absorbe agua a través de los tegumentos y especialmente por el micrópilo, ésto trae consigo el hinchamiento de las reservas que rompen los tegumentos, los cuales se reblandecen también por la absorción del agua. 2) El talluelo del embrión casi al mismo tiempo que la radícula inicia su desarrollo, crece en sentido

opuesto a la misma y saliendo de la tierra, se lleva consigo en su extremidad a las demás partes de la semilla, los tegumentos, el endospermo y la plúmula. 3) Al mismo tiempo que crece el talluelo, las reservas del endospermo continúan hinchándose por absorción de agua, hasta que destrozan por completo los tegumentos, que terminan por desprenderse y caer. 4) Cuando las reservas del albumen se agotan los cotiledones se abren, sus células forman cloroplastos, adquieren un tinte verdoso y se diferencian como las dos primeras hojitas de la nueva planta, esto asegura así nutrición, pues ya tienen una pequeña raíz cuyos pelos radicales absorben el agua y sales minerales. 5) En el momento en que se abren los cotiledones, se observa que en medio de los mismos y en la punta del tallito, se encuentra la plúmula. Esta parte del embrión que hasta entonces había aparecido inactiva, inicia un crecimiento muy intenso, alarga progresivamente el tallo de la planta sobre la región en que están los cotiledones y al mismo tiempo, origina nuevas hojitas laterales con pequeñas yemas axilares.

Algo semejante a lo descrito se nota en todas las semillas epigeas. Sin embargo, en muchas de las que carecen de endospermo y las reservas están en los cotiledones, estos son levantados a cierta altura por el tallo hipocotilo y ahí, al

ceder sus reservas a la pequeña planta se van desecando hasta que terminan por desprenderse y caen.

En las semillas hipógeas, tanto en las monocotiledóneas como en las dicotiledóneas, como la del chícharo, garbanzo, haba, lenteja, encino, etc., en granos de trigo y de maíz, que pueden tener sus reservas en el endospermo o en los cotiledones, el alargamiento del hipocotilo no eleva los cotiledones arriba del nivel de la tierra, por esto reciben este nombre. El talluelo, en estos casos, no se desarrolla o crece muy poco y por lo mismo no se forma tallo hipocotileo que levanta a la semilla o al grano; solamente se observa el alargamiento del tallo epicotileo a expensas de la plúmula que también forma a las hojas. Las demás fases de la germinación son semejantes en lo esencial, a las anotadas para las semillas epígeas con diferencia de detalles según se trate de plantas monocotiledóneas o dicotiledóneas y de granos o semillas con reservas en el endospermo o en los cotiledones (41).

### 2.3. Condiciones necesarias para la germinación.

Para que una semilla germine y origine una nueva planta, son necesarias diversas condiciones que se pueden agrupar en dos partes; condiciones intrínsecas y condiciones extrínsecas.

### 2.3.1. Condiciones intrínsecas.

Las condiciones intrínsecas o internas son las que se refieren a la semilla misma, siendo tres las principales: que la semilla esté normalmente constituida, que la semilla esté madura y que el embrión se encuentre vivo. Es necesario que la semilla esté bien constituida, tanto en su embrión como en sustancias de reserva. A veces sucede que el embrión por causas muy diversas, no se ha desarrollado de manera normal, y en otras ocasiones las reservas nutritivas son insuficientes, o sea, no se encuentran en la proporción debida. A este respecto es necesario recordar que las sustancias acumuladas en el endospermo o en los cotiledones tienen como función exclusiva, alimentar al embrión durante su germinación, hasta que la nueva planta posea los órganos indispensables que le permitan vivir por si misma (8, 31, 45). En general, las semillas mal constituidas se distinguen por ciertos caracteres externos como el no haber alcanzado el tamaño de la especie, estar arrugadas, presentar deformaciones, etc. Así mismo, comúnmente las semillas mal conformadas son más ligeras que las normales, y para reconocerlas basta colocarlas en un recipiente con agua: las que están en buenas condiciones caen al fondo del recipiente, y las que no lo están, quedan flotando. Este método es aplicable a semillas y granos amiláceos, por que generalmente son más pesados que el agua, pero por el contra-

rio, no se aplica a semillas oleaginosas porque estas últimas aun cuando están bien constituidas generalmente flotan.

La semilla debe estar completamente madura, en cuyo caso el embrión ha alcanzado su completo desarrollo. Cuando sucede lo contrario, la semilla no germina porque el embrión no ha llegado a su madurez. Esto es de gran importancia en agricultura, pues muchas semillas no han completado su desarrollo inmediatamente después de la cosecha.

El embrión debe de estar vivo en el momento en que se siembra la semilla, o sea, conservar su facultad germinativa que le permita desarrollarse normalmente y formar una nueva planta. Diversas causas externas pueden perjudicar al embrión y hacerle perder su vitalidad.

Hoffman y Hazlett (1977) realizaron un estudio con sustancias de Artemisa tridentata, solubles en agua, donde se inhibió la germinación de Haplopappus espinulosus y algunas otras especies (24).

### 2.3.2. Condiciones extrínsecas.

Las condiciones extrínsecas o externas son las que debe poseer el medio ambiente, en el cual va a germinar la semilla. Tres son las principales: el agua, el aire y la temperatura (12, 13, 42, 46).

El aire que lleva el oxígeno, es indispensable durante toda la vida del embrión. Mientras está en vida latente, su respiración es muy leve, pero en el momento en que se inicia la germinación, dicha función se hace muy intensa y por lo mismo se necesita mucha cantidad de oxígeno para efectuar las oxidaciones de las sustancias orgánicas, que son la fuente de energía durante el desarrollo del embrión (33). Los campesinos al remover la tierra durante la siembra, no solamente lo hacen para facilitar la penetración del agua y permitir la salida de las pequeñas plantas, sino también con el objeto de proporcionar, una buena aereación que asegure la respiración de los embriones.

Grable, citado por Page (1979) estudiando la aereación del suelo, encontró que éste es un factor limitante en el desarrollo de las plántulas y su emergencia, sobre todo en el desarrollo radicular, el que es restringido por la dureza del suelo, agua limitada o presencia o ausencia de nutrientes (34).

Aceves, et al. (1975) afirman que el trigo muestra tolerancia a bajos niveles de oxígeno o alta salinidad durante la germinación, pero la combinación de ambos reduce la germinación a bajo de niveles económicos (1).

El agua es indispensable durante la germinación. Mientras las células del embrión están en vida latente, su protoplasma contiene poca agua, pero sabemos que un protoplasma en actividad debe contener bastante proporción de éste líquido. Por ello, cierta cantidad de agua es esencial para cambiar al protoplasma, de las relativas condiciones de inactividad en que se encuentra en las células del embrión, a las condiciones muy activas del mismo, durante el proceso de la germinación, además, hidrata el protoplasma de la célula, permite la disolución y transporte de materiales, y con ellas se llevan a cabo las reacciones químicas.

El suministro de agua para la germinación y emergencia de las semillas y plántulas es un tópico que ha sido investigado en años recientes, más aún que cualquier otro tema relacionado con las condiciones físicas de la "cama de siembra" (34).

Hunter y Erickson (1952) estudiaron la relación entre la germinación de las semillas y la tensión de agua del suelo, probaron que en semillas de diferentes especies, es necesario alcanzar un contenido de humedad específico para que ocurra la germinación (maíz 30.5%, arroz 26.5%, soya 50%, remolacha 31%). Este contenido de humedad en las semillas puede lograrse mediante la absorción de agua del suelo o de otras fuentes con variados contenidos de agua. Estos resultados pueden generali-

zarse examinando las características de la relación de agua en el suelo. Cualquier suelo a 25°C con un potencial del agua hasta 12.66 bars, permite germinar al maíz, sin embargo, con tensiones de 8.0, 6.7 y 3.5 bars o menos, permiten la germinación del arroz, soya y remolacha respectivamente (25).

Hadas y Russo (1974) encontraron que el suelo que rodea a la semilla, comienza a declinar en su contenido de humedad, así como en su potencial mátrico, comparado con el resto de la masa de suelo, debido al fenómeno de difusión. Esta difusión de agua varía con el contenido de humedad del suelo. Al aumentar el contenido de humedad en el suelo, la difusividad del agua en el mismo es mayor (16).

Otras investigaciones han mostrado que cuando la conductividad del agua es alta, los valores bajos del potencial de agua externa no afectan la germinación final; en éstos la germinación fue afectada solamente cuando los potenciales de agua fueron menores que valores críticos específicos para cada especie. También demuestran que para un área de contacto suelo-semilla, cualquier disminución en la conductividad hidráulica reduce la absorción de agua y por consiguiente la germinación decrece; sin embargo, la germinación total no se reduce si el potencial de agua crítico no se alcanza (9).

El potencial de agua en el suelo puede disminuirse por succión (potencial mátrico) o por materiales disueltos (potencial osmótico), desde el punto de vista físico, ambos pueden tener los mismos efectos por esta razón se asocia la absorción de agua de semillas o de plantas en condiciones de baja humedad a condiciones de alto contenido de sales. Sin embargo, bajo condiciones de alto contenido de sales, éstos materiales pueden pasar a través de las paredes celulares y consecuentemente tienden a igualar los potenciales interno y externo de las semillas. Estas sales que penetran en las semillas pueden tener efectos tóxicos (34, 37, 43). El efecto del bajo potencial de agua sobre la germinación y subsecuente elongación de plúmula y radícula varía entre especies. El-Sharkawi y Springuel (1977) encontraron que el trigo, cebada y sorgo difieren en su respuesta a potenciales mátricos bajos del suelo, donde la emergencia de la plúmula es más sensitiva al reducido potencial de agua que la emergencia de la radícula. También encontraron interacciones significativas entre temperatura y potencial de agua en el suelo dependiendo de las especies, por lo que la generalización de estos resultados no pueden ser aplicados directamente a otras condiciones distintas (11).

Haferkamp (17) considera que el movimiento del agua del

suelo a la semilla y la presión mecánica debe ser considerado; esto puede afectar la elongación celular y reducir la imbibición. Así mismo menciona que en suelos secos con alto contenido de materia orgánica y baja densidad, la disipación del calor limita la tasa de imbibición por las restricciones físicas del medio que rodea a las semillas o por pérdida de agua de las semillas hinchadas. Hegarty (1976) probó que las semillas de calabaza y zanahoria pueden mantenerse embebidas en el suelo sin perder su viabilidad, esto es, deshidratarse y después rehidratarse y poder germinar (20).

Una temperatura apropiada como se sabe, es un factor indispensable para toda manifestación vital. La temperatura que se necesita durante la germinación es muy variable, según la clase de plantas de que se trate, y como es lógico, las de climas cálidos requieren mayores temperaturas que la de los fríos. Según Springfield (1968) en Turotia lanata la temperatura óptima de germinación es de 10° a 25°C y a medida que nos alejamos de este rango (para arriba o para abajo) el porcentaje de germinación disminuye (46).

Ferguson (1977) por otra parte, realizó un estudio en Puccinia tridentata en donde se expuso por un período de 15 horas consecutivas a la semilla a una temperatura de 80°C, no reduciendo la germinación. En otro experimento fue sembra

da semilla de mezquite (Prosopis juliflora) a una profundidad de 0.5 cm y a una temperatura de 27°C, encontrando que hubo un buen porcentaje de germinación, en cambio, cuando la semilla se sembró a 18°C el porcentaje de germinación disminuyó significativamente (13).

#### 2.4. Factores que afectan la emergencia de la planta.

Hay algunos factores que afectan la emergencia de las plántulas. La emergencia de las plántulas es el resultado de una interacción compleja entre el ambiente de la semilla y la semilla. Se ha establecido que la semilla pasa de un estado deshidratado a través de la imbibición y el logro de la hidratación crítica, que resulta en la elongación de la célula y la actividad meristemática. El crecimiento del coleóptilo a través de una cubierta de suelo requiere vencer fuerzas de diferentes magnitudes encontradas en el suelo y finalmente emerge de la superficie de éste, lo cual conduce al cambio de un proceso que consume energía a uno que produce energía. Algunos factores que afectan la emergencia de la plántula incluyen las propiedades físicas de la cama de la semilla, que es la parte más importante de la cual se obtiene el suministro de agua, temperatura y otras características del suelo.

La profundidad de siembra muestra efectos significativos en la emergencia. Maiti, et al (1984). Se sembraron 10 genotipos de sorgo con dos semillas por punto en experimentos repetidos. Las semillas sembradas a 40 mm de profundidad mostraron una emergencia máxima; y a 50 mm, la emergencia fue menor aunque la diferencia fue muy pequeña, emergiendo la de 50 mm de 2 a 4 días después de las primeras. En experimento similar éstos 10 genotipos se sembraron en seco a tres profundidades (20, 40 y 50 mm) aplicando un pequeño riego después de la siembra, después de lo cual no volvió a aplicarse agua. Bajo el suelo seco la emergencia de las plántulas fue en las semillas sembradas más profundamente, mientras que las semillas sembradas a menor profundidad (20 mm) no emergieron. Al aplicar nuevamente agua, las semillas de la profundidad superior (20 mm) comenzaron a emerger al tiempo que las plántulas de las profundidades inferiores estuvieron ya establecidas. Esto indica que las semillas sembradas superficialmente no perdieron viabilidad, aún cuando las plántulas germinadas estuvieron en condiciones secas. El primer riego fue suficiente para completar el período de absorción de las semillas sembradas a una profundidad de 20 mm, pero no fue suficiente para que las plántulas emergieran a la capa superficial. También se observó que la elongación del coleóptilo y el mesocotilo parecieron jugar un papel importante en la habilidad para emerger

cuando las semillas se sembraron a profundidades mayores. Hubo mucha variabilidad en la longitud del mesocotilo; muchas de ellas fallaron a la emergencia debido a los mesocotilos cortos, pero aquellos que emergieron tuvieron longitudes del mesocotilo de 20 cm o más. Por lo tanto, se supone que la profundidad máxima a la cual la plántula del sorgo puede emerger, está determinada por el potencial de alargamiento del mesocotilo, al empujar el coleóptilo a la superficie del suelo. Hubo un rango alto en la variabilidad en la elongación del mesocotilo del sorgo, bajo las mayores profundidades de siembra. Algunos atributos importantes que influyen la variabilidad y el vigor en el sorgo, parecen ser una rápida elongación del coleóptilo y una mayor longitud (Maiti, no publicado).

El efecto del tamaño de la semilla en la emergencia de la plántula es muy variable. Encontrándose que no tiene efecto en la emergencia de la plántula cuando se considera un solo genotipo. En cambio, cuando se siembran genotipos distintos que difieren en tamaño de la semilla, se muestra una variación significativa en la emergencia. Similarmente las semillas tomadas de diferentes partes de la panoja (base, parte media y parte superior), mostraron una variación significativa en su capacidad para emerger (27).

La temperatura de la superficie del suelo es una de las causas que limita la emergencia en los trópicos semiáridos del mundo, cada planta requiere una temperatura máxima y mínima en la cual no germinan las semillas y una temperatura óptima en la cual la germinación es máxima, la temperatura del suelo tiene efectos directos tanto en la germinación como en la subsecuente extensión de la plúmula, por lo que resulta en una emergencia pobre de la plántula, cuando ésta no es apropiada. La temperatura mínima para la germinación del sorgo, se ha informado, que es entre 7.2 y 10°C y 15.6°C para el crecimiento subsecuente. La temperatura del suelo tiene un gran efecto en la germinación y emergencia. El rango de la temperatura óptima para la tasa de germinación del sorgo es de 25 a 27°C, se ha observado que las semillas de sorgo germinan a 40°C, pero no a 47°C; al igual que las semillas de maíz, esto es debido a una desnaturalización de las enzimas (27).

En lo referente al factor humedad, ver el punto 2.3.2., en lo que concierne a los factores estructura y textura ver los puntos del 2.5.1 al 2.5.1.5 y para el factor encostramiento, revisar el punto 2.5.2. al 2.5.2.5 de éste escrito lo que se hace con la finalidad de evitar repeticiones.

## 2.5. Condiciones físicas y químicas del suelo.

El proceso de producción de una nueva planta a partir de la semilla, implica una serie de mecanismos íntimamente relacionados con su medio ambiente, particularmente el suelo (34), cuyas condiciones pueden afectar los procesos de germinación y desarrollo de plántulas antes y después de la emergencia, siendo algunas de las condiciones del suelo las que se discuten a continuación.

### 2.5.1. Estructura del suelo.

La estructura es la manera en que los elementos constituyentes del suelo tienden a unirse entre ellos (14). Al considerar la estructura del suelo, debe entenderse por partículas no solo los que forman los separados mecánicos, como arena, limo y arcilla, sino también los agregados o elementos que se han formado por agregación de fracciones mecánicas más pequeñas, "la partícula" designa, toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (fracción de arena, limo o arcilla) o secundaria (agregado o tactoide). La estructura del suelo implica un arreglo u ordenación de éstas partículas primarias y secundarias en ciertos modelos o patrones (7).

La capacidad estructural del suelo se define como su capacidad para formar terrones espontáneamente y de que estos terrones se dividan en pedazos pequeños, granos o agregados,

sin la intervención del hombre. Aunque hay muchas clases de agregados diferentes reconocidos en la morfología del suelo, el granular es el más importante en la producción de cultivos. Esta estructura granular es la que se considera como la más conveniente. Otra propiedad importante de la estructura del suelo, desde el punto de vista agrícola, es la capacidad que tienen los granos de retener su forma cuando se humedecen y de permitir el paso del agua a través del suelo. A ésta propiedad se le llama estabilidad estructural. Los granos de suelo deben tener suficiente estabilidad para que permitan el libre paso del agua y la entrada de aire conforme el agua entra o sale (15).

#### 2.5.1.1. Tipos de estructura.

Los agregados del suelo o peds se clasifican tomando como base su forma, ya sea en bloque, esférica, laminar o prismática. Enseguida se describe cada una de ellas (1).

##### a) Laminar:

Aparece en forma de láminas delgadas que a veces se curvan con el calor. Se aprecia fácilmente en los limos, cuya capa superficial adopta la modalidad citada, presentándose también en el horizonte más elevado de algunos suelos de clima lluvioso (30).

b) Prismática:

Tiene su origen en la desecación y contracción subsiguiente de ciertos suelos fuertes, apreciándose también en el horizonte B de los que se encuentran en climas no muy lluviosos. Se denomina así porque adopta la forma de prismas verticales cuyas caras son más o menos planas o redondas (23).

c) Cuboide:

Los agregados son más o menos redondeados, pero presentan aristas, por lo que su apariencia puede asemejarse a la de un poliedro cuyo diámetro se halla comprendido entre 2 y 5 cm. Es frecuente en el subsuelo de algunas formaciones pobres en materia orgánica, siendo de notar que presenta el inconveniente de que aumenta el volumen considerablemente cuando se humedece, por lo que obtura un buen porcentaje de los espacios libres del suelo, quedando así muy restringida la dinámica de los fluídos (7).

d) Esferoideal:

Se halla integrada por conglomerados sin aristas que tienen a la forma esférica, con un diámetro que no suele llegar al centímetro. Resulta muy favorable para el cultivo, pues facilita el movimiento del aire y del agua que tanto incrementa las funciones microbianas. Entre los gránulos quedan entre sí muchos espacios vacíos, lo mismo si están secos que cuando se

humedecen. Presenta diversas modalidades, entre las que se encuentra la denominada "migajosa", cuyos gránulos muy porosos confieren al suelo excelentes condiciones para el cultivo. La estructura esferoidal "granulada" presenta sus agregados más compactos y duros, los cuales son típicos de las "tierras negras", mientras que en la "perdigonosa" los conglomerados esféricos son de mayor fureza que los de las restantes modalidades esferoidales (21).

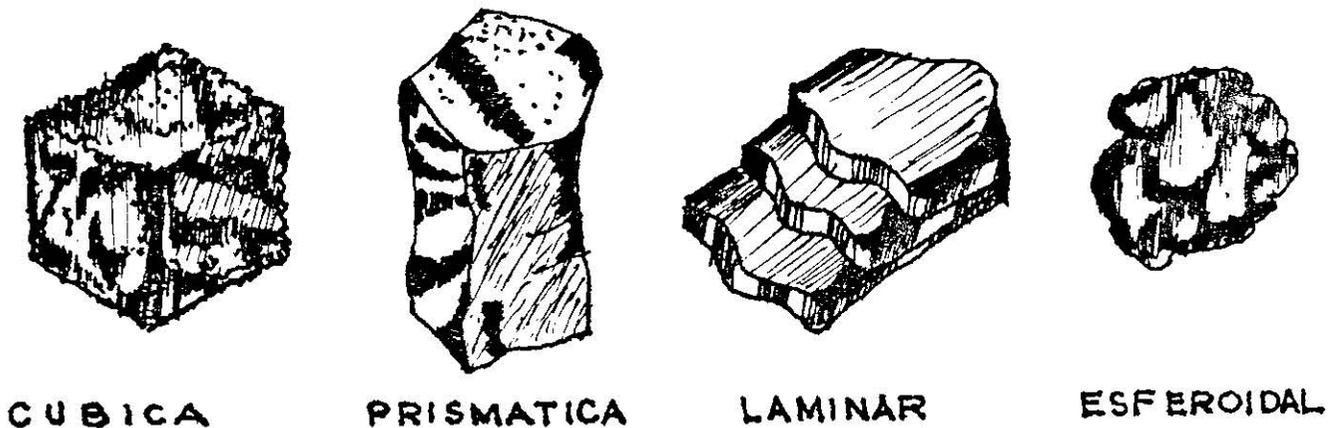


FIGURA 1.- Tipos de estructura.

#### 2.5.1.2. Formación de agregados del suelo.

Para producir agregados, deberá existir algún mecanismo que agrupe a las partículas y también alguna forma por medio de la cual éstas seran unidas más o menos firmemente de tal manera que las formas estructurales puedan persistir. La fracción coloidal es el constituyente activo, hay tres grupos de material coloidal, importantes como material cementante en la formación de agregados y son: 1) Los minerales arcillosos,

2) Los óxidos coloidales de hierro y aluminio, y 3) La materia orgánica coloidal, incluyendo las gomas bacterianas (30).

Chesters, Ottoe y Allen (1957) realizando un experimento en la Universidad de Wisconsin, determinando la agregación en cuatro suelos y el contenido de goma microbiana, óxido de hierro, carbono orgánico (M.O.) y arcilla, encontraron que la goma microbiana fue el agente más importante en provocar agregación en tres de los cuatro suelos. El óxido de hierro fue el más importante en un suelo y el segundo más importante en tres suelos. Para los cuatro suelos agrupados, el orden de importancia fue: goma microbiana, óxido de hierro, carbono orgánico (M.O.) y arcilla (9).

Humedecimiento y secado, congelamiento y descongelación, los cultivos y las actividades biológicas, contribuyen a la continua destrucción de agregados. La estructura de la capa arable está afectada por las prácticas de manejo y donde la aereación y el drenaje limitan el crecimiento de las plantas, los sistemas de cultivo que mantienen mayor agregación son comúnmente los que resultan en mayores rendimientos (30).

Page y Willard (1946) trabajando en rotaciones de cultivos al ir pasando de siembras repetidas de maíz a maíz-avena (sembrados en años alternos), a una rotación de maíz-avena-ie

guminosa (en la cual el cultivo de cada una de estas especies se hizo cada tercer año), encontraron que se registró un aumento marcado en la agregación del suelo. La mayor agregación fue donde las labores de cultivo eran menos frecuentes y donde el terreno con mayor frecuencia estaba sosteniendo una cubierta de plantas en crecimiento activo, debido a que la cubierta de plantas absorbe el impacto de las gotas de lluvia, lo que permite que caiga con suavidad sobre el suelo sin que rompa la agregación (35).

Existen algunas teorías en relación al proceso por el cual se lleva a cabo la agregación, las partículas coloidales son cuerpos eléctricamente cargados, las moléculas dipolares del agua se adhieren fácil y firmemente a ellas. Como las moléculas de agua y los núcleos coloidales llevan cargas positivas y negativas, las moléculas de agua orientadas pueden conectar partículas coloidales. La ligadura puede incluir catiónes, debido a que la agregación parece ser afectada por los cationes absorbidos (30).

En la figura 2 se muestra la esquematización del mecanismo en la formación de la estructura.

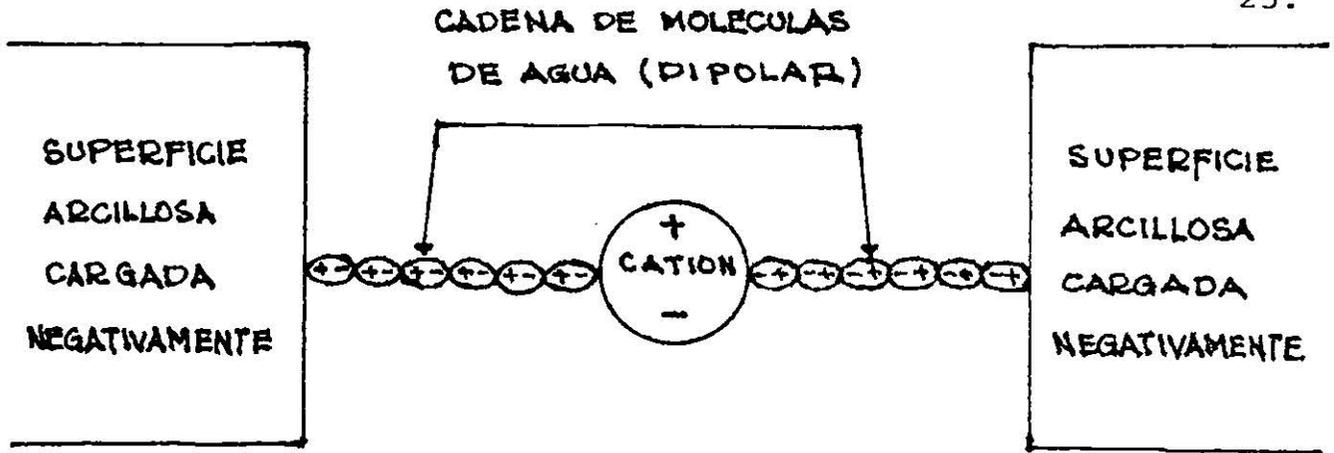


FIGURA 2.- Presentación esquemática del mecanismo en la formación de la estructura. Al evaporarse el agua las placas de arcilla se juntan y por medio de agentes cementantes se desarrolla la estructura.

Las moléculas de agua, en la figura 2, son retenidas muy firmemente y como el agua se evapora del suelo, la longitud de cada ligadura viene a ser más corta y más fuerte, y así atrae a las partículas coloidales hasta juntarlas. A medida que se pierde más agua y el material coloidal se deshidrata, éste se pega o sirve como material cementante, formando un agregado. Así se observa que el agua, actuando en conjunto con los coloides, constituye la fuerza principal que induce la granulación del suelo y que el material coloidal es el agente cementante final (30).

Un mecanismo el cuál es muy importante en suelos y debido al cual los suelos pueden contraerse o estrecharse es debido a los iones contrarios en el área eléctrica de doble capa, la cual rodea las partículas de arcilla. Las partículas de arcilla están negativamente cargadas y por eso se rodean por un

área de difusión principalmente de cationes de carga positiva en la solución del suelo. Extracción del agua entre dos partículas del suelo produce un acercamiento de éstas, sin embargo, debido a las cargas positivas que rodean cada partícula de arcilla en el área de difusión hay una fuerte repulsión entre las partículas del suelo, la cual se incrementa a medida que las partículas de arcilla se acercan más y más. A medida que disminuye la distancia entre las partículas del suelo, debido a pérdida de agua, se aumenta la concentración de los cationes, lo cual resulta en una reducción del status de la energía del agua entre las partículas de arcilla. Cuando el agua es incorporada a éstos suelos, ésta es utilizada espontáneamente indicando que el potencial del agua en el suelo es considerablemente más bajo que el potencial del agua recientemente incorporado (4, 15).

#### 2.5.1.3. Estabilidad de la estructura.

La estabilidad de la estructura se refiere a la resistencia que los agregados del suelo oponen a las influencias de destrucción del agua y de la manipulación mecánica. La estabilidad de los agregados es de la máxima importancia en la formación y conservación de buenas relaciones estructurales en los suelos. El contenido de agua es a menudo un factor decisivo en la estabilidad de la estructura, y un factor en la --

determinación del grado en que fuerzas mecánicas causaran el derrumbe de la estructura (7).

El agua puede causar, de dos maneras, que la agregación se deteriore:

a) Por el efecto hidratante que causa la rotura del agregado a través de los procesos de hinchamiento y explosión del aire atrapado. Los agregados secos al aire no son estables cuando hay exceso de agua, sino que se hinchan y luego se desintegran produciendo un arreglo compacto de las partículas.

b) El agua destruye la agregación y deteriora la estructura del suelo a través de la caída de la lluvia. El impacto de la caída de las gotas de agua en suelos expuestos, ejerce una significativa acción dispersante en los agregados. Las partículas dispersas son arrastradas al interior de los poros, causando que la compactación aumente y disminuya la porosidad (15).

Las operaciones de labranza, especialmente las realizadas con cultivadores, causan una continua reducción en la estabilidad de los agregados, a menos que el nivel de materia orgánica del suelo se mantenga relativamente alto y que el manejo mecánico del suelo sea realizado en condiciones óptimas de humedad (7).

Cuando la tierra se cultiva, el suelo está más expuesto a la acción de las gotas de lluvia, a un aumento en la descomposición de la materia orgánica, y a la remoción de materiales que contribuyen indirectamente a formar la estructura. Se logra mayor estabilidad reduciendo las propiedades de hinchamiento de la arcilla, disminuyendo la capacidad de humedecimiento de los agregados, que a su vez hacen bajar las fuerzas capilares incluidas en atrapamiento de aire y formando un enlace de cementación que no se hidrata fácilmente. En suelos vírgenes, estos factores predominan tanto que es difícil y a menudo imposible, destruir los agregados aún con amasamiento (15).

#### 2.5.1.4. Los factores de la estabilidad de la inestabilidad estructural.

a) Papel de la cohesión.- La estabilidad crece con la cohesión, ésta aparece con las fuerzas de ligazón resultante de la presencia del agua en el suelo, pero resulta sobre todo del efecto de la cementación provocada por la desecación de los geles coloidales. Es fácil de observar que todo agente que aumente la cohesión acrecenta la estabilidad de la estructura. En una arena, la aportación de una cantidad de agua óptima puede crear momentáneamente, agregados, gracias a las fuerzas de unión que nos dan "una estructura que se mantiene", mientras la arena queda suficientemente húmeda.

La cohesión protege los agregados contra el efecto mecánico ejercido por la lluvia y contra el efecto del rompimiento que sobre viene bajo la presión del aire, cuando los coloides embebidos de agua se hinchan (14).

b) Influencia de la textura.- Un suelo presenta una estructura tanto más estable cuando más tica sea su textura en elementos coloidales.

En cuanto a la estructura que debe presentar la textura de un suelo para ser favorable, se mide mediante la relación arena-limo-arcilla, debiendo considerar que cuanto más elevada es la relación limo-arcilla o arena-arcilla de un suelo, más inestable es su estructura. Podemos considerar que por debajo de una tasa del 12% de arcilla se puede tener inestabilidad estructural; cuyos peligros resultan muy grandes, por debajo del 6% de arcilla (14).

c) Influencia de la materia orgánica.- La materia orgánica aumenta la estabilidad de la estructura, ejerciendo por un lado el efecto de una cementación sobre los constituyentes de los agregados y disminuyendo por otro la humectabilidad de éstos últimos, manifestando éstas propiedades, si se encuentra por lo menos parcialmente en el estado de humus. El efecto de cementación es más intenso cuando el humus ha sido coagulado

por los iones de calcio. El humus es uno de los elementos del suelo cuya influencia estabilizante sobre la estructura es más intensa, comportándose así por ser un coloide hidrófilo y porque los ácidos húmicos poseen un potencial de hinchamiento muy elevado (14).

d) Influencia del calcio.- La neutralización por el calcio confiere a los coloides del suelo una estabilidad que ninguno de los otros cationes contenidos normalmente en el suelo son capaces de proporcionar. La permeabilidad resulta muy claramente aumentada en los suelos cuyos coloides son coagulados por el calcio.

Produciendo una acción cementante eficaz, el calcio aumenta la cohesión del suelo y frena la destrucción de los agregados, modera también la dispersión de los coloides: al contacto con el agua se produce en los agregados de arcilla cálcica, una fermentación terminando con la formación de agregados más pequeños (7).

e) Influencia del sodio.- El sodio disminuye la estabilidad estructural confiriendo a la arcilla un poder de inflación muy elevado; los peligros de destrucción de los agregados quedan aumentados, pero sobre todo las fuerzas de atracción intermoleculares no pueden ya actuar y el efecto de dis-

persión se ejerce al máximo (14, 15).

f) Influencia del hierro.- El hierro libre aumenta la cohesión envolviendo los agregados en capas bastante rígidas, formando de alguna manera una coraza que contiene la influencia de los coloides arcillosos, frena su destrucción y disminuye también su humectabilidad. Esta acción del hierro es comparable en su forma de intervención con el de los humatos cálcicos. Actualmente no se ha establecido de una manera clara que los óxidos o hidróxidos de aluminio cumplan la misma función (7).

g) Influencia de la naturaleza mineralógica de la arcilla.- Se sabe que las especies mineralógicas de arcilla tienen propiedades distintas y particularmente una facultad de adsorción de agua y un poder de inchamiento diferente. La montmorillonita, por ejemplo, absorbe mucho más agua que la caolinita y formaría por lo tanto agregados más estables. El estudio de estas propiedades mineralógicas de las arcillas está siendo investigado en la actualidad (15).

h) Influencia de las acciones mecánicas.- Es un hecho de observación corriente que en los suelos apelmazados por el paso de instrumentos de labor, la cohesión es más fuerte y la estabilidad estructural más grande: las partículas han sido acercadas unas a otras artificialmente, las fuerzas de atrac-

ción intermoleculares son más altas, la porosidad por el contrario es más débil y la humectación de los agregados más lenta (7, 14, 15).

i) Influencias diversas.- Primeramente citaremos los efectos causados por la roza. La roza aumenta la estabilidad estructural, salvo en tierras pobres en arcilla.

Henin y colaboradores (1972) suponen que en el primer caso la humectabilidad de la materia orgánica queda reducida por el fuego y en el segundo habiendo destruido el fuego una proporción muy fuerte de materia orgánica, al suelo le faltan coloides para asegurar la estabilidad de la estructura. También es posible que el fuego cause una deshidratación irreversible de los coloides arcillosos y que su hinchamiento sea así limitado o moderado (23).

En segundo lugar tenemos los acondicionadores del suelo. Se designa con este término a sales de sodio o de amonio de ácidos poliacrílicos de moléculas muy gruesas, estas sales tienen la propiedad de formar en la superficie de los agregados una especie de envoltura reticulada que aumenta su cohesión y disminuye su humectabilidad (14).

Para terminar se mencionan los agentes que intervienen sobre la estabilidad de la estructura, las interacciones po-

sitivas siguientes:

Arcilla + Ca

Humus + Ca

Arcilla + Humus + Ca

Arcilla + Hierro + Ca

Humus + Hierro + Ca

Arcilla + Humus + Hierro + Ca

En lo referente a los cementantes se distinguen tres grupos de materiales coloidales en los suelos como ya se dijo anteriormente y estos son los siguientes:

- a) Partículas de arcillas
- b) Los coloides inorgánicos irreversibles o lentamente reversibles (óxidos de aluminio y óxidos de hierro)
- c) Coloides orgánicos

La adición de arcillas coloidales a la arena cuarzosa y a la ortoclasa, seguida de la deshidratación, causa la cementación de las partículas primarias en agregados estables al agua. Las partículas de arcilla funcionan como agentes de enlace. El sistema de enlace constituido por partícula-agua (orientada)-cación-agua (orientada)-partícula, propuesto por Russell (1934), especifica que cierta proporción de partículas de arcilla debe ser de tamaños menores de  $1\mu$ , ésto re-

fleja una gran superficie específica. Es preciso también que la arcilla posea considerable capacidad de intercambio de bases. Esto denota gran actividad de superficies coloidales, los cationes de intercambio no deben ser grandes, pues los grandes cationes orgánicos inhiben la agregación. Al deshidratarse el suelo aumenta el número de enlaces entre partículas, se hacen más intensos porque son más cortos, y la cohesión entre las partículas de arcilla es mayor. Las fuerzas cohesivas moleculares (en primer término las de Vander Waals) entre las superficies de los coloides, proporcionan mayor influencia en ésta acción de cementación. La arcilla es adsorbida en la superficie de los granos de arena; es muy lentamente reversible después de la deshidratación. La tenacidad de los enlaces entre la arcilla y la arena aumenta al disminuir el tamaño de las partículas de arcilla (mayor superficie específica). Las partículas de arcilla están orientadas sobre las superficies de la arena, puede haber más de una capa de partículas de arcilla adsorbidas. Las fuerzas capilares son las que actúan en primer término para esta orientación. La orientación de las partículas y la desecación o deshidratación tienen importante papel en la formación de partículas secundarias. Las fuerzas intercrystalinas entre las partículas de arcilla, pueden ser suficientes para explicar todo el enlace necesario en la formación de agregados (7).

El cuarzo y la arcilla son componentes de primer orden de los grumos de suelo, los grumos de la superficie que están desmoronándose continuamente por las gotas de lluvia, se forman de nuevo por interacciones entre los granos de cuarzo y la arcilla dispersada. Grupos de cristales de arcilla forman dominios como resultado de la orientación y de la mutua atracción electrostática. Estos dominios funcionan como unidades sueltas y se ligan a la superficie de los granos de cuarzo y unos con otros para formar grumos. La materia orgánica coloidal forma complejos entre la superficie de los granos de cuarzo y los dominios de arcilla y con ello, aumenta la fuerza de los enlaces de cuarzo-arcilla (7).

Las fuerzas de atracción electrostática entre los bordes positivos y las caras negativas de los minerales de arcilla, tienen un papel importante en la agregación de suelos ácidos. Los cationes trivalentes son también importantes en la mayor fuerza atractiva de arcilla con arcilla en condiciones ácidas (14).

Así se ve que las fuerzas cohesivas entre partículas de arcilla orientadas son de suma importancia en la formación de agregados, la deshidratación es un requisito básico para la formación de partículas secundarias. Las fuerzas de Vander Waals y las fuerzas electrostáticas tienen un papel dominante

en la interacción entre las partículas de arcilla (15, 30).

Dentro de los cementantes inorgánicos, los principales son los sesquioxidos de Fe y Al que forman coloides irreversibles o muy lentamente reversibles, es irreversibilidad el factor importante en la producción de agregados estables a la acción del agua en ciertos suelos. El hierro puede tener dos funciones en la agregación. La parte que está en solución puede actuar como agente floculante y la otra parte, que es más gelatinosa, puede ejercer una acción cementante. La mayor parte del hierro se precipita en forma de gel hidratado, la deshidratación de éstos geles debe formar un buen cemento para unir las partículas floculadas unas con otras. Los recubrimientos del sesquióxido sobre los granos de cuarzo aumentan la firmeza de las uniones cuarzo-arcilla. La agregación de los suelos de tierra roja y de rendzina ha sido atribuida al efecto cementante de los geles irreversibles de óxido férrico precipitado y deshidratado. Esto puede ser el resultado de la formación de compuestos orgánico-minerales por la interacción de los ácidos húmicos y los sesquióxidos libres (7).

El enlace de aluminio puede contribuir sustancialmente a la formación de agregados estables en los suelos ácidos que contienen minerales de arcilla de estructura reticular. Es posible cambiar las propiedades de un coloide tan altamente hi-

tratado como es la bentonita tratada con sales de hierro y luego deshidratando el sistema (15).

Uno de los efectos más importantes del hierro en la agregación del suelo ocurre en la inundación de los barbechos de caña de azúcar en Guayana. Después de la cosecha, las pesadas arcillas marinas son inundadas con una capa de agua que varía entre 7.5 y los 30 cm. durante seis a doce meses. Las condiciones anaeróbicas así producidas reducen el hierro y lo hacen soluble. El agua es luego retirada y el óxido ferroso se oxida al estado férrico. El suelo de la superficie se caracteriza por la presencia de vetas de hierro férrico entre los planos de agrietamiento. Se produce una excelente estructura granular (14).

Según Baver (1973) los mecanismos por los cuales los coloides orgánicos estabilizan la estructura del suelo pueden atribuirse a la unión de los polímeros orgánicos a las superficies de arcilla mediante:

- 1.- Puentes catiónicos
- 2.- Enlaces de hidrógeno
- 3.- Fuerzas de Vander Waals
- 4.- Complejos de sesquióxidos y humus

El efecto mayor de éstas interacciones es el cambio en -

las 5 propiedades de las superficies de la arcilla coloidal con respecto al agua. Los coloides orgánicos compiten con moléculas de agua para ganar espacio en las superficies, reducen la humectabilidad y la hinchazón, aumentando la resistencia de los agregados por medio de la cementación (7). El efecto agregante de la materia orgánica se hace mayor a medida que decrece el contenido de arcilla, además de que promueve la agregación, ayuda a estabilizar la estructura del suelo. La materia orgánica interactúa con algunos metales formando Ca-Humus, que según algunos autores produce mayor agregación y según otros, es más reversible que el H-humus. La materia orgánica forma quelatos con los metales, que se cree ayudan a la agregación por ejemplo el  $Fe^{++}$  en los suelos de podzol (15). El grupo de suelos en donde no se ha observado correlación alguna entre la M.O. y la agregación son los oxioles en donde los óxidos deshidratados de aluminio y hierro son los que dan origen a la formación de agregados estables. La materia orgánica es más efectiva que la arcilla para la formación de agregados estables con la arena (7).

Se reconoce casi universalmente que el efecto catiónico del calcio mejora las propiedades físicas del suelo. Se ha demostrado que las malas cualidades estructurales de los suelos alcalinos, pueden cambiar a un estado físico favorable si el

sodio es reemplazado por calcio. Los efectos beneficiosos de la cal se deben a la floculación de los coloides del suelo por el calcio (14, 15).

Es preciso distinguir entre los efectos del ion calcico en los agregados de los suelos alcalinos, donde obran las relaciones del Ca y el Na, y los efectos en los suelos ácidos, donde la interacción entre H y Ca es dominante. Es creible la opinión de que el efecto del ion calcio en el mejoramiento de los suelos alcalinos, está primeramente asociado con la influencia de aquel ion en las propiedades de los coloides del suelo; más favorable que el efecto del ion sodio. Los suelos saturados con Na se hidratan más fuerte y se dispersan e hinchan más que los suelos saturados de Ca. En consecuencia, el mejoramiento de los suelos alcalinos se basa en extraer iones de sodio del complejo de intercambio catiónico y reemplazarlos por iones de calcio. El sodio reemplazado debe ser eliminado del suelo por lixiviación. La capacidad floculante del calcio es el factor principal en el mejoramiento de los suelos alcalinos. Se encuentra una situación diferente cuando se analizan los efectos del calcio en la agregación de los suelos ácidos. Observaciones experimentales indican que el efecto directo del ion calcio en la agregación de los suelos ácidos, no es tan importante como se había

creído. Los primeros experimentos sobre el efecto de los cationes intercambiables en las propiedades físicas del suelo, indicaban que los suelos saturados de H y los saturados de Ca eran similares. Las arcillas saturadas de H y las saturadas de Ca no difieren mucho en cuanto a la inchazón y permeabilidad, sin embargo, en todos los casos, las arcillas de H son ligeramente más permeables que los correspondientes sistemas cálcicos. Por lo anterior, se tiene que las aplicaciones de  $\text{Ca}^+$  se encuentran en una situación diferente cuando se analizan sus efectos en la agregación de suelos ácidos (7).

#### 2.5.1.5. La estructura del suelo y el crecimiento de las plantas.

El suelo como medio de crecimiento de las plantas, proporciona ambiente para la germinación de la semilla, la alforación de la plántula y la formación y funcionamiento del sistema de raíces de la planta. El suelo no sólo debe suministrar los nutrientes necesarios para los procesos metabólicos, sino que también debe proveer el régimen favorable de aire y agua para el correcto funcionamiento de la planta. En muchos casos, la toma de nutrientes del suelo está limitada por falta o por exceso de agua, deficiencia de oxígeno o insuficiente proliferación de las raíces por la alta densidad global que impide su crecimiento. La combinación de aumentada densi-

dad y escasa aereación, no sólo restringe la proliferación de las raíces y su absorción normal de nutrientes de agua, sino que también impide la actividad microbiológica. Estructuras desfavorables del suelo vienen por lo tanto, a significar un factor limitante en la producción de granos y deberá ser considerado como un parámetro de la fertilidad del suelo. La densidad de las raíces se incrementa cuando la resistencia del suelo aumenta, esto es debido a un incremento en la producción de raíces laterales y una disminución del crecimiento profundo de las raíces (7, 15).

#### 2.5.2. Encostramiento.

En muchos suelos y particularmente en los suelos de zonas áridas, donde se tienen pocas cantidades de materia orgánica y que a menudo carecen de una cubierta vegetal, tienden a formar una densa costra, bajo la acción impactante y aflogante de las gotas de lluvia, seguidos por días soleados. Dicho encostramiento tiene efectos directos en el crecimiento de la planta y un efecto indirecto en los procesos del suelo. El efecto directo en el crecimiento de la planta incluye la obstrucción mecánica a la emergencia de la plántula que está germinando y daño a las raíces mediante la formación de torceduras, debido a la baja penetrabilidad de las mismas. El efecto indirecto de la costra en el suelo, incluye una disminución

en la tasa de percolación del agua, aumento en el escurrimiento y la inhibición de la actividad microbial (27).

Muchas hectáreas de tierras de cultivo son replantadas cada año como resultado de las pérdidas en la emergencia, resultantes de las costras, producidas por las lluvias. Dichas pérdidas, no sólo involucran el costo de la operación del replante y de la semilla, sino también el retraso, el cual puede resultar en pérdidas de cosecha, debido a un período disponible muy corto para desarrollarse. Por lo anterior, es preciso realizar estudios más concienzudos de las causas, efectos y posibles medidas de control, para un mejor aprovechamiento del suelo, en beneficio de la producción.

#### 2.5.2.1. Mecanismos de formación.

Las costras del suelo son formadas como resultado de la compactación del suelo, debido a una fuerza externa. Esta fuerza es debida al choque de las gotas de lluvia y a la energía radiante del sol cuando el suelo se seca. Cuando las gotas de lluvia caen en un suelo seco se produce una disgregación de los agregados, seguido por la dispersión y orientación de las partículas más finas y la obstrucción de los poros al llevarse a cabo su penetración en el suelo. Formándose de ésta manera una capa compactada de una mayor densidad global. Según McIntyre (1958) la costra de suelo así formada

consta de dos partes. La primera es una capa delgada de aproximadamente 0.1 mm de espesor que se forma en la superficie como resultado de la acción de las gotas de lluvia. (29).

Este fenómeno de golpeo de las gotas de lluvia causa un efecto mecánico de barrenado y un efecto de dispersión de los coloides, llamándose la costra que produce (costra de golpeo) (1, 20).

Se forma una segunda capa inmediatamente debajo de la superficie, las partículas dispersas que surgen del choque son arrastradas por el agua que se filtra, obstruyendo los poros y formando una capa de porosidad disminuida, reduciendo la permeabilidad unas 200 veces, en comparación con la que tendría un suelo sin disturbio, en cuanto a la capa superficial, su permeabilidad es reducida en 2,000 veces aproximadamente (29). El secamiento externo y la fuerza de tensión superficial causan una interacción y reorientación de las partículas dispersas, dando lugar a una contracción del suelo. El reacomodo de las partículas en la capa inmediata a la superficie puede producirse por aflojamiento y dispersión de agregados cuando el suelo es mojado hasta saturación, como ocurre en el riego de superficie. Durante la infiltración del agua se forma una zona compactada, la cual se vuelve dura al secarse (7).

#### 2.5.2.2. Evaluación de la resistencia de la costra.

La evaluación de la fuerza de encostramiento del suelo se puede llevar a cabo por tres métodos; los cuales han sido propuestos por varios investigadores. Richards (1953) propuso la prueba del módulo de ruptura para simular el encostramiento, el cual ha sido el más utilizado. Otro método es el propuesto por Parker y Taylor (1965) el cual consiste en la resistencia a la penetración de una sonda en el suelo. Un tercer método es el que utilizaron Morton y colaboradores (1960) en el cual la resistencia de la costra se hace con referencia a la plántula naciente.

Módulo de ruptura.

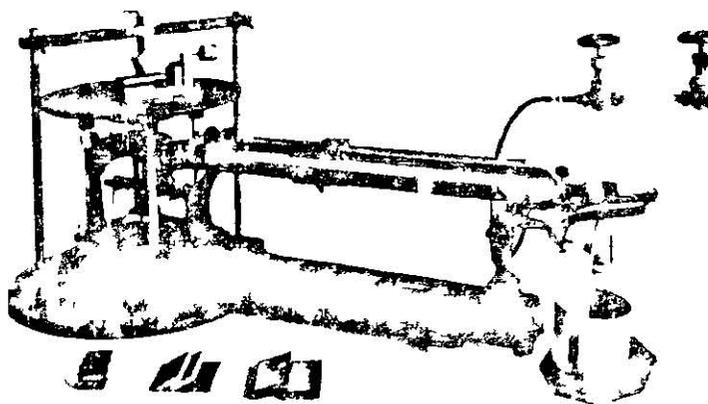


FIGURA 3.- Aparato usado para el módulo de ruptura.

**Aparato:**

El paralelepípedo rectangular fue escogido como la forma del ladrillo, a causa que ésto simplifica la construcción de los moldes del ladrillo y simplifica los cálculos del módulo de ruptura. Se supone que el valor obtenido para el módulo de ruptura será independiente del tamaño y de la forma de la muestra, suponiendo que la misma condición del suelo puede ser obtenido. El ladrillo del tamaño que ha sido probado, fue escogido con varias consideraciones prácticas en la mente y parece ser satisfactorio. El aparato completo del módulo de ruptura se presenta en la figura 3. Después que la muestra de suelo es instalada, los pesos o las pesas son ajustadas hasta que el fiel esté en la posición neutral. El tornillo en la barra transversal es entonces bajado hasta que la barra de arriba viene a hacer contacto con el ladrillo, esto significa que no se está aplicando ninguna fuerza en el ladrillo en este contacto. La acumulación de agua en el bote se muestra a la derecha la cual suministra la fuerza de rompimiento. Esta fuerza debe ser aplicada a una velocidad estandar a todas las muestras, 2000 gr de peso por minuto, lo cual fue usado para las pruebas reportadas. Los moldes del ladrillo son hechos con precisión con tiras de bronce de 3/8, las piezas son ensambladas con soldadura suave mientras que se unen con una pinza a una guía maquinada de una pieza de aluminio. Las dimensiones internas pa-

ra el molde de ladrillo son 0.945 x 3.500 x 7.000 cm.

#### Preparación de la muestra:

Ponga el suelo a través de una criba de ahujeros redondos de 2 mm, deje caer el suelo en una película de plástico de tal forma que se obtenga un buen cribado. Aplane la muestra de suelo mezclado y con una cuchara pequeña tome seis submuestras para determinaciones del módulo de ruptura. Estas submuestras pueden ser contenidas en basitos de papel y la cantidad de muestra debe de ser suficiente para llenar un solo molde de ladrillo. Cuidadosamente evite que se regrese lo que a tomado de suelo en la cuchara a la muestra, porque esto causa segregación de los tamaños de las partículas y produce submuestras que no son representativas.

#### Preparación del ladrillo:

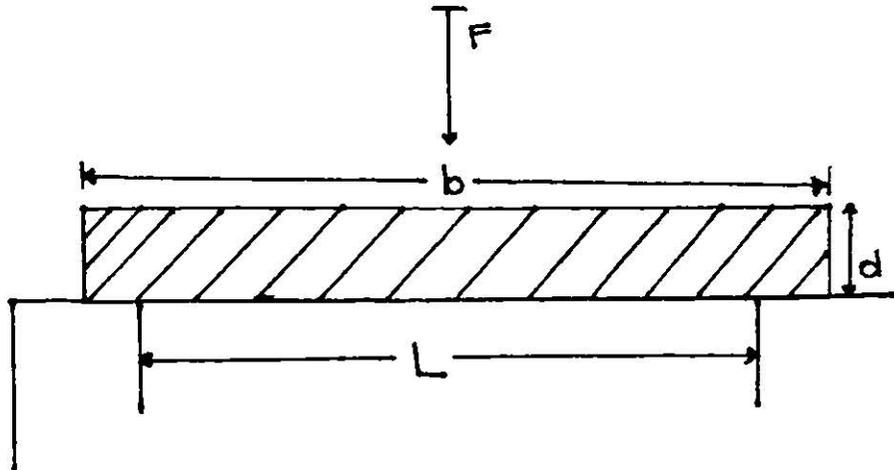
Se debe cubrir los interiores de los moldes con una pequeña capa de grasa de manera que el suelo no se adhiera. Ponga la charola de cribado en el tanque de remojo y luego ponga rectángulos individuales de papel absorbente de color blanco en la criba y posteriormente ponga un molde en cada uno de los papeles. Después se aplica el suelo mediante un embudo de basiado que contiene la submuestra completa. Se debe mezclar la muestra de suelo en el recipiente con una espátula o una cuchara y con un solo movimiento rápido bacie la submuestra

en el molde. Al estar baciado la submuestra se debe dar un movimiento circular al embudo y a la vez se levanta continuamente con la finalidad de dar un llenado uniforme y completo del molde. Quite el exceso de muestra de la superficie superior del molde, y añada agua al tanque de remojo hasta que el agua este rodeando a todo el molde. Permita que las muestras permanezcan una hora, después de que todas las muestras han sido completamente humedecidas. Eleve la criba de manera que no se rompan las muestras, pongalas en la superficie de secado y transfíeralas al horno a 50°C. Después de secados los ladrillos, quitelos de los moldes, determine la fuerza de ruptura y mida el ancho y profundidad de la superficie que se ha roto. Esta medición se puede hacer con un comparador óptico o puede ser estimado a la centésima de centímetro con una regla manual.

Cálculos:

Para un ladrillo rectangular el módulo de ruptura se calcula con la ecuación.

$$S = \frac{3 F L}{2bd^2} = \text{dinas/cm}^2$$



$F$  = Fuerza al quiebre (dinas)  
 $L$  = Distancia entre los soportes (cm)  
 $b$  = Anchura de la base del ladrillo (cm)  
 $d$  = Grueso del ladrillo (cm)

FIGURA 4.- Representación esquemática del módulo de ruptura.

El bar es una unidad (CGS) y es igual a un millón de dinas por centímetro cuadrado, una milésima de ésta unidad, el millibar parece ser más conveniente para expresar el módulo de ruptura de los suelos.

Resistencia a la penetración de una sonda en el suelo:

Arndt (1965) diseñó un instrumento para registrar la fuerza necesaria para hacer salir una sonda mecánica que es enterrada antes de la formación de la costra. Este instrumento no penetra en la costra al ser impulsado hacia arriba, en el caso de una costra húmeda, se produce la ruptura de la costra por una masa de suelo de forma cónica que es impulsada

hacia arriba delante del instrumento. En el caso de un suelo seco, se resquebraja la costra y sigue la formación de una estructura en forma de cúpula de trezos de costra inclinados. Los valores del módulo de ruptura que reflejan la resistencia a la tensión fueron de sólo 20% de la fuerza necesaria para la afloración del instrumento in situ a través de la costra. Este instrumento produce esfuerzos de compresión y cortadura.

#### Resistencia de la costra a la plántula naciente:

La resistencia de la costra se mide mediante un penetrómetro que simula una plántula mecánica con el que se mide la fuerza necesaria para empujar lo de abajo hacia arriba a través de una capa de tres pulgadas (76 mm) de suelo compactado a diferentes densidades globales. Con sondas de varios tamaños para representar diversos diámetros de la plantita, se ha encontrado que la energía necesaria para la salida aumentaba con el diámetro, con el grado de compactación, con el contenido inicial de humedad del suelo y con la profundidad de sembrado (29, 47).

La restricción de la emergencia de plántulas puede tener lugar de dos formas, la primera y más importante es el efecto de obstrucción mecánico debido a la fuerza de la costra. La resistencia de la superficie puede ser tan grande que las plántulas se doblan desarrollándose en dirección horizontal por lo

la técnica experimental empleada.

TABLA 1.- Efecto de la planta cultivada y el contenido de humedad sobre la resistencia crítica de la costra a la salida de la plántula (Baver, et al. 1973).

Planta	Módulo crítico de ruptura (mb)	
	25% de humedad	14.5% de humedad
Trigo	3,210 - 6,410	800 - 1,600
Sorgo para grano	1,610 - 3,210	0 - 800
Soya	6,410	0 - 800

Richards (1953) encontró en un suelo que un incremento de 108 a 273 mb en la dureza del encostramiento del suelo, conforme se midió con el módulo de ruptura, disminuía la emergencia de los brotes de frijol desde 100% hasta 0% (38).

Allison (1956) reportó que adiciones de VAMA y HPAN disminuían el encostramiento y por lo tanto, incrementaban los rendimientos de maíz dulce, él indicaba que el módulo crítico de ruptura para este cultivo parecía estar entre 1,200 y 2,500 millibars (2).

En otros trabajos, los autores encontraron que la resistencia al encostramiento limitaba la emergencia de semillas de trigo, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo.

Cuando el contenido de humedad estaba cerca de la capacidad máxima las semillas emergían bien, cuando el módulo de ruptura estaba tan alto como 500 millibars. Solo resultados cualitativos fueron obtenidos a causa que la influencia del encostamiento del suelo estaba confundida con el contenido de humedad y la difusión de oxígeno (18).

En Riverside, California, se hizo un experimento para evaluar la germinación de semillas de frijol. Bajo condiciones de campo en un suelo que presentaba una capa fina de arena, encontrando que no hubo disminución en la germinación de las semillas de frijol, en donde se obtuvieron valores del módulo de ruptura de  $S = 108 \pm 3$  millibars, aún cuando los efectos del encostamiento de la superficie fueron marcadamente evidentes. Sin embargo, cuando el porcentaje de sodio intercambiable se aumentó artificialmente en el suelo, se encontró que los valores del módulo de ruptura se incrementaron a  $S = 273 \pm 6$  millibars y ninguna semilla de frijol emergió. Esto se debió a que aumentó la fuerza mecánica de la costra por la presencia del sodio intercambiable (38).

Arndt (1965) haciendo un estudio de la morfología de las costras del suelo en relación con el agrietamiento y emergencia de las plantas, observó que el modelo natural de rompimiento y el tamaño de las plántulas pueden ser los factores más -

importantes en la emergencia, inclusive más importantes que la costra del suelo. La localización de la plántula en relación al rompimiento natural de la costra es de considerable importancia. En el caso de plántulas delgadas, las grietas deben ser bastante frecuentes para facilitar la emergencia de las plantas. En el caso de plántulas más gruesas, la medida y frecuencia de los rompimientos son igualmente importantes, éstos deberán ser lo bastante anchos para que no halla aplastamiento de las paredes de las grietas sobre las plántulas (6).

Cuando las costras son fuertes y de una gran densidad, pueden impedir la aereación bajo condiciones de humedad, si los poros de la capa encostrada contienen agua suficiente para impedir la difusión del oxígeno en el suelo. La difusión no es restringida significativamente en el caso de costras secas. La falta de aereación puede perjudicar la germinación de las semillas y disminuir la población de plantas en el suelo (7).

#### 2.5.2.3. Infiltración y encostramiento.

Las relaciones estructurales del suelo en la superficie, tienen efecto importante en la capacidad de infiltración de un suelo (7). Cuando la superficie del suelo es muy porosa y de una estructura muy abierta, la tasa inicial de infiltración es más grande que la de un suelo uniforme, y la tasa final de

infiltración permanece sin cambios, debido a su limitación de la baja conductividad de la zona de transmisión debajo de la superficie del suelo. En otras palabras, cuando la superficie del suelo es compactada y es cubierta por una costra de baja conductividad, la tasa de infiltración es más baja que la de los suelos sin costras. Las costras de la superficie del suelo actúan como una berrera hidráulica o cuello de botella impidiendo la infiltración. Este efecto, el cual empieza a ser más pronunciado en cuanto más gruesa y densa sea la costra, reduce ambos la tasa de infiltración inicial y final.

Un suelo con una estructura no estable, tiende a formar este tipo de costras durante la infiltración, especialmente con la acción del aflojamiento, debido al golpeteo de las gotas de lluvia (5).

#### 2.5.2.4. Medidas para prevenir la formación del encostrado.

Algunas medidas se han sugerido para prevenir la formación de la costra; de éstas, el uso de cubiertas de pajas y estiércol, sustancias químicas, y el laboreo, son de las más importantes (Mehta y Prihar, 1973; Chowdhury y Pirhar, 1976; Kera, et al., 1976 y Agrawal, 1980)(27).

Actualmente existen muchos métodos que llevan a la obten

ción de la estructura deseada. Solo enumeraremos algunos de ellos: uso apropiado de la tierra, incremento del crecimiento vegetal, adiciones de materia orgánica, fertilización, labranza, manejo adecuado de subsuelo, coberturas, drenaje, irrigación, métodos específicos de conservación del suelo, prácticas para evitar la compactación del suelo húmedo, protección del suelo al impacto de la lluvia y uso de acondicionadores del suelo (15).

La cal y el estiércol han sido estudiados por los agricultores desde hace mucho tiempo y también por los científicos, como una solución práctica para los problemas de la estructura del suelo. Sin embargo, se sabe que el encalado impulsa un mayor desarrollo de la vegetación y de la producción de materia orgánica, lo que en general es causa de regeneración de la estructura (7).

Deleeneer (1964) en una serie de experimentos realizados en Bélgica, demostró que la compactación por el arado (piso o losa del arado) y el deterioro de la estabilidad de los agregados era doble en suelos pobres en cal comparado con el de suelos en los que era visible el  $\text{CaCO}_3$ . El efecto de la cal se vio minimizado en campos en donde la densidad del ganado vacuno era mayor de 1.3 animales por hectárea; esto se debió a los efectos beneficiosos del estiércol (10).

Aplicaciones de estiércol de granja han producido resultados diversos en la estructura del suelo. Muchos investigadores no han obtenido efectos físicos útiles del estiércol en las propiedades del suelo y han atribuido el beneficio en las cosechas a los nutrientes que se encuentran en el estiércol. Otros han notado efectos significativos en la estructura. En general, el estiércol ejerce una influencia favorable en la granulación y en la aereación del suelo, pero este efecto no es permanente. Con la posible excepción de fuertes aplicaciones, el beneficio en fertilidad es mayor que el beneficio físico. La aplicación de estiércol en los céspedes aumenta el crecimiento de éstos cultivos mejoradores de la estructura, que de este modo resulta beneficiada (7).

Se sabe poco de los efectos de los fertilizantes en la estructura del suelo. Teóricamente, fuertes aplicaciones de sales de sodio deben causar dispersión en los agregados. Tal deterioro de la estructura probablemente no ocurrirá cuando se siguen prácticas normales de agricultura. El aumento en la producción de follaje y de raíces como resultado de la aplicación de fertilizantes, tiene sin duda, gran influencia en la conservación y restauración parcial de la estructura. Esto es especialmente cierto en el cultivo de céspedes (7).

Lutz y colaboradores (1966) obtuvieron de los fertilizantes

tes fosforados efectos importantes en la sazón del suelo. Disminuyó la resistencia del suelo y aumentó la capacidad de retención de agua, lo que atribuyeron a la sustitución de los iones OH por iones de fosfato en los bordes de las partículas de arcilla. Esto causaba la agregación (26).

Las operaciones de labranza, especialmente las realizadas con cultivadores, causan continua mengua en la estabilidad de los agregados, a menos que el nivel de materia orgánica del suelo se mantenga relativamente alto y que el manejo mecánico del suelo sea realizado en condiciones óptimas de humedad (7).

El mejoramiento de las prácticas de manejo tales como la cubierta con estiércol y paja y la labranza, reducen la dureza de la costra y aunadas con el mejoramiento genético, mejoran el establecimiento bajo situaciones de encostramiento. Sin duda, las prácticas de un buen manejo pueden mejorar la emergencia bajo ambientes de suelo adverso, pero la selección de las líneas con habilidades mayores para emerger bajo tales situaciones, es de gran importancia (27).

El encostramiento de los suelos puede ser controlado con una cobertura de materia orgánica que lo protege de la acción de las gotas de lluvia, ya que la materia orgánica promueve

la formación de agregados estables que resisten la dispersión. Ciertos acondicionadores artificiales de suelo también reducen el encostramiento produciendo agregación estable (7).

Mediante las siembras en húmedo, se puede prevenir el encostramiento durante las primeras etapas de la germinación; ya que mediante este sistema la semilla germina y emerge bajo buenas condiciones de estructura y humedad del suelo, aunque se puede presentar el fenómeno de encostramiento posteriormente, pero ya sin efectos negativos para las plántulas.

Los acondicionadores del suelo pueden ser utilizados para prevenir el encostrado de los suelos. Son sustancias activas aplicadas en solución (aproximadamente de 10 a 20 Kg/Ha del producto en solución con 1,000 litros de agua). Estos producen un efecto ampliamente suficiente para permitir la germinación. Será preciso, por supuesto, abstenerse de todo binado antes de que la planta haya salido de la tierra, para no diluir el producto en el suelo, lo que suprimiría todo efecto, dadas las dosis utilizadas (23).

Un agente acondicionador para mejorar la estabilidad de la estructura del suelo, es el poli-acrilo-nitrilo-hidrolizado en forma de copolímeros comúnmente llamado Super Slurper, el cual reduce la fuerza de las costras y el rango de infil-

tración y aumenta la retención del agua.

Se ha encontrado que el módulo de ruptura disminuye significativamente para cada suelo conforme la tasa del super slurper se incrementa.

La fuerza de la costra fue reducida en 84, 75 y 54% en suelos franco-arenosos, arenoso-franco y franco-arcilloso respectivamente a una adición de .4% de Super Slurper. También los rangos de infiltración se redujeron para suelo franco-arenoso, franco-arcilloso y arenoso-franco en un 38, 18 y 11% respectivamente con una adición igual (.4% de S.S.). Los suelos areno-franco y franco-arenoso tratados con Super Slurper retuvieron más agua que los suelos no tratados, el Super Slurper tuvo un efecto pequeño en retención de agua en el suelo franco-arcilloso (22).

En el pasado VAMA (ácido maléico y acetato de vinilo) en forma de copolímeros y HPAN poliacrilonitrilo hidrolizado, han sido utilizados para prevención de encostramientos en los suelos. La adición de 0.1% en peso de VAMA o HPAN a tierra arenosa de San Luis, redujo el módulo de ruptura de 3.9 a 2.7 millibars.

Los efectos de los acondicionadores de VAMA y HPAN en la agregación, encostramiento de la superficie y retención de -

humedad en suelos alcalinos, se midieron en un experimento en el laboratorio. En donde se probaron seis tasas de aplicación diferentes, para producir estabilidad en los agregados. Se utilizaron 9 suelos alcalinos y 2 no alcalinos, obtenidos de lugares experimentales de 6 estados del oeste de Estados Unidos. El acondicionador VAMA provó ser apreciablemente más efectivo que el acondicionador HPAN dentro de las tasas de aplicación de 0.25 a 0.2% para 8 de los 11 suelos estudiados. Para tres suelos apareció que no había diferencia significativa entre éstas dos clases de acondicionadores en ninguna de las tasas a diferentes porcentos utilizados. También se encontró que el porcentaje de aplicación de los polímeros necesarios para la estabilización de la estructura efectiva, estaba relacionada directamente a la superficie específica y al contenido de arcilla en el suelo. La evaluación se determinó por el módulo de ruptura, encontrando que ambos tipos de acondicionadores fueron efectivos en la aminoración de la dureza de la costra, así como también en dar buena estabilidad a los agregados del suelo, disminuyendo la formación de costras. Sin embargo, ningún acondicionador exhibió un efecto apreciable en retención de humedad del suelo (3).

El Hexadecanol es otro acondicionador que ha sido usado en los suelos para probar su estabilidad ocasional e influen-

cia en el módulo de ruptura. En un experimento que se llevó a cabo por ciertos investigadores, se encontró que el módulo de ruptura fue reducido en un 65% para un suelo arenoso y en un 55% para un suelo con fango, cuando se añadió 0.4% en peso de hexadecanol pulverizado seco o hexadecanol emulsificado comercialmente disponible en polvo. Cuando se hizo aplicaciones con alcohol graso fueron menores los efectos.

Otros trabajos han mostrado que el hexadecanol con mezcla de alcoholes grasos pueden reducir significativamente la evaporación de agua de los suelos, como también mejorar la tolerancia de ciertas plantas (28).

Otro de los productos utilizados es el Kirilium, que ayuda también a estabilizar los agregados del suelo contra la acción de la fuerza dispersante de las gotas de lluvia.

Por lo general, estos materiales deben aplicarse cuando el suelo está húmedo; y el suelo debe pasar por lo menos por un ciclo de secamiento, los acondicionadores del suelo no aumentan directamente la cantidad de agua disponible, pero pueden aumentar la cantidad de agua que la planta utilizaría eventualmente, al aumentar la velocidad de infiltración. También pueden estimular el desarrollo de mejores sistemas radiculares, que igualmente estimularían la cantidad de agua apro

vechable por la planta. Debido al mejor drenaje y a la remoción del exceso de agua, la temperatura del suelo puede elevarse. Debido a su alto costo, los acondicionadores del suelo sólo se usan en trabajos de investigación.

#### 2.5.2.5. Revisión de trabajos relacionados.

En el centro ICRISAT, se adaptaron diferentes técnicas para estudiar la variabilidad genotípica del sorgo por su habilidad para emerger a través de la costra. A continuación, se describen los resultados de algunos experimentos.

Una investigación adyacente se inició para comparar la emergencia de los genotipos de sorgo bajo condiciones de encostramiento en los suelos áridos de Hisaar, comparados con los alfisoles de Patancheru. El propósito de ésta investigación era identificar cuales genotipos emergen bien a través de las costras del suelo en ambos lugares.

Una técnica para investigar la habilidad para la emergencia a través de costras simuladas, fue desarrollada en el ICRISAT y probada en el campo. La técnica involucra el arado de la tierra, una labranza fina, una nivelación apropiada, una irrigación perfo-aspersión controlada de alrededor de 40 mm. Aproximadamente 6 horas después de la irrigación, se corrió con un rodillo ligero (15 Kg) sobre el campo para com

pactar la capa superior del suelo. Una parcela de control se mantuvo no compactada con el rodillo. Los genotipos mostraron una variabilidad significativa en la emergencia de la plántula a través de la costra. El porcentaje de emergencia fue menor en el tratamiento compactado que en el no compactado, lo que indica el efecto del impedimento de la costra sobre la emergencia de la plántula. El vigor de las plántulas, estuvo correlacionado positivamente a su habilidad para emerger a través de la costra (27).

Se establecieron dos experimentos conducidos, tanto en Hissar como en Patancheru para estudiar la habilidad de los genotipos para emerger en un suelo con costra y sin costra (en el campo) y en charolas de ladrillo (en el invernadero).

En todos los experimentos, los genotipos mostraron variabilidad significativa en la habilidad para emerger. En algunos experimentos también se encontró interacción fenotipo por tratamiento. Esto indica que hay variación suficiente para la selección de los genotipos bajo las dos situaciones. Los genotipos mostraron una emergencia significativa más baja, bajo situaciones de encostramiento comparado con las no encostradas. Los tratamientos difirieron en la dureza de la costra y los porcentajes de humedad. Aunque hubo más humedad en el suelo bajo condiciones de encostramiento, la emergencia de las

plántulas fue más baja en el suelo encostrado comparado con el no encostrado.

Se observó que algunos genotipos emergen bien en el suelo encostrado en todas las repeticiones, mientras que en otras la emergencia fue siempre pobre. La tasa de emergencia de las plántulas bajo encostrado/no encostrado fue mayor que 0.8 en algunos genotipos, mientras que varió entre 0.7 a 0.23 en algunos otros. La raíz de las plántulas y el crecimiento de los brotes subsecuentes a la emergencia también fueron afectados adversamente.

La dureza máxima de la costra en las charolas de ladrillo fue de 2 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en el campo varió de 2 a 6 Kg/cm<sup>2</sup>. Se observaron también diferentes anomalías morfológicas en las plántulas cuyas emergencias fueron obstruidas por una superficie del subsuelo dura. Se observó frecuentemente que la plántula permaneció bajo tierra y las hojas extendidas antes de la emergencia a través de la costra del suelo. La plúmula de algunas plántulas no pudieron penetrar la costra y se deblaron lateralmente (27).

Se realizó otro experimento en donde se probó el efecto de la dureza de la costra sobre el porcentaje de la emergencia y la longitud de la radícula y la plúmula en un híbrido Indú

de sorgo en la estación post-lluviosa, sembrándose a 5 cm de profundidad en suelo húmedo a 14 semillas por metro. Para inducir la formación de la costra se aplicó agua con un aspersor montado a un tractor dos días después de la siembra. Las longitudes de la radícula para los tratamientos con la costra y sin ella, fueron iguales las longitudes de la plúmula, fueron similares hasta el inicio de la emergencia, cuando la costra del suelo impidió la elongación de ésta.

El penetrómetro utilizado indicó que la longitud baja de la plúmula y el porcentaje de la emergencia fueron consecuencias de la costra, ya que no hubo diferencia en la humedad del suelo en la capa de 0 a 5 cm (27).

### 3. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

1.- Para que una semilla germine y origine una nueva planta, son necesarias diversas condiciones entre las cuales podemos mencionar: que la semilla esté normalmente constituida, que la semilla esté madura y que el embrión se encuentre vivo. Así mismo, es necesario proporcionar condiciones adecuadas de temperatura, humedad y aereación.

2.- La profundidad de siembra muestra efectos significativos en la emergencia. Por lo que se recomienda sembrar las semillas a una profundidad adecuada con la finalidad de evitar que se agoten las sustancias de reserva antes de emerger la plántula a la superficie.

3.- El tamaño de la semilla tiene una influencia muy marcada en la emergencia de las plántulas cuando se siembran genotipos distintos, por lo que se recomienda sembrar aquellos que posean un tamaño de semilla más grande.

4.- Una estructura adecuada es necesaria para una buena germinación-emergencia y desarrollo de las plántulas. Por lo que se hace necesario realizar prácticas agrícolas enfocadas a proporcionar una buena estructuración del suelo, así como también una mejor aereación y captación de humedad y con esto una buena cama de siembra.

5.- El encostramiento es un factor que limita considerablemente la germinación y emergencia de las plántulas, mediante la formación de una obstrucción mecánica y una limitación en la aereación. Por lo que se hace conveniente llevar a cabo ciertas prácticas agronómicas, para prevenir la formación de la costra en los suelos. Entre los cuales mencionaremos las principales como son:

a) Cubiertas de paja y estiércol.- El estiércol aumenta la estabilidad de la estructura, ejerciendo por un lado el efecto de una cementación sobre los constituyentes de los agregados y disminuyendo por otra la humectabilidad de estos últimos. El follaje de las plantas y sus residuos cubren el suelo y lo protegen de los cambios bruscos de temperatura y humedad y de los efectos de las gotas de lluvia, así como también proporcionan la base alimenticia de los microorganismos del suelo, que son uno de los principales factores agregantes.

b) Sustancias químicas.- Se pueden mencionar los acondicionadores de los suelos como son algunos fertilizantes (cal, fósforo, etc.) y algunos otros acondicionadores como el Super Sluper, VAMA y HPAN, Hexadecanol, Kirilium, etc. La mayoría de éstos acondicionadores se aplican cuando el suelo está húmedo y después de un ciclo de desecamiento, en dosis que van desde 0.1 - 0.4 en peso o más. Provocando mayor agregación, una dis-

minución del encostramiento de los suelos y en ciertos casos, mayor retención de humedad. Debido a su alto costo, los acondicionadores sólo se usan en investigación.

c) Labranza.- La labranza es una práctica que se lleva a cabo después de que se forman las encostraciones en los suelos. El objetivo primordial es romper esas costras para facilitar la emergencia de las plántulas. Dicho objetivo sólo se alcanza mediante la aplicación de fuerzas a los suelos con los aperos y máquinas agrícolas, entre los cuales podemos mencionar: el escardador mullidor, el azadón giratorio, el rodillo manual, etc.

d) Irrigación.- Esta práctica se lleva a cabo mediante la aplicación de un sobre-riego con la finalidad de que el suelo cuente con buena humedad durante los primeros días de la germinación, para que no haya problemas con la emergencia debido a las costras. Habrá que cuidar mucho la profundidad de siembra, porque si se siembra muy superficialmente, se puede tener problemas por desecación de la capa superficial y la semilla no va a emerger.

e) Siembras en húmedo.- Esta práctica es muy parecida a la anterior y se hace con la misma finalidad de proporcionar buenas condiciones de humedad al suelo durante los primeros

días de la germinación, para evitar problemas con la emergencia debido a las costras. Aquí es muy importante también poner especial atención en el factor profundidad de siembra.

#### 4. RESUMEN

El establecimiento de los cultivos depende principalmente de una buena germinación y emergencia de las plántulas. Hay muchos factores que influyen para que éstos procesos se lleven a cabo, entre éstos se encuentran los propios de la se milla (condiciones intrínsecas) siendo los principales: que la semilla esté normalmente constituída, que la semilla esté madura y que el embrión se encuentre vivo. Los del medio ambiente (condiciones extrínsecas) entre los cuales el agua, el aire y la temperatura son los más importantes y las características físicas del suelo como son la estructura, la textura entre otros.

Dentro de éstos factores que influyen de una u otra manera en la germinación y emergencia de las plántulas, estamos considerando como principal factor limitante al encostramiento. Dicho encostramiento, como es bien sabido, restringe - la emergencia de las plantas, mediante la forma- - ción de una obstrucción mecánica, por una limitación en la aereación o por la combinación de ambos efectos. Esto da como resultado grandes pérdidas en nuestras cosechas, como consecuencia del replante, compra de semilla adicional, uso de mayores insumos, retraso en la fecha de siembra y mayor uso de mano de obra.

Teniendo conciencia de todas éstas características o factores que influyen para tener una buena germinación y emergencia de las plántulas y conociendo que la mayoría de los suelos de México son de temporal, donde se cuenta con pocas precipitaciones anuales, bajos contenidos de materia orgánica, así como también poca cubierta vegetal. Podemos saber los métodos y el manejo que debemos darle a éstos suelos para evitar problemas, principalmente con el encostramiento que es una de las causas por las cuales se nos reducen considerablemente la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas, causándonos considerables pérdidas y trastornos en la producción.

En el futuro se debe seguir investigando para encontrar que tipo de prácticas y materiales reúnen las características de eficiencia, economía y facilidad de aplicación para prevenir las encostraciones de los suelos.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Aceves, N.E., L.H. Stolzy and G.R. Mehuys. 1975. Combined effects of low oxygen and salinity on germination of a semidwarf. Mexican wheat. *Agronomy Journal* 67:530-532.
- 2.- Allison, L.E. 1956. Soil and plant responses to VAMA and HPAN soil conditioners in the presence of high exchangeable sodium *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20:147-151.
- 3.- \_\_\_\_\_, and D.C. Moore. 1956. Effect of VAMA and HPAN soil conditioners on aggregation, surface crusting, and moisture retention in alkali soils. *Soil Sci. Soc. Proc.* 20:143-146.
- 4.- Anónimo. 1984. Apuntes de relación Agua-Suelo-Planta. Prmera parte. F.A.U.A.N.L. pp. 7-10.
- 5.- Anónimo. 1984. Apuntes de relación Agua-Suelo-Planta, Segunda parte. F.A.U.A.N.L. pp. 36-46.
- 6.- Arndt, W. 1965. The nature of the mechanical impedance to seedlings by soil surface seals. *Aust. J. Soil Res.*, 3: 45-54.
- 7.- Baver, L.D., et al. 1973. Física de suelos. Ed. Hispanoamericana. Primera edición. México. pp. 138-236.

- 8.- Brooker, D.J., et al. 1978. Preformed Messenger RNA<sub>s</sub> and Early Wheat Embryo Germination. *Plant Physiology* 61(2): 145-149.
- 9.- Chesters, G., et al. 1957. Soil Aggregation in relation to various soil constituents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 21:276.
- 10.- Deleenheer, L. 1964. Preservation of soil structure on mechanized farms in Belgium. *Trans. 8th Int. Cong. Soil Sci.*, Bucarest, págs. 561-570.
- 11.- El-Sharkawi, H.M. and I. Springuel. 1977. Germination of some crops plant seeds under reduced water potential. *Seed Science and Technology*. 5:677-688.
- 12.- Eyans, A.B. and J.A. Young. 1977. Bitterbrush germination with constant and alternating temperatures. *J. of Range Management*. 39(1):30.
- 13.- Ferguson, R.M. and G.L. Jordan. 1977. The effect of selected presowing seed treatments on germination of Lehmann Lovegrass Seeds. *J. of Range Management*. 30(2):151.
- 14.- Gaucher, G. 1971. *El suelo y sus características agronómicas*. Ed. Omega. España. pp. 147-196.

- 15.- Gavande, S.A. 1979. Física de suelos principios y aplicaciones. Ed. Limusa. Primera edición. México. pp. 77-105
- 16.- Hadas, A. and D. Russo. 1974. Water uptake by seed as affected by water stress, capillary conductivity and Agronomy Journal. 65:643-647.
- 17.- Haferkamp, B.R. Bitterbrush seedling establishment as influenced by soil moisture and soil surface temperature. J. of Range Management. 25(1):47.
- 18.- Kanks, R.J. 1960. Soil crusting and seedling emergence. Trans. 7th. Int. Cong. Soil Sci., 1:340-346.
- 19.- Hartmann, H.T. and D.E. Kester. 1978. Propagación de plantas, principios y prácticas. Ed. Continental. Primera Edición. México. pp. 149-152.
- 20.- Hegarty, T.W. 1976. Fiel stablishment of some vegetable crops: response to a range of soil conditions. Journal of Horticulture Science. 51:133-146.
- 21.- Helmut, M.E., et al. 1978. Plantas-Cultivos-Cosechas. Ed. Aedos. Primera edición. España. pp. 56-70.
- 22.- Hemyari, P. and D.L. Nofziger. 1981. Super Slurper effects on crust strength, water retention, and water infiltration

- of soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:799-801.
- 23.- Hennin, S., et al. 1972. El perfil cultural. Ed. Mundi-Prensa. España. pp. 45-68, 212, 280.
- 24.- Hoffman, G.R. and D.L. Hazlett. 1977. Effects of Aguecus Artemisa sp. Extracts and volatile substances on germination of selected species. J. of Range Management. 30(2):134.
- 25.- Hunter, J.R. and A.E. Erickson. 1952. Relation of seed germination to soil moisture tension. Agronomy Journal 44:107-109.
- 26.- Lutz, J.F., et al. 1966. Effect of phosphorus on some physical properties of soil: II. Water retention. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30:433-437.
- 27.- Maiti, R.K. 1984. Establecimiento de cultivos. F.A.U.A.N.L. Colegio de Graduados. Sin publicar. pp. 33-52.
- 28.- Matts, A.M. and D.D. Evans. 1969. Hexadecanol in soil - its locational stability and influence on moduls of rupture. Soil Sic. Soc. Am. Proc. 33:203-204.
- 29.- McIntere, D.S. 1958. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. Soil Sci. 85:185-189.

- 30.- Millar, C.E., et al. 1979. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. Continental. Quinta edición. México. pp. 53-61.
- 31.- Molin, W.T., et al. 1980. Thiamin phosphorylation by thiamin phyrophospho transferase during seed germination. Plant. Physiology. 66(2):313-315.
- 32.- Morton, C.T. and W.F. Buchele. 1960. Emergence energy of plant seedling. Agr. Eng., 41:428-431.
- 33.- Okomoto, K. and T. Akasawa. 1980. Enzimic mechanism of strech breakdown in germinating rice seeds. Plants. physiology. 65:81-84.
- 34.- Page, E.R. 1979. Soil physical conditions. Paper II. Agronomy Conferences Malvern, 16-17 May. pp. 9-25.
- 35.- Page, J.B. and C.J. Willard. 1946. Cropping systems and soil properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11:87.
- 36.- Parker, J.J. Jr. and H.M. Taylor. 1965. Soil strength and seedling emergence relation. I. Soil type, moisture tension, temperature and planting depth effects. Agron. J. 57:289-291.
- 37.- Philip, J.R. 1958. The osmotic cell, solute diffusibility

- and plant water economy. *Plant. Physiology*. 633:264-271.
- 38.- Richards, L.A. 1953. Modulus of rupture as an index of crusting of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 17:321-323.
- 39.- Robles, S.R. 1976. Producción de granos y forrajes. Ed. Limusa. Primera edición. México. pp. 269.
- 40.- Rojas, G.M. 1978. Fisiología vegetal aplicada. McGraw-Hill. México. pp. 179-185.
- 41.- Ruiz, O.M., et al. Tratado elemental de Botánica. Ed. Científica Latinoamericana. Larios. México. pp. 251-260.
- 42.- Scifres, C.J. and J.R. Brock. 1972. Emergence of hancy mezquite seedling relative to planting depth and soil temperature. *Journal of Range Management*. 25(3):217.
- 43.- Sharma, M.L. 1973. Simulation of drought and its effects on germination of five pasture species. *Agronomy Journal* 65:982-987.
- 44.- Sinnott, W.E. and K.S. Wilson. 1976. Botánica, principios y problemas. Compañía Ed. Continental, S.A. Sexta edición. México. pp. 306-307.
- 45.- Sopanen, T., et al. 1980. Characteristics and development of leucine transport activity in the scutellum of germina

- ting barley grain. *Plant. Physiology*. 65(2):249.
- 46.- Springfield, H.W. 1968. Germination of winterfat seeds under different moisture stresses and temperature. *Journal of Range Management*. 21(5):314.
- 47.- Taylor, H.M. and H.R. Gardner. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strenght of soil. *Soil Science* 29:38-46.

