

USO DE ESCORIA BOF OZ INERTE Y MATERIA
ORGANICA EN EL CULTIVO DE
MAIZ (Zea mays L.)

MANUEL DE JESUS OSORIO TORRES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN SUELOS

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



B I B L I O T E C A



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
MAYO DE 1997

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y
aprobada como requisito parcial, para obtener

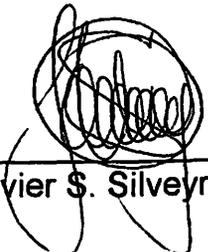
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN SUELOS

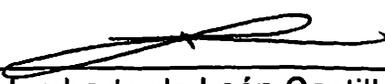
COMITE PARTICULAR

ASESOR PRINCIPAL:



M.C. Javier S. Silveyra Medina

ASESOR:



M.C. Humberto de León Castillo

ASESOR:



Dr. Edmundo Peña Cervantes



Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Mayo de 1997

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador y en particular al Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), por su invaluable apoyo en la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en general; en especial al Departamento de Suelos, por poner a mi disposición su alto nivel educativo y de investigación sobre el recurso suelo.

Al M. C. Javier S. Silveyra Medina, por haberme permitido realizar este trabajo bajo su atenta asesoría, y así mismo, por la paciencia y esfuerzo realizado para llevarme a la culminación de Postgrado, a través de sus sabias lecciones y experiencias que reafirman la base en mi vida futura, tanto como persona como profesional.

Al M.C. Humberto de León Castillo, por su participación en la ejecución y revisión de este trabajo y consejos para la elaboración de la misma.

Al Dr. Edmundo Peña Cervantes, por su valiosa ayuda en la ejecución y revisión de este trabajo.

DEDICATORIA

Con gran respeto y cariño dedico este trabajo a :

Mis padres:

Juan Francisco Osorio. (+)
María Perfecta Torres V. de Osorio

Quienes supieron inculcarme buenas bases para mi formación humana y superación profesional entregando buena parte de sus vidas para ello.

A mi esposa:

Ana Isabel Blanco de Osorio

Con gran amor y profundo agradecimiento por su ayuda y abnegación brindada en todo momento y su dedicación a nuestros hijos durante mis estudios de maestría.

A mis hijos:

Manuel Eduardo y
Anabel

Quienes con su silencio infantil se constituyeron en fuente importante de motivación para alcanzar esta meta.

A Oscar Edgardo:

A quien le brindaré todo mi apoyo.

A mis hermanos:

Rosario
Angela
Luis
Francisco
Antonio
Matías
Magdalena y
Nazario

A mis familiares en general

A mis compañeros de generación y amigos con aprecio.

COMPENDIO

Uso de escoria BOF C2 inerte y materia orgánica en el cultivo de maíz

(*Zea mays* L.)

Por

MANUEL DE JESUS OSORIO TORRES

MAESTRIA

SUELOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MAYO DE 1997

M.C. JAVIER S. SILVEYRA MEDINA - ASESOR-

Palabras clave: escoria BOF C2, materia orgánica, suelos calcáreos, maíz.

El presente estudio tuvo como principales objetivos determinar el efecto de la escoria BOF C2 inerte sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos calcáreos, así como medir el efecto combinado de la escoria BOF C2 inerte con la materia orgánica sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz.

El estudio se realizó en parcelas de 16 m² , se aplicaron 0, 15 y 30 t/ha de materia orgánica (MO) y 0, 2, 4 y 6 t/ha de escoria BOF C2 inerte (Es). El diseño estadístico utilizado fue el de bloques al azar en parcelas divididas.

Las diferentes propiedades físicas y químicas evaluadas se midieron en dos etapas fenológicas importantes del cultivo: floración (65 dds) y madurez fisiológica (120 dds).

En el suelo se evaluó densidad aparente (Da), densidad de sólidos (Ds), espacio poroso (E), estabilidad de agregados (EA), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), conductividad hidráulica (K), contenido de materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), pH, calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe); mientras que en la planta se determinó días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM), acame de raíz (AR) y acame de tallo (AT) y rendimiento de mazorca (Ren.).

Las características que más fueron afectadas por la escoria BOF C2 inerte fueron Da, E, y la CC en la etapa de floración, manteniendo sus valores el resto de características evaluadas.

La materia orgánica afectó a las características de Da, E, K, en ambas etapas evaluadas. Los tratamientos que se aplicaron no afectaron la Ds, por lo que se pueden usar sin tener modificaciones en dicha propiedad física.

La escoria BOF C2 inerte tiene efectos benéficos, sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos calcáreos como el aquí estudiado.

El pH como característica determinante para la mayoría de los cultivos agrícolas no es afectado por los tratamientos aplicados, lo mismo puede decirse de la conductividad eléctrica, debido a que el contenido de sales en el suelo no aumentó.

El contenido de materia orgánica disminuyó en la etapa de madurez fisiológica debido a que la planta necesita extraer más nutrimentos para el llenado de la mazorca.

Se puede afirmar con el estudio realizado que la aplicación de escoria BOF C2 inerte no aumentó los rendimientos de mazorca del cultivo entre los tratamientos evaluados.

Utilizar escoria BOF C2 inerte en los campos de producción de los cultivos agrícolas ayudará a minimizar el deterioro de las propiedades físicas y químicas de muchos suelos calcáreos útiles a la agricultura.

ABSTRACT

USE OF INERT SLAG BOF C2 AND ORGANIC MATTER IN THE CORN CROP

(Zea Mays L.)

By:

MANUEL DE JESUS OSORIO TORRES

MASTER OF SCIENCE

SOILS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MAY 1997.

M.C. JAVIER S. SILVEYRA MEDINA - ADVISOR -

Key words: slag BOF C2, organic matter, calcareous soils, corn.

The present study had as objective principals to determine the effect of the inert slag BOF C2 on some physical properties and chemistries in calcareous soils, as well as to measure the combined effect of the inert slag BOF C2 with the organic matter on the development and yield of the corn crop.

The study was accomplished in plots of 16 m², were applied 0, 15 and 30 t/ha of organic matter (MO) and 0, 2, 4 and 6 t/ha of inert slag BOF C2 (Es). The used statistic design was that of blocks at random in divided plots.

The different physical and chemicals properties evaluated were measured in two stages fenologics important of the crop: flowering (65 das) and physiological maturity (120 das).

In soil was evaluated bulk density (Da), solids density (Ds), porous space (E), aggregates stability (EA), field capacity (CC), point of permanent withering (PMP), hydraulic conductivity (K), organic matter content (MO), electrical conductivity (CE), pH, calcium (C), magnesium (Mg), iron (Fe); while in the plant was determined days to masculine flowering (DFM), days to feminine flowering (DFF), plant height (AP) and ear height (AM), root lying (AR) and stem lying (AT) and ear yield (Ren.).

The characteristics that more they were affected by the inert slag BOF C2 were Da, E, and the CC in the flowering stage, maintaining their values the evaluated characteristics rest.

The organic matter affected to the characteristics of Da, E, K, in both evaluated stages. The treatments that were applied did not affect the Ds,

therefore they can be used without having modifications in such physical property.

The inert slag BOF C2 has beneficial effects, on some physical and chemicals properties in calcareous soils as the here studied.

The pH as determinant characteristic for most of the agricultural cultivation is not affected by the applied treatments, what is same can be said of the electrical conductivity, due to the fact of salt content in soil did not increase.

The organic matter content reduced in the physiological maturity stage due to the fact that the plant needs to extract more nutrients for the filled with the ear.

It can be asserted with the accomplished study that the application of inert slag BOF C2 did not increase the ear yields of the crop among the evaluated treatments.

To use inert slag BOF C2 in the production fields of the agricultural cultivation will help to minimize the deterioration of the physical and chemicals properties of many useful calcareous soils to the agriculture.

INDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| Indice de cuadros..... | xiv |
| Indice de figuras..... | xvi |
| INTRODUCCION ..: | 1 |
| Objetivos..... | 3 |
| Hipótesis..... | 3 |
| REVISION DE LITERATURA..... | 4 |
| Suelos | 4 |
| Generalidades | 4 |
| Propiedades físicas de los suelos | 5 |
| Estructura..... | 5 |
| Estabilidad de agregados | 9 |
| Densidad aparente..... | 11 |
| Porosidad | 12 |
| Capacidad de campo | 12 |
| Punto de marchitamiento permanente | 13 |
| Conductividad hidráulica..... | 14 |
| Propiedades químicas del suelo | 15 |
| pH..... | 15 |
| Conductividad eléctrica..... | 17 |
| Materia orgánica | 18 |
| Escorias de Altos Hornos | 21 |
| Generalidades | 21 |
| Material genético | 35 |
| MATERIALES Y METODOS | 37 |
| Ubicación del sitio experimental..... | 37 |
| Caracterización del sitio experimental..... | 38 |
| Clima | 38 |
| Precipitación pluvial | 38 |
| Viento | 38 |
| Temperatura..... | 38 |
| Humedad relativa | 39 |
| Evaporación | 39 |
| Heladas | 39 |
| Suelo..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Descripción de materiales | 41 |
| Material genético utilizado | 41 |
| Escoria BOF C2 inerte (Es) | 41 |
| Estiércol | 41 |
| Tratamientos | 42 |
| Diseño experimental y distribución de los tratamientos | 43 |
| Modelo estadístico utilizado | 44 |
| Muestreo de unidades experimentales | 45 |
| Variables experimentales | 45 |
| En planta | 45 |
| Días a floración masculina (DFM) | 45 |
| Días a floración femenina (DFF) | 45 |
| Altura de planta (AP) | 46 |
| Altura de mazorca (AM) | 46 |
| Acame de tallo (AT) | 46 |
| Acame de raíz (AR) | 47 |
| Mazorcas podridas (MP) | 47 |
| Peso de campo (PC) | 47 |
| Contenido de humedad (CH) | 47 |
| Rendimiento (Ren) | 48 |
| En suelo | 48 |
| Estructura | 49 |
| Densidad aparente (Da) | 49 |
| Densidad de sólidos (Ds) | 50 |
| Capacidad de campo (CC) | 50 |
| Punto de marchitamiento permanente (PMP) | 50 |
| Conductividad hidráulica (K) | 51 |
| Conductividad eléctrica (CE) | 51 |
| Contenido de materia orgánica (MO) | 51 |
| pH | 51 |
| Espacio poroso (E) | 52 |
| Cronología del experimento | 52 |
| Preparación del terreno | 52 |
| Aplicación de tratamientos | 52 |
| Riegos | 53 |

| | |
|--|-----|
| Siembra..... | 53 |
| Fertilización | 53 |
| Labores de cultivo..... | 54 |
| Cosecha..... | 54 |
| RESULTADOS Y DISCUSION..... | 55 |
| Características físicas | 55 |
| Densidad aparente (Da) | 55 |
| Densidad de sólidos (Ds)..... | 59 |
| Estabilidad de agregados | 60 |
| Espacio poroso (E) | 61 |
| Capacidad de campo (CC) | 64 |
| Punto de marchitez permanente (PMP)..... | 67 |
| Conductividad hidráulica (K)..... | 68 |
| Propiedades químicas del suelo | 71 |
| Materia orgánica (MO)..... | 71 |
| Reacción del suelo (pH) | 73 |
| Conductividad eléctrica (CE) | 75 |
| Calcio (Ca)..... | 78 |
| Magnesio (Mg)..... | 80 |
| Hierro (Fe) | 82 |
| Características evaluadas al cultivo de maíz | 85 |
| Días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF)..... | 85 |
| Altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM) | 87 |
| Acame de raíz y tallo (AR y AT)..... | 89 |
| Rendimiento de mazorca (Ren) | 90 |
| CONCLUSIONES..... | 93 |
| RESUMEN | 95 |
| LITERATURA CITADA..... | 97 |
| APENDICE | 102 |

INDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|--------|
| 2.1. Descripción de la estructura del suelo, según el tamaño de los terrones (clase), y de acuerdo con los diferentes tipos de estructura | 8 |
| 2.2. Valores de densidad aparente de varios suelos de diferentes texturas..... | 11 |
| 2.3. Términos usuales para describir los intervalos de pH en los suelos | 17 |
| 2.4. Efecto de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo y la respuesta de los cultivos en general (USSL, 1954) | 18 |
| 2.5. Efecto de los abonos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de diferentes suelos..... | 21 |
| 3.1. Análisis del suelo antes de establecer el experimento..... | 40 |
| 3.2. Datos de análisis de muestra de escoria BOF C2 inerte | 42 |
| 3.3. Tratamientos estudiados en este trabajo | 43 |
| 3.4. Características evaluadas en el suelo y planta, fecha de realización y método utilizado | 49 |
| 4.1. Promedios de densidad aparente (g/cm^3) evaluadas antes de iniciar el experimento, a los 65 y 120 días del cultivo, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 56 |
| 4.2. Promedios de estabilidad de agregados para los tratamientos evaluadas a los 65 y 120 después de la siembra | 61 |
| 4.3. Valores promedios del espacio poroso (%E) evaluadas en el experimento en las etapas de inicio, 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996 | 63 |
| 4.4. Valores promedios de los resultados de capacidad de campo (Pw) evaluados a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 65 |
| 4.5. Valores promedios de conductividad hidráulica (K) en cm/hr evaluados a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 69 |
| 4.6. Promedios de materia orgánica (%) evaluados al inicio, a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 71 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.7. | Valores promedios de pH evaluados al inicio, a los 65 y 120 días después de la siembra en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 74 |
| 4.8. | Valores promedios de conductividad hidráulica (CE dS/m) evaluados al inicio, a los 65 y 120 días después de la siembra en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996 | 76 |
| 4.9. | Valores promedios de calcio (%Ca), evaluados a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996 | 79 |
| 4.10. | Promedios de la concentración de magnesio (%Mg) evaluados al inicio, a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 81 |
| 4.11. | Valores promedios de concentración de hierro (Fe) en mg/kg, evaluados en las etapas de inicio, a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996 | 83 |
| 4.12. | Promedios de días a floración masculina y femenina para los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 85 |
| 4.13. | Promedios de tratamientos para las variables de altura de planta y mazorca en cm evaluadas en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996 | 87 |
| 4.14. | Promedios de tratamientos para variables acame de raíz y tallo (AR y AT en %) evaluadas en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 89 |
| 4.15. | Valores promedios de rendimiento de mazorca (t/ha) de los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996..... | 91 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--------|--|
| 3.1. | Localización geográfica del sitio experimental..... 37 |
| 3.2. | Distribución de los tratamientos en el campo, Saltillo, Coahuila. Ciclo verano-otoño de 1996 44 |
| 4.1. | Respuesta de la Densidad aparente del suelo a la aplicación de materia orgánica. Saltillo, Coahuila. 1996..... 57 |
| 4.2. | Respuesta de la Densidad aparente del suelo a la aplicación de escoria BOF. Saltillo, Coahuila. 1996 57 |
| 4.3. | Respuesta del Espacio poroso del suelo a la aplicación de materia orgánica. Saltillo, Coahuila. 1996..... 62 |
| 4.4. | Respuesta del Espacio poroso del suelo a la aplicación de escoria BOF. Saltillo, Coahuila. 1996 62 |
| 4.5. | Respuesta de la capacidad de campo del suelo a la aplicación de materia orgánica. Saltillo, Coahuila. 1996..... 66 |
| 4.6. | Respuesta de la capacidad de campo del suelo a la aplicación escoria BOF. Saltillo, Coahuila. 1996 66 |
| 4.7. | Respuesta de la conductividad hidráulica del suelo a la aplicación de materia orgánica. Saltillo, Coahuila. 1996 70 |
| 4.8. | Respuesta de la conductividad hidráulica del suelo a la aplicación de escoria BOF. Saltillo, Coahuila. 1996 70 |

INTRODUCCION

El maíz ocupa el tercer lugar entre los cultivos que son fuente de alimento para la población mundial, y es especialmente importante para los habitantes de países en desarrollo. Para ayudar a resolver los problemas mundiales de la alimentación es urgente el mejoramiento de su productividad, sin causar deterioro en las propiedades físicas y químicas del suelo.

La media de la producción nacional en México (2 t/ha aproximadamente) es muy baja en comparación con la obtenida por otros países, esto debido entre otras causas a que más del 60 por ciento de la superficie sembrada a nivel nacional con este cereal se desarrolla bajo condiciones de temporal.

Sin duda, existen otros factores que limitan la producción de maíz en México entre los cuales podemos mencionar: falta de uso intensivo de variedades mejoradas con altos potenciales de rendimiento y tolerantes a la escasa precipitación y con mayor precocidad, la mayoría de suelos dedicados para este cultivo, no son apropiados para su producción. Podemos mencionar por ejemplo, suelos con deficiente contenido de materia orgánica, bajas

conductividades hidráulicas, contenidos nutrimentales bajos, etc., siendo estos factores limitantes para la producción de maíz.

Es importante buscar alternativas que vengán a mejorar las producciones de este cultivo, sin que con ello se comprometan las propiedades del suelo. Entre las cuales se menciona a las escorias de Altos Hornos como desecho industrial de uso alternativo para fines agrícolas como mejorador de los suelos calcáreos en sus deficiencias férricas, al igual que ayudar en la aportación de fósforo en la parte nutrimental; mientras que en el aspecto físico del suelo, mejorar propiedades como la densidad aparente, porosidad y otras, debido a la constitución porosa del material. Otro de los materiales que se ha usado como mejorador de suelos es la materia orgánica, la cual además de aportar nutrimentos favorece también la formación de agregados en el suelo por sus agentes cementantes y que junto a la escoria BOF beneficiarán las propiedades de éste.

En base a lo mencionado, se planteó el siguiente trabajo utilizando escoria BOF C2 inerte en combinación con materia orgánica, ya que estos materiales poseen propiedades importantes que benefician las características físicas y químicas en los suelos calcáreos.

Objetivos

- Determinar el efecto de la escoria BOF C2 inerte sobre las propiedades físicas y químicas en suelo calcáreo.
- Medir el efecto de la escoria BOF C2 inerte y materia orgánica sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz.

Hipótesis

- Si se aplica escoria BOF C2 inerte a un suelo calcáreo, se favorecen las propiedades físicas y químicas de éste.
- La aplicación de escoria BOF C2 inerte en combinación con materia orgánica favorecen el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz.

REVISION DE LITERATURA

Suelos

Generalidades

El suelo es un sistema altamente complejo y dinámico, constituido por una capa superficial, relativamente delgada, de material más o menos disperso que se encuentra sobre la litósfera. De este material depende en buena parte el crecimiento de las plantas y la alimentación de los seres vivos que habitamos la superficie terrestre (Narro, 1994).

Así mismo este autor menciona que existen diversos tipos de suelos entre los cuales se encuentran los suelos calcáreos, que representan un porcentaje mayor del 30 por ciento de la superficie de la tierra. Estos suelos se originaron a partir de la intemperización del material secundario de rocas calizas, de donde se derivan los materiales como la calcita en forma de cristales, la dolomita, la anhidrita y otros.

Los suelos constituyen uno de los factores más importantes en el equilibrio global de la biósfera. Hacen posible el crecimiento de las plantas al

suministrarle anclaje, agua y nutrimentos (Porta *et al.*, 1994).

Propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas de los suelos se refieren, en general, a la forma como se siente el suelo, y ejercen influencia directa o indirecta en todas las funciones que éste desempeña en beneficio de las plantas.

Estructura

Esta es una propiedad muy útil pero difícil de poderla distinguir claramente, ya que está asociada con el espacio poroso existente y la organización de los materiales sólidos que tiene el suelo, por lo tanto dice mucho del comportamiento del agua y de las condiciones generales del suelo (Berstch, 1995).

La estructura es una propiedad típicamente edáfica, que de presentarse, permite diferenciar un suelo de un material geológico. Su importancia hace que sea una propiedad morfológica de referencia en los estudios del suelo en campo.

Los granos se unen de forma natural entre sí, para formar unidades secundarias de mayor tamaño, que tienen una persistencia y que se les llama

agregados. Se puede definir la estructura como el ordenamiento de los granos individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio de huecos que llevan asociados, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y materia orgánica (Porta *et al.*, 1994)

Narro (1994), menciona que la estructura del suelo es la manera en que sus partículas primarias (arena, limo y arcilla) están ensambladas formando agregados, es decir, unidades mayores con planos débiles entre sí.

La estructura es una de las características físicas del suelo de mayor importancia agrícola; sin embargo, es una de las menos entendidas, poco descritas y mal manejadas (Narro, 1994).

No existe una clasificación universal de la estructura; sin embargo, ésta puede describirse con base en tres criterios:

- a) Tipo: aspecto o forma de los agregados
- b) Clase: tamaño de los agregados
- c) Categoría: grado de durabilidad o estabilidad de los agregados

De acuerdo con la forma de los agregados, se distinguen dos grandes tipos:

- Estructura amorfa. Su constitución es masiva, compacta, continua o de grano simple.

- Estructura organizada. Las partículas constituyen agregados de forma definida; en este grupo se incluyen los siguientes tipos:
 - a) Laminar. Las partículas se distribuyen a lo largo de un plano, generalmente horizontal.
 - b) Prismoide. Las partículas se agrupan junto de una línea vertical, formando unidades limitadas por superficies verticales, relativamente planas.
 - c) Blocosa. Las partículas están dispuestas alrededor de un punto central y limitadas por superficies planas o algo redondeadas. Este tipo de estructura puede dividirse en dos subtipos: Bloques angulares, donde los terrones están limitados por superficies planas que forman ángulos o bordes más o menos agudos. Bloques subangulares, donde los terrones están limitados por superficies redondeadas.
 - d) Esferoidal. Las partículas se distribuyen alrededor de un punto central y los terrones están limitados por superficies redondeadas o irregulares. Existen dos subtipos: Estructura granular, donde los terrones son pequeños y esferoidales. Estructura migajosa, con terrones porosos, pequeños y esferoidales que no se unen a otros agregados.

Basados en el tamaño de los terrones, se distinguen cinco clases de estructuras; éstas se describen en el cuadro 2.1 (Narro, 1994).

Cuadro 2.1. Descripción de la estructura del suelo, según el tamaño de los terrones (clase), y de acuerdo con los diferentes tipos de estructura*

| Tipo de estructura | Clases | | | | |
|--------------------|----------|---------|---------|----------|------------|
| | muy fina | fina | mediana | gruesa | muy gruesa |
| Laminar | < 1 | 1 - 2 | 2 - 5 | 5 - 10 | > 10 |
| Prismoide | < 10 | 10 - 20 | 20 - 50 | 50 - 100 | > 100 |
| Blocosa | < 5 | 5 - 10 | 10 - 20 | 20 - 50 | > 50 |
| Esferoidal | < 1 | 1 - 2 | 2 - 5 | 5 - 10 | > 10 |

*valores expresados en milímetros.

El grado de categoría de una estructura está determinado por la estabilidad o durabilidad de los agregados y por la facilidad con que pueden separarse. Así pues, teniendo en cuenta la durabilidad de los agregados, se pueden distinguir las siguientes categorías:

- a) Carente de estructura o desarrollada muy pobremente; no existen agregados o terrones.
- b) Débil; la formación de los agregados es imprecisa, por lo que apenas se observan.
- c) Moderada; los agregados se han desarrollado medianamente, son duraderos y se distinguen fácilmente.
- d) Fuerte; los agregados están muy bien formados, que se distinguen con facilidad y son de alta estabilidad.

Se puede decir que existen otras clasificaciones de la estructura y que presentan algunas subdivisiones diferentes a las ya mencionadas o incluyen otros factores. Se pueden mencionar las siguientes clasificaciones según:

- La dureza de los agregados
- El tamaño de poros
- La asociación de agregados

Estabilidad de agregados

La estabilidad estructural es la capacidad de los agregados para conservar su forma cuando se humedecen.

Los agregados resistentes al agua permiten una mayor velocidad de infiltración y son más consistentes ante la erosión. Los agregados no resistentes forman generalmente costras en la superficie del suelo.

La inestabilidad de los agregados se debe principalmente al tipo de arcilla. El pH y la cantidad de calcio del suelo también influyen (Narro, 1994).

Se han realizado estudios tratando de desarrollar metodologías para la reformación de la estabilidad estructural, en donde la naturaleza de los agregados ha sido destruida por resquebrajamiento mecánico, producto del continuo laboreo de los suelos, a través de la incubación con diferentes niveles de materia orgánica (Chaney y Swift, 1986).

Los efectos del contenido de materia orgánica, contenido de agua

sobre la estabilidad de agregados, fueron investigados en dos tipos de suelos, determinándose diferentes niveles de materia orgánica en los períodos estudiados, así como diferencias significativas en la estabilidad de los agregados en el grupo de suelo que tenía un historial de ser arado continuamente (Haynes y Swift, 1989).

Fundamentalmente de la cubierta del suelo son tomados los elementos básicos para la organización de la estructura, que puede tener una secuencia en dividir las partículas o aglomerarlas, dependiendo del manejo que tenga el suelo y presentar una mejor estabilidad de los agregados (Dmitriyev, 1994).

El agua sobre la estabilidad de los agregados en muchos suelos presenta dependencia de la materia orgánica. La macroagregación es controlada principalmente en el suelo, por las raíces de las plantas y la oxidación del carbono orgánico (Tisdale y Nelson, 1982).

La variación estacional en la composición de la solución del suelo en campos de agricultores con micelas calcáreas de suelos Chernozems, fueron separados por centrifugación y a temperatura ambiente. Cerca del 75 por ciento de cationes en la solución del suelo se encontraron asociados; cuando se aplican abonos orgánicos la concentración de aniones orgánicos es alterado, también la concentración de carbono orgánico es triplicado (Rozov y Popova,

1992).

Densidad aparente

La densidad aparente del suelo (D_a) es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que éstos ocupan. El valor varía de menos de 1.0 g/cm^3 en suelos arcillosos, orgánicos y bien estructurados, hasta alrededor de 1.8 g/cm^3 en suelos arenosos compactados. En el cuadro 2.2 se presentan valores de densidad aparente de algunos tipos de suelos (Narro, 1994).

Cuadro 2.2. Valores de la densidad aparente de varios suelos de diferentes texturas

| Clase textural | D_a (g/cm^3) | Clase textural | D_a (g/cm^3) |
|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| Arena | 1.5 - 1.8 | Migajón arcillo-limoso | 1.15 - 1.30 |
| Arena migajón | 1.4 - 1.7 | Arcilla arenoso | 1.1 - 1.25 |
| Migajón arenoso | 1.3 - 1.5 | Arcilla limoso | 1.1 - 1.25 |
| Migajón | 1.2 - 1.4 | Arcilla | 1.05 - 1.2 |
| Migajón limoso | 1.15 - 1.4 | Arcilla en agregados | 0.9 - 1.1 |
| Limo | 1.15 - 1.4 | Arcilla sódica | 1.2 - 1.5 |
| Migajón arcillo-arenoso | 1.15 - 1.3 | Arena compactada | 1.8 - 1.9 |
| Migajón arcilloso | 1.15 - 1.3 | Suelo orgánico | 0.8 - 1.0 |

La densidad aparente tiene interés desde el punto de vista del manejo del suelo, ya que informa sobre la compactación de cada horizonte, y permite inferir las dificultades para la emergencia, el enraizamiento y la circulación del agua y el aire. El conocimiento del valor de la densidad aparente resulta indispensable para referir a un volumen de suelo en campo (Porta *et al.*, 1994).

Porosidad

La porosidad del suelo (E) es el volumen de aire y agua contenido en una unidad de volumen de suelo. Los suelos arcillosos y orgánicos, ricos en coloides, generalmente presentan altos valores de porosidad ($0.6 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$). Los suelos arenosos contienen bajos valores de porosidad, debido a la baja capacidad reactiva de sus partículas; sus valores aproximados son de $0.4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. En suelos compactados se pueden observar valores de porosidad de $0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (Narro, 1994).

El suelo puede dejar pasar agua dado que se trata de un medio poroso, con un sistema de poros interconectados. En campo, raramente se dan unas condiciones de equilibrio en el sistema suelo-agua. El movimiento del agua en forma líquida, en muchos casos, puede explicarse como resultados de diferencias de potencial hidráulico entre distintos puntos (Porta *et al.*, 1994).

Capacidad de campo (CC)

Es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener contra el drenaje por gravedad; generalmente se presenta de dos a cinco días después de un riego pesado o una fuerte lluvia, según sea el retraso mayor de los suelos pesados o arcillosos. Para determinar la capacidad de campo deben tomarse muestras del suelo húmedo cuando se considere contar con las condiciones

apropiadas. El muestreo se debe hacer por capas de suelo. En casos de suelos profundos y homogéneos con horizontes no diferenciados, es conveniente muestrear en capas de 30 cm de espesor y determinar la capacidad de campo de cada capa (Torres, 1995).

El contenido de agua en el suelo después de 48 horas de un riego o de una lluvia abundante. Se trata en cierta medida del contenido máximo de agua que puede retener el suelo cuando la mayoría de los macroporos están ocupados por aire. Por la dificultad de su medida, se estima a partir del valor del contenido de agua que retiene una muestra de suelo en equilibrio con una presión de 33 kPa, en un equipo de placas de presión (Porta *et al.*, 1994)

Punto de marchitamiento permanente (PMP)

El punto de marchitamiento permanente de un suelo es el contenido de humedad de un suelo en el que algunas plantas indicadoras, se marchitan y no se recuperan al trasladarse a una cámara húmeda (100 por ciento de humedad relativa). Para fines prácticos se puede tomar en función de la capacidad de campo y la textura del suelo: para suelos pesados o arcillosos el valor del PMP es igual al valor de la capacidad de campo entre dos, los suelos medios presentan valores de PMP que corresponden a su capacidad de campo entre 2.1, y en los suelos ligeros o arenosos el PMP se estima al dividir su capacidad de campo entre 2.2 (Torres, 1995).

El contenido de agua por debajo del cual las plantas mesofíticas no son capaces de extraer agua del suelo. Viene a corresponder al límite inferior del agua retenida por fuerzas capilares absorbible por las raíces. Se estima como el contenido de agua que retiene una muestra de suelo equilibrada con una presión de 1500 kPa en un equipo de placas de presión (Porta *et al.*, 1994)

Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica del suelo es requerida para las diferentes texturas del suelo, además de las áreas cercanas al área con problemas de drenaje. La carga por la conductividad hidráulica del suelo desde la capa impermeable hasta la máxima altura permisible del manto freático es utilizada en la ecuación entre los espaciamiento de los drenes (ASAE, 1995).

La conductividad hidráulica también denominada permeabilidad por algunos autores es tal vez la propiedad más importante del suelo en relación con su drenaje, ya que de ella depende en gran parte el movimiento del agua en el suelo. La permeabilidad es propiedad muy importante porque engloba el conjunto de las propiedades del suelo transmisoras del agua; depende del número y diámetro de los poros. Se puede considerar como la velocidad con que circularía el agua en el suelo si el gradiente hidráulico fuese la unidad.

La permeabilidad se define por la fórmula $v = K \cdot i$, donde: i es

independiente del tipo de suelo y K es la conductividad hidráulica. Los valores de K se pueden clasificar de la forma siguiente (Pizarro, 1985).

| clase | K (m/ día) |
|----------|------------|
| Muy baja | < 0.05 |
| Baja | 0.05 - 0.3 |
| Media | 0.3 - 1 |
| Alta | 1 - 5 |
| Muy alta | > 5 |

Propiedades químicas del suelo.

pH.

Se ha estimado, en base al mapa de unidades de suelo de la República Mexicana, que los suelos salinos de México constituyen un buen porcentaje del territorio nacional. Los suelos considerados se ubican principalmente en el norte de la República, comprendidos en los estados de Coahuila, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas y Sinaloa. En el estado de Coahuila existen 470 000 hectáreas de tierras de labor con suelos alcalinos con un pH superior a 7.5

Generalmente, los suelos ácidos proporcionan micronutrientes suficientes y hasta cantidades tóxicas a los cultivos y a los animales que se alimentan de ellos.

El valor del pH del suelo indica la magnitud de la acidez activa, esto

es, la concentración de H^+ en la solución en equilibrio con la fase sólida del suelo, pero no constituye una medida de la acidez potencial la cual podría tener una magnitud muy diversa para cualquier valor dado de pH. Por esta razón el pH del suelo por sí mismo, no proporciona suficiente información.

El pobre crecimiento de los cultivos en suelos ácidos no se debe significativamente a la alta concentración de H^+ , a menos que el valor de pH sea inferior a 4.0. Más bien, los efectos detrimentales de la acidez del suelo son de tipo indirecto y se deben principalmente: alta concentración de aluminio intercambiable o en solución, retención de fósforo, exceso de manganeso en solución, deficiencia de calcio, magnesio o molibdeno, reducida actividad microbológica y reducida capacidad de intercambio catiónico (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, 1987).

El pH del suelo depende de varios factores: la estación del año, las prácticas de cultivo, el horizonte muestreado, el contenido hídrico en el momento del muestreo, la técnica para determinar el pH, incluyendo los factores que intervienen para la formación del suelo.

Los procesos de lavado eliminan bases del suelo y por lo tanto, tienden a provocar, con el tiempo, un descenso de pH. Este proceso es importante en los suelos jóvenes, perdiendo influencia en los seniles, donde los procesos meteorizantes han eliminado la mayor parte de las arcillas de

estructura 2:1. Los fertilizantes que contienen azufre o nitrógeno acidifican el suelo, y producen, en pocos años, efectos apreciables. En el cuadro 2.3 se muestra una evaluación de pH en términos descriptivos (Cepeda, 1991).

Cuadro 2.3. Términos usuales para describir los intervalos de pH en los suelos.

| Acidez o alcalinidad | pH del suelo. |
|------------------------|---------------|
| Excesivamente ácido | < 4 |
| Fuertemente ácido | 4 - 5 |
| Moderadamente ácido | 5 - 6 |
| Ligeramente ácido | 6 - 6.5 |
| Neutro | 6.5 - 7.5 |
| Ligeramente alcalino | 8 - 9 |
| Fuertemente alcalino | 9 - 10 |
| Excesivamente alcalino | > 10 |

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe) ha sido durante mucho tiempo uno de los índices útiles más difundidos para evaluar la concentración salina a nivel de laboratorio; dicho índice tiene utilidad práctica en (a) obtención de la salinidad promedio del perfil del suelo, (b) detectar y delimitar afloramientos salinos, (c) estimar la tolerancia de los cultivos a la sales, (d) estimar el potencial osmótico de las soluciones de suelo y (e) verificar la veracidad de los análisis. Evidentemente una de las más importantes aplicaciones de esta determinación es la selección de cultivos tolerantes en función del nivel de la salinidad del suelo expresada en CEe. Una de las clasificaciones más generalizadas de los suelos en función a su CEe es la del USSL que se presenta en el cuadro 2.4 (Sociedad Mexicana de la Ciencia del

Suelo, 1987).

Cuadro 2.4. Efecto de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo y la respuesta de los cultivos en general (USSS, 1954).

| CEe dS/m | Efecto sobre los cultivos |
|----------|---|
| 0 - 2 | Efectos despreciables de la salinidad |
| 2 - 4 | Los rendimientos de los cultivos muy sensibles pueden ser restringidos. |
| 4 - 8 | Los rendimientos de muchos cultivos son restringidos. |
| 8 - 16 | Sólo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente |
| > 16 | Muy pocos cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente |

Al interpretar los resultados de las determinaciones de conductancia eléctrica debe tenerse en cuenta que la conductividad de una solución depende del número de iones que contiene. A medida que la concentración iónica disminuye, la conductividad eléctrica es menor. Las conductividades bajas son evidencia que la velocidad de movimiento de elementos nutritivos es baja o de que algunos de ellos están totalmente ausentes (López y López, 1990).

Más recientemente, la salinidad se ha medido en términos de la conductividad eléctrica de la solución. La medición de la conductividad eléctrica es más rápida y precisa para la mayoría de los fines (Bohn *et al.*, 1993).

Materia orgánica

Según Porta *et al.*, (1994), en suelos agrícolas a veces no se valora suficientemente el papel de la materia orgánica, por considerar que los

fertilizantes pueden desempeñar su papel, lo que es parcialmente cierto. Dentro de la materia orgánica se incluye: materia orgánica no humificada (biomasa vegetal y animal, biomasa microbiana) y humus (sustancias no húmicas y sustancias húmicas). La importancia que se le reconoce son formación y estabilización de agregados, adsorción e intercambio iónico, suministro de energía y nutrimentos, capacidad de retención de humedad, diversos procesos edafogénicos y protección contra la degradación del suelo. Los contenidos de materia orgánica oxidable característicos de algunos ecosistemas para el horizonte de superficie son:

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Suelo de pradera | 5 - 8 por ciento |
| Turberas (histosoles) | > 40 por ciento |
| Suelos de secano semiáridos | 1 - 2 por ciento |
| Suelos de regadío | 2 - 4 por ciento |
| Suelos de zona templada húmeda | 6 - 8 por ciento |

Los suelos varían grandemente en su contenido de materia orgánica. Un suelo típico de las praderas puede contener del 5 al 6 por ciento de materia orgánica por unidad de masa en su superficie, en los primeros 15 cm de profundidad, un suelo desértico arenoso puede contener menos del 1 por ciento. Los suelos con drenaje insuficiente tienen contenidos mayores del 10 por ciento; algunos suelos turbosos se aproximan al 100 por ciento. A pesar del bajo contenido de materia orgánica de la mayoría de los suelos el comportamiento coloidal de la fracción orgánica ejerce una enorme influencia

en las propiedades físicas y químicas del suelo (Bohn *et al.*, 1993).

Los principales elementos de constitución que posee la materia orgánica son el carbono, el oxígeno y el nitrógeno. El suelo físicamente está constituido por una parte mineral y otra orgánica; la primera proviene de la génesis propia de la roca madre. La parte orgánica proviene de los distintos desechos de los organismos vivos que son transformados por los microorganismos que posee naturalmente el suelo.

La mineralización es una descomposición rápida de los residuos orgánicos, convirtiéndose en compuestos minerales que poseen una formación química más simple como bióxido de carbono, agua, amoníaco, fosfatos, sulfatos, etc., (Rodríguez, 1982).

Clásicamente se ha señalado que los principales beneficios de los abonos orgánicos sobre el suelo son de tipo físico. Aunque no existe una cuantificación abundante de los fenómenos, podría decirse que es un criterio mundialmente aceptado. Resultados de efectos de abonos orgánicos sobre las propiedades físicas en diferentes tipos de suelos se presentan en el cuadro 2.5 (Bertsch, 1995).

Cuadro 2.5. Efecto de los abonos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de diferentes suelos.

| Suelo | Estiércol aplicado (t/ha/año) | pH | CO (%) | Agregados estables (%) | Da (g/cm ³) | K (cm/h) | Agua útil (%) |
|----------|-------------------------------|-----|--------|------------------------|-------------------------|----------|---------------|
| Aluvial | 0 | 7.8 | 0.6 | 26 | 1.47 | 0.43 | 28 |
| | 74 | 7.5 | 2.9 | 56 | 1.29 | 0.47 | 37 |
| Vertisol | 0 | 8.2 | 0.5 | 22 | 1.26 | 0.06 | 29 |
| | 45 | 8.0 | 0.6 | 33 | 1.18 | 0.10 | 31 |
| Rojo | 0 | 5.8 | 0.6 | 29 | 1.37 | 0.33 | 21 |
| | 9 | 5.7 | 0.7 | 33 | 1.30 | 0.50 | 23 |
| Oxisol | 0 | 4.8 | 0.3 | 22 | 1.53 | 1.58 | 13 |
| | 9 | 5.5 | 0.5 | 24 | 1.31 | 2.16 | 14 |

Escorias de Altos Hornos

Generalidades

Diversos tipos de material son clasificados como escorias, tres de las cuales tienen importancia agrícola.

Escorias de altos hornos. La escoria de altos hornos es un subproducto de la fabricación del hierro en lingotes. En la reducción del hierro el carbonato cálcico de la carga pierde su bióxido de carbono y el óxido cálcico se combina con la sílice molida para formar un residuo el cual es enfriado al aire libre o ahogado en agua.

Escorias básicas. Un segundo tipo de escorias es conocido como

básico o residuo de Thomas. Este residuo es un subproducto del método básico de horno abierto para hacer acero a partir de hierro en lingotes, que a su vez es producido a partir de gangas de hierro ricas en fósforo. Las impurezas en el hierro, incluyendo sílice y fósforo son fundidas con cal y llevadas al exterior, como escorias.

Escorias de horno eléctrico. Un tercer tipo de residuo resulta de la reducción de la roca fosfórica en un horno eléctrico en la preparación del fósforo elemental. El residuo se forma cuando la sílice y el óxido de calcio funden, y el producto se cree que es sobre todo silicato cálcico (Tisdale y Nelson, 1982).

Las escorias básicas son un subproducto de la industria siderúrgica, pero como consecuencia de los cambios que se han producido en la tecnología y en los materiales que se utilizan, las cantidades disponibles de escorias ricas en fosfato han disminuido rápidamente en muchas partes del mundo. Durante la fabricación del acero, los elementos no ferrosos, incluido el fósforo, se separan en forma de escoria junto a los residuos de la cal que se adiciona durante el proceso. El contenido en fósforo de la escoria puede ser de 8 al 18 por ciento de P_2O_5 , y la escoria también posee un valor alcalinizador. La escoria básica contiene fosfato insoluble en agua, pero soluble en ácido cítrico, en forma de silicofosfatos cálcicos; es inestable y se hace disponible con lentitud, particularmente en los suelos ácidos; también suministra el fósforo asimilable

en suelos neutrales y ligeramente ácidos.

La escoria básica debe pulverizarse para que se produzca la liberación óptima del fósforo a la solución del suelo. No es higroscópica y se almacena bien, pero su aplicación en forma pulverizada levanta mucha polvareda; también puede resultar difícil lograr una aplicación uniforme (FAO, 1984).

Las escorias básicas, escorias de fosforación o escorias Thomas son subproductos de la industria del acero. Se trata de un fertilizante bastante popular en Europa que aplica en las proximidades de las zonas industriales donde se produce, pues su riqueza en fósforo no es muy grande. La proporción de P_2O_5 oscila entre 14 - 18 por ciento en Europa y entre un 8 - 10 por ciento en USA.

Además de su contenido de fosfato, las escorias son valiosas en zonas ácidas, debido a que es al mismo tiempo una enmienda, con un valor neutralizante del 60 al 80 por ciento.

El fosfato en las escorias básicas, es bastante insoluble en agua, por tanto, es esencial aplicarlo en forma muy molida y bien mezclado con el suelo. Nunca se aplicará en bandas. La disponibilidad del fósforo de las escorias para las plantas está relacionada directamente con su superficie específica

(Universidad Politécnica de Madrid, 1985)

La escoria es un subproducto de la industria del acero, que es producida al separar las impurezas del mineral, estas impurezas se hacen más ligeras que el hierro y son expulsadas y puestas fuera como escoria, después se enfrían y toman un aspecto de masa dura y de color café oscuro. Las escorias representan entre el 42 y 56 por ciento del peso de los residuos sólidos generados por la industria siderúrgica. Se considera que la escoria es uno de los fertilizantes fosfatados de acción lenta pero de mayor efectividad (Jiménez, 1992).

Contenidos elevados de carbonato libre en el suelo, calcio extractable y un valor de pH alto, afectan de forma negativa la concentración de hierro, manganeso, cobre y zinc disponible para la planta (Camacho *et al.*, 1992).

Las escorias se presentan bajo el aspecto de un polvo muy pesado, bastante fino, pesando más por unidad de volumen que cualquier otro fertilizante. El contenido mínimo en las escorias de P_2O_5 debe ser por lo menos un 12 por ciento y el 75 por ciento al menos del P_2O_5 debe ser soluble en ácido cítrico al 2 por ciento (Larousse, 1981).

Se han obtenido resultados satisfactorios en cultivos de cereales, en donde se agregaron 6.0 t/ha de escoria a un suelo ácido, además, se encontró

que no solo se neutraliza la acidez, sino que también se suministran al suelo alrededor de 90 kg. de P_2O_5 , los resultados que se obtuvieron mostraron una mínima variación en rendimiento por hectárea, cuando se usó un 100 por ciento de escoria, que cuando se usó 50 por ciento de escoria y 50 por ciento de fertilizante químico (Stievitz, 1982).

Se menciona que las escorias son una mezcla de fosfato tetracálcico y de silicofosfato de calcio con óxidos de hierro, aluminio, silicio, manganeso y otros. Contiene porcentajes variables pero muy importantes de óxidos de calcio (Latta, 1992).

Las escorias tienen suficiente magnesio, por lo que la aplicación de ellas en suelos deficientes en este elemento corrigen dicha deficiencia. Además, se señala que con la aplicación de la escoria en el cultivo de arroz el contenido de SiO_2 se incrementa en la planta (Lee, 1991).

La aplicación de escoria silicato sobre un suelo ácido corrige los problemas de pH y Mn sobre la superficie del suelo pero no tiene efecto sobre las propiedades químicas del subsuelo (Mathews y Joost, 1990).

Con la aplicación de escoria, el contenido de manganeso en la materia seca del cultivo de cebada se incrementó de 87 a 385 ppm comparada con otros tratamientos que no contenían escoria, dando desde 27 a 185 ppm

del mencionado elemento, también menciona que la aplicación de escoria tuvo buena respuesta al rendimiento de la cebada (Simian, 1984).

Las escorias contienen macroelementos como calcio, magnesio y azufre, y oligoelementos como hierro, manganeso y boro, que se incorporan al suelo como una porción del sustrato. Presentan algunas propiedades físicas favorables tales como porosidad y capacidad de retención de agua, que ayudan a la incorporación de los elementos nutritivos tanto al suelo como a las plantas (Jiménez, 1992).

En un experimento en el cultivo del cilantro bajo condiciones de invernadero, se evaluó escoria y cenizas de carbón, encontrándose que la aplicación de escorias generó un aumento paulatino en el contenido de pH, en la capacidad de intercambio catiónico y un aumento en la retención de humedad a capacidad de campo en un suelo alcalino (Bedoy, 1996).

Las escorias básicas se pueden emplear como fertilizante fosfatado, solo si sus partículas son molidas hasta reducirlas a polvos, de tal forma que el 80 por ciento de las mismas pueden pasar por una criba de malla 100. El uso de la escoria es muy popular en Europa sobre todo en las regiones cercanas a las siderúrgicas. Italia es uno de los países que de todo el fertilizante fosfatado que utiliza, la escoria ocupa alrededor de un 10 por ciento (Tisdale y Nelson, 1982).

Con la aplicación de escoria se incrementa el potencial interno de la planta, acompañado de un mayor incremento de intercambio catiónico (Ponette, 1991)

Las escorias básicas son denominadas también escorias de Thomas en honor a su descubridor y una de las características más importantes es la fracción asimilable en ácido nítrico, para que el producto tenga mejor productividad debe presentarse finamente triturado y muchas veces se granula, cuando se forman abonos compuestos como escorias Thomas potásicas. Se sabe que estos abonos tienen resultados más lentos en comparación a los fosfatos solubles, la ventaja de la transformación lenta de los fosfatos es que la inmovilización también es lenta (Finck, 1985).

El valor de neutralización de los residuos de altos hornos oscila aproximadamente entre un 75 y un 90 por ciento. Estos residuos usualmente contienen apreciables cantidades de magnesio. Resultados de pruebas de campo indican que cuando se aplican sobre las bases de cantidades equivalentes de calcio y magnesio son tan eficaces sobre la producción de los cultivos como las piedras calizas pulverizadas (Tisdale y Nelson, 1982).

Las escorias son insolubles en agua, pero son solubles en ácidos débiles, por tal razón ponen a disposición el elemento fósforo para las plantas, las escorias también contienen óxidos de calcio y magnesio (Bartolini, 1989).

Los subproductos de la fabricación de acero contienen entre 14 y 22 por ciento de fósforo como P_2O_5 y 45 por ciento de cal, además de contener otros nutrimentos, como magnesio, manganeso, cobre, cobalto, boro, molibdeno y que alrededor del 75 por ciento del fósforo es soluble en citrato de amonio (Papadakis, 1977).

La adición de escorias básicas en tres tipos de suelos en Francia cultivados con pasto rye grass (*Lolium spp*) y tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) con altos contenidos de cadmio y plomo, se encontró que las escorias básicas disminuyeron la disponibilidad de plomo en el suelo. Las escorias son un buen material para corregir problemas de suelos contaminados con plomo (Mench *et al.*, 1994).

La superficie de un suelo fue fertilizado con dos niveles de escoria básica, comida de hueso y roca fosfórica, incubada y analizada 120 días después, se encontró que el fósforo disponible aumentó por 45 días, después bajó. El porcentaje de liberación de fósforo fue, 61 y 59 por ciento para escoria básica, 33 y 50 por ciento para comida de hueso, 32 y 23 para roca fosfórica (Mench *et al.*, 1994)

Se estudiaron seis fuentes de fósforo en dos épocas en Etiopía en los cultivos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y colza (*Brassica napus* L.), se incluyó la escoria básica en los tratamientos y se encontró que el rendimiento y la

adsorción del fósforo por ambos cultivos, también su disponibilidad del elemento fósforo mostraron una marcada respuesta a la aplicación de varias fuentes de fósforo. Una efectividad relativa agronómica más alta para ambos cultivos fue obtenida con el tratamiento que contenía escoria básica. En el cultivo de la colza el contenido de fósforo aumentó en uno por ciento (Bekele y Hoefner, 1993).

Las escorias se menciona que se utilizan en :

- Mezclas con suelos ácidos ricos en materia orgánica, y que al mezclarse con la escoria se eleva el pH de la solución del suelo y por otra parte, el hierro y el manganeso son utilizados por las plantas.
- Las escorias mezcladas con substratos de turba a la que aporta también calcio, magnesio, hierro y manganeso, mejoran las propiedades físicas de la turba rubia, más que todo en lo referente a porosidad y drenaje, además, eleva el pH por medio de un proceso de encalamiento, debido a su contenido de óxido de calcio (Jiménez, 1992).

La asimilación del fósforo que contienen las escorias es bastante comparable a la que tienen los superfosfatos. Es recomendable aplicarlos con anticipación a la siembra en suelos ácidos, también da excelentes resultados en suelos alcalinos. Como la escoria no es ácida, no daña a la semilla cuando son colocadas en el surco (Papadakis, 1977).

Se evaluaron los efectos del carbonato de calcio, escoria básica, óxido de manganeso y fósforo en la nutrición mineral y calidad del cultivo del arroz en un suelo ácido en invernadero, encontrándose que con 25 t/ha de escoria básica incrementó el contenido de proteínas en el grano y nitrógeno en el contenido de la planta, pero se menciona también que la aplicación de estos productos disminuyen la concentración de hierro, magnesio y zinc en los tejidos de la planta (Rahman y Khan, 1991).

Se estudiaron diferentes fuentes de fósforo, incluyéndose un tratamiento con escorias básicas en el cultivo de cebada en un suelo de pH 5.9 en Etiopía, encontrándose que todas las fuentes de fósforo incrementaron el rendimiento y absorción del fósforo, también, aumentó la disponibilidad del elemento en el suelo. Los rendimientos más altos se obtuvieron con el tratamiento que tenía escoria básica (Bekele y Hoefner, 1993).

La distribución de las escorias en el campo es una operación poco atractiva para el agricultor, debido a las columnas de polvo que se levantan con el viento. Las escorias se han tratado de granularlas o compactarlas para evitar dicho problema, esta última se realiza humedeciendo la masa al momento de la aplicación, utilizando una distribuidora centrífuga con brazos oscilatorios, vertiendo al centro de 2 a 3 litros de agua por saco (Gross, 1976).

En un estudio se trabajó con fosfato crudo, superfosfato y escoria

básica en el cultivo de maíz con niveles de 0, 450, 900 y 1350 kg/ha de pentóxido de fósforo y se encontró que de 1986 a 1988 la escoria básica incrementó el rendimiento en un 15 por ciento comparado con los otros tratamientos, debido probablemente al contenido de microelementos, calcio y magnesio. Las escorias incrementaron el pH, el nivel alto de superfosfato duplican la disponibilidad en el suelo (Kovacevic *et al.*, 1992).

Los efectos de la roca fosfórica y escoria básica en las propiedades químicas del suelo y crecimiento de *Brachiaria decumbens* en Venezuela, determinó que la mejor efectividad agronómica relativa se obtuvo con 600 kg/ha de escoria básica. El pH se incrementó de 5.2 a 6.2, la disponibilidad de fósforo y calcio también fue incrementada en el suelo (Casanova *et al.*, 1993).

La aplicación de escoria básica en proporciones de 6, 12, 18 t/ha sobre el cultivo del arroz incrementó la asimilación de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y zinc, además, disminuye la asimilación de hierro, manganeso y azufre. Las dosis mayores de escoria (12 y 18 t/ha) no tienen un beneficio significativo sobre las dosis más bajas (6 t/ha) en el cultivo del arroz (Casanova *et al.*, 1993)

La relación de la disponibilidad del fósforo en fosfatos insolubles (escoria básica y roca fosfórica) durante la humificación del cultivo de trébol en un suelo aluvial arcilloso de pH 7.9 fue estudiada con un contenido de 60 por

ciento de agua y a 20°C y se encontró que el contenido de fósforo en sus dos formas en las sustancias húmicas fue más alto con la escoria básica que con la roca fosfórica (Khalil y El-shinnawi, 1989).

Debido a la insolubilidad de las escorias en el agua se deben moler finamente para que el fosfato pueda disolverse en la humedad del suelo. Las escorias son insolubles en agua, siendo solubles en ácidos débiles. Las escorias son un excelente abono fosfatado en un suelo ácido en los que se ha utilizado casi exclusivamente, pero también ha dado buenos resultados en suelos alcalinos, aunque en ellos su eficacia es un poco menor. Para que las escorias sean mejor aprovechadas es necesario que sus partículas estén muy cerca o en contacto con la raíz, para que los ácidos excretados por éstas contribuyan a aumentar la solubilidad del fósforo (Bartolini, 1989).

Se reporta que la efectividad relativa de la roca fosfórica y escoria básica del fósforo extractable en agua y por el método de Bray 1 bajo dos regímenes de humedad en el oeste de Bengala, encontraron que solo la dosis alta de escoria básica y todas las dosis de superfosfato fueron efectivas en el incremento de fósforo extractable por método de Bray 1 (Basak y Debnath, 1986).

El anhídrido fosfórico de las escorias está contenido en diversos estados de combinación, todos son insolubles en el agua, pero son solubles en

los ácidos débiles y en el citrato de amonio ácido, las escorias constituyen un termino medio entre los abonos fosfatados insolubles y los solubles, explicando así, su efectividad y prolongada acción (Riagau, 1978).

La eficiencia de la roca fosfórica y de escoria básica en el incremento de fósforo disponible en dos suelos ácidos bajo dos regímenes de humedad en incubación, se reporta que la escoria básica fue más eficiente que la roca fosfórica. Además, se reporta que el incremento de fósforo disponible de todos los fertilizantes aplicados fue más efectivo en la estación de invierno que en verano (Debnath y Basak, 1986).

En un experimento de invernadero el rendimiento de grano de trigo y paja fue superior en los suelos con pH 7.2, que en suelos con pH 5.8 a pesar de la aplicación de la escoria (Mortvedt *et al.*, 1986).

Cuando aparecen síntomas visuales de carencia en las plantas es bien frecuente que ya sea demasiado tarde para esperar compensar en su totalidad a través de pulverizaciones foliares, es más conveniente prevenir la carencia aportando al suelo los oligoelementos que son susceptibles, utilizando un material rico en dichos elementos tal como la escoria (Larousse, 1981).

En la industria del fertilizante, las escorias no pueden ser usadas en la manufactura de fertilizantes compuestos. debido a que las escorias contienen

un alto poder de enclamiento, reaccionan con el amonio de la mezcla, causando que el amonio se libere y no es aprovechado (Sauchelli, 1983).

Las escorias pueden mezclarse con fertilizantes tales como cloruros de potasio, sulfatos de potasio y sodio, cianamina de calcio y carbonatos de calcio. También pueden mezclarse con nitrato de calcio y urea pero al momento de ser utilizadas. No se recomienda mezclarlas con sulfato de amonio, nitrato de sodio, sulfato simple o triple, fosfato de amonio (INCA - RURAL, 1983).

Para los fabricantes de la industria siderúrgica, la producción de una escoria de muy buena calidad es de segunda importancia, además, la industria del acero no siempre resultan mejores las escorias producidas. El uso de espato de flúor como mezcla fundente y que es de gran beneficio para la industria del acero, da una escoria de muy baja calidad, pues se forman fluoropatitas y estos compuestos son totalmente insolubles cuando son aplicados al suelo. Se han hecho intentos por aumentar el contenido de P_2O_5 de las escorias agregando roca fosfórica pulverizada ya sea a la carga del horno o al cucharón de escoria, esto todavía no ha sido ampliamente aceptado con excepción de algunos países de Europa, por el temor de perjudicar la producción del acero (Sauchelli, 1986).

Material genético

Berlanga (1994) en un trabajo de investigación, menciona que la variedad Cafime, manifiesta una gran variabilidad genética para rendimiento y demás características agronómicas.

Valerezco (1978) manifiesta que generalmente se acostumbra clasificar las plantas cultivadas como precoces, intermedias y tardías de acuerdo con el número de días que transcurren desde la siembra hasta la floración, sin embargo, la clasificación resultará más adecuada si se consideran los días que transcurren desde la siembra hasta la madurez fisiológica, abarcando así el ciclo vegetativo de las plantas, ya que la floración es únicamente una etapa intermedia.

González (1992) expresa que el mejoramiento genético del maíz tropical hacia un tipo precoz es cada vez más importante, ya que la siembra de estos materiales permite grandes beneficios para el agricultor, como la flexibilidad para la asociación de cultivos y la posibilidad de evitar estreses bióticos y abióticos, sin embargo, los materiales precoces carecen de un buen rendimiento debido a la fuerte correlación positiva entre rendimiento y madurez.

Brauer (1985) menciona que el rendimiento máximo de las plantas depende de varios factores, tales como: su capacidad para un buen

aprovechamiento de agua, energía lumínica, condiciones de suelo y sustancias nutritivas y, en general, todas las condiciones del medio ambiente; pero el medio ecológico está determinado por una serie de condiciones muy variables como las que ocurren en diferentes años en un mismo lugar. Indica también que las plantas pueden reaccionar de manera muy variable a las condiciones ecológicas.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del sitio experimental

La evaluación de la posibilidad de acondicionamiento del suelo con la aplicación de la escoria BOF C2 inerte en este estudio, se realizó en el ciclo agrícola verano-otoño 1996, en el área denominada el bajo, de la Estación Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila, bajo condiciones de riego y temporal. Las coordenadas geográficas de la Estación Experimental son: 25° 22' 41" latitud norte, 101° 00' 00" longitud oeste y una altitud de 1743 msnm. La figura 3.1 muestra la localización del sitio experimental.

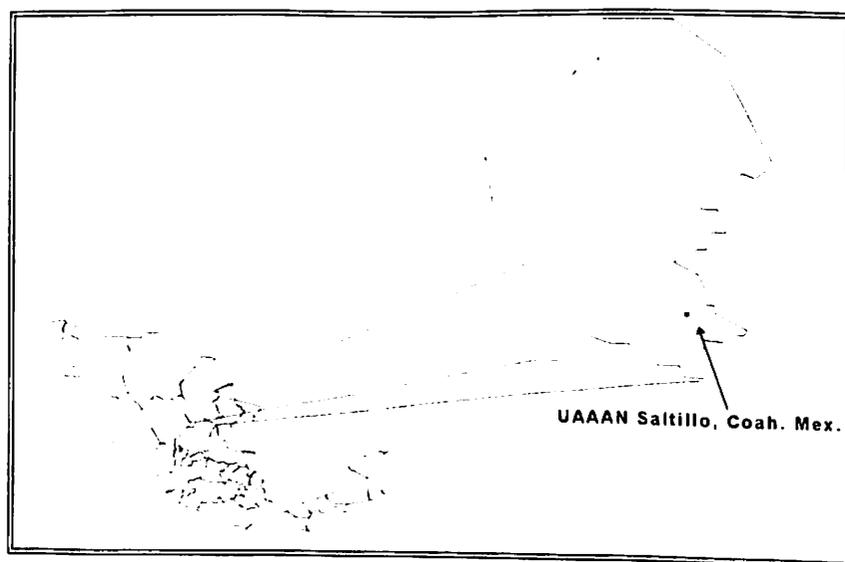


Figura 3.1. Localización geográfica del sitio experimental.

Caracterización del sitio experimental

Clima

De acuerdo al sistema Köppen, modificado por García (1973) para México, la clasificación es: Bse KX' que corresponde a un seco, semitemplado con lluvias escasas en todo el año y con verano cálido.

Precipitación pluvial

La precipitación media anual es de 479.4 mm, muy irregular en época y cantidad, generalmente se presenta entre los meses de junio y octubre, siendo el mes de julio el mes más lluvioso y marzo el mes más seco.

Viento

Los vientos predominantes son del sureste, en casi todo el año, con excepción de invierno donde los del noreste son los predominantes, y se presentan con mayor intensidad en los meses de febrero y marzo.

Temperatura

La temperatura media anual es de 19.8°C, presentándose los descensos más fuertes en el mes de enero que van desde los 2.5°C a los 10°C

bajo cero, y las temperaturas más altas son registradas entre los meses de mayo y agosto encontrándose entre los 25.2°C y los 35°C.

Humedad relativa

Los valores más altos de humedad relativa se presentan durante el período de lluvia, alcanzando ésta hasta un 80 por ciento y en promedio un 30 por ciento en los meses más secos, que es cuando se presenta más baja. El promedio anual es de 60 por ciento.

Evaporación

La evaporación promedio anual varía entre 220 y 250 mm. La mayor evaporación se presenta en verano y finales de primavera, la cual alcanza los 320 mm, la menor evaporación es de 75 mm y se presenta en invierno.

Heladas

Estas se registran en los meses de noviembre a marzo, siendo más intensas durante enero y febrero. El período libre de heladas se presenta de abril a octubre, pudiéndose presentar heladas tardías en estas fechas.

Suelo

El lugar donde se realizó el trabajo de investigación se encuentra localizado dentro de la Universidad. En este sitio se encuentran suelos originados por material aluvial de rocas sedimentarias, dando lugar a suelos calcisol háplico, de textura media con una fase física petrocálcica profunda.

Los análisis de suelo realizados antes de establecer el experimento se presentan en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Análisis del suelo antes de establecer el experimento.

| Característica | Valor | Método utilizado |
|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| % de arena | 39.8 | Bouyoucos |
| % de limo | 23.3 | Bouyoucos |
| % de arcilla | 36.9 | Bouyoucos |
| Textura | Migajón arcilloso | Triángulo de texturas |
| Da (g/cm ³) | 1.38 | Parafina |
| Ds (g/cm ³) | 2.41 | Picnómetro |
| % CO ₃ totales | 55.7 | NaOH 1N |
| % MO | 1.49 | Walkley y Black |
| pH | 8.0 | Potenciómetro |
| CE (dS/m) | 2.25 | Puente Weathstone |
| % Ca soluble | 0.16 | Absorción atómica |
| % Mg soluble | 0.014 | Absorción atómica |
| Fe (mg/kg) soluble | 14.8 | Absorción atómica |

Descripción de materiales

Material genético utilizado

La semilla de maíz utilizada para la siembra fue la variedad Cafime, es una variedad sintética formada a partir de líneas derivadas principalmente del compuesto bolita, con adaptación a zonas de baja precipitación pluvial, a alturas desde 1100 a 1800 msnm y con característica de buena precocidad.

Escoria BOF C2 inerte (Es)

Este material proviene de la industria siderúrgica Altos Hornos de México S.A. (AHMSA), ubicado en la ciudad de Monclova, Coahuila y es un subproducto del proceso de refinación del arrabio de BOF (Horno Básico al Oxígeno). En el cuadro 3.2 se presentan los análisis de la escoria utilizada.

Estiércol

El estiércol utilizado fue de ganado bovino en descomposición, procedente del hato ganadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los niveles aplicados en el suelo fueron de 0, 15 y 30 t/ha. El material fue recolectado y esparcido en las respectivas parcelas inmediatamente después de la preparación del terreno y 30 días antes de la siembra del cultivo.

07428

Cuadro 3.2. Datos de análisis de muestra de escoria BOF C2 inerte

| Parámetro | por ciento |
|--------------------------------|------------|
| Fe | 26.47 |
| CaO | 32.25 |
| SiO ₂ | 9.81 |
| MgO | 8.53 |
| Al ₂ O ₃ | 2.61 |
| Mn | 2.87 |
| FeO | 21.18 |
| TiO ₂ | 0.51 |
| K ₂ O | 0.02 |
| S | 0.11 |
| P | 0.73 |
| pH | 11.8 |
| CE | 9.3 (dS/m) |

Tratamientos

El estudio se realizó en combinación con dos factores, estos factores fueron: escoria BOF C2 inerte (Es) y materia orgánica (MO).

La escoria se utilizó como modificadora de las propiedades físicas y químicas del suelo, aplicándolas al suelo 30 días antes de la siembra del cultivo e inmediatamente después de la preparación del terreno. La escoria al igual que la materia orgánica se aplicó esparcida sobre los surcos sin incorporarla, de tal manera que con la humedad del suelo empezará a ejercer algún tipo de efecto. Se aplicó de esa forma debido a los niveles que se manejaron y para que el agricultor también pueda aplicarlas similarmente sin entrar en otro tipo de actividad, de tal manera, que sólo la esparza en el suelo uniformemente. En

el cuadro 3.3 se encuentran los tratamientos estudiados.

Cuadro 3.3. Tratamientos estudiados en este trabajo.

| Tratamiento | Nivel de MO (t/ha) | Nivel de escoria BOF (t/ha) |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| MO ₁ Es ₁ | 0 | 0 |
| MO ₁ Es ₂ | 0 | 2 |
| MO ₁ Es ₃ | 0 | 4 |
| MO ₁ Es ₄ | 0 | 6 |
| MO ₂ Es ₁ | 15 | 0 |
| MO ₂ Es ₂ | 15 | 2 |
| MO ₂ Es ₃ | 15 | 4 |
| MO ₂ Es ₄ | 15 | 6 |
| MO ₃ Es ₁ | 30 | 0 |
| MO ₃ Es ₂ | 30 | 2 |
| MO ₃ Es ₃ | 30 | 4 |
| MO ₃ Es ₄ | 30 | 6 |

Diseño experimental y distribución de los tratamientos

Se utilizó un diseño de bloques al azar en parcelas divididas con cuatro repeticiones, los tratamientos se obtuvieron de un arreglo factorial 3 x 4, resultando 12 tratamientos, con un total de 48 unidades experimentales. La unidad experimental estuvo constituida de cuatro surcos de cinco metros de largo y separados a 0.8 metros, con una superficie de 16 m². La superficie total del experimento fue de 768 m², además, se sembraron surcos bordo para minimizar el error que se podía tener por competencia de algunos factores. En cada repetición se hizo la aleatorización de los tratamientos resultantes de las combinaciones de tratamientos. En la figura 3.2, se muestra la distribución que tuvieron los tratamientos en el campo.

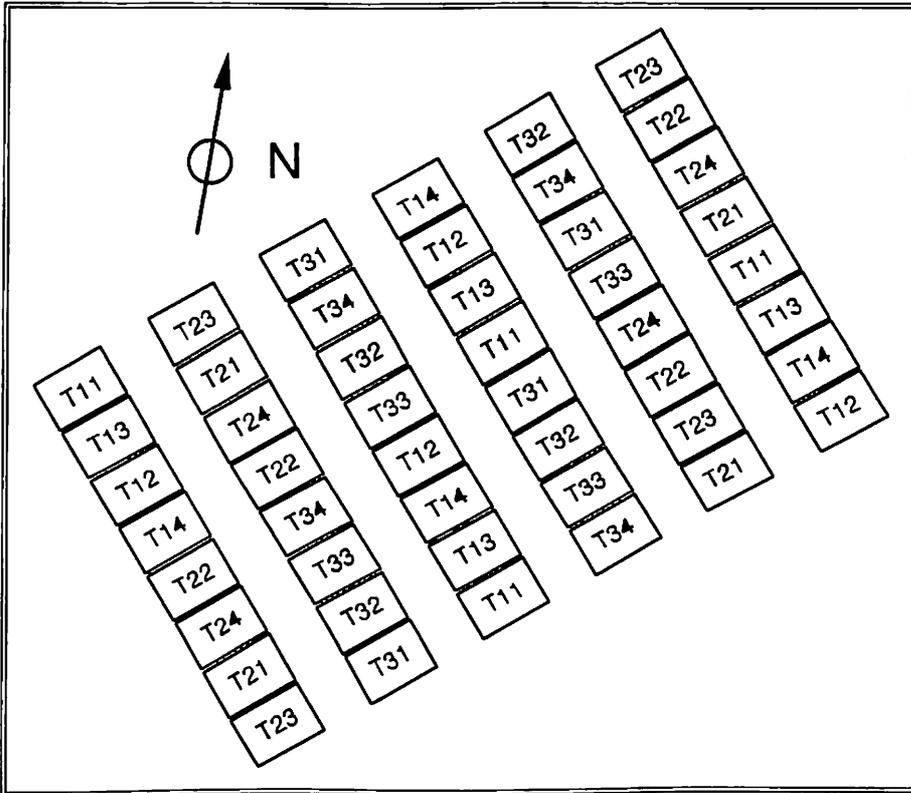


Figura 3.2. Distribución de los tratamientos en el campo, Saltillo, Coahuila. Ciclo verano-otoño de 1996.

Modelo estadístico utilizado

$$y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + n_{ij} + \delta_k + (\tau\delta)_{jk} + e_{ijk}$$

$i = 1, 2, 3, 4$. repeticiones $j = 1, 2, 3$. parcelas grandes (M.O.)

$k = 1, 2, 3, 4$. parcelas pequeñas (Escoria BOF).

Donde μ es un efecto general, β_i el efecto del bloque completo i . τ_j el efecto del tratamiento j sobre la parcela grande (ij), n_{ij} el elemento aleatorio de error sobre la parcela grande (ij), δ_k el efecto del subtratamiento k dentro de la parcela grande (ij), $(\tau\delta)_{jk}$ la interacción entre el tratamiento j y el subtratamiento

k , e_{ijk} el error de la parcela chica (ijk), y Y_{ijk} el valor de la característica en estudio.

Muestreo de unidades experimentales

El muestro de suelo de las unidades experimentales se realizó, a los 65 y 120 días después de la siembra del cultivo de maíz, utilizando para ello una pala, un muestreador de suelo, cinta métrica, bolsas plásticas, viñetas y sacos de polietileno. Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 30 cm, en todas las parcelas experimentales.

Variables experimentales

En planta

Días a floración masculina (DFM)

Se contó el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 por ciento de las espigas estaban derramando polen.

Días a floración femenina (DFF)

Se contó el número de días transcurridos desde la fecha de siembra

hasta que el 50 por ciento de la parcela tenía visiblemente los estigmas receptivos en la flor femenina al polen libre.

Altura de planta (AP)

Se midieron 10 plantas tomadas al azar desde la base de la planta hasta la inserción de la hoja bandera, promediándose y expresándose en centímetros.

Altura de mazorca (AM)

En 10 plantas tomadas al azar, se midió la distancia entre la base de la planta y el nudo de inserción de la mazorca, promediándose y expresándose en centímetros.

Acame de tallo (AT)

Se determinó contando el número de plantas que presentaron tallos quebrados o doblados por debajo de la mazorca principal, antes de la cosecha, los datos se transformaron a porcentaje en base a las plantas cosechadas.

Acame de raíz (AR)

Se determinó contando el número de plantas que presentaron tallos inclinados (30° con respecto al eje vertical) a partir de la base de la planta, se expresó en porcentaje de acuerdo a las plantas cosechadas en cada parcela.

Mazorcas podridas (MP)

Se contó el número de mazorcas cosechadas que presentaban un 10 por ciento o más de granos afectados por el efecto de algún patógeno como *Penicillium*, *Carbón*, *Fusarium spp*, etc., y se estimó en porcentaje en relación a las mazorcas cosechadas.

Peso de campo (PC)

Es el peso total de mazorcas cosechadas por parcela con el contenido de humedad existente en ese momento expresado en kilogramos.

Contenido de humedad (CH)

Fue tomado de una muestra de las mazorcas cosechadas y se determinó su contenido de humedad por medio de un determinador portátil manual.

Rendimiento (Ren)

Para obtener el rendimiento de grano en t/ha, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Ren} = \frac{\text{PC}}{\text{NoP}} \times \frac{(100 - \%CH)}{100} \times \frac{60000}{0.845 \times 1000} \times 0.8$$

Donde:

Ren = rendimiento en t/ha

PC = peso de campo en kg

No P = número de plantas

CH = contenido de humedad en campo

En suelo

Todas las determinaciones realizadas en el suelo se detallan en el Cuadro 3.4, se menciona también, las técnicas utilizadas y la fecha de muestreo.

Cuadro 3.4. Características evaluadas en el suelo y planta, fecha de realización y método utilizado.

| Parámetro | Unidades | Días después de siembra | Método utilizado |
|--------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Da | g/cm ³ | 65 y 120 | probeta |
| Ds | g/cm ³ | 65 y 120 | picnómetro |
| E | % | 65 y 120 | cálculo |
| CC y PMP | % | 65 y 120 | ollas de presión |
| K | cm/h | 65 y 120 | permeámetro de carga constante |
| Estabilidad de agregados | | 65 y 120 | agua dinámica |
| MO | % | 65 y 120 | Walkley y Black |
| pH | 1:2 (agua) | 65 y 120 | potenciómetro |
| CE | dS/m | 65 y 120 | puente Weathstone |
| Ca | % | 65 y 120 | absorción atómica |
| Mg | % | 65 y 120 | absorción atómica |
| Fe | mg/kg | 65 y 120 | absorción atómica |

Estructura

Esta propiedad del suelo se analizó a cada muestra extraída de cada tratamiento, para lo cual se tenían tres terrones, sobre los cuales se hizo el análisis.

Dentro de la estructura se midió la estabilidad estructural, utilizando la técnica del agua dinámica.

Densidad aparente (Da)

Para analizar esta variable se obtuvieron muestras de suelo de cada

parcela chica y se analizaron en el laboratorio, empleando la técnica de la probeta.

$D_a \text{ (g/cm}^3\text{)} = m_s/v_t$, en donde:

m_s = masa de sólidos

v_t = volumen total de suelo

Densidad de sólidos (D_s)

Se analizó en el laboratorio, cada muestra de suelo proveniente de cada tratamiento del experimento, utilizando la técnica del picnómetro.

$D_s \text{ (g/cm}^3\text{)} = m_s/v_s$, en donde:

m_s = masa de sólidos

v_s = volumen de sólidos

Capacidad de campo (CC)

Esta variable fue evaluada a todas las muestras del experimento, por la técnica de las ollas de presión a -0.3 bares en el laboratorio.

Punto de marchitamiento permanente (PMP)

Fue analizada al igual que capacidad de campo en las membranas de

presión a -15 bares durante 48 horas a todas las muestras de los diferentes tratamientos. Luego se calculó su contenido de agua en las muestras.

Conductividad hidráulica (K)

Se determinó en el laboratorio a las muestras disturbadas a través de la técnica del permeámetro de carga constante.

Conductividad eléctrica (CE)

Para analizar esta variable, se obtuvieron los extractos de saturación del suelo de cada una de las muestras, para luego obtener el dato en el puente Weathstone.

Contenido de materia orgánica (MO)

Fue determinada por la técnica de Walkley y Black, en el laboratorio, a todas las muestras de suelo de cada tratamiento.

pH

El pH de las muestras de cada tratamiento se determinó a través del potenciómetro en el laboratorio, a los 65 y 120 días después de siembra.

Espacio poroso (E)

El espacio poroso del suelo, de los tratamientos estudiados, fue determinado indirectamente con las variables densidad aparente y densidad de sólidos.

Cronología del experimento

Preparación del terreno

Las labores de preparación del terreno se iniciaron en el mes de marzo de 1996, y consistieron en un barbecho cruzado con arado de disco a una profundidad de aproximadamente 30 cm, con la finalidad de incorporar los residuos de cultivos y malezas del ciclo agrícola anterior y dos pasos de rastra, con la finalidad de proporcionar una buena cama de siembra y para poner a exposición al sol, las plagas que pudieran existir en el suelo.

Aplicación de tratamientos

La aplicación de la escoria BOF C2 inerte y de la materia orgánica, se aplicó, después de realizar los cálculos respectivos para cada tratamiento, en forma superficial, 30 días antes de realizar la siembra del cultivo de maíz. Las unidades experimentales estaban completamente delimitadas al momento de

hacer la aplicación de los tratamientos. Los materiales tanto de escoria como de materia orgánica se pesaron en una báscula para establecer las dosis correspondientes.

Riegos

Se aplicó un riego antes de hacer la aplicación de los tratamientos, como también, antes de la siembra, tanto para lograr una descomposición de los materiales, como para que la emergencia de plantas fuera uniforme y posteriormente se estableció un calendario de riego de tal manera que el cultivo no sufriera estrés hídrico. Los riegos fueron complementados con agua de lluvia ya que al final no se necesitó de muchos de ellos.

Siembra

La siembra se realizó en forma manual el 22 de mayo de 1996. Se sembró a una distancia entre plantas de 20 cm, para obtener una población aproximada de 60 000 plantas por hectárea.

Fertilización

La primera fertilización se realizó ocho días después de la siembra. La dosis utilizada en este trabajo fue de 150-80-50 kg de N-P-K, respectivamente.

En total se hicieron dos aplicaciones de fertilizante.

Las fuentes del material fertilizante utilizado en el experimento fueron:

| | |
|---------------------|---------------------------------------|
| Fórmula | 17 - 17 - 17 |
| Sulfato de amonio | 20.5 % de N |
| Superfosfato simple | 16 % de P ₂ O ₅ |

Labores del cultivo

Labores culturales. Se realizaron dos deshierbes manuales durante el desarrollo del cultivo, se le dio un cultivo con maquinaria a los 18 días después de emergencia, se hicieron tres aplicaciones de insecticidas para el control de plagas, el aporque se hizo a los 38 días después de siembra.

Cosecha

La cosecha se realizó en la segunda semana de octubre de 1996, en forma manual. Se cosecharon 20 plantas por parcela útil, se tomó el contenido de humedad del grano, su peso de campo y mazorcas podridas.

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las características físicas y químicas evaluadas en el suelo, con la finalidad de probar dos de las hipótesis planteadas en este trabajo, las cuales mencionan que: si se aplican escorias BOF C2 inerte al suelo no se afectan las propiedades físicas y químicas de éste, y que la aplicación de escorias BOF C2 inerte con materia orgánica favorecen el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz.

Características físicas

Densidad aparente (Da)

En el cuadro 4.1 se presentan los valores promedio por tratamiento de la densidad aparente en tres mediciones durante el desarrollo del experimento. Los valores de densidad aparente a la floración del cultivo (65 dds) son generalmente inferiores a los obtenidos antes de establecer el experimento, también son menores en comparación al testigo (MO_1Es_1), el valor más bajo lo obtuvo el tratamiento MO_3Es_3 . Los tratamientos aplicados al suelo, en esos

niveles mejoraron dicha propiedad, favoreciendo el desarrollo de agregados, la porosidad y la conductividad hidráulica del suelo. Al final del experimento al momento de la cosecha (120 dds), los valores de la densidad aparente, se mantuvieron unos, mientras que otros presentaron un ligero descenso en comparación con los valores mostrados en la floración (65 dds) y antes de establecer el experimento.

Cuadro 4.1. Promedios de densidad aparente (g/cm^3) evaluadas antes de iniciar el experimento, a los 65 y 120 días del cultivo, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | Inicio | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 1.38 | 1.37 | 1.38 |
| MO ₁ Es ₂ | 1.38 | 1.35 | 1.34 |
| MO ₁ Es ₃ | 1.38 | 1.33 | 1.33 |
| MO ₁ Es ₄ | 1.38 | 1.31 | 1.30 |
| MO ₂ Es ₁ | 1.38 | 1.35 | 1.33 |
| MO ₂ Es ₂ | 1.38 | 1.35 | 1.32 |
| MO ₂ Es ₃ | 1.38 | 1.38 | 1.37 |
| MO ₂ Es ₄ | 1.38 | 1.35 | 1.34 |
| MO ₃ Es ₁ | 1.38 | 1.30 | 1.31 |
| MO ₃ Es ₂ | 1.38 | 1.35 | 1.35 |
| MO ₃ Es ₃ | 1.38 | 1.29 | 1.28 |
| MO ₃ Es ₄ | 1.38 | 1.30 | 1.30 |

En las figuras 4.1 y 4.2 se muestran las respuestas de la Da, a la aplicación de materia orgánica y escoria BOF.

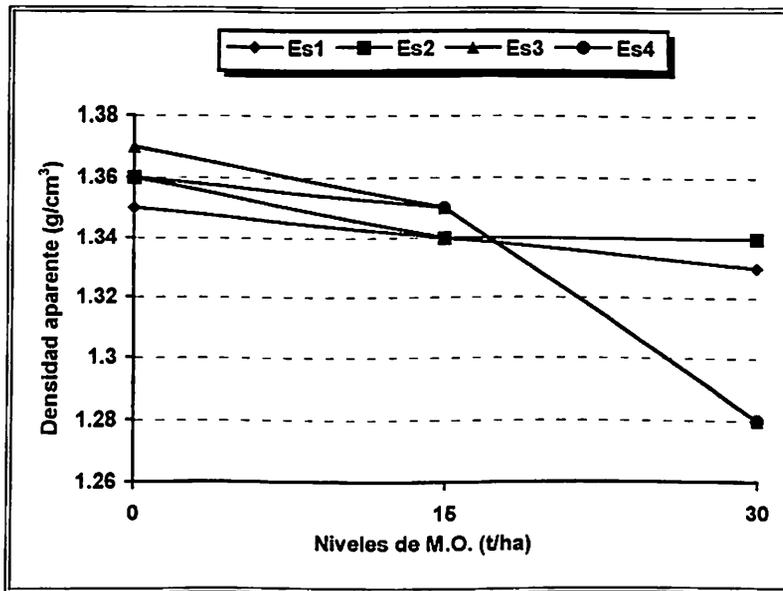


Figura 4.1. Respuesta de la Densidad aparente del suelo a la aplicación de materia orgánica. Saltillo, Coahuila. 1996.

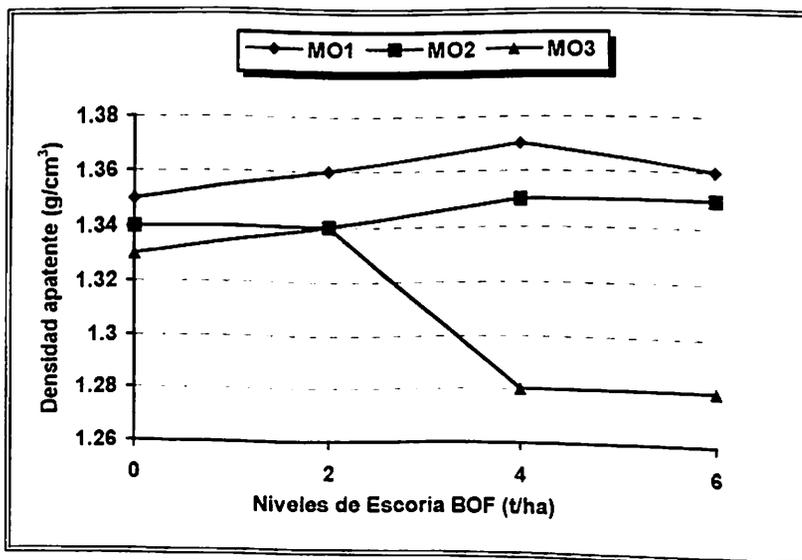


Figura 4.2. Respuesta de la Densidad aparente del suelo a la aplicación de escoria BOF. Saltillo, Coahuila. 1996.

De acuerdo con el ANVA realizado (Cuadros A5 y A6) se encontró que existe diferencia altamente significativa para parcelas grandes (MO), habiendo un efecto de la materia orgánica sobre la densidad aparente del suelo, además, la escoria BOF C2 inerte, también presentó un efecto significativo sobre la densidad aparente del suelo, igual efecto se mostró entre la interacción de la materia orgánica y la escoria BOF C2 inerte, quedando demostrado que ambos materiales ayudan a mejorar esta propiedad física del suelo.

El tratamiento que tenía la mayor cantidad de escoria por hectárea sin adición de materia orgánica, en promedio fue el segundo más bajo en su valor respecto al testigo y los valores iniciales que se habían obtenido del suelo. También, la combinación del tratamiento más alto de la materia orgánica (30 t/ha) en combinación con el tratamiento de escoria (4 t/ha) resultó tener el valor más bajo tanto en la etapa de floración como en la etapa de la cosecha. Esto se debe a que la materia orgánica a través de sus compuestos como ceras, resinas, son fuente importante para la agregación de partículas. La escoria BOF por su parte presenta cierta porosidad, lo cual mejora la densidad aparente.

En relación a esta variable Tarchitzki y Banin, (1993) y Kretzchmar *et al*, (1993) indican que la materia orgánica a través de las sustancias húmicas son fuente importante para la asociación de partículas en el suelo e incrementan la estabilidad coloidal de las arcillas finas.

Narro, (1994) menciona que uno de los efectos importantes de la materia orgánica sobre el suelo es la reducción de la densidad aparente debido a los compuestos como resinas, ceras, etc., que ayudan a la agregación de partículas sueltas.

Como la escoria C2 inerte ayudó a mejorar la densidad aparente, indicada por su significancia estadística, Jiménez, (1992) menciona que las escorias presentan cierta porosidad y capacidad de retención de humedad que ayudan a la agregación de partículas permitiendo un mejor arreglo entre ellas y que es favorable para el suelo.

Los datos encontrados en el presente trabajo coinciden con los presentados por Narro, (1994) para una textura de suelo migajón arcilloso cuyos valores oscilan entre 1.15 a 1.3 g/cm³ de la densidad aparente.

Densidad de sólidos (Ds)

Esta propiedad física del suelo no presentó mayor variación entre los tratamientos, resultando ser no significativa tanto para materia orgánica, escoria BOF C2 inerte y las combinaciones de ellas. En los cuadros (A5 y A6) se muestran los resultados promedios y su significancia estadística.

Los resultados anteriores pueden deberse a que las cantidades aplicadas en los tratamientos no son capaces de modificar dicha propiedad y además, se necesitaría un período muy largo para que esta propiedad sufra cambios. Estos resultados concuerdan con los mencionados por Narro, (1994) en donde menciona que dicha propiedad es difícil modificarla a corto plazo y que a largo plazo se necesitarían fuertes cantidades de materiales para poderla modificar.

Estabilidad de agregados

Los promedios de los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 4.2, en el cual se puede observar que todos los tratamientos evaluados a excepción del testigo tendieron a bajar aunque en valores mínimos. De acuerdo a estos resultados se puede decir que sí existe un ligero efecto entre los tratamientos aplicados al suelo, sin embargo, estadísticamente estas mínimas diferencias no son detectadas.

Los resultados mostrados son apoyados por Narro, (1994) quien menciona que la inestabilidad de los agregados son debido al tipo de arcilla que presenta el suelo, ya que las expandibles forman agregados más inestables, pero también, puede deberse a los cationes asociados con los coloides del suelo. Este tipo de agregados forman costras en la superficie del suelo, impidiendo el paso del agua.

Cuadro 4.2. Promedios de estabilidad de agregados para los tratamientos evaluados a los 65 y 120 días después de la siembra

| Tratamiento | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 3.25 | 3.50 |
| MO ₁ Es ₂ | 3.00 | 2.75 |
| MO ₁ Es ₃ | 2.75 | 2.75 |
| MO ₁ Es ₄ | 2.75 | 3.00 |
| MO ₂ Es ₁ | 3.00 | 3.25 |
| MO ₂ Es ₂ | 2.75 | 3.00 |
| MO ₂ Es ₃ | 3.00 | 2.75 |
| MO ₂ Es ₄ | 3.00 | 2.75 |
| MO ₃ Es ₁ | 2.75 | 2.75 |
| MO ₃ Es ₂ | 2.75 | 3.00 |
| MO ₃ Es ₃ | 2.75 | 2.75 |
| MO ₃ Es ₄ | 2.75 | 3.00 |

Espacio poroso (E)

Se puede decir que esta propiedad es una consecuencia de la densidad aparente y la densidad de sólidos, en la cual observamos que con la aplicación de materia orgánica, el espacio poroso aumenta, esto debido a que los compuestos orgánicos por su acción cementante entre las partículas del suelo dejan mayores espacios libres por donde puede circular el aire mejorando así otras propiedades físicas como estructura y conductividad hidráulica.

La respuesta del espacio poroso a la aplicación de materia orgánica y escoria BOF se presentan en las figuras 4.3 y 4.4.

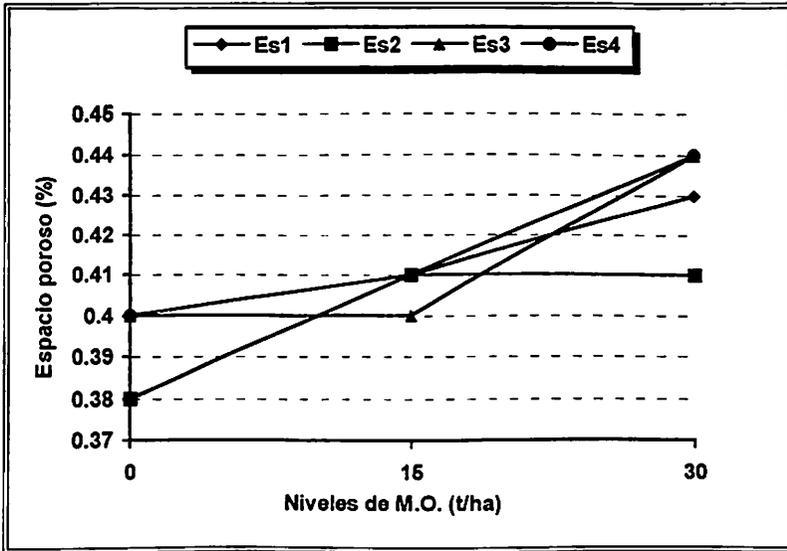


Figura 4.3. Respuesta del Espacio poroso del suelo a la aplicación de materia orgánica. Saltillo, Coahuila, 1996.

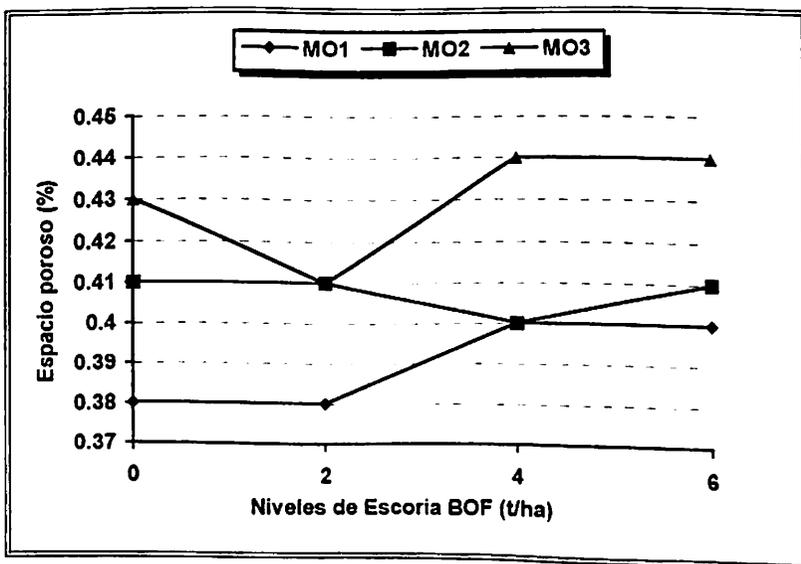


Figura 4.4. Respuesta del Espacio poroso del suelo a la aplicación de escoria BOF. Saltillo, Coahuila, 1996.

Según los análisis de varianza para esta variable, se determinó que existía significancia estadística para la aplicación de la materia orgánica en el suelo en la etapa de floración, mientras que para la etapa de cosecha del cultivo existió diferencia significativa tanto para la materia orgánica como para la interacción materia orgánica y escoria C2 inerte, explicándose que la adición de ambos materiales produjo un efecto importante en la aireación del suelo. En el cuadro 4.3 se muestran las medias de los resultados del espacio poroso para las etapas de floración y cosecha del cultivo de maíz.

Cuadro 4.3. Valores promedios del espacio poroso (% E) evaluadas en el experimento en las etapas de inicio, a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamientos | Inicio | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 0.38 | 0.42 | 0.41 |
| MO ₁ Es ₂ | 0.38 | 0.42 | 0.41 |
| MO ₁ Es ₃ | 0.38 | 0.41 | 0.42 |
| MO ₁ Es ₄ | 0.38 | 0.41 | 0.43 |
| MO ₂ Es ₁ | 0.38 | 0.38 | 0.41 |
| MO ₂ Es ₂ | 0.38 | 0.39 | 0.42 |
| MO ₂ Es ₃ | 0.38 | 0.39 | 0.40 |
| MO ₂ Es ₄ | 0.38 | 0.38 | 0.41 |
| MO ₃ Es ₁ | 0.38 | 0.42 | 0.42 |
| MO ₃ Es ₂ | 0.38 | 0.40 | 0.40 |
| MO ₃ Es ₃ | 0.38 | 0.42 | 0.43 |
| MO ₃ Es ₄ | 0.38 | 0.41 | 0.43 |

Los valores obtenidos de espacio poroso en el experimento están dentro del rango de valores mencionados por Pizarro, (1985) en donde menciona que la porosidad de los suelos minerales está comprendida entre el 25 y un 60 por ciento, aunque normalmente varían entre 40 y 50 por ciento y

que solamente para suelos con altos contenidos de materia orgánica los valores del espacio poroso pueden llegar a ser del 90 por ciento.

Narro, (1994) menciona que para suelos no compactados y de textura migajón arcillosa, los valores del espacio poroso son por arriba de $0.4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, coincidiendo con los valores obtenidos en este estudio, los cuales presentan valores desde 0.39 a $0.43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Capacidad de campo (CC)

Esta propiedad presentó para la etapa de floración (65 dds), diferencia significativa para la materia orgánica y para la escoria BOF C2 inerte la diferencia fue altamente significativa, demostrando que ambos materiales tienen efecto directo en esta propiedad del suelo. Para la etapa de cosecha del cultivo solamente se encontró significancia estadística para los niveles de escoria C2 inerte, dejándose bien claro que las escorias tienen un alto valor para la retención de agua en los suelos. El tratamiento que mejor respondió en la etapa de floración y cosecha del cultivo fue el que tenía 30 y 6 t/ha de materia orgánica y escoria C2 inerte (MO_3Es_4) respectivamente. En el cuadro 4.4 se muestran las medias de los resultados obtenidos para la capacidad de campo (CC) en las etapas de floración y cosecha del cultivo de maíz.

Cuadro 4.4. Valores promedios de los resultados de capacidad de campo (Pw) evaluados a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 18.39 | 19.24 |
| MO ₁ Es ₂ | 19.73 | 19.95 |
| MO ₁ Es ₃ | 20.12 | 20.23 |
| MO ₁ Es ₄ | 20.63 | 20.38 |
| MO ₂ Es ₁ | 18.74 | 19.71 |
| MO ₂ Es ₂ | 19.89 | 19.81 |
| MO ₂ Es ₃ | 20.79 | 19.96 |
| MO ₂ Es ₄ | 20.97 | 20.41 |
| MO ₃ Es ₁ | 19.31 | 19.58 |
| MO ₃ Es ₂ | 20.74 | 20.30 |
| MO ₃ Es ₃ | 21.11 | 20.02 |
| MO ₃ Es ₄ | 22.28 | 20.80 |

Los resultados anteriores coinciden con lo mencionado por Jiménez, (1992) quien menciona que las escorias poseen una gran capacidad de retención de agua mayor que la que posee el suelo y también, Ghauss, (1984) el cual señala que la materia orgánica por medio de sus diferentes componentes tiene la capacidad de absorber y retener el agua mediante los mecanismos de adhesión y cohesión por mucho más tiempo que los constituyentes minerales del suelo.

Las figuras 4.5 y 4.6 muestran la respuesta de la capacidad de campo a la aplicación de materia orgánica y escoria BOF.

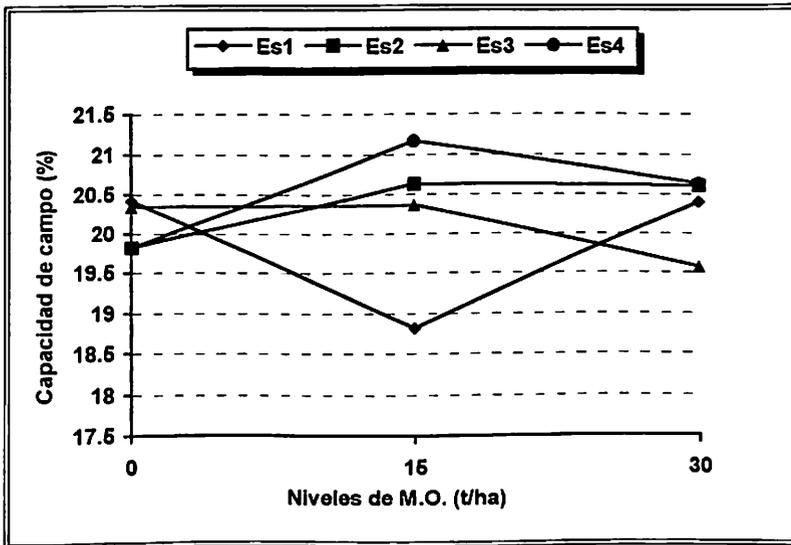


Figura 4.5. Respuesta de la capacidad de campo del suelo a la aplicación de materia orgánica. Saltillo, Coahuila. 1996.

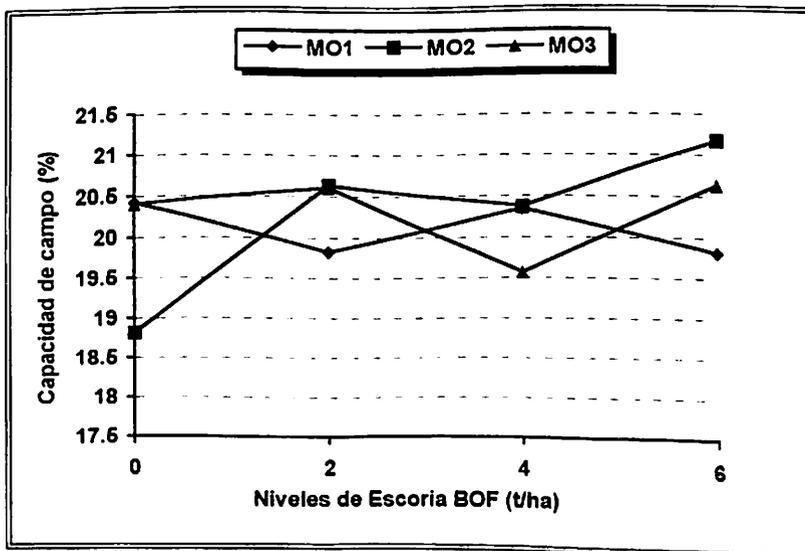


Figura 4.6. Respuesta de la capacidad de campo del suelo a la aplicación de escoria BOF. Saltillo, Coahuila. 1996.

Los resultados obtenidos en esta característica del suelo no coinciden con los valores mencionados por la SARH (1984) donde manifiestan valores de capacidad de campo únicamente para suelos con texturas arenosa, migajón y arcillosa (8, 25 y 45) respectivamente. Es importante mencionar que la capacidad de campo varía en su valor de acuerdo al tipo de estructura, textura, contenido de materia orgánica y otros factores, por lo que no se debe evaluar únicamente por la textura del suelo.

Punto de marchitez permanente (PMP)

Esta constante de humedad presentó diferencia altamente significativa para materia orgánica en la etapa de floración y únicamente significancia para la cosecha del cultivo. Es una de las características físicas que es afectada positivamente en el suelo por la aplicación de materia orgánica, los mejores valores corresponden a los tratamientos que tenían niveles altos de materia orgánica y bajos niveles de escoria C2 inerte.

Esta característica física tiene importancia práctica para los cultivos y que depende del tipo de suelo, suelos desprovistos de materiales orgánicos tienen valores de PMP más cercanos a la capacidad de campo, dejando un margen reducido para el aprovechamiento de agua por las plantas, siendo un problema para la producción de los cultivos y obteniendo rendimientos por debajo del potencial de la variedad o híbrido.

Estos resultados coinciden por los mencionados por Ghauss, (1984) quien menciona que los componentes de la materia orgánica tienen la capacidad de absorber y retener el agua en una magnitud mayor y por un período más prolongado, que los propios constituyentes del suelo.

Los datos encontrados en este trabajo difieren de los mencionados por la SARH, (1984) en donde menciona que el valor de PMP para las texturas arenosas, migajón y arcillosa son de 5, 13 y 23 respectivamente. Estos valores están basados únicamente en el tipo de textura del suelo, olvidando incluir otras características que tienen un papel importante en esta determinación de PMP, como estructura, contenido de sales y otros.

Conductividad hidráulica (K)

Se presentó para esta propiedad física del suelo, una diferencia altamente significativa entre las repeticiones, los niveles de materia orgánica y para la interacción niveles de materia orgánica con niveles de escoria sólo fue significativo. Si se le considera como la facilidad con que circula el agua en el suelo, y que está ligada a otras propiedades físicas, reviste especial interés para drenar excesos de agua dentro del suelo, eliminar sales de las capas superficiales o de la zona radical de los cultivos.

A esta propiedad también se le denomina permeabilidad y es muy

importante por que engloba el conjunto de todas las propiedades del suelo transmisoras de agua y esto depende también, del espacio poroso, de la estructura y de la densidad aparente del suelo. En el cuadro 4.5 se muestran los valores obtenidos para la conductividad hidráulica y las respuestas de la conductividad hidráulica a la aplicación de materia orgánica y escoria BOF se muestran en las figuras 4.7 y 4.8.

Cuadro 4.5. Valores promedios de conductividad hidráulica (K) en cm/hr evaluados a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 0.15 | 0.15 |
| MO ₁ Es ₂ | 0.22 | 0.23 |
| MO ₁ Es ₃ | 0.16 | 0.17 |
| MO ₁ Es ₄ | 0.18 | 0.26 |
| MO ₂ Es ₁ | 0.20 | 0.23 |
| MO ₂ Es ₂ | 0.21 | 0.23 |
| MO ₂ Es ₃ | 0.20 | 0.21 |
| MO ₂ Es ₄ | 0.20 | 0.22 |
| MO ₃ Es ₁ | 0.13 | 0.19 |
| MO ₃ Es ₂ | 0.12 | 0.17 |
| MO ₃ Es ₃ | 0.18 | 0.21 |
| MO ₃ Es ₄ | 0.15 | 0.20 |

Los datos obtenidos coinciden con los reportados por Pizarro, (1985) quien menciona que, con estos valores se clasifica la conductividad hidráulica encontrada como muy baja ya que no excede a los 2 cm/hr. También menciona que las arcillas son generalmente el material menos permeable de los constituyentes del suelo.

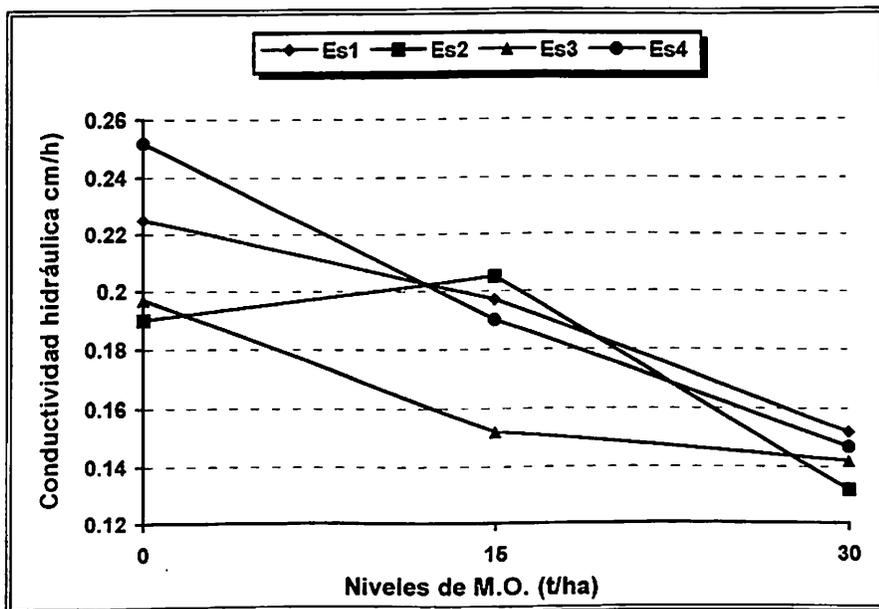


Figura 4.7. Respuesta de la conductividad hidráulica del suelo a la aplicación de materia orgánica. Saltillo, Coahuila. 1996.

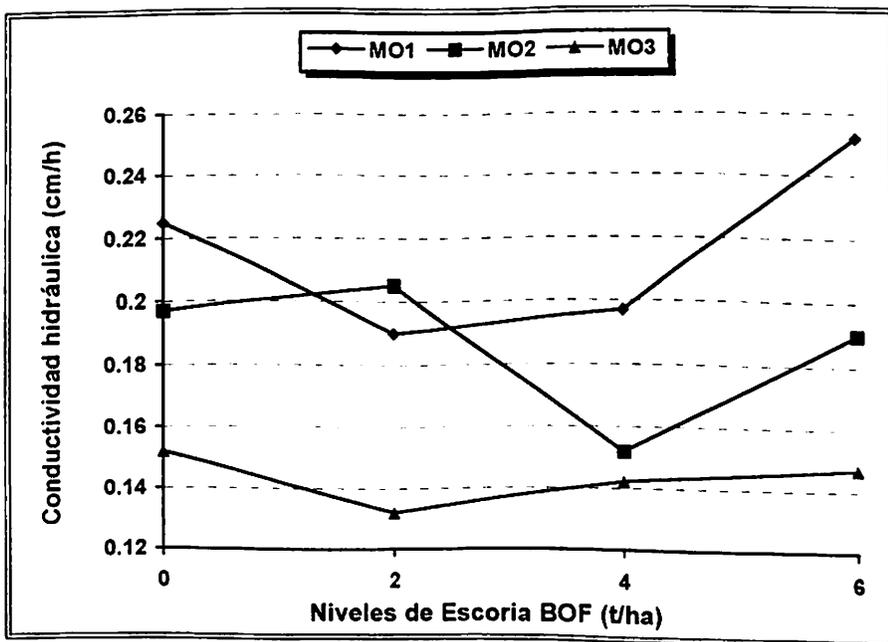


Figura 4.8. Respuesta de la conductividad hidráulica del suelo a la aplicación de escoria BOF. Saltillo, Coahuila. 1996.

Propiedades químicas del suelo

Materia orgánica (MO)

En el Cuadro 4.6 se presentan los valores promedios por tratamiento del contenido de materia orgánica al inicio, floración (65 dds) y cosecha (120 dds) del cultivo, a la floración se observa un contenido mayor en relación al contenido inicial, siendo el tratamiento (MO₁Es₄) el que obtuvo el mayor valor (2.54 por ciento) en comparación al testigo. En este tratamiento, la parcela grande que contenía materia orgánica le correspondió el nivel cero, únicamente tenía el nivel más alto de escoria C2 inerte, esto nos indica que la escoria podría tener dentro de su composición, algún elemento que ayuda a la descomposición de la materia orgánica presente en el suelo de los residuos de cosecha, del ciclo agrícola anterior.

Cuadro 4.6. Promedios de materia orgánica (%) evaluados al inicio, a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | Inicio | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 1.49 | 2.34 | 1.34 |
| MO ₁ Es ₂ | 1.49 | 2.20 | 1.23 |
| MO ₁ Es ₃ | 1.49 | 2.42 | 1.33 |
| MO ₁ Es ₄ | 1.49 | 2.54 | 1.40 |
| MO ₂ Es ₁ | 1.49 | 2.44 | 1.55 |
| MO ₂ Es ₂ | 1.49 | 2.06 | 1.10 |
| MO ₂ Es ₃ | 1.49 | 2.35 | 1.18 |
| MO ₂ Es ₄ | 1.49 | 2.25 | 1.10 |
| MO ₃ Es ₁ | 1.49 | 2.44 | 1.57 |
| MO ₃ Es ₂ | 1.49 | 2.27 | 1.35 |
| MO ₃ Es ₃ | 1.49 | 2.13 | 1.46 |
| MO ₃ Es ₄ | 1.49 | 2.40 | 1.59 |

En la etapa de cosecha los contenidos de materia orgánica presentaron una disminución de más del 50 por ciento en comparación a lo determinado en la etapa de floración, esta disminución obedece a que en forma general los cultivos para poder suplir sus necesidades nutricionales para el llenado de grano extraen mayores cantidades de nutrientes, si el medio que las rodea se los permite, además, el cultivo de maíz tiene una buena capacidad para extraer los nutrimentos del suelo. Los tratamientos que presentaron los niveles más bajos de materia orgánica en la cosecha son el 6 y 8 (MO_2Es_2 y MO_2Es_4) respectivamente.

El análisis de varianza no muestra significancia alguna para materia orgánica, demostrando que las cantidades aplicadas a este tipo de suelo no suministran variaciones considerables en esta propiedad, ya que este suelo por su origen y por el uso continuo es muy bajo en el contenido de materia orgánica.

Los resultados presentados en este trabajo coinciden con los presentados por, (Porta *et al.*, 1994) para los suelos de secano semiáridos, reportando valores para este tipo de suelos en el contenido de materia orgánica de 1 - 2 por ciento.

Vaughan *et al.*, (1981) mencionan en sus resultados que la materia orgánica es el resultado de la degradación química y biológica de residuos de

plantas y animales que influyen en el crecimiento de las plantas. También, Buckman y Brady, (1977) mencionan que la fuente originaria de la materia orgánica del suelo es el tejido vegetal el cual provee grandes cantidades de residuos orgánicos. Además, Narro (1994) menciona que la materia orgánica posee compuestos que ayudan al desarrollo y abundancia de las raíces, las cuales al terminar su ciclo de vida incrementan también el contenido de materia orgánica en el suelo, mejorando el contenido nutricional del mismo.

Reacción del suelo (pH)

En el Cuadro 4.7 se observan los valores promedio por tratamiento del pH del suelo al inicio, floración y cosecha del cultivo. El pH se incrementó ligeramente en ambas etapas del cultivo en comparación con el pH inicial, la mayoría de los tratamientos en la etapa de floración obtuvieron valores menores en comparación al testigo, únicamente los tratamientos 2, 8 y 10 (MO_1Es_2 , MO_2Es_4 y MO_3Es_2) respectivamente presentaron valores menores al testigo y al valor inicial. Para la etapa de cosecha, los valores de pH, se incrementaron en una proporción mínima de alrededor de 0.13 unidades para el tratamiento que obtuvo el mayor valor de pH.

De acuerdo con el análisis de varianza realizado existió diferencia altamente significativa para las repeticiones y para la interacción repetición materia orgánica, dando únicamente significancia al 5 por ciento para los

niveles de escoria aplicados (Cuadro A5 y A6), por lo tanto se detecta que si existe un efecto debido a la aplicación de la escoria sobre la concentración de iones hidrógenos, aunque para la etapa de cosecha no existió significancia alguna dentro de los tratamientos. Estos resultados en cierta medida aceptan que el pH del suelo es afectado por la aplicación de escorias C2 inerte, más sin embargo, dejan bien claro que los incrementos en la concentración de iones hidrógenos en el suelo no es muy alta al utilizar este tipo de escoria BOF.

Cuadro 4.7. Valores promedios de pH evaluados al inicio, a los 65 y 120 días después de la siembra en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | Inicio | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 8.00 | 8.12 | 8.23 |
| MO ₁ Es ₂ | 8.00 | 7.92 | 8.17 |
| MO ₁ Es ₃ | 8.00 | 8.05 | 8.31 |
| MO ₁ Es ₄ | 8.00 | 8.00 | 8.26 |
| MO ₂ Es ₁ | 8.00 | 8.02 | 8.23 |
| MO ₂ Es ₂ | 8.00 | 8.00 | 8.27 |
| MO ₂ Es ₃ | 8.00 | 8.02 | 8.29 |
| MO ₂ Es ₄ | 8.00 | 7.90 | 8.28 |
| MO ₃ Es ₁ | 8.00 | 8.10 | 8.29 |
| MO ₃ Es ₂ | 8.00 | 7.82 | 8.27 |
| MO ₃ Es ₃ | 8.00 | 8.07 | 8.36 |
| MO ₃ Es ₄ | 8.00 | 8.00 | 8.25 |

Stievitz. (1982) menciona que la aplicación de escorias básicas en el suelo tienen una función importante que es el suministro de P con buenos resultados al disminuir el fertilizante fosfatado en un 50 por ciento y además pueden utilizarse en suelos ligeramente salinos. Papadakis, (1977) menciona en relación a la aplicación de escorias en suelos alcalinos, que se han

encontrado excelentes resultados en la producción y rendimiento de los cultivos.

Los valores encontrados de pH en los diferentes tratamientos coinciden con los presentados por Cepeda, (1991) en donde menciona que valores de pH entre 8 - 9 corresponden a un suelo ligeramente alcalino.

Por lo ya mencionado el pH en el suelo se modificaría con niveles más altos por hectárea de escoria, pero de acuerdo con el comportamiento observado, se esperaría que con este tipo de escoria y en suelos ligeramente alcalinos no se incremente en proporciones altas, permitiendo que los cultivos se puedan nutrir sin sufrir la carencia excesiva de otro elemento. Se considera además, que las modificaciones en otras propiedades tanto físicas como químicas del suelo den por consecuencia una amortiguación del pH básico.

La variación obtenida en los valores de pH fluctuó en un rango de 7.82 a 8.36 en la escala de pH, por lo que no representa un fuerte efecto entre los tratamientos.

Conductividad eléctrica (CE)

En el Cuadro 4.8 se observan los valores promedio por tratamiento de la conductividad eléctrica al inicio, floración (65 dds) y cosecha (120 dds) del

cultivo de maíz. En el muestreo de la floración la conductividad eléctrica tendió a disminuir, llegando hasta obtener valores de 1.65 dS/m que correspondió al tratamiento 7 (MO_2Es_3), cuya disminución es de 0.60 dS/m en comparación al valor inicial. En el muestreo a la cosecha del maíz, los valores de la conductividad eléctrica, en general, tendieron a disminuir, siendo el tratamiento 11 (MO_3Es_3) el que presentó el valor más bajo (1.15 dS/m) comparándolos con los valores obtenidos en la floración y el valor inicial. Estos resultados muestran que la aplicación de niveles de materia orgánica como los usados en este trabajo, disminuyen las cantidades de sales existentes en un suelo calcáreo, mejorando así esta propiedad que es muy importante para los cultivos agrícolas, que no toleran niveles muy altos de sales en el suelo.

Cuadro 4.8. Valores promedios de conductividad eléctrica (CE dS/m) evaluadas al inicio, a los 65 y 120 días después de la siembra en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | Inicio | 65 dds | 120 dds |
|-------------|--------|--------|---------|
| MO_1Es_1 | 2.25 | 2.25 | 2.00 |
| MO_1Es_2 | 2.25 | 2.05 | 2.02 |
| MO_1Es_3 | 2.25 | 1.77 | 1.67 |
| MO_1Es_4 | 2.25 | 2.32 | 1.87 |
| MO_2Es_1 | 2.25 | 1.80 | 1.47 |
| MO_2Es_2 | 2.25 | 1.97 | 1.95 |
| MO_2Es_3 | 2.25 | 1.65 | 1.30 |
| MO_2Es_4 | 2.25 | 1.85 | 1.20 |
| MO_3Es_1 | 2.25 | 1.87 | 1.65 |
| MO_3Es_2 | 2.25 | 2.02 | 1.97 |
| MO_3Es_3 | 2.25 | 2.20 | 1.15 |
| MO_3Es_4 | 2.25 | 1.67 | 1.77 |

La disminución de la conductividad eléctrica (CE), puede deberse a que la escoria BOF, por su porosidad, ayude a bajar los contenidos de sales existentes en el suelo, ya que ésta permite mayor paso del agua hacia las capas inferiores del suelo, lixiviando las sales. Además, si se incrementa la porosidad y se disminuye la densidad aparente, el paso del agua es mayor hacia el interior del suelo.

En el análisis estadístico realizado a esta variable, únicamente para las repeticiones y la interacción repetición por materia orgánica resultaron altamente significativa y significativa respectivamente. De acuerdo a este análisis, los niveles de escoria aplicados a los tratamientos no ejercen ninguna acción sobre ellos, por lo que esta propiedad química del suelo no es afectada utilizando niveles de escoria BOF C2 hasta de 6 t/ha.

Los valores encontrados en este trabajo para CE en dS/m, están dentro del rango de valores presentados por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (1987), los cuales corresponden al rango de 2 - 4, en donde los cultivos agrícolas a sembrarse deben ser seleccionados, ya que los rendimientos de cultivos muy sensibles pueden ser restringidos

En base a los resultados anteriores Ortega y Delas, (1988) mencionan que la materia orgánica a través de varios de sus compuestos reducen la salinidad, corroborándose en este trabajo, cuyos resultados también muestran

un descenso en la conductividad eléctrica, estos resultados contradicen a lo expresado por Andrade (1995) y Flores (1996), quienes manifiestan que al aplicar sustancias orgánicas al suelo se incrementa la conductividad eléctrica.

Se puede afirmar que los tratamientos aplicados no presentan dificultad alguna sobre las propiedades del suelo y específicamente en esta característica, ya los datos obtenidos son menores que el valor inicial antes de establecer el experimento.

Calcio (Ca)

Los resultados promedios de calcio soluble, por tratamiento del análisis de suelo a los 65 y 120 días se presentan en el cuadro 4.9. En la etapa de floración (65 dds) se observa una tendencia similar en la mayoría de los tratamientos, siendo 0.15 por ciento el valor más alto que se obtuvo y 0.13 por ciento el valor más bajo, éste último valor corresponde al tratamiento (MO₂Es₁). La diferencia que existe entre los valores iniciales, a los 65 y 120 dds, obedecen en parte a la precisión del método utilizado para su determinación, ya que el calcio presente en las escorias es liberado muy lentamente y poco soluble en agua. Los niveles de escoria BOF C2 inerte y de materia orgánica aplicados a los tratamientos, según el análisis de varianza no presentan efectos significativos sobre el suelo, a pesar que la escoria dentro de sus constituyentes posee un 32.25 por ciento de óxido de calcio total. Podría

decirse que las cantidades utilizadas de escoria en este experimento, no provocan un aumento en el contenido de calcio en el suelo. También, algunos de los componentes de la materia orgánica ayudan a solubilizar el calcio aportado por los niveles de escoria y que el cultivo pueda disponer de dicho elemento sin mayor esfuerzo.

Cuadro 4.9. Valores promedios de calcio (% Ca), evaluados a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | Inicio | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| MO ₁ Es ₂ | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| MO ₁ Es ₃ | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| MO ₁ Es ₄ | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| MO ₂ Es ₁ | 0.16 | 0.13 | 0.14 |
| MO ₂ Es ₂ | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| MO ₂ Es ₃ | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| MO ₂ Es ₄ | 0.16 | 0.14 | 0.15 |
| MO ₃ Es ₁ | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| MO ₃ Es ₂ | 0.16 | 0.15 | 0.13 |
| MO ₃ Es ₃ | 0.16 | 0.14 | 0.14 |
| MO ₃ Es ₄ | 0.16 | 0.15 | 0.14 |

Los resultados encontrados en el presente trabajo no coinciden con Kovacevic *et al.*, (1992) los cuales encontraron que las escorias incrementan el rendimiento debido al contenido de calcio y microelementos, también Casanova *et al.*, (1993) menciona que la escoria básica modifica las propiedades químicas y ponen a disposición el P y Ca. Además, Slack y Morrill (1972) encontraron que el calcio en la nutrición es el mayor factor limitante para la producción de cacahuate (*Arachis hipogea L.*) en muchas regiones del mundo.

Latta, (1992) menciona que los resultados de calcio contenidos en las escorias pueden ser variables pero muy importantes, como los encontrados en este trabajo, ya que el porcentaje obtenido es el elemento disponible para que la planta lo pueda tomar sin esfuerzo.

La mayoría de los trabajos reportados con escorias básicas han sido realizados en suelos de pH ácido, en los cuales se ha aumentado el contenido de calcio, el trabajo que aquí se presenta se realizó en un suelo de pH alcalino, en donde no se modifican los contenidos de calcio en el suelo.

Magnesio (Mg)

En el Cuadro 4.10 se presentan los valores promedio por tratamiento para el magnesio y se aprecia un ligero incremento con respecto al valor inicial reportado antes de establecer los tratamientos, siendo los tratamientos 2 y 5 (MO_1Es_2 y MO_2Es_1) los que obtuvieron los menores valores (0.015 por ciento) para la etapa de floración, mientras que para la etapa de cosecha, hubo otro incremento de la disponibilidad del elemento en todos los tratamientos a excepción del tratamiento testigo (MO_1Es_1) que se mantuvo sin incremento alguno. Al comparar los resultados obtenidos en la etapa de cosecha con la etapa de floración el incremento es de alrededor del 30 por ciento

Cuadro 4.10. Promedios de la concentración de magnesio (% Mg) evaluados al inicio, a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | Inicio | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 0.014 | 0.017 | 0.015 |
| MO ₁ Es ₂ | 0.014 | 0.015 | 0.019 |
| MO ₁ Es ₃ | 0.014 | 0.016 | 0.019 |
| MO ₁ Es ₄ | 0.014 | 0.017 | 0.019 |
| MO ₂ Es ₁ | 0.014 | 0.015 | 0.020 |
| MO ₂ Es ₂ | 0.014 | 0.017 | 0.019 |
| MO ₂ Es ₃ | 0.014 | 0.018 | 0.021 |
| MO ₂ Es ₄ | 0.014 | 0.018 | 0.021 |
| MO ₃ Es ₁ | 0.014 | 0.018 | 0.022 |
| MO ₃ Es ₂ | 0.014 | 0.017 | 0.020 |
| MO ₃ Es ₃ | 0.014 | 0.018 | 0.019 |
| MO ₃ Es ₄ | 0.014 | 0.017 | 0.019 |

El análisis estadístico no reporta significancia para tratamientos, únicamente se tiene significancia al 1 por ciento para los bloques, mostrando con ello que hay un efecto distinto de la disponibilidad del elemento en cada bloque utilizado. Aunque en el ANVA (A5 y A6) no se mostró diferencias para tratamientos, el incremento mostrado de la disponibilidad del elemento obedece a que la materia orgánica dentro de sus componentes posee ciertos elementos que ayudan a solubilizar el magnesio y ponerlo a disposición de las plantas.

Según Mortvedt *et al.*, (1986) señalan que algunos metales naturales o introducidos están en forma no soluble y la materia orgánica a través de sus compuestos tiene una gran capacidad para formar complejos estables con los iones metálicos, además de que actúan como agentes solubilizantes con lo que

se incrementa la disponibilidad de los micronutrientes los cuales pueden ser tomados fácilmente por las plantas.

Con los resultados obtenidos se coincide con Fuentes, (1993) quien menciona que el magnesio se encuentra en el suelo bajo formas insolubles. Las formas insolubles son muy abundantes (silicatos), pero que el paso a formas solubles depende de la acción de agentes atmosféricos y que se verifica muy lentamente. También menciona que la asimilación de magnesio no sólo depende de la cantidad de magnesio soluble, sino también de la abundancia de otros iones que pueden interferir, la asimilación del magnesio. Se conoce que el magnesio es un componente importante en la clorofila y que la reducción de este elemento se traduce en reducciones de la actividad fotosintética.

De acuerdo con Simian, (1984) la aplicación de escorias incrementa el contenido de magnesio en el suelo, coincidiendo con lo encontrado en este estudio, ya que la concentración de magnesio aumentó en las etapas de floración y cosecha del cultivo. Los valores de magnesio determinados son los solubles es decir, los que la planta puede tomar con mucha facilidad.

Hierro (Fe)

Los resultados promedios de los análisis de suelo de las etapas de inicio, floración y cosecha, se muestran en el cuadro 4.11. En este cuadro se

observa que para la etapa de floración (65 dds) la disponibilidad del elemento tendió a bajar o mantenerse en comparación al valor obtenido antes del establecimiento del experimento, similarmente fue el comportamiento del elemento en la etapa de cosecha en la cual la mayoría de los tratamientos mostraron valores por debajo del valor inicial, únicamente el tratamiento (MO₂Es₁) presentó un valor superior al del testigo.

Cuadro 4.11. Valores promedios de la concentración de hierro (Fe) en mg/kg, evaluados en las etapas de inicio, a los 65 y 120 días del cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | Inicio | 65 dds | 120 dds |
|---------------------------------|--------|--------|---------|
| MO ₁ Es ₁ | 14.8 | 13.67 | 15.67 |
| MO ₁ Es ₂ | 14.8 | 10.65 | 14.02 |
| MO ₁ Es ₃ | 14.8 | 11.10 | 12.37 |
| MO ₁ Es ₄ | 14.8 | 14.70 | 13.20 |
| MO ₂ Es ₁ | 14.8 | 12.05 | 16.17 |
| MO ₂ Es ₂ | 14.8 | 9.62 | 14.87 |
| MO ₂ Es ₃ | 14.8 | 14.90 | 15.25 |
| MO ₂ Es ₄ | 14.8 | 16.15 | 13.10 |
| MO ₃ Es ₁ | 14.8 | 14.25 | 9.85 |
| MO ₃ Es ₂ | 14.8 | 12.45 | 12.52 |
| MO ₃ Es ₃ | 14.8 | 11.37 | 13.85 |
| MO ₃ Es ₄ | 14.8 | 9.82 | 11.12 |

Según el análisis estadístico no existió significancia para los tratamientos tanto de materia orgánica como de escoria BOF C2 inerte, sin embargo, hubo significancia estadística al 1 por ciento para los bloques y al 5 por ciento para la interacción materia orgánica por bloque, demostrándose que en cada bloque existen diferentes cantidades disponibles del elemento para las plantas.

Las diferencias observadas en los valores de hierro soluble en las etapas de muestreo en comparación con el valor inicial, pueden deberse al método utilizado, y a la extracción por el cultivo, ya que las escorias aportan lentamente este elemento por su baja solubilidad en agua.

Según Yona y Tsila, (1990) mencionan que los materiales orgánicos incrementan la solubilización de micronutrientes entre ellos el hierro y que es el mayor factor en la promoción del crecimiento de las plantas, lo cual coincide con el presente trabajo. Es importante mencionar que el material genético de maíz utilizado posee un fuerte sistema radical que le permite extraer con mayor facilidad el elemento del suelo. Como al final del experimento se tiene una disminución en la concentración del hierro, Camacho *et al.*, (1992) comentan que los suelos con contenidos elevados de carbonatos afectan negativamente la concentración de hierro disponible. Jiménez, (1992) señala que las escorias contienen macroelementos y oligoelementos como Fe, Mn y B que pueden incorporarse al suelo directamente como parte del sustrato de nutrición.

Según los análisis realizados por Altos Hornos de México (AHMSA) el porcentaje de Fe total en las escorias C2 inerte supera el 26 por ciento, no reportan el porcentaje soluble, sin embargo los resultados encontrados en el presente estudio, demuestran que las cantidades solubles son bajas.

Características evaluadas en el cultivo de maíz

Días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF)

Los resultados promedios de los días a floración masculina de los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 4.12, en el cual se observa una mínima variación entre los tratamientos. Esta característica de la planta fue muy poco modificada ya que los rangos de dicha floración fueron entre los 64 y 66 días después de la siembra

Cuadro 4.12. Promedios de días a floración masculina y femenina para los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | DFM | DFF |
|---------------------------------|-------|-------|
| MO ₁ Es ₁ | 66.75 | 69.75 |
| MO ₁ Es ₂ | 64.50 | 71.75 |
| MO ₁ Es ₃ | 66.75 | 70.25 |
| MO ₁ Es ₄ | 65.50 | 69.00 |
| MO ₂ Es ₁ | 64.75 | 68.00 |
| MO ₂ Es ₂ | 65.25 | 69.25 |
| MO ₂ Es ₃ | 65.25 | 67.75 |
| MO ₂ Es ₄ | 64.25 | 67.50 |
| MO ₃ Es ₁ | 65.50 | 69.25 |
| MO ₃ Es ₂ | 66.25 | 72.50 |
| MO ₃ Es ₃ | 64.75 | 68.25 |
| MO ₃ Es ₄ | 66.50 | 69.50 |

Según el análisis estadístico, esta característica de la planta no mostró significancia entre los tratamientos empleados, dando evidencia que la aplicación de materiales como las escorias C2 inerte, no afectan el desarrollo

de tan importante cualidad en la planta, esto es para los niveles que aquí en este trabajo se han utilizado.

La floración femenina presentó una variación bastante considerable la cual se muestra en el Cuadro 4.10, el cual deja en evidencia que existió diferencias de los tratamientos al momento de salir el estigma en la planta, sus rangos fueron desde los 67 hasta los 72 días después de siembra. Los tratamientos que emitieron estigmas más rápidamente fueron el 7 y 8 (MO_2Es_3 y MO_2Es_4) respectivamente, ambos con 67 días después de siembra, siendo el tratamiento 10 (MO_3Es_2) el que presentó el mayor número de días a la floración femenina.

Las floraciones masculina y femenina en el cultivo de maíz, revisten de gran importancia práctica a nivel de campo de los agricultores, debido a que cuando estas son precoces, se tiene mayor oportunidad de escapar a cualquier fenómeno natural adverso al cultivo. Para que las condiciones del medio favorezcan las floraciones, también es necesario mantener en buenas condiciones las propiedades físicas y químicas del suelo.

Estos resultados coinciden con los mencionados por Berlanga (1994), en donde la precocidad en las plantas, es una característica muy importante para los productores agrícolas, debido a que disminuye el tiempo de estancia en el terreno agrícola, y por consiguiente hace posible una disminución de

agua, insecticidas y prácticas culturales, además de que salva a los cultivos de temporal de las sequías y las heladas existentes en algunas regiones.

Altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM)

Los resultados promedios de altura de planta en cm de los tratamientos se detallan en el Cuadro 4.13 se puede observar que todos los tratamientos superaron al testigo (MO_1Es_1) hasta en un 14 por ciento que correspondió al tratamiento 7 (MO_2Es_3). Al analizar estos datos, se puede decir que los materiales aplicados en los tratamientos aportaron algún tipo de nutrimentos al suelo, en forma soluble para que la planta los pudiera tomar, obteniendo un mejor crecimiento y desarrollo.

Cuadro 4.13. Promedios de tratamientos para las variables altura de planta y mazorca en cm evaluadas en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | A.P. | A.M. |
|-------------|-------|-------|
| MO_1Es_1 | 202.5 | 123.7 |
| MO_1Es_2 | 222.5 | 142.5 |
| MO_1Es_3 | 216.2 | 148.7 |
| MO_1Es_4 | 225.0 | 138.7 |
| MO_2Es_1 | 215.0 | 128.7 |
| MO_2Es_2 | 228.7 | 133.7 |
| MO_2Es_3 | 232.5 | 141.2 |
| MO_2Es_4 | 222.5 | 138.7 |
| MO_3Es_1 | 207.5 | 131.2 |
| MO_3Es_2 | 227.5 | 131.2 |
| MO_3Es_3 | 218.7 | 131.2 |
| MO_3Es_4 | 218.7 | 130.0 |

En el análisis de varianza no se encontró diferencias significativas entre los niveles de materia orgánica ni en los niveles de escoria C2 inerte. Es notable algunas diferencias entre los tratamientos al observar las medias de tratamientos, pero éstas no fueron detectadas por el análisis estadístico.

Para la variable altura de mazorca, la tendencia fue similar a la de altura de planta, encontrándose que todos los tratamientos superaron al testigo hasta en un 21 por ciento, que correspondió al tratamiento 3 (MO_1Es_3). Es importante destacar que esta característica juega un papel importante en regiones donde la cosecha del cultivo se hace mecánicamente o en regiones donde las plantas son dobladas, de tal manera que la mazorca pueda escurrir el agua de lluvia para que ésta no penetre y cause algún daño de pudrición en la mazorca.

Estadísticamente esta característica no obtuvo significancia, pero es notable un pequeño aumento en la mayoría de los tratamientos, por lo tanto, no existe variación en el cultivo sobre esta característica si se aplican escorias C2 inerte como un acondicionador de suelo o como un complemento del fertilizante fosfatado.

Los tratamientos no mostraron gran variabilidad en cuanto a altura de planta y mazorca ya que al observar los valores máximos y mínimos mostrados en el cuadro 4.13 se observa que no existe un buen rango entre tratamientos.

Los coeficientes de variación para ambas variables son bajos y aceptables, ya que en ninguna de las dos variables fue mayor a 10 por ciento, lo que hace confiar en las inferencias realizadas.

Acame de raíz y tallo (AR y AT)

El acame de raíz en los tratamientos fue mínimo, sus valores se pueden observar en el cuadro 4.14 donde ningún tratamiento mostró valores que se pudieran considerar como una característica afectada en la planta. Puede considerarse que dentro de las características de mayor importancia agronómica a evaluar en las variedades de maíz se considera al acame de tallo, ya que de ella depende que se pueda tener mejores rendimientos de grano.

Cuadro 4.14. Promedios de tratamientos para variables acame de raíz y tallo (AR y AT en %), evaluadas en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | A.R. | A.T. |
|---------------------------------|------|------|
| MO ₁ Es ₁ | 1.75 | 0.00 |
| MO ₁ Es ₂ | 1.00 | 0.25 |
| MO ₁ Es ₃ | 2.50 | 0.75 |
| MO ₁ Es ₄ | 2.00 | 0.25 |
| MO ₂ Es ₁ | 2.50 | 0.25 |
| MO ₂ Es ₂ | 1.00 | 0.25 |
| MO ₂ Es ₃ | 3.50 | 0.00 |
| MO ₂ Es ₄ | 1.00 | 0.25 |
| MO ₃ Es ₁ | 2.00 | 0.00 |
| MO ₃ Es ₂ | 1.50 | 0.25 |
| MO ₃ Es ₃ | 1.50 | 1.00 |
| MO ₃ Es ₄ | 0.75 | 0.25 |

En el análisis de varianza, no se tuvo diferencias significativas tanto para niveles de materia orgánica como para niveles de escoria C2 inerte, demostrándose que esta característica de gran importancia agronómica no es afectada con la aplicación de los tratamientos que se utilizaron en este trabajo.

Los valores promedio del acame de tallo se muestran en el Cuadro 4.14 los cuales muestran que esta característica de la planta no se modificó. Es válido mencionar que se evaluó el acame de tallo para ver si la aplicación de los tratamientos causaba un doblamiento de la planta por debajo de la mazorca antes o después de la madurez fisiológica, ya que de existir tal efecto los rendimientos de grano del cultivo tienden a disminuir grandemente.

En el análisis estadístico realizado para esta variable, resultó ser no significativo para niveles de materia orgánica y niveles de escoria C2 inerte, indicando que los tratamientos aplicados no presentan efecto alguno sobre esta característica de la planta.

Rendimiento de mazorca (Ren)

El rendimiento de mazorca para los tratamientos estudiados se observan en el cuadro 4.15, los más altos corresponden a los tratamientos 3, 9 y 10 (MO_1Es_3 , MO_3Es_1 y MO_3Es_2) con valores de 7.02, 7.76 y 7.89 t/ha respectivamente. Es importante mencionar que en toda investigación, se

persigue mantener o aumentar los rendimientos de los cultivos para el mantenimiento de la dieta de la población, en este trabajo el maíz, sin comprometer las propiedades físicas y químicas del suelo.

Cuadro 4.15. Valores promedios de rendimiento de mazorca (t/ha) de los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Tratamiento | Rend. (t/ha) |
|---------------------------------|--------------|
| MO ₁ Es ₁ | 6.36 |
| MO ₁ Es ₂ | 5.93 |
| MO ₁ Es ₃ | 7.02 |
| MO ₁ Es ₄ | 5.59 |
| MO ₂ Es ₁ | 6.68 |
| MO ₂ Es ₂ | 6.21 |
| MO ₂ Es ₃ | 6.66 |
| MO ₂ Es ₄ | 6.10 |
| MO ₃ Es ₁ | 7.76 |
| MO ₃ Es ₂ | 7.89 |
| MO ₃ Es ₃ | 6.64 |
| MO ₃ Es ₄ | 6.09 |

En el análisis de varianza no existieron diferencias estadísticas para los niveles de materia orgánica, ni para los niveles de escoria C2 inerte, significando que la aplicación de los tratamientos no afecta la producción de mazorca en el maíz.

Los valores obtenidos coinciden con los encontrados por Kovacevic *et al.*, (1992) quien menciona que aplicaciones de escoria en dosis de 450, 900 y 1350 kg, se aumentó el rendimiento en un 15 por ciento del cultivo de maíz.

Los datos encontrados coinciden con lo citado por Brauer, (1985) quien menciona que el rendimiento máximo de las plantas depende de factores tales como condiciones del medio ambiente, propiedades de los suelos y de los elementos nutritivos disponibles para la planta. Además, menciona que el medio ecológico está determinado por una serie de condiciones muy variables, como los factores climáticos que son difíciles de controlar por el hombre. Indica también que las plantas pueden reaccionar de manera muy variable a las condiciones ecológicas.

CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio realizado, a las características evaluadas y a los datos obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La incorporación de escorias BOF C2 inerte y de materia orgánica en el suelo, generan cambios benéficos en las características físicas y químicas (Da, CC, PMP, E, K y CE) del mismo.
- Una de las características físicas más afectada por la aplicación de los tratamientos fue la densidad aparente (Da), mostrando una disminución en todos sus valores a partir del testigo, siendo esta reducción favorable para el suelo y para los cultivos agrícolas, debido al mejoramiento de la estructura, porosidad y conductividad hidráulica. El rendimiento numérico también fue aumentado en más del 20 por ciento en comparación con el testigo.
- La aplicación de escorias BOF C2 inerte en combinación con materia orgánica tienen un efecto importante sobre los suelos calcáreos, ya que no aumentan los contenidos de sales, el aumento en la concentración de iones hidrógeno es mínimo, ponen a disposición mayor cantidad de elementos

nutritivos para el desarrollo de las plantas.

- Los tratamientos aplicados al suelo mejoran los rendimientos del cultivo de maíz y no afectan el desarrollo de la planta.

RESUMEN

La evaluación del trabajo de investigación se realizó en el Campo Experimental El Bajío de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Los objetivos de esta investigación fueron determinar el efecto de la escoria BOF C2 inerte sobre algunas propiedades físicas y químicas en un suelo calcáreo, así como medir el efecto combinado de la escoria BOF C2 inerte y materia orgánica sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz. El estudio se realizó en parcelas de 16 m², aplicando 0, 15 y 30 t/ha de materia orgánica (MO) y 0, 2, 4 y 6 t/ha de escoria BOF C2 inerte (Es). El diseño utilizado fue el de bloques al azar en parcelas divididas.

En el suelo se evaluó densidad aparente (Da), densidad de sólidos (Ds), espacio poroso (E), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), conductividad hidráulica (K), materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), pH, calcio soluble (Ca), magnesio soluble (Mg), hierro soluble (Fe). En la planta se determinó los días a floración masculina (DFM), a floración femenina (DFF), altura de planta (AP), mazorca (AM), acame

de raíz (AR), acame de tallo (AT) y rendimiento de mazorca (Ren).

En forma general las características afectadas por la escoria BOF C2 inerte y materia orgánica fueron la Da, PMP, E y CC mientras que las otras características se mantuvieron o bajaron sus valores como pH, Ds, K, MO, Ca, Mg y Fe. En la planta, únicamente se afectó DFF, las demás características se mantuvieron al igual que rendimiento de mazorca.

Se puede afirmar que la aplicación de escoria BOF C2 inerte tiene efectos benéficos, sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo.

La utilización de la escoria BOF C2 inerte en la producción del cultivo de maíz, favorecerá a muchos agricultores, que están deteriorando cada día las propiedades del suelo.

LITERATURA CITADA

- Andrade, H.M.C. 1995. Balance nutricional y un bioactivador húmico en un suelo calcáreo cultivado con papa (*Solanum tuberosum* L.) en Arteaga, Coahuila. Tesis M.C. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Bartolini, C. 1989. La fertilidad de los suelos. Terreno, planta, fertilizantes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Basak, R.K. and Debnath, N.C. 1986. Dissolution of rock phosphates and basic slag in an acid soil as influenced by their rate of application and moisture regimes. *Agric. Chem. and Soil Sci., Am. Soc.* 4:4, 625-629; 12 ref., 2 tab. USA.
- Bedoy, R.C.M. 1996. Impacto de desechos sólidos industriales sobre suelos ácidos y alcalinos sobre el cultivo del Cilantro (*Coriandrum sativum* L) bajo condiciones de invernadero. Tesis Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 66 p.
- Bekele, T. and Hoefner, W. 1993. Effects of the different phosphate fertilizers on yield of barley and rape seed on reddish brown soils of the Ethiopian highlands. *Fertilizer research.* 34(3). Ethiopia.
- Berlanga, P.S. 1994. Incorporación de precocidad a híbridos experimentales de maíz a través del método selección gamética. Tesis M.C. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Bertsch, F. 1985. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costaricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Bohn, H.L.; B.L. Mc Neal y G.A. O'Connor. 1993. Química del suelo. Ed. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. D.F. p 156 - 171.
- Brauer, H. O. 1985. Fitogenética Aplicada. 4a Edición. Editorial Limusa. México.
- Buckman, H. O. y N. C Brady 1985. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simon, S. A. Barcelona. p. 450 - 462.

- Camacho, C.O; D.H. Paniagua y G.A. Ruelas. 1992. SAS (Statistical Analysis System) para microcomputadoras. Ed. México. D.F.
- Casanova, E.; Pérez, M.J. and Flores, M. 1993. Agronomic evaluation of phosphate rock and slag on an Upatá acid soil in Bolívar State, Venezuela. *Communication in Soil Science and Plant Analysis Venezuela*. 24 (7-8)
- Cepeda, D.J.M. 1991. *Química de suelos*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 141 p.
- Chaney, K. and R.S.S. Swift. 1986. Studies on aggregate stability. I. Re-formation of soil aggregates. *Journal of Soil Science* 35,223-230.
- Debnath, N.C. and Basak, R.K. 1986. Evaluation of the fertilizer value of some indigenous rock phosphates and basic slag of India Fert- Res. Dordrecht Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. India. 1986. v. 8 (3) p. 241 - 248.
- Dmitriyev, Y.A. 1994. Elements of Soil Organization and the Structure of the Soil Cover. *Pochvovedeniye*, Nº 7, 23-30.
- FAO. 1984. *Guía de fertilizantes y nutrición vegetal*. Boletín 9. Roma, Italia.
- Finck, A. 1985. *Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos*. Editorial Reverté, S.A. España.
- Flores, H. I. A. 1996. *Aplicación de escorias, estiércol y un bioactivador en un suelo calcáreo cultivado con frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Tesis M.C. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- Fuentes, Y., J. L. 1993. *El suelo y los fertilizantes*, 2a Edición. Editorial Gráficas Ageno S. A. Madrid España.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climatológica de Kopen*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Instituto de Geología, México
- Ghaus, G.G. 1984. *Humic substances*. Gordon and Breach Science. Publisher. New York. USA.
- González, L., J. S. 1992. Evaluación de un dialélico entre materiales tropicales precoces de maíz en Poza Rica y Cotaxtla, Ver. IX Congreso Nacional de Fitogenética. *Memorias*. Tuxtla Gutiérrez. Chis.

- Gross, A. 1976. Abonos, guía práctica de la fertilización. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 585 p.
- Haynes, R.J. and Swift, R.S.S. 1989. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *Journal of Soil Science. Am. Soc.* 37, 329-335. USA.
- Inca - Rural. 1983. Fertilización de los cultivos básicos. INIA - SARH. México D.F.
- Jiménez, G.S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta tipos, evaluación y aplicación. Ed. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid, España. p 63 -65.
- Khalil, R.A. y El-shinnawi. 1989. Humification of organic matter in soil affecting availability of phosphorus from its mineral compounds. *Soil Sci., Fac. Agric., Menufiga Univ., Shibin El-Kom, Egypt.* 3:1, 77-84; 22 ref.
- Kovacevic. V.; Zugec, I and Juric, I. 1992. Response of maize application of phosphate fertilizers with different solubilities on a pseudogley in Slovenia, *Znanost Praksa Poljoprivredi Prehrambenoj Tehnologij. Slovenia.* 1992, 22:1.
- Kretzchmar, R., Robarge, W.P. and Weed, S.B. 1993. Flocculation of soil clays: Effects of humic substances and iron oxides. *Soil Sci. Am.* V. 57 (5).
- Latta, F. 1992. Fertilización de árboles frutales. Ediciones CEAC, S.A. Barcelona España. p 105 - 106.
- Larousse Agricole. 1981. Publie Sous la Direction. París, France.
- Lee, T.S. 1991. Improvement of latosoile poddy fertility. *Soils and Fertilizer.* New York. USA. 047-05076.
- López, R.L. y López, M.L. 1985. El diagnóstico de suelos y plantas. 4a Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p 160 - 170.
- Mathews, B.W. and Joost, R.E. 1990. The effects of leaching surface-applied amendments on subsoil. Aluminium and Alfalfa growth in a Louisiana ultisol. *Soil Sci. Plant Anal.*, 21 (7 y 8). USA.
- Mench, M.J.; Didier, V.L.; Loffler, M. and Masson, P. 1994 A mimicked in-situ remediation study of metal-contaminated soil with emphasis on Cadmium and Lead. *J-environ qual.* Madison: American Society of Agronomy. V. 23 (1).

- Mortvedt, J.J; P.M. Giordano and W.L. Lindsay (comp). 1986. Micronutrients in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Narro, F.E.A. 1994. Física de suelos: con enfoque agrícola. Editorial TRILLAS. México. p 33 - 58.
- Ortega, B.C., y J.G. Delas. 1988. Influencia de diferentes factores del suelo sobre su contenido en micronutrientos asimilables Mn, Fe, Cu y Zn. Análisis de Edafología y Agrobiológico. México. 152 p.
- Papadakis, J. 1977. Los fertilizantes. Ed. Albatros, Buenos Aires, Argentina. p. 8-39.
- Pizarro, F. 1985 Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 2a Edición. Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid, España. p 34 - 70.
- Ponette, Q. 1991. Effects on mineral amendments on the physico - chemical properties of a brown acid soil in beech stand in the Belgian ardenes. Soil and Fertilizer 1991 054-13686.
- Porta, J.; López, A. y Roquero, L. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p 167 - 172.
- Rahman, S. and Khan, H.R. 1991. Tissue concentration of nutrients and quality of rice grains as influenced by various amendments in an acid sulfate soils. Dhaka University Studies Parte Biological Science. 6 (2).
- Rodríguez, S. F. 1982. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. p. 69-75.
- Rozov, S.Y. and Popova, L.N. 1992. Ion composition and organic matter of the soil solutions of calcareous chernozems under Integrated melioration. J. Agr. Sci. Moscow University. N. 9. 140-147.
- Sauchelli, V. 1983. Química y Tecnología de los Fertilizantes. Ed. Continental. México, D.F.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1994. Subsecretaría de Agricultura. Dirección. General de Políticas Agrícolas. México. D.F. p. 46 - 62.
- Simian, G. 1984. Investigation of Si-Mn Slag from oye smelteverle A/S norway, whit particular regard to its effects on plant and soil. Soils and Fertilizer 1985 048-08265.

- Slack, T.E. and Morrill, L.G. 1972. Acomparision of a large - seeded (NC₂) and Small-seeded (Starr) peanut (*Arachis hipogea* L.) cultivar as affected by levels of calcicum added to the fruit zone. Soil Sci. Am. Proc. USA. 36, 87-90
- Sociedad Americana de Ingeniería Agrícola (ASAE). 1995 Diseño, construcción y mantenimiento de drenaje subsuperficial para áreas áridas y semiáridas. Washington USA. Publicación especial 463.1 40 p.
- Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. 1987. Corrección del Ph de un suelo alcalino con zeolita acidulada, México.
- Stievitz, K.D. 1982. Chemical nature and solubility of ammoniated superphosphates and other phosphates. J-Am-Soc-Agron. Madison, Wis. American Society of Agronomy. v. 23 (10) p. 771-787.
- Tarchitzky, J.C. and Banin, A. 1993. Humic sustances and pH sodium and calcium-montmorillonite flocculation and dispersion. Soil Sci. Am. V. 57(2).
- Tisdale, S.L. y W.L. Nelson, 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes Editorial Uteha. México, D.F.
- Torres, R.E. 1995 Agrometeorología. Editorial Trillas. México, D.F. p 115 - 116.
- Universidad Politécnica de Madrid. 1985. Química de Suelos y los fertilizantes. Edición 5. Cátedra XVI. Bioquímica y química agrícola. Madrid, España.
- Valerezco, C. A. 1978. Cambios ocurridos con la precocidad en cuatro especies cultivadas. Tesis Maestría Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, México.
- Vaughan, D.L. ; L. Nicolao; M. Ferreti and Ghisi, R. 1981. Effect of substances on enzyme activities of sulphate assimilation and chloroplast ultraestructure of maize leaves. Photosynthetica 1. USA.
- Yona, C. and Tsila A. 1990. Humic Sustances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. Editor R.C. Dinanver, Madison, Wisconsin, USA.

07428

BANCO DE TESIS

APENDICE

Cuadro A.1. Valores promedio de las características evaluadas al suelo en los diferentes tratamientos, en el cultivo de maíz a los 120 días después de siembra, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Trat | Da (g/cm ³) | PMP (%) | CC (%) | Ds (g/cm ³) | pH | MO (%) | CE (dS/m) | E (%) | K (cm/h) | Ca (%) | Mg (%) | Fe (mg/kg) |
|--------|----------------------------|------------|-----------|----------------------------|------|-----------|--------------|----------|-------------|-----------|-----------|---------------|
| MO1Es1 | 1.34 | 9.68 | 19.24 | 2.29 | 8.23 | 1.34 | 2.00 | 0.41 | 0.15 | 0.14 | 0.015 | 15.67 |
| MO1Es2 | 1.34 | 9.87 | 19.95 | 2.30 | 8.17 | 1.23 | 2.02 | 0.41 | 0.23 | 0.14 | 0.019 | 14.02 |
| MO1Es3 | 1.33 | 10.12 | 20.23 | 2.31 | 8.31 | 1.33 | 1.67 | 0.42 | 0.17 | 0.14 | 0.019 | 12.37 |
| MO1Es4 | 1.30 | 9.82 | 20.38 | 2.30 | 8.26 | 1.40 | 1.87 | 0.43 | 0.20 | 0.14 | 0.019 | 13.20 |
| MO2Es1 | 1.33 | 9.71 | 19.71 | 2.30 | 8.23 | 1.55 | 1.47 | 0.41 | 0.26 | 0.14 | 0.020 | 16.17 |
| MO2Es2 | 1.32 | 9.65 | 19.81 | 2.31 | 8.27 | 1.10 | 1.95 | 0.42 | 0.23 | 0.14 | 0.019 | 14.87 |
| MO2Es3 | 1.37 | 9.81 | 19.96 | 2.31 | 8.29 | 1.18 | 1.30 | 0.40 | 0.21 | 0.14 | 0.021 | 15.25 |
| MO2Es4 | 1.34 | 9.69 | 20.41 | 2.31 | 8.28 | 1.10 | 1.20 | 0.41 | 0.22 | 0.15 | 0.021 | 13.10 |
| MO3Es1 | 1.31 | 9.85 | 19.58 | 2.31 | 8.29 | 1.57 | 1.65 | 0.42 | 0.19 | 0.14 | 0.022 | 9.85 |
| MO3Es2 | 1.35 | 10.24 | 20.30 | 2.30 | 8.27 | 1.35 | 1.97 | 0.40 | 0.17 | 0.13 | 0.020 | 12.52 |
| MO3Es3 | 1.29 | 10.22 | 20.02 | 2.31 | 8.36 | 1.46 | 1.15 | 0.43 | 0.21 | 0.14 | 0.019 | 13.85 |
| MO3Es4 | 1.30 | 10.50 | 20.80 | 2.31 | 8.25 | 1.59 | 1.77 | 0.43 | 0.20 | 0.14 | 0.019 | 11.12 |

Cuadro A.2. Valores promedio de las características evaluadas al suelo en los diferentes tratamientos, en el cultivo de maíz a los 65 días después de siembra, Buenavista, Saltillo, 1996.

| Trat | Da (g/cm ³) | PMP (%) | CC (%) | Ds (g/cm ³) | pH | MO (%) | CE (dS/m) | E (%) | K (cm/h) | Ca (%) | Mg (%) | Fe (mg/kg) |
|--------|----------------------------|------------|-----------|----------------------------|------|-----------|--------------|----------|-------------|-----------|-----------|---------------|
| MO1Es1 | 1.35 | 10.41 | 18.39 | 2.31 | 8.12 | 2.34 | 2.25 | 0.42 | 0.15 | 0.15 | 0.017 | 13.67 |
| MO1Es2 | 1.35 | 9.90 | 19.73 | 2.30 | 7.92 | 2.20 | 2.05 | 0.42 | 0.22 | 0.15 | 0.019 | 11.65 |
| MO1Es3 | 1.33 | 10.26 | 20.12 | 2.30 | 8.05 | 2.42 | 1.77 | 0.41 | 0.16 | 0.15 | 0.016 | 11.10 |
| MO1Es4 | 1.30 | 10.03 | 20.63 | 2.30 | 8.00 | 2.54 | 2.32 | 0.41 | 0.18 | 0.15 | 0.017 | 14.70 |
| MO2Es1 | 1.31 | 9.72 | 18.74 | 2.30 | 8.02 | 2.44 | 1.80 | 0.38 | 0.20 | 0.13 | 0.015 | 12.05 |
| MO2Es2 | 1.35 | 9.74 | 19.89 | 2.29 | 8.00 | 2.06 | 1.97 | 0.39 | 0.21 | 0.15 | 0.017 | 9.62 |
| MO2Es3 | 1.38 | 10.13 | 20.79 | 2.31 | 8.02 | 2.35 | 1.65 | 0.39 | 0.20 | 0.15 | 0.018 | 14.90 |
| MO2Es4 | 1.35 | 9.90 | 20.97 | 2.31 | 7.90 | 2.25 | 1.85 | 0.38 | 0.20 | 0.14 | 0.018 | 16.15 |
| MO3Es1 | 1.30 | 10.47 | 19.31 | 2.30 | 8.10 | 2.44 | 1.87 | 0.42 | 0.13 | 0.15 | 0.018 | 14.25 |
| MO3Es2 | 1.35 | 10.56 | 20.74 | 2.31 | 7.82 | 2.27 | 2.02 | 0.40 | 0.12 | 0.15 | 0.017 | 12.45 |
| MO3Es3 | 1.29 | 10.39 | 21.11 | 2.30 | 8.07 | 2.13 | 2.20 | 0.42 | 0.18 | 0.14 | 0.018 | 11.37 |
| MO3Es4 | 1.30 | 11.57 | 22.28 | 2.30 | 8.00 | 2.40 | 1.67 | 0.41 | 0.15 | 0.15 | 0.017 | 9.82 |

Cuadro A.3. Cuadrados medios para las variables evaluadas a suelo y planta, en el cultivo de maíz a los 120 días después de siembra, Buenavista, Saltillo, 1996.

| F de V | Rep (R) | M.O. | R x M.O. | Es | MO x Es |
|-------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Da (g/cm ³) | 0.00114 | 0.00345 | 0.00163 | 0.00156 | 0.00240 |
| PMP (%) | 0.4799 | 0.9926 | 0.1503 | 0.2127 | 0.1105 |
| CC (%) | 1.1994 | 0.2479 | 0.3722 | 2.0975 | 0.1801 |
| Ds (g/cm ³) | 0.00011 | 0.00010 | 0.00037 | 0.00005 | 0.00004 |
| M.O. (%) | 0.0662 | 0.2762 | 0.3128 | 0.1411 | 0.0577 |
| pH | 0.2317 | 0.0100 | 0.0364 | 0.0161 | 0.0044 |
| CE (dS/m) | 0.9580 | 0.6939 | 0.6695 | 0.7580 | 0.1403 |
| E (%) | 0.0002 | 0.0006 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0005 |
| K (cm/h) | 0.0151 | 0.0280 | 0.0055 | 0.0003 | 0.0048 |
| Ca (%) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Mg (%) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe (mg/ kg) | 17.48 | 37.50 | 26.14 | 5.64 | 10.45 |
| AP (cm) | 1546.5 | 297.3 | 518.8 | 742.3 | 83.5 |
| AM (cm) | 668.0 | 229.6 | 587.3 | 323.6 | 126.2 |

Cuadro A.4. Cuadrados medios para las variables evaluadas a suelo y planta, en el cultivo de maíz a los 65 días después de siembra, Buenavista, Saltillo, 1996.

| F de V | Rep (R) | M.O. | R x M.O. | Es | MO x Es |
|-------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Da (g/cm ³) | 0.000 | 0.008 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| PMP (%) | 7.887 | 3.162 | 0.373 | 0.404 | 0.589 |
| CC (%) | 7.798 | 5.411 | 0.718 | 13.37 | 0.231 |
| Ds (g/cm ³) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| MO (%) | 0.429 | 0.041 | 0.176 | 0.140 | 0.066 |
| pH | 0.211 | 0.005 | 0.089 | 0.069 | 0.017 |
| CE (dS/m) | 6.199 | 0.317 | 0.969 | 0.042 | 0.235 |
| E (%) | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K (cm/h) | 0.0098 | 0.0185 | 0.0043 | 0.0001 | 0.0041 |
| Ca (mg/kg) | 52581.8 | 7625.1 | 7274.9 | 3735.8 | 9003.0 |
| Mg (mg/kg) | 1831.2 | 561.2 | 224.6 | 448.6 | 431.6 |
| Fe (mg/kg) | 121.2 | 5.8 | 49.4 | 17.2 | 23.1 |
| DFM (cm) | 7.0555 | 4.7500 | 8.9722 | 0.2777 | 3.9444 |
| DFF (cm) | 7.3541 | 19.7708 | 12.9375 | 16.9652 | 2.1319 |

Cuadro A.5. Significancia estadística para las diferentes características evaluadas a suelo y planta, en el cultivo de maíz a los 120 días después de siembra, Buenavista, Saltillo, 1996.

| F de V | Rep. | M.O. | Rep*M.O. | Es | M.O.*Es | CV |
|-------------------------|------|------|----------|----|---------|-------|
| AP (cm) | ** | NS | NS | NS | NS | 7.92 |
| AM (cm) | NS | NS | NS | NS | NS | 12.61 |
| AR (%) | NS | NS | NS | NS | NS | 4.04 |
| AT (%) | NS | NS | NS | NS | NS | 5.17 |
| Da (g/cm ³) | NS | ** | * | NS | ** | 1.88 |
| PMP | NS | * | NS | NS | NS | 4.57 |
| CC | NS | NS | NS | * | NS | 3.47 |
| Ds (g/cm ³) | NS | NS | NS | NS | NS | 0.56 |
| pH | ** | NS | ** | NS | NS | 1.16 |
| M.O. (%) | NS | NS | * | NS | NS | 4.90 |
| CE (dS/m) | NS | NS | NS | NS | NS | 9.43 |
| E | NS | ** | * | NS | ** | 2.57 |
| K (cm/h) | ** | ** | * | NS | NS | 5.08 |
| Ca (%) | * | NS | NS | NS | NS | 2.58 |
| Mg (%) | ** | NS | NS | NS | NS | 8.75 |
| Fe (mg/kg) | NS | NS | NS | NS | NS | 2.49 |
| Ren (t/ha) | * | NS | * | NS | NS | 19.70 |

Cuadro A.6. Significancia estadística para las diferentes características evaluadas a suelo y planta, en el cultivo de maíz a los 65 días después de siembra, Buenavista, Saltillo, 1996.

| F de V | Rep. | M.O. | Rep x M.O. | Es | M.O. x Es | CV |
|-------------------------|------|------|------------|----|-----------|------|
| DFM | NS | NS | * | NS | NS | 2.98 |
| DFF | NS | ** | ** | ** | NS | 2.60 |
| Da (g/cm ³) | NS | ** | * | * | * | 1.91 |
| PMP | ** | ** | NS | NS | NS | 5.21 |
| CC | ** | * | NS | ** | NS | 5.20 |
| Ds (g/cm ³) | NS | NS | NS | NS | NS | 0.57 |
| pH | ** | NS | ** | * | NS | 1.18 |
| M.O. (%) | ** | NS | * | NS | NS | 2.21 |
| CE (dS/m) | ** | NS | * | NS | NS | 8.42 |
| E | NS | ** | ** | NS | NS | 2.70 |
| K (cm/h) | ** | ** | * | NS | * | 3.12 |
| Ca (%) | ** | NS | NS | NS | NS | 7.07 |
| Mg (%) | ** | NS | NS | NS | NS | 8.45 |
| Fe (mg/kg) | ** | NS | * | NS | NS | 3.33 |

