

T-UES
1304
M188e
2000
13100136

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y
MEDIO AMBIENTE**



**“EFECTO DE TRES TIPOS DE ARADOS DE TRACCION ANIMAL SOBRE
LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO Y EN EL DESARROLLO
Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE VIGNA (*Vigna sinensis* W.),
EN SAN LUIS TALPA, DEPARTAMENTO DE LA PAZ. “**

**POR:
JAVIER ARTURO MAGAÑA RIVAS
JORGE ARMANDO MOLINA MENDEZ**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO AGRONOMO**

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA

RESUMEN

El sistema de labranza que la mayoría de pequeños y medianos agricultores utilizan para preparar la cama de siembra de sus cultivos es el uso del arado de madera tirado por bueyes, con el cual se efectúa una ruptura del suelo ; pudiendo provocar ésto que las propiedades físicas del suelo no lleguen a las condiciones ideales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En ese sentido se realizó un ensayo sobre esta temática en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, con el objetivo de comparar tres tipos de arados de tracción animal y estudiar el efecto que producen en el suelo y en el cultivo. El ensayo se llevó a cabo entre los meses de septiembre a diciembre de 1994. Se utilizó el diseño estadístico de bloques al azar con siete repeticiones.

Las variables del cultivo que se evaluaron fueron: El porcentaje de germinación, altura de plantas, diámetro del tallo, longitud radical, número de nódulos, peso seco de plantas (materia seca), número de vainas por planta, longitud de vainas, número de granos por vaina y rendimiento de grano seco. De las variables físicas del suelo se evaluó: La densidad aparente, densidad real, porcentaje de porosidad (todos éstos de 0-20 y 20-40 cm de profundidad), velocidad de infiltración, consistencia del suelo, estructura y grado de rotura.

Los resultados estadísticos mostraron que las variables del cultivo estudiado no reportaron diferencias significativas; sin embargo el

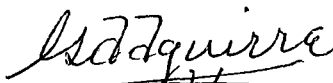
JEFE DEL DEPTO. DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

ING. AGR. GLADYS HAYDEE AGUIRRE VIGIL

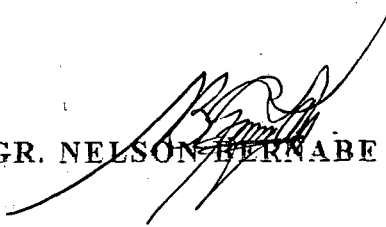
ASESOR:

ING. AGR. TEODORO ANTONIO ROMERO ROMERO

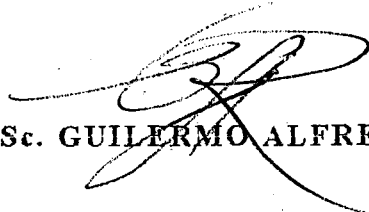
JURADO EXAMINADOR:



ING. AGR. GLADYS HAYDEE AGUIRRE VIGIL



ING. AGR. NELSON BERNABE GRANADOS



ING. AGR. M.Sc. GUILLERMO ALFREDO RAMOS OLIVA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA: DRA. MARIA ISABEL RODRIGUEZ

SECRETARIA GENERAL: LIC. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO: ING. AGR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO: ING. AGR. JORGE ALBERTO ULLOA

diámetro del tallo para el tratamiento con arado combinado y arado de madera fueron de 6.50 mm y 5.91 mm respectivamente.

Las variables físicas del suelo tampoco sufrieron cambios considerables, únicamente la densidad aparente inmediatamente después de la preparación de cama de siembra, a una profundidad de 20-40 cm; provocó un cambio siendo el arado de vertedera el que mostró una mayor densidad aparente (1.16 gr./cc) y el arado de madera un menor valor (1.07 gr./cc). También al evaluar la diferencia de densidad aparente de 20-40 cm que hubo entre el inicio del ensayo con el montaje del mismo se observó que dicha diferencia fue significativa, aumentándose la densidad aparente en 0.165 para el tratamiento con arado de vertedera.

Cabe mencionar que la presente investigación fue evaluada en 1997, ya que por razones de fuerza mayor no se había presentado. Es de hacer notar que desde que se realizó el ensayo hasta la fecha no se han fomentado estudios profesionales que permitan una validación de esta tecnología de los arados metálicos; pero a nivel de campo a notado un mayor interés por parte de los agricultores por conocer de éstos.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad de El Salvador, en especial a la Facultad de Ciencias Agronómicas por toda su colaboración durante el desarrollo de nuestra carrera y permitir forjarnos como profesionales.

- A los Ing. Agrs. Reynaldo López Landaverde y Teodoro Antonio Romero Romero, por su asesoría y tiempo dedicado a esta investigación.

- Al pueblo salvadoreño, en especial a la clase más pobre y desposeída, a quienes sufrieron injustamente las atrosidades de la guerra y aún así sobrevivieron, a ellos que pagaron con sangre que la Universidad de El Salvador sirviera como instrumento para formar profesionales que trabajen por la transformación de esa realidad, les damos las gracias, y, esperamos trabajar por ellos.....por nuestras verdaderas raíces.....por nuestro pueblo.

DEDICATORIA

- A MI MAMA:

HORTENSIA RIVAS DE MAGAÑA

Por creer en mi y haber sacrificado tanto de su vida para alcanzar esta meta.

- A MI HERMANA:

BERTALICIA MARIA MAGAÑA RIVAS

A quien quiero mucho y espero ayudar a que logre los objetivos que en su vida ha trazado.

- A MIS ABUELOS Y TIOS:

Por haberse constituido durante mucho tiempo en un importante apoyo para mi mamá y para mi.

- A MIS MEJORES AMIGOS:

En especial a Joczabet, Leyla, Ricardo y Carlos por insistir en que finalizara la tan ansiada carrera de Ingeniero Agrónomo.

JAVIER ARTURO MAGAÑA RIVAS

- **A DIOS TODOPODEROSO Y A LA VIRGEN MARIA:**

Por haberme dado fe, fortaleza y sabiduría para concluir mis estudios

- **A MIS PADRES:**

JUAN FRANCISCO MOLINA Y

CARMEN MENDEZ LAZO

Por el esfuerzo realizado y el apoyo constante que me brindaron en el transcurso de mi carrera.

- **A MI HERMANO:**

FRANCISCO ANTONIO MOLINA MENDEZ

Por su apoyo constante y desinteresado cuando más lo necesité, constituyéndose para mi como mi segundo padre, ya que sin su ayuda no habría podido culminar mi carrera.

- **A DELMY MEJIA MORALES:**

Por darme su amor sincero, su apoyo incondicional, su comprensión constante y darme los ánimos necesarios en los momentos más importantes de mi carrera.

- **A MIS COMPAÑEROS:**

WALTER GOMEZ HERNANDEZ

DAVID CAÑAS VIDES

**Por su amistad y por haber compartido momentos inolvidables en
nuestra carrera.**

- **A MIS FAMILIARES Y AMIGOS:**

Como un ejemplo de superación a seguir

JORGE ARMANDO MOLINA MENDEZ

INDICE DE CUADROS

Cuadros		Página
1	Densidad aparente de algunos suelos.....	10
2	Resultados de las propiedades físicas del suelo obtenidas con el uso de tres tipos de arados de tracción animal para una profundidad de 0-20 cm. CAPREX. 1994.....	60
3	Resultados de las propiedades físicas del suelo obtenidas con el uso de tres tipos de arados de tracción animal para una profundidad de 20-40 cm. CAPREX. 1994.....	62
4	Características de los tres tipos de arados de tracción animal usados en el ensayo sobre las propiedades físicas del suelo y en el desarrollo del cultivo de Vigna. CAPREX. 1994.....	63
5	Cambios en la estructura del suelo con tres tipos de arados de tracción animal, en las diferentes fases del experimento. CAPREX. 1994.....	69
6	Resultado de las variables del cultivo de Vigna, obtenidos con el uso de tres tipos de arados de tracción animal.....	72
7	Coefficientes de correlación obtenidos entre variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo de Vigna, utilizando tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX. 1994.....	82
8	Coefficientes de correlación obtenidos entre propiedades físicas del suelo (0-20 cm), utilizando tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX. 1994.....	85
9	Coefficientes de correlación obtenidos entre propiedades físicas del suelo (0-20 cm) y variables del cultivo, utilizando tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX. 1994.....	87
10	Costos de producción del cultivo de Vigna utilizando arado combinado (A.C.) CAPREX. 1994.....	90

11	Costos de producción del cultivo de Vigna utilizando arado de madera (A.M.) CAPREX. 1994.....	91
12	Costos de producción del cultivo de Vigna utilizando arado de vertedera (A.V.)CAPREX.1994.....	92
A-1	Tipos y clases de estructura.....	103
A-2	Resultados promedios por tratamiento y análisis de varianza resumidos, para las propiedades físicas del suelo, variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo de Vigna. CAPREX. San Luis Talpa, La Paz. 1994.....	105
A-3	Condiciones climáticas del Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en los meses de septiembre a diciembre de 1994. San Luis Talpa, Depto de La Paz. 1994....	106

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1 Arado tradicional de madera.....	29
2 Arado de Vertedera PROMECH.....	30
3 Arado Combinado PROMECH.....	31
4 Relación entre la densidad aparente del suelo y la porosidad total durante el laboreo con tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX. 1994.....	65
5 Porcentajes de porosidad en las diferentes fases del ensayo. CAPREX. 1994.....	66
6 Rendimiento de grano seco (kg/ha) con cada tipo de arado de tracción animal.....	78
7 Relación entre el porcentaje de porosidad y la longitud de raíces en el cultivo de Vigna, utilizando tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX. 1994.....	88
A-1 Localización del área del ensayo en el Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.....	104
A-2 Distribución de los tratamientos con los tres tipos de arados de tracción animal, sobre las propiedades físicas del suelo y en la rentabilidad del cultivo de Vigna. CAPREX. 1994.....	108
A-3 Sentido de trabajo con cada uno de los arados de tracción animal usados en el ensayo, sobre las propiedades físicas del suelo y la rentabilidad del cultivo de Vigna. CAPREX. 1994..	109

INDICE

	Página
RESUMEN.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Condiciones físicas del suelo.....	3
2.1.1. La estructura del suelo.....	4
2.1.2. Densidad aparente.....	7
2.1.3. Densidad real.....	10
2.1.4. Porosidad.....	12
2.1.5. Velocidad de infiltración.....	15
2.1.6. Consistencia del suelo.....	16
2.2 La labranza del suelo.....	18
2.2.1. Labranza reducida.....	19
2.3 Implementos para el laboreo del suelo.....	24
2.4 La tracción animal.....	25
2.5 Arados de tracción animal.....	27
2.6 Generalidades del cultivo de Vigna.....	33
2.6.1. Morfología de la Vigna.....	34
2.6.2. Adaptación y requerimientos climáticos.....	39
2.6.3. Condiciones químicas del suelo para el cultivo de Vigna.....	40
3. MATERIALES Y METODOS.....	41
3.1 Localización y ubicación del ensayo.....	41
3.2 Características del lugar del ensayo.....	41
3.3 Metodología estadística.....	43
3.3.1. Diseño estadístico.....	43
3.3.2. Modelo estadístico.....	43
3.3.3. Distribución del área del experimento.....	44
3.3.4. Análisis estadístico.....	44
3.3.5. Toma de datos.....	45
3.3.5.1. Variables del cultivo.....	45
a) Germinación.....	45
b) Altura de plantas.....	46
c) Diámetro de tallos.....	46
d) Número de nódulos.....	46
e) Longitud radical.....	46
f) Peso seco de plantas.....	47
g) Número de vainas por planta.....	47
h) Longitud de vainas.....	47
i) Número de granos por vaina.....	47
j) Peso de grano seco.....	48

3.3.5.2. Evaluación de las variables físicas del suelo.....	48
a) Densidad aparente.....	48
b) Densidad real.....	49
c) Porosidad.....	49
d) Velocidad de infiltración.....	49
e) Estructura.....	50
f) Consistencia del suelo.....	50
g) Grado de rotura del suelo.....	50
3.4. Metodología de Campo.....	51
3.4.1. Estaquillado y delimitación de parcelas.....	
3.4.2. Preparación de la cama de siembra.....	51
3.4.2.1. Arado de madera.....	51
3.4.2.2. Arado de vertedera.....	52
3.4.2.3. Arado combinado.....	52
3.4.3. Manejo agronómico.....	53
3.4.3.1. Siembra.....	53
3.4.3.2. Fertilización.....	53
3.4.3.3. Control de plagas y enfermedades.....	54
3.4.3.4. Control de malezas.....	54
3.4.3.5. Riego.....	55
3.4.3.6. Cosecha.....	55
3.4. Análisis económico.....	55
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	56
4.1. Propiedades físicas del suelo.....	56
4.1.1. Densidad aparente.....	56
4.1.2. Densidad real.....	61
4.1.3. Porosidad.....	63
4.1.4. Infiltración.....	67
4.1.5. Estructura.....	68
4.1.6. Tamaño de agregados.....	70
4.2. Variables del cultivo.....	70
4.3. Variables de rendimiento del cultivo.....	76
4.3.1. Correlaciones entre variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo.....	79
4.4. Correlaciones entre propiedades físicas del suelo, Variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo.....	81
4.4.1. Correlaciones entre propiedades físicas del suelo.....	83
4.4.2. Correlaciones entre propiedades físicas, variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo.....	84
4.5. Análisis económico.....	88
5. CONCLUSIONES.....	93
6. RECOMENDACIONES.....	95

7. BIBLIOGRAFIA.....	96
8. ANEXOS.....	102

1. INTRODUCCION

La producción de granos básicos en nuestro país es realizada principalmente por los pequeños y medianos agricultores, los cuales utilizan para la labranza del suelo, el arado de madera tirado por bueyes, este arado considerado "tradicional", por su forma no efectúa una adecuada preparación de la cama de siembra, repercutiendo esto en el desarrollo fisiológico del cultivo y como consecuencia los agricultores no logran obtener altos rendimientos. Este tipo de arado desde su implementación en el siglo XVI no ha sufrido ninguna modificación en su estructura, ni en su forma de uso, y presenta algunas desventajas en la labranza del suelo tales como: una baja incorporación de rastrojos, poca profundidad de trabajo y un reducido volteo del suelo.

Por lo que es necesario implementar una tecnología apropiada para realizar una efectiva cama de siembra para la semilla. En 1991 la Corporación Salvadoreña de Capacitación Campesina y Desarrollo Rural (COSALCYDER), fomentó el uso de implementos de tracción animal del proyecto de mecanización agrícola de Honduras (PROMECH). A partir de 1994 el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) a través del Programa Regional de Fomento a la Tracción Animal (FOMENTA), inició la promoción y validación de los implementos PROMECH, para transmitir a los

medianos y pequeños productores esa tecnología, necesaria para efectuar una buena preparación del suelo. Entre estos implementos se destacan los arados de tracción animal metálicos: combinado y de vertedera, que surgen con la finalidad de mejorar los sistemas de labranza. En ese sentido se estudiaron los efectos que producen estos tipos de arados de tracción animal sobre las variables del suelo y en el desarrollo y rentabilidad del cultivo de vigna (Vigna sinensis w.), se realizó el ensayo en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, localizada en el Cantón Tecualuya, jurisdicción de San Luis Talpa, en el Departamento de la Paz entre los meses de Septiembre a Diciembre de 1994.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Condiciones físicas del suelo.

Las plantas para un adecuado desarrollo exigen luz, calor, bióxido de carbono, oxígeno (aire), nutrimentos y soporte mecánico. De estas exigencias, solamente la luz y el bióxido de carbono no las obtienen del suelo.

El agua que contiene el suelo ayuda a regular su temperatura y nunca está tan caliente ni tan frío como el aire que tienen encima, inclusive, ayuda también a moderar la temperatura del aire atmosférico. Los suelos también contienen aire que sirve para proveer de oxígeno a las raíces de las plantas; las cuales también encuentran un soporte mecánico en el suelo (39).

Desde el punto de vista agronómico, la tierra cultivable es la delgada capa de 20 a 40 cm que trabajan y explotan las raíces (las raíces de ciertas plantas descienden mucho más profundamente) pero la mayor parte de la cabellera radical se encuentra cerca de la superficie (8).

El suelo es el hogar de las raíces de las plantas, el bienestar físico de las plantas depende mucho de las condiciones del suelo. Para fomentar el desarrollo saludable de la raíz, el suelo debe estar tibio, bien areado, ser poroso para que las raíces encuentren espacio para crecer, y debe retener bien el agua. El suelo debe amoldarse a la

labranza y debe resistir bien los efectos erosivos del viento y del agua (39).

Las propiedades físicas deben ser entendidas en conjunto y formando un todo armónico e interdependiente ya que por norma general una íntima relación se establece entre ellas, derivando una de otras. Las características físicas del suelo son muchas, pero para nuestra finalidad, enunciaremos las más importantes, entre las cuales tenemos:

2.1.1 La estructura del suelo

Aún con un examen somero al suelo de un campo productivo, se demuestra que la mayor parte de elementos más pequeños de arcilla y de limo están adheridos formando agregados complejos de tamaño y forma variable (39).

Al considerar la estructura del suelo, debe entenderse por partículas no sólo las que forman los separados mecánicos, como arena, limo y arcilla, sino también los agregados o elementos estructurales más pequeños que se han formado por agregación mecánica.

Las estructura del suelo implica un arreglo u ordenación de tamaño (clase), forma (tipo), y grado de cohesión entre sí. Hay cuatro tipos primarios de estructura:

- **Laminar:** Donde las partículas están dispuestas alrededor de un plano, generalmente horizontal.
- **Prismoidal:** Las partículas están dispuestas alrededor de un eje vertical y limitadas por lados relativamente planos. Los subtipos

son prismáticos, sin bases redondas; y columnar, con bases redondas.

- *En bloque o poliédrica:* En este tipo de estructura, las partículas están dispuestas alrededor de un punto y limitadas por superficies planas o redondeadas que son los vaciados de los moldes formados por las caras de los agregados que los rodean. Los subtipos incluyen la estructura en bloques angulares y subangulares.
- *Esferoidal o poliédrica:* Las partículas están dispuestas alrededor de un punto y limitadas por superficies curvas e irregulares que no concuerdan con los agregados que las rodean. Los subtipos incluyen a las granulares, agregados relativamente no porosos; y las terrenosas, agregado poroso (39).

Debido a que la capacidad de un suelo de ser productivo depende tanto de su superficie como de sus condiciones físicas, entre las cuales la estructura es predominante, ésta tiene un gran efecto sobre el grado de erodabilidad, porcentaje de porosidad, velocidad de infiltración del agua y la capacidad de retención de humedad. La estructura de un suelo es muy importante ya que establece una íntima relación con las otras propiedades físicas.

Contribuyen a la deteriorización de la estructura del suelo los efectos relacionados con la oxidación de la materia orgánica, lavado,

impacto de lluvia sobre superficies no protegidas, empleo de maquinaria agrícola, etc.

Según estudios realizados por Thorne, D.W. y Petersom, M.S. sobre los efectos de las diferentes operaciones de labranza sobre la estructura del suelo se concluye que: el arado produce una disminución del tamaño de los terrones y por lo tanto de la densidad volumétrica, a menos que se efectúe con humedad excesiva. Todo esto conlleva a un cambio estructural del suelo, cuya causa fundamental se relaciona con la dispersión de los agregados en la superficie de los suelos y el movimiento de arcilla y limo en los macroporos. La acción resultante conlleva a un decrecimiento de los macroporos y a un aumento en la compactación. Sin embargo Malagón Castro, D., es de la opinión de que la degradación estructural resultante del manejo del suelo no está determinada por las labores de aradura, sino por las operaciones posteriores a ellas (rastreado, arqueado, siembra, limpia, etc. (8).

La estabilidad de la estructura se refiere a la resistencia que los agregados del suelo presentan a la influencia desintegrante del agua y al manipuleo mecánico (13).

Gavande, S.A. indica que el agua actúa de dos maneras:

- Por el efecto hidratante, que causa la rotura del agregado a través de los procesos de hinchamiento y de explosión de aire atrapado.
- Por la destrucción de la agregación y deterioro de la estructura del suelo a través de la caída de la lluvia. El impacto de la caída de las gotas de agua en suelos expuestos ejerce una significativa

acción dispersante en los agregados. Luego las partículas dispersas son arrastradas al interior de los poros, causando que la compactación aumente y disminuya la porosidad (13).

2.1.2 Densidad aparente

La densidad aparente está definida como la relación entre la masa (secada al horno) de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan (12).

La densidad del suelo se expresa como gr. cm^{-3} ; mg ó t m^{-3} .

Para medirla se requiere la toma de núcleos del suelo o de terrones en su estructura natural utilizando para ello cilindros muestreadores de volumen conocido (Uhlend), donde la muestra se coloca en recipientes de aluminio debidamente marcados con un lápiz de cera, tapándolos herméticamente para evitar pérdida de humedad, se pesa en laboratorio la muestra de suelo y luego se procede a secarlos en estufa por 24 horas con temperaturas de 105°C , posteriormente se pesa en balanza analítica. Con estos datos se determina la densidad aparente a través de la fórmula: $\text{Densidad aparente} = \text{peso suelo seco} / \text{volumen de suelo seco}$ (12).

La medida de la densidad aparente del suelo es importante porque a través de su conocimiento se puede:

- Transformar los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y consecuentemente calcular la lámina de agua en el suelo.
- Calcular la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad real.
- Se puede estimar la compactación del suelo por medio del cálculo de porosidad.
- Estimar la masa de capa arable (12).

Además la determinación de esta densidad toma gran importancia, ya que se considera como limitante para la penetración de las raíces en suelos que han sido arados por muchas décadas. Se ha determinado que las densidades aparentes aumentan con la profundidad en el perfil del suelo. Esto se debe a las cantidades de materia orgánica más baja, a una menor agregación y a una mayor compactación. Los subsuelos considerados densos pueden tener valores de densidad aparente iguales o mayores de 2.0 gr./cc (37).

El factor más importante que influencia la densidad aparente de los suelos es la clase de minerales, la cantidad y naturaleza del espacio poroso del suelo. Arando se reduce la compactación del suelo, consecuentemente se reduce temporalmente la densidad aparente; sin embargo, el efecto de la labranza a largo plazo y la producción de cultivos aumentan la densidad aparente (8).

La densidad aparente de los suelos tiene una variación en relación a la clase textural, por ejemplo en suelos de textura arenosa los cuales

son bajos en espacio poroso total se tienen densidades aparentes proporcionalmente altas. Los suelos superficiales arenosos y Franco arenosos varían en densidad aparente de 1.2 a 1.8 gr./cc. Mientras que las densidades aparentes de los suelos de textura fina (Franco limosos, Franco arcillosos y arcillosos), normalmente están comprendidos entre valores que oscilan entre 1.0 y 1.6 gr./cc. Algunos suelos derivados de cenizas volcánicas presentan valores de densidad aparente inferiores a 1.0 gr./cc (37).

En el Cuadro 1 se presentan valores de densidad aparente de diferentes clases texturales de suelo, donde se observa la variación de densidad aparente correspondiendo un valor alto para suelos de textura arenosa 1.65 gr./cc - 1.80 gr./cc y un menor valor para suelos de textura arcillosa que oscila entre 1.15 gr./cc - 1.20 gr./cc. Confirmándose que los suelos arenosos, que tienen bajo espacio poroso, tienen densidades aparentes proporcionalmente altas, mientras que suelos arcillosos con un grado de porosidad mayor poseen densidades aparentes bajas (22).

Cuadro 1. Densidad aparente de algunos suelos.

TEXTURA DEL SUELO	DENSIDAD APARENTE (gr./cc)		
	Mínima	Media	Máxima
Arenoso	1.55	1.65	1.80
Arenoso Franco	1.50	1.55	1.65
Franco Arenoso	1.40	1.50	1.60
Franco	1.35	1.40	1.50
Franco Limoso	1.32	1.37	1.45
Franco Arcillosos	1.30	1.35	1.40
Limoso	1.25	1.30	1.35
Arcilloso Arenoso	1.25	1.30	1.35
Franco Arcilloso Limoso	1.20	1.25	1.30
Arcilloso Limoso	1.20	1.25	1.30
Arcilloso	1.10	1.15	1.20

Fuente : CENTA (22)

2.1.3 Densidad real

La densidad media de las partículas del suelo sin incluir los espacios llenos de aire es un concepto de densidad real, y se expresa en gr./cc y algunas veces se le llama "peso específico real" (36).

Esta densidad real depende de la constitución química y mineralógica y del grado de hidratación de las partículas. El método del picnómetro es el más empleado para medir la densidad real de los suelos (3).

Los datos que resultan de la medición de la densidad real de un suelo, es importante conocerlos ya que nos permitirá calcular:

- Porosidad total del suelo empleando los datos de densidad aparente.
- La concentración de sólidos suspendidos para la evaluación de la densidad de suspensión.
- La velocidad de sedimentación de las partículas en líquidos o gases (12).

En el cuadro 1 se observan valores de densidad aparente de suelos muy variados, no obstante la densidad real de los suelos minerales es bastante constante y varía entre 2.0 y 2.75 gr./cc. El cuarzo, los feldespatos y los silicatos coloidales, componentes importantes de los suelos, caen dentro de este ámbito. Cuando se encuentran presente cantidades muy altas de minerales pesados tales como la magnetita, el zircón y la turmalina, la densidad de partículas puede ser mayor de 2.75 gr./cc (37).

Se afirma entonces que el tamaño y el arreglo de las partículas del suelo no afectan la densidad real o densidad de partículas. Sin embargo, la materia orgánica la cual pesa menos que un volumen igual de sólidos minerales, influencia la densidad real (1). Además los suelos orgánicos (turbosos), presentan valores extremadamente bajos

de densidad de partículas (8). Una observación importante es que para suelos que posean más de 3% de materia orgánica deberá hacerse una corrección sustractiva sensiblemente igual a $1.5 \times \text{materia orgánica} / 100$ (9).

2.1.4 Porosidad

Porosidad es la porción del volumen del suelo que no está ocupada por sus partículas. De otra manera la porosidad es la relación de la suma de los volúmenes de las fases, sólida, líquidas y gaseosa del suelo (12).

La porosidad de un suelo se expresa en porcentaje (%), necesitándose para su cálculo los datos de densidad aparente y real del suelo en estudio, dando como resultado el porcentaje poros totales. Se ha reconocido por mucho tiempo que esta porosidad total no es tan importante para caracterizar los suelos como lo es la distribución relativa del tamaño de los poros usualmente referida como porosidad capilar y no capilar (8).

Un suelo ideal es el que tiene el espacio de poros dividido por igual entre poros grandes o no capilares y pequeños o capilares. Tal suelo tiene un grado suficientemente bueno de propiedades físicas como son, permeabilidad y retención de agua (3).

Por su parte los poros capilares contribuyen a la capacidad de retención de agua en los suelos. Sólo una porción relativamente pequeña del agua es retenida en los poros capilares, sin embargo es

indispensable para las plantas a causa de que las moléculas del aire del suelo no pueden difundirse fácilmente por los poros capilares y también se retarda la extensión de las raíces, cuyo crecimiento y absorción de nutrientes depende de la cantidad de poros de grandes. Mientras que los poros no capilares bajo condiciones normales de humedad, se llenan casi completamente con aire, aunque una pequeña película de agua es retenida adyacente a las paredes de los poros. Resultados obtenidos en experimentos han demostrado una relación íntima entre la porosidad no capilar por un lado y la permeabilidad, contenido de oxígeno, relaciones de humedad, desarrollo de raíces y producción de nitratos por el otro (30).

La porosidad total de un suelo varía con el tamaño de las partículas y con el estado de agregación así la porosidad total de un suelo medio es alrededor de 50%, las arenas en general tienen un porcentaje menor, las arcillas y los suelos orgánicos tienen mayor porosidad. Como se dijo anteriormente la porosidad total no es tan interesante como la distribución del tamaño de los poros, en especial la de los poros mayores o no capilares que son los que contribuyen a la porosidad de aereación. Estos poros grandes aumentan con la agregación del suelo y con el tamaño de los agregados.

Un dato importante es que un porcentaje de porosidad de aereación menor de 10% restringe la proliferación de raíces (3).

Ensayos recientes indican claramente que el cultivo continuo del suelo tiende a disminuir la porosidad total y el espacio poroso no

capilar. Además se observó un descenso significativo de materia orgánica; por lo tanto el cultivo continuo da por resultado una pobre relación de humedad y suelo, una deficiente aereación y un desarrollo radical restringido (30).

La compactación es otro de los factores que influyen sobre la capacidad de aereación, dado que afecta el volumen de poros no capilares (macroporos). Experimentalmente se ha visto que a mayor compactación, menor capacidad de aire independientemente de la textura. En cuanto a la porosidad total de un suelo, la compactación causa una entrada de material sólido en los poros del suelo, lo que reduce el espacio poroso total y aumenta la densidad aparente. En cambio las aradas y otras operaciones de preparación del suelo, aumentan el espacio poroso y disminuyen la densidad aparente (36).

La importancia de aumentar la porosidad total de un suelo radica en que este espacio poroso determinará la facilidad del flujo de agua a través del medio y la cantidad de agua que el medio puede almacenar, controlando procesos como la infiltración, redistribución, evaporación superficial, drenaje, absorción de agua por las raíces, etc. Desde el punto de vista agronómico, la presencia y estabilidad de poros es lo que hace que un suelo tenga buena estructura, además es la estabilidad y cementación de las partículas en agregados la que determina la estabilidad y naturaleza de la fracción porosa del suelo ante cambios naturales y artificiales (4).

2.1.5 Velocidad de infiltración

La infiltración es la entrada vertical (hacia abajo) del agua en el perfil del suelo. El conocimiento de la infiltración es importante para escoger los sistemas de riego adecuados para un suelo y diseñarlos (12); además permite evaluar la lluvia efectiva infiltrada, el escurrimiento causado por la misma, así como el tiempo de estancamiento de agua sobre la superficie del suelo (8).

En ese sentido, en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, la cantidad de agua que se infiltra en un suelo disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él. Además la cantidad de agua en un suelo, en un intervalo dado de tiempo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo. Después de un tiempo largo, la velocidad con que el agua entra en el suelo se acerca a un valor constante conforme la curva se aproxima a una línea recta (12).

Otros autores definen la velocidad de infiltración como el fenómeno por medio del cual el volumen de agua aplicado al suelo, se introduce a éste a través de los poros, para quedar almacenada el agua en el perfil del suelo, a disponibilidad de las plantas. Físicamente se expresa como el volumen de agua que penetra al suelo por unidad de área de suelo en la unidad de tiempo, es decir: $I = V_a/A \times T$ (cm/h) (8).

La cantidad de agua que se filtra en el suelo, depende de la velocidad de infiltración, por lo tanto, de su textura, de su contenido de materia orgánica y de la labranza. La velocidad de infiltración

alcanza hasta 25 cm/h en suelos arenosos, hasta 10 cm/h en suelos francos y hasta 2.5 cm/h en suelos arcillosos (8).

La velocidad de infiltración es una variable muy ligada a las condiciones de aereación del suelo después del riego. Un suelo con problemas de infiltración reduce su capacidad para captar agua en un perfil en un tiempo dado y consecuentemente la cantidad de agua disponible para el cultivo se reduce también, además de efectuarse la aereación del suelo después del riego. Bajo condiciones de estrecha variación en la densidad aparente, la resistencia del suelo está principalmente influenciada por el contenido de humedad del mismo (8).

Es conveniente que la prueba de infiltración se haga usando un sistema de anillos concéntricos que arroja datos más confiables y reales que los datos obtenidos usando el sistema de lluvia artificial (12).

2.1.6 Consistencia del suelo

La consistencia del suelo es una de las características más sobresalientes, pero de las más difíciles de medir. El término describe la respuesta del suelo a fuerzas externas tendientes a deformarlo. Presiones aplicadas pueden causar flujo, fractura o compresión del suelo. La naturaleza y la extensión de la deformación dependen de: La

clase de suelo, su condición física, el contenido de agua, la magnitud de la fuerza aplicada y la manera en que la fuerza se aplica (12).

La consistencia del suelo está representada por la friabilidad, plasticidad, pegajosidad, resistencia a la compresión, etc. La consistencia del suelo resulta básicamente de dos fuerzas:

- Cohesión o atracción molecular
- Adhesión o tensión superficial

La cohesión en suelos húmedos tiene lugar entre las moléculas de la fase líquida, moléculas que actúan como puentes entre partículas adyacentes. La adhesión actúa como una fuerza atractiva entre la fase líquida y la superficie de la fase sólida. La estructura del suelo resulta de las variaciones entre la fuerza dentro de la masa del suelo (8).

Un cuerpo plástico difiere de un fluido en que se requiere un esfuerzo cortante finito para causar deformación; un fluido responde a un cortante infinitamente pequeño (12).

Se denomina rango plástico al intervalo del contenido de agua en el suelo en el cual un suelo presenta propiedades plásticas. Se le conoce como límite líquido al límite superior de plasticidad en que el suelo es tan húmedo que se comporta como un fluido, se le llama límite plástico al límite superior de plasticidad bajo el cual el suelo no puede deformarse sin que se desmenuce, o sea que en dicho estado el suelo es friable y se pulveriza bien cuando se ara y tiende a formar terrones compactos. Se señala como número plástico al intervalo

numérico del contenido del agua entre los límites líquido y plástico (12).

Para la agricultura, la condición ideal del suelo es tener una humedad menor que aquella del punto adhesivo, que es la humedad mínima para la adhesión, del límite inferior de plasticidad. Lo deseable es tener un suelo a capacidad de campo (la humedad 2-3 días después de una lluvia o riego fuerte) menor de las humedades de dichos puntos de consistencia. Si la capacidad de campo es mayor, sería conveniente un suelo con una diferencia mínima entre su capacidad de campo y estas humedades. Si la diferencia es mínima, después de una lluvia, el suelo se seca rápidamente al punto adhesivo o al límite inferior de plasticidad (8).

El estado de humedad en que los suelos son friables es el de mejores condiciones para la labranza. Existe la humedad suficiente entre las partículas para minimizar el efecto cementante que domina en la zona de consistencia, por otra parte, no hay agua suficiente para la formación de películas en los contactos entre las partículas y producir la cohesión existente en el estado plástico (3).

2.2 La labranza del suelo

Se llama labranza a la preparación del suelo para la sementera o cama de siembra y al conjunto de operaciones necesarias para mantenerlo libre de malezas durante el crecimiento de las plantas (29).

para preparar una sementera adecuada (29).

Objetivos de la labranza del suelo:

- a) Esponjamiento del suelo, que permita la aereación y el almacenamiento de la humedad.
- b) Volteo de la tierra, para que las semillas de malezas, situadas en la parte superior del terreno, se asfixien (enterrándolas) y también para hacer que llegue, incluso a las capas más profundas, el abono mineral, que por si mismo tiene poca tendencia a descender.
- c) Mezcla del terreno, para que todos los elementos nutritivos aportados artificialmente y existente por naturaleza, e incluso la humedad, puedan distribuirse homogéneamente por todo el volumen de terreno labrado.
- d) Establecimiento de determinadas configuraciones en el terreno para plantar, regar, favorecer la recolección mecanizada, etc.
- e) Reducción de la erosión del suelo mediante surcos que sigan las curvas de nivel (28).

2.2.1 Labranza reducida

La labranza reducida es el menor laboreo posible de la tierra, requerido para crear en el suelo condiciones adecuadas para la germinación de la semilla, el desarrollo del cultivo y el control de malezas. La labranza reducida para una situación determinada puede

variar desde la labranza convencional hasta un sistema que prescinda completamente de ella. Han surgido algunos términos que son sinónimos de la labranza reducida como "poca labranza" y "labranza de conservación" (5).

Este tipo de labranza consiste en la combinación de los principales métodos de preparación de la cama de siembra; entre los que tenemos el manual, químico y mecánico, utilizando este último en mínimas proporciones con el objetivo de romper el suelo. Este método ha sido adoptado por pequeños y medianos agricultores que se dedican a la explotación de tierras de mala calidad y con pendientes elevadas (8).

La razón práctica para el uso del sistema de labranza reducida consiste en que a través de ésta se facilite el cultivo de aquellas tierras de bajo potencial agrícola que en su mayoría son cultivadas por pequeños y medianos agricultores; además con el sistema se requiere del empleo de un equipo simple de tracción animal y energía humana; sin embargo la práctica tiene limitaciones en cuanto se reduce el área cultivada por el agricultor o la que él o su familia puedan manejar, tanto en la preparación del terreno como en el combate de malezas posterior a la siembra (8).

Ventajas y desventajas de la labranza reducida.

La labranza reducida puede ser analizada en términos generales en función de ventajas y desventajas, y en términos más detallados en función de sus efectos en las propiedades físicas del suelo; tal como se explica a continuación:

a) **Ventajas:**

- Reduce la erosión del suelo
- Mejora la fertilidad del suelo
- Incrementa la materia orgánica
- Disminuye la incidencia de malezas
- Conserva la humedad del suelo
- Genera estabilidad en los rendimientos de los sistemas de cultivo a través del tiempo.

b) **Desventajas**

- Disminuye el área del cultivo
- Mayor uso de mano de obra (35).

Efecto de la labranza reducida en las propiedades físicas del suelo.

Al reducir al mínimo la labranza del suelo, y a la vez incorporar los residuos de cosechas anteriores se puede sembrar y obtener mejores cosechas, ya que con este manejo se reduce la erosión, se conserva la humedad y se reduce la compactación al no tener que pasar la maquinaria varias veces (8).

En suelos Oxisoles de Paraná, Brasil, se ha encontrado que la labranza ha destruido la estructura natural de los suelos, aumentando la compactación y densidad aparente. En estas situaciones, la labranza reducida ha mejorado considerablemente la estructura de estos suelos (4).

Muchos investigadores demuestran que los efectos de la labranza cero y labranza de conservación en los parámetros físicos del suelo relacionados con la estructura, porosidad y conductividad son extremadamente variables, aún dentro del mismo sitio de estudio (4).

En sistemas de labranza reducida, la persistencia de los canales formados por sistemas radiculares es también una observación persistente. Muchas referencias indican que las raíces se desarrollan en canales dejados por otras raíces muertas que tienden a ser más grandes que los canales de gusanos, lo que aumenta considerablemente la conductividad, infiltración y drenaje de muchos suelos. La presencia constante de estos sistemas radiculares en la labranza cero mantiene una red de macroporos y contribuye a una mejor estructuración del suelo (4).

En suelos bajo labranza reducida se observa una mayor macroporosidad debido a la presencia de mayor materia orgánica, de canales hechos por la fauna del suelo, etc.

Un problema que ocurre frecuentemente con el uso de la labranza es la formación en el suelo de una costra superficial, especialmente en sistemas de labranza que dejan suelo al descubierto. Este

encostramiento es un fenómeno mundial que afecta a suelos labrados expuestos a las lluvias, y es especialmente notable en suelos arenosos y francos de zonas áridas, donde se forman rápidamente. La costra puede restringir la germinación y emergencia de plántulas, impedir la infiltración y promover altas temperaturas. El encostramiento consiste en la formación de una capa muy dura y delgada por la acción de las gotas de lluvia que dispersan las partículas de arcilla y limo y bloquean los macroporos y poros mayores. Esta capa puede presentar densidades aparentes bastante mayores que el resto del suelo (4).

Los sistemas de labranza que no fragmentan al suelo en partículas muy pequeñas ayudan a prevenir la formación de una costra. La labranza cero y otros sistemas de labranza de conservación, generalmente mejoran las propiedades de la superficie, reduciendo la formación de costra (4).

La infiltración y captación de agua es generalmente mayor en suelos bajo labranza cero o de conservación por varias razones:

- a) Por la mejor macroporosidad debido a estructuración del suelo, fauna y raíces, lo que mejora la conductividad hidráulica.
- b) Por el menor encostramiento superficial.
- c) Por la presencia de un mantillo vegetal que almacena una gran cantidad de agua que se percola lentamente.
- d) Por la reducción del escurrimiento (4).

2.3 Implementos para el laboreo del suelo

El arado es un implemento agrícola que tiene por objeto aflojar, voltear y remover la tierra, y con estas operaciones, enterrar a la vez la vegetación y la materia fertilizante que haya en la superficie, a fin de manejar las propiedades físicas del suelo (16).

Desde la antigüedad el hombre recurrió al arado, al igual que el productor agropecuario moderno, como el primer implemento para la ejecución de una sucesión de labores que culminan con la cosecha.

Cabe mencionar, que desde el primitivo arado de madera al moderno arado para tractor, lo que se ha incrementado esencialmente es el ancho de labor, y también un poco la velocidad de la labranza (32).

El pequeño y mediano agricultor persigue que el terreno que va a cultivar obtenga una buena preparación como por ejemplo un buen desmenuzamiento del suelo para rápida germinación de la semilla, una uniforme profundidad de corte, buena incorporación de rastrojos etc.; si ello ocurre aumentará la producción y logrará reducir el tiempo de trabajo, pero la realidad es que una minoría de esos agricultores tienen acceso a estos implementos por su elevado costo si se compra y su alquiler es alto (16). Pero lo más importante es que se ha comprobado que el uso excesivo de esta maquinaria a través de los años produce compactación progresiva a tal punto de formar los "pisos de arado" en el subsuelo, la cual es una capa endurecida dentro del suelo que dificulta el buen desarrollo de las raíces de los cultivos y el agua tiene

dificultad para moverse dentro del suelo repercutiendo esto en que la producción disminuya por el poco desarrollo de los cultivos y a esto le agregamos el uso excesivo de agroquímicos. Por lo tanto el uso de tractores conduce a un empobrecimiento de los pequeños y medianos productores. Es de hacer notar que no se trata de sustituir el tractor por una tecnología altamente sostenible como la tracción animal; sino una combinación y complementación entre ambas (28).

2.4 La tracción animal

La principal fuente de fuerza para el manejo de las herramientas es el hombre, la segunda importante fuerza que debe considerarse es el tiro de los animales (16). Mundialmente se han utilizado animales para este trabajo tales como bueyes, toros, vacas, búfalos, caballos, mulos, burros y animales de trabajo menos comunes; aunque cabe destacar que los bueyes son los animales de trabajo más importantes pues son los que se utilizan en nuestro país (28).

A la luz de las experiencias obtenidas en diversos países tropicales, se estima que los bovinos pueden realizar un esfuerzo continuo equivalente al séptimo de su peso, durante seis horas como máximo, por día. Los asnos, más nerviosos, así como los caballos y los mulos pueden alcanzar $1/4$ a $1/6$ de su peso en esfuerzo continuo durante tres y media y cuatro horas como máximo diariamente (18).

La fuerza desarrollada por los animales se transmite a los aperos por medio de arneses con forma de colleras, antepechos o yugos. Las colleras y los antepechos son más eficaces que los yugos (16).

La tracción animal es susceptible de alcanzar la máxima importancia en aquellas regiones donde ésta tecnología es capaz de reducir el deterioro de medio ambiente, de mejorar la calidad de vida e incrementar la producción de manera sostenible. En ese sentido y desde el punto de vista económico la tracción animal:

- a) Permite reducir los costos de producción
- b) Conduce al ahorro de divisas
- c) Es más accesible para pequeños y medianos productores
- d) Contribuye a la obtención de ingresos adicionales del productor (alquiler y venta de animales en pie, trabajos mecánicos y artesanales)
- e) Posibilita un aprovechamiento integral de los recursos animales.

Desde el punto de vista agroecológico la tracción animal.

- a) Reduce el daño físico mecánico a los suelos y a los cultivos.
- b) Estabiliza las áreas de cultivo
- c) Contribuye al mantenimiento del equilibrio ecológico y a la conservación de los sistemas de producción
- d) Facilita las labores de conservación de suelos.

Desde el punto de vista social la tracción animal:

- a) Revaloriza y mejora las tecnologías autóctonas favoreciendo su adopción permanente.
- b) Favorece el desarrollo local ya que su empleo no demanda altas calificaciones de recursos humanos.

Por todos los aspectos enunciados la tracción animal es altamente accesible a los pequeños y medianos productores, constituyéndose en una importante opción para mejorar su nivel de vida. De este modo la tracción animal contribuye de manera importante a la consolidación de sistemas de producción altamente sostenibles (28).

2.5 Arados de tracción animal

Origen de los arados de tracción animal.

Los labradores o arados de tiro animal han existido desde que se consideró el uso de la fuerza de los animales para diferentes propósitos. Los Sumerios en Mesopotamia fueron los primeros en utilizar este tipo de aperos, aproximadamente 3600 años A.C.; también los egipcios hicieron lo mismo en el año 3000 A.C. (15).

Al principio fueron adaptaciones simples de herramientas manuales como azadas y espadas que se utilizaron únicamente para remover el suelo, luego se fueron introduciendo algunas modificaciones para facilitar la labranza (15).

La conquista española introdujo en los Andes el arado de madera con tracción animal. Su uso fue acelerado por una ordenanza dada por el Virrey Toledo, en la que dice: "...que en las partes y lugares donde se pudiera barbechar y sembrar la tierra con bueyes, el corregidor de tal distrito vea las tierras y chacras que se puedan labrar y arar con arados y haga que comunidades de indios compren bueyes, yugos y el arado para que sirvan a los indios pobres..." (24).

Arado de madera tradicional:

Este arado consiste básicamente de un cuerpo, accesorios manuales fabricados de madera y una punta que puede ser de madera con punta de hierro (Fig. 1). Por su forma produce una suave ruptura del suelo, pero no un efectivo volteo ni incorporación eficiente de los residuos vegetales. La profundidad puede ser ajustada ejerciendo presión sobre el implemento para provocar una mayor profundidad de trabajo o por un cambio de ángulo de la punta con respecto al cuerpo (15).

El arado es básicamente un implemento usado en zonas semiáridas. En suelos arenosos y bajo condiciones de humedad presenta algunas desventajas en cuanto a la remoción del suelo. El implemento antes descrito es usado en partes del Norte de Africa, Sureste de Europa y en zonas tropicales de América Latina. En estas regiones existen numerosas variantes de este tipo de arado (15).

Con el arado de madera tradicional (o arado de palo) se realizan diversas labores agrícolas como surcado, aporque y cosechas de

algunas hortalizas, sin embargo todos estos trabajos los realiza de una manera deficiente, estas deficiencias son:

- Dificultad para arar terrenos pesados y/o cubiertos con rastrojo
- Requerimiento de mucho tiempo de trabajo.
- Trabajo superficial y poca duración de los beneficios de la labranza.
- Corta duración o vida útil reducida al romperse con facilidad, sobre todo cuando está seco el terreno (24).

Sin embargo, el arado tradicional también ofrece las siguientes ventajas:

- Peso liviano.
- Pueden ser fabricados por el mismo agricultor con madera que dispone o que trae de otro lugar.
- Es barato.
- Fácil y cómodo para transportar en el terreno (24).



1. Mancera
2. Reja
3. Timón
4. Telera
5. Cuñas
6. Cuerpo

Figura 1. Arado tradicional de madera

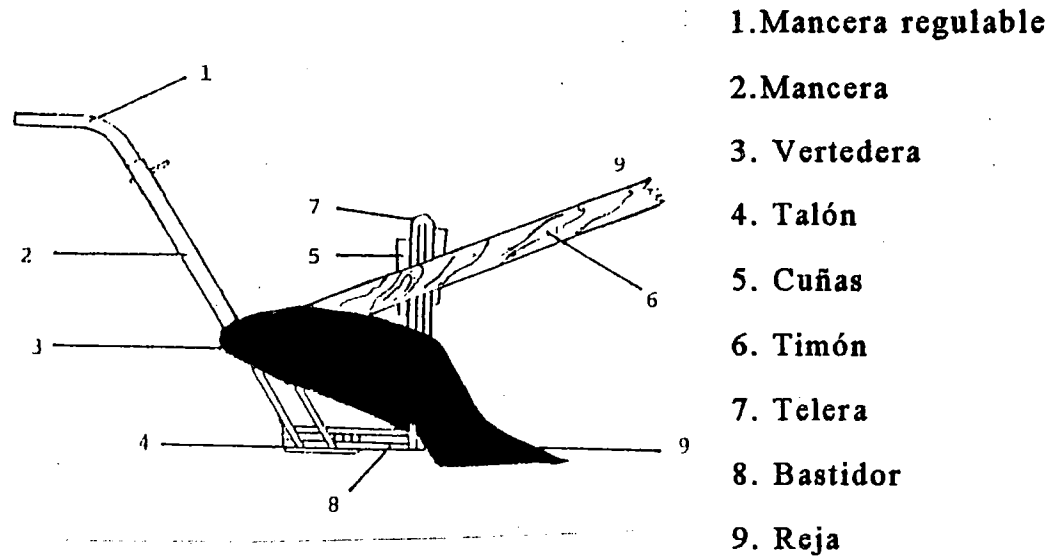


Figura 2. Arado de vertedera PROMECH

Arado de vertedera:

Esencialmente un arado de vertedera es una cuña en forma de triedro con dos planos (horizontal y vertical), perpendiculares entre sí, y una superficie curva formada por la reja y la vertedera (28).

En un principio, el trabajo de la vertedera tiene por objeto vencer la resistencia debida al rozamiento con el suelo y elevar el prisma de tierra sobre un plano inclinado (28).

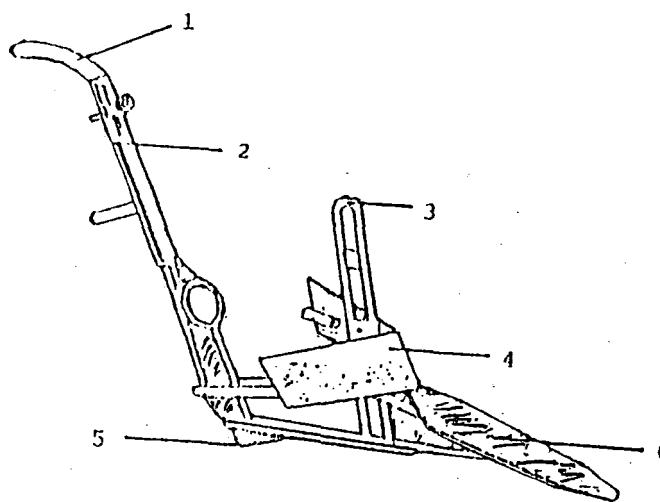
El arado de vertedera corta un prisma de tierra y luego lo voltea hacia un lado desplazándolo lateralmente. Por el desplazamiento se denomina a estos arados asimétricos.

La ventaja de este desplazamiento es que no acumulan el material vegetal entre el cuerpo del arado y el timón, lo que permite trabajar

con mayor velocidad. El arado de vertedera, se utiliza principalmente en terrenos planos. Con este implemento la preparación del suelo se logra en una pasada; sin embargo cuando en el terreno queda mucho terrón es necesario deshacerlos pudiéndose utilizar una rastra o utilizar ramas grandes jaladas por la yunta (24).

Ventajas del arado de vertedera PROMECH (Fig. 2)

- Mejor preparación del suelo, mayor incorporación de materia orgánica, que mejora la fertilidad del suelo.
- Mayor control de malezas (incorporación)
- Mayor control de plagas (exposición al sol)
- Tiempo de trabajo reducido.
- Mayor vida útil (24).



1. Mancera regulable

2. Mancera

3. Telera

4. Aletas

5. Bastidor

6. Reja

Figura 3. Arado Combinado PROMECH

Arado combinado:

La idea original para el diseño de este arado, fue hecha por sugerencia del agricultor Ulrich Kegel, en Sucre (Bolivia) en 1976 (24).

El arado combinado es un diseño construido de hierro que reemplaza al arado de madera y que ofrece al agricultor las siguientes ventajas:

- Mayor vida útil (el arado tradicional dura 3 a 4 años).
- Mayor resistencia (el arado de madera se rompe fácilmente).
- Mayor eficiencia de trabajo (24).

Además de las ventajas antes mencionadas, el arado combinado debe conservar en su diseño algunas ventajas del arado de madera como por ejemplo peso liviano, fácil y cómodo para transportar en el terreno (24).

El arado combinado PROMECH (Fig. 3), posee una aleta que abre el suelo detrás de la reja, esta aleta va fijada mediante un pasador y ayuda a amontonar la tierra y material vegetal hacia los lados y no permite la acumulación del material entre la reja y el timón, volteando además un poco la tierra removida hacia ambos lados. A este tipo de arado se le pueden adaptar dos aletas desmontables, fijadas, a través de un pasador, en las aletas fijas del arado, para de esta manera efectuar

una labor de aradura más eficiente en el suelo. Esta versión tiene la gran ventaja de ser muy fácil para transformar el arado en una surcadora-aporcadora. Para fabricar las aletas se requiere poco material. La desventaja de este modelo es que sus aletas son fijas y no es posible graduar el ancho del surco (24).

Al arado combinado PROMECH de Honduras se le han desarrollado accesorios para realizar las labores agrícolas como: romper y arar, surcar y aporcar, para la cosecha de papas y la siembra de maíz, frijol y otros granos. Para realizar la labor de siembra existe un accesorio importante, la sembradora PROMECH la cual es un implemento agrícola de tracción animal de uso sencillo y que se puede acoplar en la parte trasera del arado combinado, esta característica permite al agricultor:

- Hacer de una sola vez el surcado, siembra y tapado de la semilla, con la yunta de bueyes y una sola persona.
- Hacer una mejor distribución de las semillas, disminuyendo la competencia de agua, luz y nutrientes.
- Que los granos sean depositados con precisión y regularidad.
- Mantener una profundidad uniforme de la semilla en la siembra (24).

2.6 Generalidades del cultivo de Vigna

La Vigna es una leguminosa herbácea, anual, de temporada cálida, se estima que podría proceder de la India, con centros secundarios en

China y Etiopía (34). Su hábito de crecimiento oscila entre determinado y bastante definido, pero la planta continúa floreciendo típicamente y produce semilla durante un largo período. El cultivo de Vigna se adapta a gran diversidad de suelos, de fértiles a menos fértiles, incluyendo los que son bastante áridos. La Vigna constituye un alimento nutritivo y de fácil digestión, valiosa para complementar los cereales que se consume en la dieta humana (21). Se utiliza también como alimento concentrado para animales de granja, y como heno, ensilado (mezclado con sorgo), pasto, cobertura y abono verde (40).

La Vigna tiene gran interés económico; su grano seco es un buen pienso en la alimentación del ganado vacuno, porcino y aves de corral, ya que los consumen con buenos resultados. Por ser una buena fuente de proteínas puede ser empleado para sustituir parcialmente a la harina de soya en dieta de aves y cerdos (8). Además este cultivo se utiliza como cobertura del suelo más que otra especie, se cultiva como forraje en las tierras de regadío a continuación de otro cultivo principal, además se siembra en rotación con arroz y luego se entierra (40).

2.6.1 Morfología de la Vigna

Plántula:

Las plantas dominantes de la tierra son las Spermatophytas, portadoras de semilla, a la cual pertenece la Vigna sinensis (6), dicha semilla en condiciones óptimas germina entre 4-5 días después de la

siembra. Entre dichas condiciones óptimas tenemos la humedad, temperatura, oxígeno y luz (25, 26).

En condiciones favorables la plántula se desarrolla vigorosamente (34). La raíz principal es bien desarrollada; hipocótilo cilíndrico; epicótilo estriado; las dos primeras hojas acorazonadas; la segunda hoja trifoliada, con folíolos lanceolados (16).

Raíz: El sistema radicular consta de una raíz principal pivotante que en condiciones favorables de suelo puede profundizar bastante, posee también abundantes raíces secundarias, más del 80% de estas raíces se encuentran a 0.20 m de profundidad. Las características de desarrollo radicular muchas veces se ven afectadas por prácticas de manejo, una vez formados los pelos radiculares en las raíces primarias y secundarias, se inicia la formación de nódulos debido a la penetración de ciertas bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno atmosférico (23).

Uno de los objetivos que tienen los sistemas de labranza que se emplean para la preparación del suelo es el de crear condiciones favorables que permitan el buen desarrollo de los cultivos tales como la porosidad del suelo, la cual debe ser adecuada, o sea, poseer macroporos que permitan el libre paso de las raíces logrando con ello que la planta consuma menos energía y tenga mayores posibilidades de encontrar agua y aire disponible y por consiguiente un mayor desarrollo de la planta (8).

Estudios realizados reportan que *Vigna sinensis* W. es un cultivo poco arraigado, por lo cual le resulta indiferente la aradura profunda o superficial en la medida que no existan capas compactas en el subsuelo que originen problemas de drenaje o limiten el desarrollo radical (8).

Tallo y hojas: Planta herbácea anual con tallos volubles que varían en su calidad de erectos y arbustivos. Hojas trifoliadas entre opacas y brillantes, pecíolos de 2.5 a 12.5 cm de ancho. Foliolo central, de 2.5 a 12 cm, folíolos laterales irregulares (21, 34). La altura de la planta y el diámetro del tallo se relacionan con la genética de la planta (8, 36). Aunque en algunas investigaciones se ha encontrado que dichos parámetros guardan cierta relación con el tipo de labranza utilizada (8).

Inflorescencia: Las flores de la *Vigna* son enteramente blancas, con marcas moradas, o moradas lisas y se dan en pequeños racimos. La mayoría de las variedades del cultivo producen pedúnculos medianos (20 cm) o muy grandes 50 cm ó más de las cuales surgen múltiples (21); cáliz formando un tubo con los dientes y redondeado, alas ovaladas, quilla encorvada; estambres en dos grupos, siendo libre el vexilar; ovario con disco (23).

Fruto: Las vainas son tersas de 15 a 20 cm de largo, cilíndricas y ligeramente curvas. Al secarse se vuelven amarillas, pero algunas variedades adquieren una coloración morada o parda (21).

Semillas: De forma arrañonada, con el hilo más o menos cubierto por un tejido esponjoso (23). Los colores pueden diferir según la variedad, de blanco, marrón, morado o casi negro, en tono liso, hasta texturas moteadas, punteadas (21).

Nodulación: La formación de nódulos en la *Vigna* comienza poco antes que la planta tenga 15 días después de la siembra. La penetración de Rhizobium sp. en las raíces de Vigna sinensis, durante el desarrollo de la planta, provoca formación de nódulos debido a la influencia de un producto de la bacteria presumiblemente ácido indolacético, que da lugar a una deformación de la raíz de esta leguminosa. Esta relación simbiótica es bien generalizada en los trópicos. En estas condiciones la mayor parte de leguminosas forman nódulos cuando se les inocula Rhizobium sp (8).

Para una buena simbiosis se necesita una gran población de Rhizobium, además una cepa que permita la fijación de nitrógeno en suficiente proporción para suplir adecuadamente las demandas del huésped y ser totalmente efectivo. Este fenómeno es dependiente de factores ambientales, los cuales influyen en las cantidades de nódulos que forme la leguminosa. Así, son necesarias temperaturas adecuadas,

buena intensidad lumínica, días largos y altos niveles de CO₂ que incrementen los carbohidratos y la humedad en la planta, esto trae como consecuencia un aumento en el número de nódulos (1,8). También algunos minerales del suelo, pueden afectar positiva o negativamente la fijación de nitrógeno, deficiencias de fósforo y azufre son factores limitantes para que esta fijación se efectúe. Esto debido a un efecto directo que estos elementos tienen sobre la planta hospedera (8).

En lugares donde va a plantarse con *Vigna* por primera vez, sobre todo en lugares donde el cultivo no es común, la semilla debe inocularse con bacterias de un cultivo fresco de *Vigna* a fin de asegurar un desarrollo adecuado de nódulos en la raíz. La inoculación debe efectuarse inmediatamente antes de la siembra (21).

Estudios recientes referentes a la nodulación demuestran que los sistemas de labranza (convencional, reducida, mínima) empleados para la preparación de la cama de siembra, no tienen un efecto directo sobre el comportamiento de la nodulación, como lo tiene la humedad del suelo que es un factor estrechamente relacionado con la nodulación de leguminosas. Así sistemas de labranza que permitan que el suelo tenga una mayor capacidad de almacenamiento de agua pueden incidir para la formación de nódulos (1,8).

Crecimiento y producción: El crecimiento de cualquier parte de la planta no es independiente, sino que se halla perfectamente

coordinado con el de las partes restantes. La correlación que existe entre el crecimiento y el desarrollo de las diversas partes de una planta pueden explicarse; al menos en términos de suministro y demanda, por la forma en que las sustancias para el crecimiento son traslocadas. El crecimiento de una parte consume sustancias nutritivas, y como resultado disminuye su concentración en los canales de suministros adyacentes, estableciéndose un gradiente de concentración que parece producir automáticamente el movimiento de otros materiales desde los órganos que incorporan o fabrican las sustancias, o que simplemente, las ceden con la edad. Cuando más activo sea el crecimiento de una parte, tanto más irán a parar a ella los materiales disponibles, tanto más se restringirá el crecimiento vegetativo y el reproductor. Así los frutos que crecen de una planta rápidamente pueden monopolizar de este modo los recursos de una planta a tal punto que priven por completo de éstos a las partes vegetativas (11). En ese sentido al utilizar la planta las sustancias nutritivas para la producción del fruto, se provoca un descenso en su contenido de materia seca por el fenómeno de traslocación de nutrientes (39).

2.6.2 Adaptación y requerimientos climáticos

Clima:

Temperatura: La Vigna prefiere las condiciones cálidas y húmedas con clima más tórrido que el maíz o la soya. Investigaciones reportan que una temperatura diurna de 27°C daba un

óptimo crecimiento. Es sensible al frío lo que ocasiona que la germinación se retrase, el desarrollo de la planta es escaso y las hojas se arrugan y toman coloración purpúrea, los daños son peores en la fructificación, pudiendo llegar a la no formación de la vaina y por lo tanto de las semillas. Por el contrario las temperaturas elevadas no suelen perjudicar el cultivo. Solamente en el caso de calores muy fuertes en la época de floración y fructificación puede producirse daños en el rendimiento y en la calidad (8,34).

Precipitación: Son preferibles precipitaciones de 750 a 1100 mm. tolera precipitaciones inferiores, pero en las áreas de gran pluviosidad, aumentan los ataques de las enfermedades y los insectos (34).

2.6.3 Condiciones químicas del suelo para el cultivo de Vigna

La Vigna tolera una gran gama de condiciones químicas del suelo. Se adapta a una amplia escala de pH, pero prefiere los suelos ligeramente ácidos a los ligeramente alcalinos. Tiene poca tolerancia a suelos mal drenados (21, 34).

3.MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización y ubicación del ensayo

El estudio se realizó entre los meses de septiembre a diciembre de 1994, en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, localizada en el Cantón Tecualuya, jurisdicción de San Luis Talpa, en el Departamento de La Paz, situado a 36 Km al suroeste de la Ciudad de San Salvador, siendo sus coordenadas geográficas 13°28'03" Latitud Norte y 89° 05'08" Longitud Oeste; coordenadas plantas 261.5 Km. Latitud Norte y 489.6 km. Longitud Oeste. La elevación del lugar es de 50 msnm (8).

El área donde se desarrolló el ensayo está ubicada a 300 m al sur del casco de la Estación Experimental y al poniente de la caseta meteorológica, presentando el lugar una pendiente predominante de 4%. El lote es llamado "Cañal Viejo" (Figura A-1).

3.2 Características del lugar del ensayo

Clima: Según el sistema de clasificación climática de las zonas de vida del Dr. L.H. Holdrige, se encuentra influenciado bajo la

siguiente zona: bh (-S(c), bosque sub-tropical, con transición a tropical.

La cantidad de precipitación que cayó en la zona del ensayo fue de 460.8 mm, la temperatura promedio mensual para el mes de septiembre fue de 26.3°C, noviembre 25.9° C; obteniéndose la máxima temperatura en el mes de septiembre con 26.3°C.

El valor de humedad relativa promedio para el período de septiembre a diciembre fue de 82% y la velocidad media del viento 1 grado en la escala Beafort, que corresponde a 2.3 Km por hora.

La evaporación promedio mensual fue de 174 mm para el mes de septiembre, 155 mm para octubre, 135 mm y 151.9 mm para noviembre y diciembre respectivamente.

Suelos: En base al estudio semidetallado de suelos realizado por el Departamento de Suelos en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador en el año de 1975, se diferencian en todo el Campo Experimental tres grandes grupos de suelos: Aluviales, Regosoles y Litosoles (7). Cañas Reyes, V.M. y Osorio Torres, M.J., realizaron estudios más específicos en el área del ensayo donde determinaron que son suelos regosoles. El perfil del suelo tiene textura franco y franco limoso, consistencia friable y estructura maciza.

El área del ensayo tenía aproximadamente 1 año sin ser labrado mecánicamente, se identifica con el nombre de "cañal viejo".

Topografía: La pendiente del sitio no excede del 5%, la superficie es bastante plana en el 60% del terreno (7).

Drenaje: De acuerdo a las condiciones de suelo y topografía, el drenaje externo como el interno son buenos (7).

3.3 Metodología estadística

3.3.1 Diseño estadístico

Se utilizó el diseño estadístico de Bloques al Azar con tres tratamientos y siete repeticiones.

Los tratamientos consistieron en la preparación del suelo con tres tipos de arados:

T₁ : Arado de Madera (AM)

T₂ : Arado de Vertedera (AV)

T₃ : Arado Combinado (AC)

Los tratamientos en el campo se distribuyeron como se presenta en la Figura A-2.

3.3.2 Modelo estadístico

En el ensayo se utilizó el siguiente modelo estadístico:

Bloques al Azar:

$$Y_{ijk} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde: $i = 1, 2, \dots, a$

$J = 1, 2, \dots, b$

$k = 1, 2, \dots, n$

$abn =$ Total de observaciones del experimento

$Y_{ij} =$ Respuesta observada en cualquier unidad experimental (i, j)

$U =$ Media del experimento

$T_i =$ Efecto de cualquier tratamiento i

$B_j =$ Efecto de cualquier bloque j

$E_{ij} =$ Error experimental en la celda (i, j)

3.3.3 Distribución del área del experimento

Las unidades experimentales (parcelas) tuvieron una dimensión de 7 x 4.8 m proporcionando una superficie de 33.5 m² y un área de parcela útil de 7.20 m², separadas por una distancia de 3 m; la longitud total de cada bloque fue de 27 m de largo por 4.8 m de ancho, lo que da un área total del experimento fue de 1393.2 m². Para establecer el área útil de cada parcela se tomaron los 4 surcos del centro con una longitud de 3 m, proporcionando así un área útil de 7.2 m² (Figura A-2).

3.3.4 Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se utilizaron análisis de varianza (ANVA), comparaciones de medias y correlaciones entre los diferentes parámetros evaluados; en éstas se determinó el coeficiente de correlación entre las variables.

3.3.5 Toma de datos

La toma de datos se efectuó para evaluar el desarrollo fisiológico y rendimiento de la planta, así como también para medir el cambio en las variables físicas del suelo al ser trabajados con los diferentes arados de tracción animal. De esta forma se estableció la diferencia entre un tratamiento y otro.

3.3.5.1 VARIABLES DEL CULTIVO

Los datos que se evaluaron en el cultivo fueron los de porcentaje de germinación (8 días después de la siembra), altura de plantas y diámetro de la base del tallo, estos dos últimos se tomaron al azar dentro de cada parcela útil y cada 15 días para evaluar así el aumento en grosor y altura.

Las otras variables evaluadas fueron: longitud radical, número de nódulos, peso seco de plantas; estos datos fueron tomados a partir de 40 días después de la siembra, en los surcos de la periferia de las parcelas para no provocar variación en la parcela útil.

a) Germinación (%)

Para el porcentaje de germinación se determinó la relación existente entre el número de plántulas germinadas y el número de semillas sembradas, tomando 4 surcos de cada parcela como muestra.

b) Altura de plantas (m)

Para la altura de las plantas se midió con una cinta métrica desde el nudo cotiledonal hasta el último punto de crecimiento en el tallo principal. Se tomaron 10 plantas por parcela como muestra, luego se obtuvo un promedio por parcela. Esta actividad fue realizada 3 veces durante el ciclo vegetativo del cultivo (15, 30, 45 días después de la siembra).

c) Diámetro del tallo (mm)

El diámetro del tallo se midió en la base de éste con el uso de un pie de rey o vernier, tomándose 10 plantas al azar en cada parcela, luego se obtuvo el respectivo promedio de los datos tomados. Esta actividad fue realizada 3 veces durante el ciclo vegetativo del cultivo (15, 30, 45 días después de la siembra).

d) Número de nódulos

Mediante la remoción del suelo alrededor de la planta se excavó a una profundidad promedio de 0.20 m, lo cual facilitó la extracción de la raíz, se contaron los nódulos que quedaron en el suelo y los nódulos de las raíces, separándolos de éstas para facilitar su conteo y obtener el promedio. Se tomaron 5 plantas al azar. Este dato se tomó a los 40 días después de la siembra.

e) Longitud radical (cm)

Se utilizó una cinta métrica para medir la longitud de la raíz principal de las 5 plantas extraídas en el literal d, luego se obtuvo una longitud promedio.

f) Peso seco de plantas (g)

Las plantas extraídas de la parcela útil en el literal d se limpiaron de cualquier cantidad de tierra que pudiera haber quedado adherida a ella (incluyendo la parte aérea y la raíz) y se colocaron en bolsas de papel manila para obtener su peso fresco, posteriormente se colocaron en una estufa de aire circulante a 80 °C por 48 horas; transcurrido este tiempo se colocaron durante una hora en un desecador, y se determinó el peso seco promedio de las plantas.

g) Número de vainas por planta

De 10 plantas tomadas al azar dentro de la parcela útil se contó el número de vainas que posee cada una, para luego obtener el promedio del número de vainas por planta, este dato se obtuvo 68 días después de la siembra.

h) Longitud de vainas (cm)

A los 68 días después de la siembra se midieron las longitudes de las vainas contadas en el literal g), con cinta métrica, obteniéndose después la longitud promedio de las vainas.

Este procedimiento se realizó en cada parcela útil.

i) Número de granos por vaina

Del total de vainas que se cosecharon por parcela se tomaron al azar 10 vainas y se contó el número de granos, sacando luego el promedio de granos por vaina.

j) Peso de grano seco (kg./ha)

Para obtener el grano seco se colocaron las vainas en un piso de cemento al sol durante 2 días, se aporrearon las vainas, el grano así obtenido se pesó en una balanza semianalítica para obtener el rendimiento promedio por parcela útil.

3 2 5 7 *Evaluación de las variables físicas del suelo*
 J. J. J. J. *Evolution de ses caractéristiques physiques des sols* ^{n°} ≡ L

En el suelo se tomaron datos de: Densidad aparente, densidad real, porosidad, velocidad de infiltración, estructura, consistencia del suelo y grado de rotura. Estas variables fueron evaluadas antes y después de llevar a cabo la preparación del suelo y al final del ciclo vegetativo del cultivo. Las pruebas de consistencia y grado de rotura del suelo se realizaron solamente después de labrado el suelo. Los datos se obtuvieron de puntos del terreno en forma azarizada en el área de cada parcela.

a) Densidad aparente (gr./cc)

Se colectaron dos muestras por repetición antes de la labranza del suelo, luego una muestra a dos profundidades por parcela después de la labranza del suelo y al final del ciclo vegetativo del cultivo. Esta prueba se realizó utilizando el método del cilindro del volumen conocido y el muestreador Ulanhd, se obtuvieron muestras a dos profundidades del suelo (0-0.20 m, 0.20m-0.40m), las muestras se colocaron en cajas de aluminio debidamente marcadas con un lápiz graso, tapándola herméticamente para que no hubiera pérdida de humedad, procediendo en cada caso al secado en estufa por 24 horas a

105C para el posterior pesaje y la determinación de la densidad aparente.

Densidad aparente = Peso de suelo seco/volumen de suelo seco.

b) Densidad real (gr./cc)

El método utilizado en esta prueba es el del picnómetro para su determinación se utilizaron las muestras de suelo desecadas en la prueba de densidad aparente. Se utilizaron picnómetros de 100 ml de capacidad y agua destilada. La densidad real se calculó haciendo la relación entre el peso de suelo seco y el volumen de agua desplazada.

Densidad real = Peso de suelo seco/volumen de agua desplazada. (El procedimiento se detalla en el Anexo 1).

c) Porosidad (%)

La determinación del espacio poroso se realizó utilizando los datos de densidad aparente y densidad real en la siguiente fórmula:

% total de poros = $(1 - \text{Densidad aparente} / \text{Densidad real}) \times 100$.

d) Velocidad de infiltración (cm/hora)

Esta prueba se realizó usando cilindros infiltrómetros. Se instaló un cilindro por cada repetición (7 repeticiones) para las primeras pruebas antes de las labores (7 días antes de la siembra). Inmediatamente después del laboreo se instalaron nuevamente los cilindros (en cada una de las 21 parcelas). 78 días después de la siembra (después de la cosecha), se realizaron las últimas pruebas de

infiltración en cada una de las 21 parcelas. El procedimiento se describe en Anexo 2.

e) Estructura

Este análisis se realizó tomando muestras de suelo de cada uno de los tratamientos es estudio, utilizando el sistema propuesto en el Manual de Levantamiento de Suelos.

En este sistema la estructura se define en términos de grado, clase y tipo de agregados. Se realizaron pruebas antes y después del laboreo del suelo y al final del ciclo vegetativo. La descripción del método se detalla en el Anexo 3.

f) Consistencia del suelo

En cada una de las 21 parcelas se determinó la consistencia del suelo, 7 días antes de efectuar el laboreo del suelo. El procedimiento se describe en Anexo 4.

g) Grado de rotura del suelo

Esta prueba se realizó después del labrado del suelo, utilizando para ello cinta métrica, la prueba consistió en medir el tamaño de los terrones que quedaron luego de introducidos los diferentes tipos de arados, procediendo luego a sacar un promedio por tratamiento.

3.4 Metodología de campo

3.4.1 Estaquillado y delimitación de parcelas

Ubicada el área de estudio, se observó que la pendiente del terreno predominaba de Norte a Sur, por lo cual las parcelas con los respectivos tratamientos y repeticiones quedaron transversales a dicha pendiente, o sea de Este a Oeste.

Se realizó el estaquillado utilizando estacas, cinta métrica, almadana y pita. Delimitadas las parcelas se realizó una azarización de los tres tipos de arados para cada una de ellas, en la Fig. A-2 se observa como quedaron orientadas las parcelas en el terreno y sus respectivas repeticiones, para luego llevar a cabo las labores correspondientes de acuerdo a las necesidades agronómicas del cultivo.

3.4.2 Preparación de la cama de siembra

3.4.2.1 Arado de madera (AM)

La preparación de la cama de siembra utilizando el arado de madera tirado por bueyes se inició 2 semanas antes de la fecha de siembra, se cortaron las malezas y residuos de cosechas anteriores en forma manual hasta una altura de 3 cm sobre la superficie del suelo, después de una semana estos residuos fueron incorporados al suelo a través del primer paso de arado (tradicionalmente conocido como "rompido"). Transcurridos 7 días se efectuó el segundo paso de arado en el sentido de la pendiente (conocido como "machado") y luego un tercer paso, o sea el surqueado en forma perpendicular al anterior,

definiéndose así los surcos para la siembra con un distanciamiento de 0.6 m entre ellos.

3.4.2.2 Arado de vertedera (AV)

De la misma manera que con el arado de madera se esperó una semana para que los residuos de las cosechas anteriores se descompusieran, luego se procedió a realizar el primer paso de arado en el terreno en forma paralela a la pendiente del terreno. Se utilizó para esta labor de vertedera, después se efectuó un segundo paso en el sentido transversal a la pendiente que deja establecidos los surcos de siembra con un distanciamiento entre ellos de 0.6 mt. La dirección de trabajo con este implemento se muestra en la Figura A-3.

3.4.2.3 Arado combinado (AC)

Después de transcurrida la semana para la descomposición de los rastrojos se efectuó un primer paso de arado en el sentido longitudinal de la pendiente, se utilizó el arado combinado, después de esta labor se esperó una semana para que los residuos removidos se incorporarán y el suelo tuviera suficiente aereación. Luego de transcurrida la semana se efectuó el segundo paso de arado en el sentido transversal a la pendiente para dejar establecidos los surcos a un distanciamiento de 0.6 mt. El sentido de trabajo con este implemento se muestra en al Figura A-3.

3.4.3 Manejo agronómico

El manejo agronómico que se realizó en el cultivo de Vigna (Vigna sinensis) fue similar para todos los tratamientos y se describe a continuación.

3.4.3.1 Siembra

Para efectuar esta labor, se utilizó semilla de Vigna (Vigna sinensis) de la variedad VBR, con un distanciamiento de siembra de 0.60 m entre surco y 0.10 m entre plantas, efectuándose a los diez días después de la siembra un raleo para dejar el distanciamiento entre planta a 0.20 cm. La cantidad de semilla utilizada por parcela fue de 0.14 kg.

3.4.3.2 Fertilización

Esta labor se realizó al momento de la siembra con fórmula 16-20-0, depositándola al fondo del surco. La cantidad de fertilizantes utilizado por parcela fue de 0.22 kg. Que corresponde a la dosis recomendada de 45.3 kg./mz.

3.4.3.3 Control de plagas y enfermedades

El control de plagas al suelo se realizó con el insecticida comercialmente llamado Vigilante 2.5 G (Diazinón), su ingrediente activo es 0.0 dietil -0-2 (2-Isopropil-G-Metil 5-Pirimidinil) Fosforotioato. La dosis utilizada fue de 34 kg./mz.

El control de plagas al follaje se realizó; debido a la alta incidencia de Tortuguilla (Diabrotica Spp), 8, 15 y 22 días después de la siembra, utilizando Tamarón 600 C.E., con dosis de aplicación de 12 cc(gl de agua. En el ensayo se utilizó un total de 200 cc de Tamarón 600 C.E.

En algunas zonas del ensayo, principalmente en la periferia de las parcelas se detectaron algunas plantas con virosis, producto de la alta incidencia de Tortuguilla (Diabrotica Spp), debido a que este insecto es vector de la virosis en muchas leguminosas incluyendo la Vigna, por lo que para disminuirla se controló al insecto vector utilizando Tamarón 600 C.E. en las dosis antes mencionadas. Las plantas ya infectadas fueron arrancadas totalmente y eliminadas del lugar.

3.4.3.4 Control de malezas

A los 15 y 30 días después de la siembra se realizó un control manual de malezas, utilizándose para esta labor cumas y azadones.

3.4.3.5 Riego

Debido a que el ensayo se desarrolló durante la fase final de la época lluviosa sólo fue necesario regar en las últimas etapas del cultivo (floración, apareamiento de vainas). El sistema de riego usado fue el de aspersión utilizando la recomendación de Juárez Dubón, K.L. (20), regar con lámina constante de 40 mm y un intervalo de riego de 10 días y un tiempo de aplicación de 4.14 horas. La distancia entre laterales fue de 12 mt. y entre aspersores 12 mt.

3.4.3.6 Cosecha

La cosecha de grano se realizó a los 68 días después de la siembra, se arrancaron las plantas para luego de dos días de expuestas al sol, se procedió al trillado (aporreado), después se realizó la limpieza de la semilla (soplado) y se colocó al sol otros dos días para obtener una humedad entre el 12% y 14% de esta manera se procedió a su pesado y almacenaje.

3.5 Análisis económico

El análisis económico se realizó con los cuadros de costos de producción, en base al rendimiento (kg./ha) promedio de las repeticiones de cada tratamiento, costo de insumos y labores culturales necesarias para el desarrollo del cultivo con cada uno de los tipos de arados usados.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se analizan y discuten a continuación para determinar en que forma pueden los tres tipos de arados de tracción animal influir en las propiedades físicas del suelo y en el rendimiento bioeconómico del cultivo de *Vigna* (*Vigna sinensis*).

4.1 Propiedades físicas del suelo

Las variables del suelo evaluadas durante todo el transcurso del ensayo se discutirán tomando en cuenta las condiciones iniciales que presentaba el suelo del montaje, en el momento del laboreo del suelo, y al finalizar el ciclo del cultivo.

4.1.1 Densidad aparente

Al inicio del ensayo a una profundidad de 0-20 cm el suelo presentó una densidad aparente promedio de 0.98 gr./cc. Luego de realizar la preparación de la cama de siembra (montaje), los resultados para el tratamiento con arado de madera fueron de 0.9 gr./cc, para el arado de vertedera, 0.71 gr./cc y para el arado combinado de 0.78 gr./cc. De estos resultados se observa que en el momento de realizar

las labores de aradura con los diferentes implementos, el suelo trabajado con el arado de madera presentó una mayor densidad aparente, lo que indica que se produce porque con este tipo de arado no se realiza un efectivo volteo ni incorporación eficiente de los residuos vegetales ya que debido a su forma solo produce una suave ruptura del suelo (14), provocando por lo tanto que la estructura del suelo se mantenga en algunas ocasiones muy similar a las condiciones iniciales (antes del laboreo del suelo). Los resultados obtenidos al final del período del cultivo (71 días después de las pruebas iniciales) mostraron que los datos sobre densidad aparente no presentaron mayores diferencias entre tratamientos, obteniéndose los siguientes promedios:

Arado de vertedera (1.47 gr./cc), arado combinado (1.36 gr./cc) y arado de madera (1.42 gr./cc); pero al comparar estos valores con la densidad aparente que presentó el suelo al inicio del montaje se nota que existe un notable incremento, lo que produce una reducción del contenido de poros y un aumento de la compactación debido al pisoteo del suelo y al manejo de los diferentes implementos, esto dependiendo de la intensidad con que las fuerzas sean aplicadas al suelo y por supuesto de la cantidad de fenómenos naturales que incidan sobre el suelo, ésta puede ser la explicación más razonable para entender las diferencias entre las densidades aparentes al inicio y al final del ensayo, debe tomarse en cuenta además, la característica de

heterogeneidad del suelo y entenderla como un proceso dinámico y cambiante en sus propiedades (13).

Con respecto a las condiciones iniciales de densidad aparente para una profundidad de 20-40 cm se tiene que el valor promedio fue de 0.99 gr./cc y al momento de labrar las parcelas se observaron los siguientes resultados; arado de vertedera 1.15 gr./cc, arado combinado 1.12 gr./cc y arado de madera 1.07 gr./cc (Cuadro 3), esto indica que a una profundidad mayor de 20 cm todos los implementos usados para la labranza producen una mayor densidad aparente debido al efecto de compactación en esta capa, provocado por el peso individual de cada arado (Cuadro 4), ésta puede ser una relación proporcional al peso del implemento, tal es el caso del arado de vertedera que presenta el mayor valor de densidad aparente (1.16 gr./cc) y es el arado de más peso (26.3 Kg), aunque comparando con los otros arados de menor peso, no existe una diferencia significativa respecto de la densidad aparente.

En el período finalización del ensayo, los tratamientos arrojaron un valor promedio de densidad aparente de 1.53 gr./cc (Cuadro 3), de éste se obtiene que siempre el arado de mayor peso, el arado de vertedera presentó el mayor valor de densidad aparente (1.57 gr./cc) y así sucesivamente para el arado combinado (1.54 gr./cc) y arado de madera (1.46 gr./cc); lo anterior es un resultado lógico si se consideran los pesos de los implementos y toda la carga que ha

soportado el suelo durante el desarrollo del cultivo a través de las actividades culturales, lluvia, viento, pisoteo, etc.

CUADRO 2. Resultado de las propiedades físicas del suelo con el uso de tres tipos de arados de tracción animal para una profundidad de 0 - 20 cm. CAPREX, 1994.

PARAMETRO	TRATAMIENTO				
	AV	AC	AM	MEDIA GENERAL	CV (%)
Dens. Apar (gr./cc) Inicio	0.980	0.980	0.980	0.980	-----
Dens. Apar (gr./cc) Montaje	0.710	0.790	0.910	0.800	18.150 ns
Dens. Apar (gr./cc) Final	1.470	1.360	1.420	1.420	9.310 ns
Dens. Real (gr./cc) Inicio	2.320	2.320	2.320	2.320	-----
Dens. Real (gr./cc) Montaje	2.510	2.390	2.260	2.380	17.190 ns
Dens. Real (gr./cc) Final	2.720	2.340	2.100	2.380	33.000 ns
Porosidad (%) Inicio	56.820	56.820	56.820	56.820	-----
Porosidad (%) Montaje	70.280	65.400	59.320	65.070	14.630 ns
Porosidad (%) Final	51.150	38.670	42.650	44.150	43.490 ns
Infiltración (cm/h) Inicio	1.200	1.200	1.200	1.200	-----
Infiltración (cm/h) Montaje	1.510	2.060	1.540	1.705	33.280 ns
Infiltración (cm/h) Final	1.290	1.290	1.630	1.400	61.210 ns
Humedad del suelo (%) Montaje	20.429	20.639	21.204	20.757	4.300 ns
Dif. Inicio-Montaje (Dens. Apar)	-0.272	0.190	0.070	0.180	-----
Dif. Inicio-Final (Dens. Apar)	0.491	0.380	0.440	0.430	134.790 ns
Dif. Inicio-Montaje (Dens. Real)	0.190	0.070	0.060	0.110	30.190 ns
Dif. Inicio-Final (Dens. Real)	0.400	0.020	0.220	0.210	-----
Dif. Inicio-Montaje (Porosidad)	13.310	8.820	2.500	8.210	-----
Dif. Inicio-Final (Porosidad)	5.670	18.510	14.170	12.780	115.890 ns
Dif. Inicio-Montaje (Infiltración)	0.310	0.860	0.340	0.500	165.750 ns
Dif. Inicio-final (Infiltración)	0.090	0.090	0.430	0.200	-----

Ns : No significativo
 * : Significativo al 5%

AV = Arado de vertedera
 AC = Arado combinado
 AM = Arado de madera

4.1.2 Densidad real

La densidad real de las partículas de suelo es un parámetro constante para la mayoría de tipos de suelos por lo que los resultados obtenidos al inicio de las preparaciones del suelo, durante las prácticas de laboreo y al finalizar el ensayo se mantuvieron en una forma similar (Cuadro 2). Las condiciones iniciales presentaron un valor medio de 2.32 gr./cc y 2.35 gr./cc para una profundidad de 0-20 cm y 20-40 cm respectivamente. De 0-20 cm durante el laboreo el promedio de densidad real presentó los valores de 2.38 gr./cc en el rango superficial (0-20 cm) y 2.52 en el rango subsuperficial (20-20 cm).

Como puede observarse la densidad real no varió significativamente porque no es afectada por el tamaño ni por el arreglo de las partículas; además el contenido de materia orgánica en el suelo del lugar del ensayo presentó un valor de 0.78%, que resulta muy bajo como para poder hacer variar la densidad real en forma significativa (3,9,37).

CUADRO 3. Resultados de las propiedades físicas del suelo con el uso de tres tipos de arados de tracción animal para una profundidad de 20 - 40 cm. CAPREX, 1994

PARAMETRO	TRATAMIENTO				
	AV	AC	AM	MEDIA GENERAL	CV (%)
Dens. Apar (gr./cc) Inicio	0.993	0.993	0.993	0.993	
Dens. Apar (gr./cc) Montaje	1.159	1.120	1.069	1.116	3.88*
Dens. Apar (gr./cc) Final	1.567	1.544	1.463	1.525	11.21ns
Dens. Real (gr./cc) Inicio	2.350	2.330	2.350	2.350	
Dens. Real (gr./cc) Montaje	2.409	2.423	2.283	2.371	12.69ns
Dens. Real (gr./cc) Final	2.507	2.343	2.716	2.522	23.29ns
Porosidad (%) Inicio	52.040	52.04	52.040	52.040	
Porosidad (%) Montaje	51.131	52.141	50.844	51.372	15.18ns
Porosidad (%) Final	40.536	45.481	41.767	42.595	43.49ns
Humedad del suelo (%) montaje	25.729	24.420	25.257	25.135	3.77ns
Dens. Apar. Dif. Inicio-montaje	0.165	0.126	0.075	0.122	35.42*
Dens. Apar. Dif. Inicio-final	0.574	0.551	0.469	0.531	32.19ns
Densidad real Dif. Inicio-montaje	-0.059	0.073	-0.069	0.201	
Densidad real Dif. Inicio-final	0.007	-0.007	0.364	0.126	334.59ns
Porosidad Dif. Inicio-montaje	-0.909	0.101	-1.196	-0.735	
Porosidad Dif. Inicio-Final	-11.504	-6.559	-10.279	-9.447	-209.60

Ns : No significativo
 * : Significativo al 5%

AV = Arado de vertedera
 AC = Arado combinado
 AM = Arado de madera

Cuadro 4. Características de los tres tipos de arados de tracción animal usados en el ensayo, sobre las propiedades físicas del suelo en el desarrollo del cultivo de Vigna. CAPREX, 1994.

Implemento usado	Peso (kg)	Peso de arado + timón (Kg)	Profundidad de trabajo (m)
Arado combinado (AC)	14.5	23.5	0.24
Arado de vertedera (AV)	17.2	26.3	0.20
Arado de madera (AM)	11.8	18.1	0.20
Timón AC y AV	9.1		
Timón AM	6.3		

4.1.3 Porosidad

Las condiciones iniciales de porosidad de suelo a una profundidad de 0-20 cm arrojaron un valor promedio de 56.8% como media general para todo el terreno; como puede observarse este valor está dentro de los porcentajes de porosidad establecidos para suelos de textura medias, porcentajes cercanos al 50% (1).

Luego de realizar las labores de preparación de suelo (en el montaje) con cada uno de los arados se observó un porcentaje de porosidad máximo de 70.28% correspondiente al tratamiento con arado de vertedera y un mínimo de 59.32% para el arado de madera para la profundidad de 0-20 cm (Cuadro 2); esto concuerda con los resultados de densidad aparente obtenidos en la fase inicial del ensayo en donde se nota que existe una relación inversa entre dos variables, así cuando

existe una menor densidad aparente el porcentaje total de poros es mayor (Fig. 4).

La baja densidad aparente y alto porcentaje de poros para el tratamiento con arado de vertedera se puede explicar si se toman en consideración las características estructurales de este arado, como son la reja y la vertedera, principalmente; que hacen que el suelo tenga un efectivo volteo; no así el suelo trabajado con el arado combinado y arado de madera.

Al finalizar el ensayo los resultados de porosidad mostraron el siguiente comportamiento: arado de vertedera (51.15%), arado combinado (38.67%) y arado de madera (42.65%) que al compararlos con la porosidad inicial del suelo muestran una tendencia a disminuir, que bien pudo aumentar (Fig. 5); efecto producido por la desestabilización de la estructura del suelo por acción de agentes externos como la lluvia, radiación, de integración de agregados y consecuentemente compactación del suelo (4).

En el rango de profundidad de 20-40 cm la porosidad inicial del suelo tuvo un valor de 52.04%. Luego del montaje la porosidad en cada uno de los tratamientos fue similar proporcionando valores entre 50.84% y 52.14% (Cuadro 3). Estos valores no resultan significativamente diferentes con respecto al valor inicial, porque si bien es cierto que los implementos de labranza alteran la estructura del suelo y sus propiedades físicas, esto sucede en gran parte en los estratos superficiales, pero no a mayor profundidad; por esa razón los

valores de porcentaje de porosidad en el rango de 20-40 cm tienden a mantenerse constantes.

En la fase final del cultivo la porosidad tiene el mismo comportamiento que en el momento del montaje, excepto que por el tiempo transcurrido y los fenómenos (lluvia, radiación, acción microbial, etc.) que actuaron sobre el suelo hacen que éste trate de llegar a su punto de equilibrio o de estabilidad en su estructura, por lo que la porosidad puede tender a disminuir, pero no significativamente.

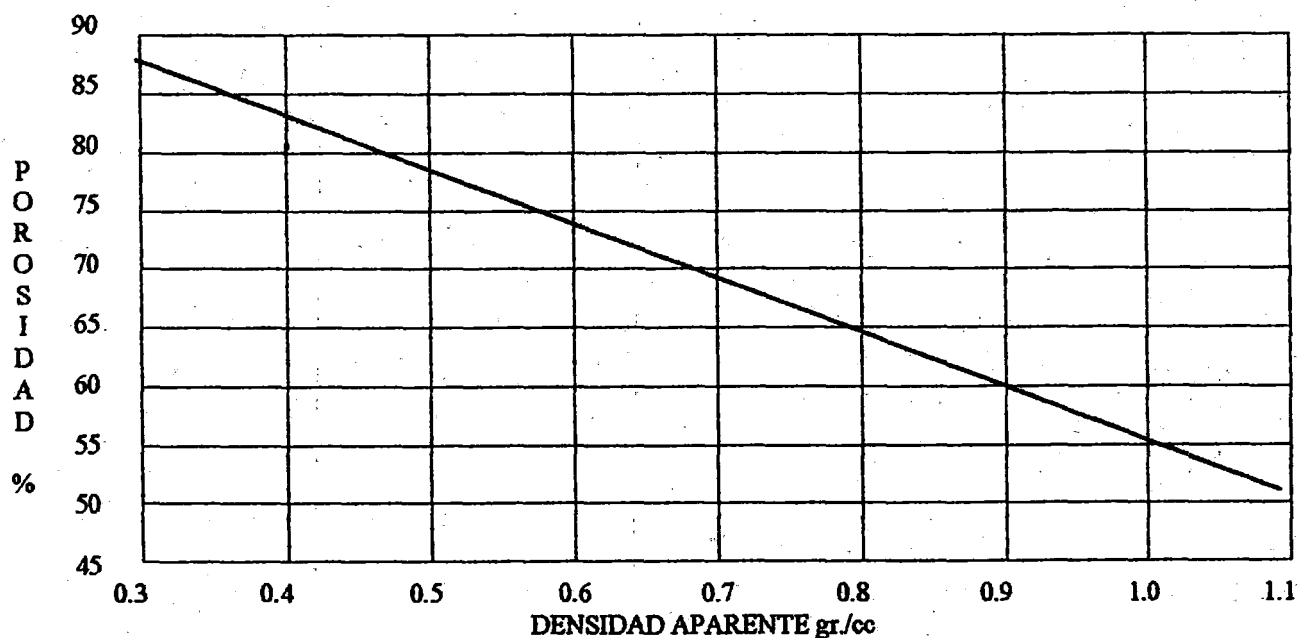


Figura 4. Relación entre la densidad aparente del suelo y la porosidad total durante el laboreo con tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX, 1994.

Los valores finales estuvieron en el rango de 40.54% y 45.48% (Cuadro 3), por lo tanto diferencia significativa entre tratamientos no existe. Los diferentes porcentajes antes descritos se refieren al porcentaje de poros total y no a su distribución de tamaños o a su forma, aunque se sabe que mientras más grandes son las partículas los poros serán mayores. La estabilidad y cementación de las partículas en agregados al momento de la labranza determinada la estabilidad y naturaleza de los poros ante los diferentes cambios a que está sujeto el suelo (naturales y no naturales) (4).

al momento de la labranza determinada la estabilidad y naturaleza de los poros ante los diferentes cambios a que está sujeto el suelo (naturales y no naturales) (4).

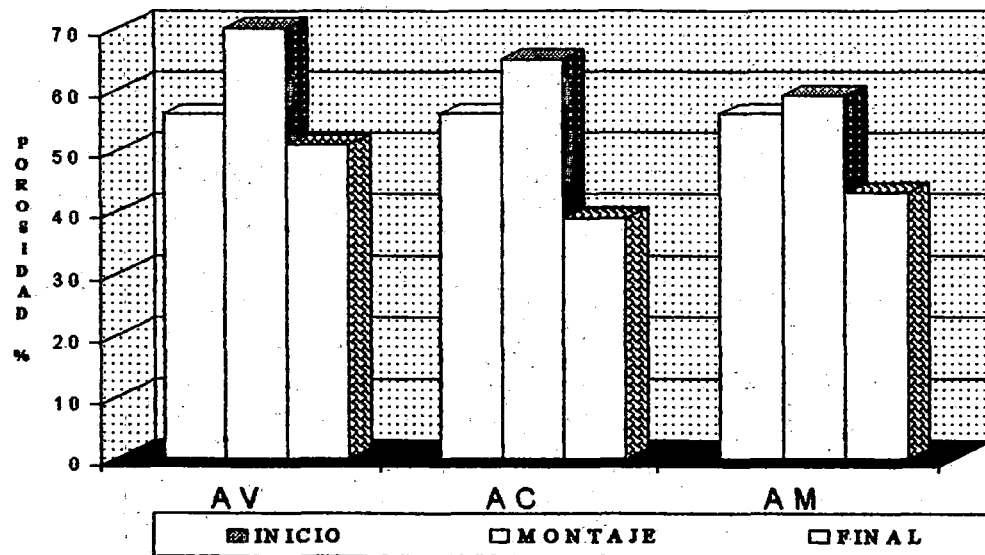


Figura 5. Porcentajes de porosidad en las diferentes fases del ensayo.

CAPREX, 1994.

4.1.4 Infiltración

El suelo en donde se desarrolló el ensayo presentó una tasa de infiltración promedio de 1.20 cm/hora antes de efectuar cualquier laboreo agrícola. Al efectuar la labranza en las parcelas se determinó que la infiltración básica tuvo un aumento en comparación con las condiciones iniciales, siendo el arado combinado con 2.06 cm/hora el tratamiento con mayor tasa de infiltración, seguido por el arado de madera (1.54 cm/hora) y arado de vertedera (1.51 cm/hora) (Cuadro 2) aunque entre estos tratamientos no existió diferencia significativa como se puede observar en los análisis de varianza (Cuadro A-2).

A través del laboreo de las capas superficiales del suelo se puede disminuir su densidad aparente y por consiguiente aumentar su porosidad total: la porosidad determina la facilidad del flujo de agua a través del medio y la cantidad de agua que el suelo puede almacenar, y la cantidad de agua que el suelo puede almacenar, y controlar procesos como la infiltración, drenaje y absorción de agua por las raíces.

Al finalizar el ciclo del cultivo los resultados de infiltración fueron muy similares a los datos de infiltración en la fase inicial del ensayo, teniéndose un ligero cambio en el arado de madera.

La velocidad de infiltración depende de muchos factores, entre ellos la estructura y compactación, textura, contenido de humedad del suelo, agregación y actividades microbianas (13).

Como puede observarse en el Cuadro 2, el comportamiento de la velocidad de infiltración fue para el arado combinado 2.06 cm/hora y ésta guarda relación con el contenido de humedad del suelo ya que

para este tratamiento fue de 22.53%, siendo por lo tanto las parcelas que poseían menor porcentaje de humedad y mayor velocidad de infiltración, lo cual concuerda con lo reportado por Gavande (13), que describe que cuando el contenido de humedad es menor la velocidad en los primeros períodos es mayor, llegándose en ambos casos a un punto donde la infiltración básica se aproxima a un valor constante.

Debido a que el aumento de la porosidad es temporal, también el efecto de aumento en la velocidad de infiltración resulta temporal, por lo que al final del ensayo se nota una tendencia a regresar al valor de infiltración inicial pues el suelo podría haber llegado a un punto de equilibrio o estabilidad estructural, debe además considerarse que el perfil del suelo no es homogéneo y que la tasa de infiltración puede variar debido a la presencia de diferentes estratos subsuperficiales que presentan distintas condiciones físicas y que pueden aumentar o disminuir el flujo del agua (3).

4.1.5 Estructura

Los cambios observados, sobre la estructura del suelo se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Cambios en la estructura del suelo con tres tipos de arados de tracción animal en las diferentes fases del experimento. CAPREX, 1994.

ESTRUCTURA		
TRATAMIENTO	Condición inicial (Humedad 18%)	Montaje (Humedad 20.7%)
Arado de vertedera	Prismática fina (10-20 mm)	Granular gruesa (5-10 mm)
Arado combinado	Prismática fina (10-20 mm)	Granular media (2-5 mm)
Arado de madera	Prismática fina (10-20 mm)	Granular gruesa (5-10 cm)

Al efectuar las labores de preparación del suelo, en el montaje del ensayo, se rompió la estructura de éste, dando como resultado cambios notables, aunque no significativo, en sus propiedades físicas, lográndose por lo tanto una nueva clase de estructura en cada una de las fases del ensayo (Cuadro 5).

El cambio producido de estructura prismática en el inicio a una granular durante el laboreo de las parcelas se debe a que con cada uno de los implementos (arados) se efectuó un rompimiento y un volteo (para el tratamiento con arado de vertedera) de la capa superficial del suelo provocando el debilitamiento de las fuerza de cohesión y adhesión que mantienen unidas a las moléculas y a las partículas del suelo. Este rompimiento se efectuó cuando el suelo tenía un contenido

de humedad del 20.7%, ó sea en su valor más cercano al de consistencia friable, que para el suelo del área del ensayo fue de 13%.

4.1.6 Tamaño de agregados

El tamaño de los agregados formados en el momento de la aradura presentaron diámetros promedios de 5.5 cm para las parcelas trabajadas con arado de vertedera, 7 cm para el arado combinado y 9.6 cm para el tratamiento con arado de madera, estos agregados fueron el resultado de los diseños específicos de cada arado, así el arado de vertedera por su forma provoca un volteo suficientemente grande como para efectuar una granulación mayor, debido a que hace un efectivo volteo del prisma del suelo cortado y porque las partículas viajan a diferentes velocidades sobre la vertedera lo que hace que exista un gran desterronamiento. En el arado combinado solo hay una remoción del suelo hacia ambos lados de las aletas y no un eficiente volteo del suelo por lo que la granulación es menor que el que puede provocar una vertedera, pero mayor que el arado de madera (24).

4.2 Variables del Cultivo

Según los resultados obtenidos, se observa que el comportamiento de las plantas no indica diferencias significativas en ninguno de los tratamientos en estudio, o sea que el comportamiento fisiológico fue igual en los tres tipos de arados de tracción animal empleados en la preparación de la cama de siembra. Dicho comportamiento se debió a la alta capacidad fisiológica que tiene el cultivo de *Vigna* (*Vigna*

sinensis) para adaptarse con facilidad a toda clase de suelos bajo condiciones adversas (8, 21).

Debido a que no existió diferencia significativa entre los tratamientos, se procedió a realizar una simple comparación entre medias de dichos tratamientos. Una de las variables evaluadas en la presente investigación fue el porcentaje de germinación, obteniendo valores de 82.96% para el arado de madera, 80.23% y 73.25% para el arado de vertedera y arado combinado respectivamente (Cuadro 6, Fig.6); donde se puede ver que el tratamiento con arado de madera presentó el mayor porcentaje de germinación, que es considerado bueno, ya que algunos autores reportan que ese rango de germinación es el aceptable para semillas de leguminosas (33). Además este comportamiento se debió a que la semilla para poder germinar necesita de condiciones favorables tales como temperaturas adecuadas, luz, oxígeno y lo que es más importante un porcentaje de humedad adecuado en el suelo (31). Esta última característica fue evaluada en el presente ensayo al momento de la siembra (montaje), de donde tenemos que para el arado de madera fue de 21.20%; 20.63% y 20.42% para el arado combinado y arado de vertedera respectivamente (Cuadro 2); observándose un mayor porcentaje de humedad en el tratamiento con arado de madera, lo cual contribuyó a obtener un porcentaje mayor de germinación en dicho tratamiento (31).

CUADRO 6. Resultados de las variables del cultivo de Vigna.

Obtenidos en el uso de tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX, 1994.

PARAMETRO	TRATAMIENTO				
	AV	AC	AM	MEDIA GENERAL	CV (%)
Germinación (%)	80.23	73.25	82.96	78.81	8.94 ns
Altura de plantas (cm)	48.29	44.46	44.13	45.62	9.10 ns
Diámetro del tallo (mm)	6.69	6.50	5.91	6.37	7.11 *
Longitud de raíces (cm)	16.61	17.43	19.93	17.99	17.18 ns
Número de nódulos	18.00	13.29	16.57	15.95	40.97 ns
Materia seca (%)	16.42	15.11	15.51	15.68	13.08 ns
No. De vainas/planta	10.14	9.43	9.71	9.76	22.43 ns
Longitud de vainas (cm)	16.79	16.53	15.97	16.43	7.44 ns
No. de granos/vaina	13.86	14.00	12.86	13.57	7.13 ns
Peso de grano seco (kg./ha)	780.59	925.65	842.70	849.65	26.28 ns

Ns = No significativo
 * = *Significancia al 5%*

AV = Arado vertedera
AC = Arado combinado
AM = Arado de madera

Al evaluar la altura de plantas, se reportaron valores de 48.29 cm para el arado de vertedera, 44.46 cm y 44.13 cm para el arado combinado y arado de madera respectivamente (Cuadro 6). Se observó que a pesar que el arado de vertedera superó a los demás tratamientos, esta diferencia no fue estadísticamente significativa; además algunos autores relacionan la altura de la planta con la genética de las mismas, lo cual demuestra que la práctica de aradura con los tres tipos de arados no proporcionaron diferencias significativas en lo que respecta a altura de plantas (8,25) Sin embargo al comparar medias entre los tratamientos, se observó que la mayor altura de plantas la presentó el tratamiento con arado de vertedera, esto se puede explicar en parte porque con este arado se realizó una buena práctica de aradura en el suelo; algunos autores concuerdan que las labores de aradura en el suelo crean condiciones favorables que permiten el buen desarrollo tanto del diámetro como la altura de los cultivos (8).

El diámetro del tallo presentó similar comportamiento a la anterior variable, reportándose diámetros de 6.69 mm para el arado de vertedera, 6.50 mm y 5.91 mm para el arado combinado y arado de madera respectivamente (Cuadro 6), resultando ser la única variable que presentó diferencia significativa, confirmándose así que el arado de vertedera, que presentó mayor diámetro de tallo, creó las condiciones favorables que permitieron el buen desarrollo del cultivo a través de una buena labor de aradura (2). Esta variable también se relaciona con la genética de la planta y con su altura, ya que se observó una relación directa entre la altura de planta y su diámetro (8,

36); para lo cual Fogg, G.E. (11), señala que el crecimiento de las plantas se realiza de una forma correlacionada, pero en condiciones óptimas o normales, de manera que a medida la planta incrementa su longitud, también aumenta su diámetro o grosor. Dicho comportamiento se presentó en el tratamiento con arado de vertedera donde se obtuvo el mayor diámetro de tallo y altura de planta; de igual forma el comportamiento para los demás tratamientos (8,36).

La longitud de raíces fue otra variable evaluada en la presente investigación, de donde se tiene que para el arado de madera fue de 19.93 cm; 17.43 cm y 16.60 cm para el arado combinado y arado de vertedera respectivamente (Cuadro 6). Al comparar las medias entre dichos tratamientos, se observa una diferencia en el arado de madera con mayor longitud radical, para lo cual Thorme, D.W. y Peterson, H.B. (36) señalan que las plantas desarrollan extensos sistemas radicales, pero la profundidad a que penetran y la concentración de raíces en un volumen de suelo dado depende de las condiciones de suelo así como de la naturaleza genética de la planta. En ese sentido la diferencia que presentó el arado de madera, se puede explicar en parte estudiando las condiciones de suelo en el momento que se evaluó la longitud radical. Para ello fue necesario estudiar los datos de la Estación Meteorológica "La Providencia" en el Campo Experimental y de Prácticas de la Universidad de El Salvador (38), donde se reportó que para el mes de noviembre de 1994 las precipitaciones disminuyeron considerablemente en la zona llegando a ser nulas en la segunda década del mes, además se reportaron pérdidas considerables

de agua por evaporación en la época que correspondió a la toma de datos de longitud de raíces (Cuadro A-3). En ese sentido algunos autores señalan que la evaporación en la superficie del suelo, las bajas precipitaciones y la absorción de humedad de las plantas en crecimiento, reducen la cantidad de agua en el suelo (10). Dichos fenómenos crearon condiciones desfavorables de humedad en el suelo, especialmente en los tratamientos con arado de madera, debido a las pérdidas de agua en la superficie y si se toma en cuenta la menor porosidad que presentó dicho tratamiento que evitó el adecuado almacenamiento de agua obligando a las plantas de dicho tratamiento a extender su sistema radical en busca de agua. Por lo tanto, si las raíces en la parte superior del terreno están agotando la humedad del suelo, las necesidades de la planta pueden satisfacerse si las raíces profundizan hasta las capas inferiores que aún contienen humedad adecuada (10). Al fenómeno que contribuyó a obtener mayor longitud de raíces en el tratamiento con arado de madera se le conoce como hidrotropismo, que es un proceso por medio del cual las raíces de las plantas tienen la tendencia a crecer hacia la humedad; para de esa manera lograr cubrir los requerimientos hídricos de ese momento, necesarios para la nutrición de la planta y en especial para la formación de los frutos (11).

Para explicar el comportamiento presentado en la variable del porcentaje de materia seca, se hace necesario aclarar la estrecha relación que existe entre el crecimiento vegetativo y reproductor de la planta. Estas relaciones pueden explicarse en parte en términos de

suministro y demanda por la forma en que una planta a través de la traslocación de nutrientes permite que determinados órganos o parte de la misma consuman en mayor cantidad algunos recursos o priven de éstos a otras vegetativas (11, 25). En ese sentido se establece una relación inversa entre el porcentaje de materia seca y el rendimiento de grano seco (Cuadro 6), en dicho cuadro se observa que el arado de vertedera con 16.42% de materia seca superó al arado combinado y arado de madera con 15.11% y 15.51% respectivamente como respuesta lógica a su mayor altura y diámetro.

Los datos reportados en la presente investigación, en cuanto al número de nódulos son de 18 para el arado de vertedera, 16.57 para el arado de vertedera, 16.57% para el arado de madera y 13.29 para el arado combinado (Cuadro 6), a pesar de la diferencia entre estos valores promedios no existió diferencia estadísticamente significativa ya que el número de nódulos depende principalmente de la presencia en el suelo de cepas de bacterias del género Rhizobium, de temperaturas adecuadas, buena intensidad lumínica y altos niveles de CO₂ que puedan incrementar los carbohidratos y la humedad en la planta (1, 8).

4.3 Variables de rendimiento del cultivo

Se procedió a realizar una simple comparación entre las medias por tratamiento. Tomando como base la relación existente entre las variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo, Miller (26) señala que existen estrechas relaciones entre el comportamiento vegetativo y la fase reproductiva de la planta. En tal sentido el arado de vertedera

que presentó valores mayores en cuanto altura de planta y diámetro de tallo obtuvo un porcentaje de materia seca mayor superando al arado combinado y arado de madera que por efecto de la compensación de nutrientes permite que el rendimiento de grano seco (kg./ha) se establezca en forma inversa al comportamiento del porcentaje de materia seca (Cuadro 6). Por ello Villanova (39) señala que el porcentaje de materia seca que produce la planta después de la floración, se dirige hacia las vainas en desarrollo. De tal manera el arado combinado presentó el mayor rendimiento de grano seco con 925.65 kg./ha, seguido por el arado de madera con 842.7 kg./ha y 780.59 kg./ha para el arado de vertedera (Cuadro 6 y Fig. 6). En ese sentido el arado combinado con mayor rendimiento de grano seco, por efecto de la compensación de nutrientes, presentó el menor número de vainas por planta, y por el mismo efecto permitió que se incrementaran los valores de grano por vaina y peso de los mismos (Cuadro 6).

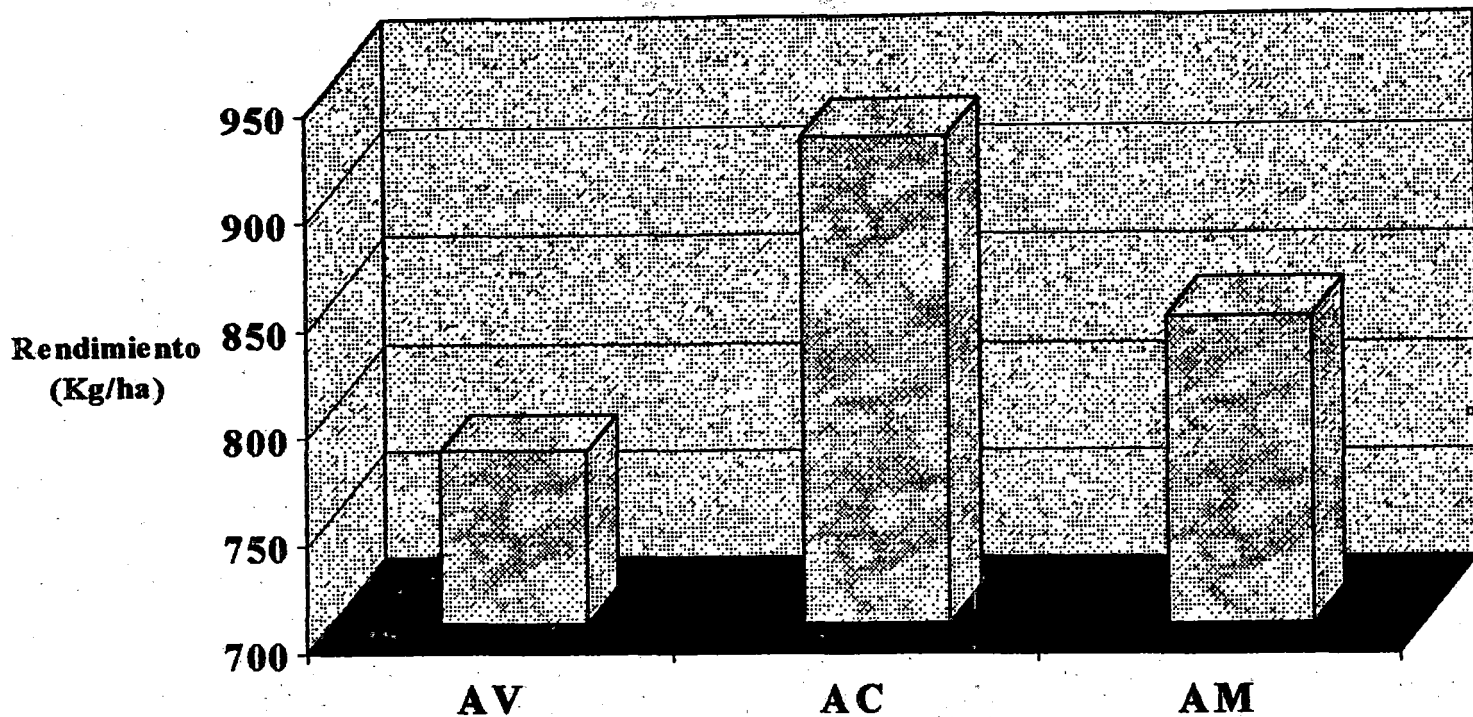


Figura 6. Rendimiento de grano seco (Kg/ha) con tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX. 1994.

El mayor rendimiento de grano seco (kg./ha) se obtuvo, como se dijo anteriormente, en el tratamiento con arado combinado (AC) con 925.65 Kg/ha lo que equivale a 14.26 kg./mz; comparado este dato con el rendimiento promedio de Vigna a nivel nacional que corresponde a 22 qq/mz se observó un notable descenso del rendimiento obtenido en el ensayo, las causas atribuibles de estos resultados fueron la alta incidencia de plagas y enfermedades que se presentaron en el área del experimento en uno de los momentos más importantes del cultivo como lo es la floración (11), la cual comenzó a presentarse a mediados del mes de noviembre, época en la cual disminuyeron considerablemente las lluvias (Anexo A-8) provocándose con ello altas proliferaciones de plagas de tortuguilla (*Diabrotica* spp) que son los principales vectores

de enfermedades como la virosis, que estuvo presente en algunas parcelas del ensayo.

Por otra parte la variedad que se utilizó en el ensayo, VBR, no se había evaluado en al Estación Experimental, por lo tanto los resultados obtenidos servirán como aporte para la realización de posteriores trabajos de investigación; ya que se comprobó que en las condiciones donde se desarrolló el ensayo se obtuvieron rendimientos bajos probablemente debido a la susceptibilidad de esta variedad de Vigna a la virosis.

4.3.1 Correlación entre variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo.

Para establecer la estrecha relación que se observó entre las variables del cultivo, fue necesario definir correlaciones entre ellas y de esta manera a través del análisis comprobar dichas correlaciones. En el cuadro 7 se observa que la variable diámetro de tallo y la altura de las plantas presentan un coeficiente de correlación de 0.698, el cual es significativo, demostrándose así que existe una relación directa, por ello Bidwell R.G.S. correlaciona el desarrollo de una planta con el crecimiento; por ejemplo las yemas axilares de muchas dicotiledoneas como el frijol no empiezan a crecer hasta que el tallo aumenta en tres o más entrenudos por encima de ellas (4). La materia seca mostró correlación con la longitud de raíz (0.828) y con el diámetro de

tallo (0.647), esto debido a que la planta a través de su desarrollo fisiológico alcanza en un determinado momento un grosor y una longitud radical determinada, lo que se reflejará grandemente en le contenido de materia seca que está presente (11). Otra importante correlación es la que presentó el número de nódulos con el diámetro de tallos (0.848), longitud de raíces (0.726) y materia seca (0.705), el número de nódulos se relaciona más con la cantidad de cepas de bacterias del género Rhizobium, este fenómeno es dependiente de factores ambientales, los cuales influyen en las cantidades de nódulos que se forman; entre los cuales tenemos la humedad en la planta, en ese sentido si las raíces garantizan suficiente humedad, aseguran una buena cantidad de nódulos en la planta (1).

La longitud de las vainas presentó correlación con la materia seca (0.723), longitud de raíz (0.711), número de granos por vaina (0.691) y con el diámetro de tallo (0.585); lo cual se debe a que los frutos que crecen de una planta pueden rápidamente monopolizar los nutrientes a tal punto de que priven por completo de éstos a las partes vegetativas, a este fenómeno se le llama nutrición polarizada, y mediante este proceso, y a través de un gradiente, la planta prioriza los nutrientes que se dirigen a los frutos (4).

4.4 Correlaciones entre propiedades físicas del suelo, variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo.

Ninguna propiedad física del suelo puede estar aislada para tratar de explicar el desarrollo fisiológico del cultivo y su rendimiento, por lo tanto se necesitó correlacionar en forma múltiple las propiedades físicas del suelo y las del cultivo contra el parámetro de rendimiento para poder establecer que existe un coeficiente de determinación de 81.70% que indica que es en ese porcentaje que las propiedades físicas del suelo y los parámetros fisiológicos influyen en el rendimiento del cultivo (Cuadro 9).

Para efectuar las correlaciones entre las propiedades físicas del suelo y las variables del cultivo (variables fisiológicas y de rendimiento) se utilizó principalmente la densidad aparente y el porcentaje de porosidad total en el rango de 0-20 cm de profundidad, porque en ese estrato se desarrollaron las raíces hasta una longitud máxima de 19.93 cm, correspondiente al tratamiento con arado de madera.

CUADRO 7. Coeficientes de correlación obtenidos entre variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo de Vigna utilizando tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX, 1994.

	Germinación	Altura de Plantas (cm)	Diámetro De tallo (mm)	Longitud Raíz (cm)	Materia Seca (%)	No. de Nódulos	No. de vainas/planta	No. de granos/vaina	Longitud de vainas	Rendimiento grano seco (kg/ha)
Germinación (%)	1.00	0.485 **	0.222 **	0.19 **	0.217 **	0.33 **	0.347 **	0.066 **	0.003 **	
Alt. de Plant (cm)		1.00	0.698 **	0.539 **	0.471 **	0.653 **	0.357 **	0.476 **	0.267 **	
Diám. Tallo (mm)				0.809 **	0.0647 **	0.848 **	0.178 **	0.322 **	0.585 **	
Long. Raíz (cm)				1.00	0.828 **	0.726 **	0.218 **	0.517 **	0.711 **	
Materia seca (%)					1.00	0.705 **	0.324 **	0.535 **	0.723 **	
No. de Nódulos						1.00	0.341 **	0.387 **	0.485 **	
No. de vainas/Plant							1.00	0.244 **	0.045 **	
No. granos/vaina								1.00	0.691 **	
Long. Vainas (cm)									1.00	
Rend grano seco (kg/ha)										1.00

Significancia al 1% = * *

Significancia al 5% = *

4.4.1 Correlaciones entre variables físicas del suelo.

La porosidad total del suelo depende de manera inversa de la densidad aparente, por lo tanto la correlación obtenida en el ensayo con tres arados de tracción animal corrovora tal relación (cuadro 8), el valor del coeficiente de correlación de 0.918 entre estas dos variables del suelo, resulta ser significativo, por lo que tal relación es certificada; de igual manera puede verificarse que la densidad aparente en el inicio, montaje y final del ensayo mantienen su significancia.

Si se evalúan durante la misma fase del experimento la porosidad y la densidad aparente, se podrá determinar fácilmente que es el momento en el que la relación es más fuerte, sin embargo puede existir mayor alcance hasta otras fases, como por ejemplo el coeficiente de correlación que se establece entre la porosidad al inicio del ensayo con la densidad aparente en el montaje (0.786), y entre la porosidad inicial y la densidad aparente al final (0.820)

La infiltración de agua en el suelo está influenciada principalmente por la porosidad y por ende, por la densidad aparente, de tal manera que la existencia de significación entre la infiltración durante el montaje y la porosidad (0.676); y con la densidad aparente (0.575), son una forma clara de comprobar dicha influencia.

Una relación importante, y que se debe tomar en cuenta al momento de hacer una prueba de infiltración, lo constituye el porcentaje de humedad del suelo, que determina en los primeros momentos de la prueba, los valores excesivos en la velocidad de

infiltración, y que en el momento del montaje guardaron una relación considerable(0.708).

4.4.2 Correlaciones entre propiedades físicas, variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo

En este caso las correlaciones más importantes son las que se establecieron al final del ensayo. En ese sentido la densidad aparente al final guarda una correlación con el diámetro del tallo (0.55) (cuadro 9); debido ésto a que la densidad aparente determina la porosidad de un suelo y ésta la cantidad de agua que se almacena en un suelo determinado y que son aprovechadas por la planta para su desarrollo vegetativo (4).

La porosidad del suelo en el final del ensayo es la que guarda más correlación con las variables del cultivo; en el cuadro 9 se muestra la estrecha correlación que se mantuvo con el diámetro del tallo (0.718), longitud de raíz (0.843), materia seca (0.778) y número de nódulos (0.683), debido a que una buena porosidad da al suelo un grado suficientemente bueno de propiedades físicas con son la permeabilidad y la retención de agua (3). Por ello a través de la absorción de nutrientes por medio de la raíz, que son retenidos en los poros, las plantas se desarrollan adecuadamente favoreciendo su diámetro de tallo y como es lógico su contenido de materia seca (4).

CUADRO 8. Coeficientes de correlación obtenidos entre propiedades físicas del suelo (0-20 cm), utilizando tres tipos de arados de tracción animal en diferentes etapas del experimento. CAPREX, 1994.

	Densidad Apar. Inicio	Porosidad Inicio	Dens. Apar. Montaje	Porosidad Montaje	Humedad Montaje	Infiltración Montaje	Dens. Apar. Final
Dens. Apar. Inicio	1.00	0.918 **	0.678**	0.340 ^{ns}	0.485 ^{ns}	0.090 ^{ns}	0.79**
Porosidad Inicio			0.786**	0.513 ^{ns}	0.272 ^{ns}	0.268 ^{ns}	0.820**
Dens. Apar. Montaje			1.00	0.860**	0.130 ^{ns}	0.575**	0.754**
Porosidad Montaje				1.00	0.504 ^{ns}	0.676**	0.472 ^{ns}
Humedad Montaje					1.00	0.708**	0.297 ^{ns}
Infiltración Montaje						1.00	0.473 ^{ns}
Dens. Apar. Final							1.00
Porosidad Final							
Infiltración Final							

** = Significancia al 1%

* = Significancia al 5%

La correlación que presentó la velocidad de infiltración y el número de nódulos (0.612) se puede explicar en parte si partimos de la relación que existe entre la infiltración y el espacio poroso de un suelo, lo cual determinará la cantidad de humedad que un suelo puede almacenar, este último factor es el que ayuda a determinar la cantidad de nódulos que se forman en la planta (1).

Las correlaciones entre cada una de las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de grano seco guardan una baja relación, como puede observarse en el Cuadro 9, por lo que se puede decir que el rendimiento de grano seco depende de factores fisiológicos y propiedades físicas del suelo que se correlacionan en forma múltiple para determinar el rendimiento del cultivo de la Vigna.

CUADRO 9. Coeficientes de correlación obtenidos entre propiedades físicas del suelo (0-20 cm) y variables del cultivo de Vigna utilizando tres tipos de arado de tracción animal. CAPREX, 1994.

	Dens. Apar.	Porosidad	Dens. Apar.	Porosidad	Humedad	Infiltración	Dens. Apar.	Porosidad	Infiltración
	Inicio	Inicio	Montaje	Montaje	Montaje	Montaje	Final	Final	Final
Germinación (%)	0.150 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.415 ^{ns}	0.409 ^{ns}	0.485 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.321 ^{ns}
Altura de plant. (cm)	0.157 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.445 ^{ns}	0.730 ^{**}	0.787 ^{**}	0.707 ^{**}	0.099 ^{ns}	0.288 ^{ns}	0.316 ^{ns}
Diámetro tallo (mm)	0.479 ^{ns}	0.602 ^{**}	0.816 ^{**}	0.852 ^{**}	0.445 ^{ns}	0.518 ^{ns}	0.550 ^{**}	0.718 ^{**}	0.524 ^{ns}
Long. Raíz (cm)	0.443 ^{ns}	0.82 ^{**}	0.707 ^{**}	0.842 ^{**}	0.389 ^{ns}	0.505 ^{ns}	0.500 ^{ns}	0.843 ^{**}	0.384 ^{ns}
Materia seca (%)	0.229 ^{ns}	0.311 ^{ns}	0.553 ^{**}	0.742 ^{**}	0.463 ^{ns}	0.473 ^{ns}	0.208 ^{ns}	0.778 ^{**}	0.274 ^{ns}
No. de nódulos	0.678 ^{**}	0.785 ^{**}	0.790 ^{**}	0.801 ^{**}	0.465 ^{ns}	0.564 ^{**}	0.511 ^{ns}	0.683 ^{**}	0.612 ^{**}
No. de vainas/planta	0.348 ^{ns}	0.050 ^{ns}	0.174 ^{ns}	0.336 ^{ns}	0.397 ^{ns}	0.277 ^{ns}	0.234 ^{ns}	0.038 ^{ns}	0.106 ^{ns}
No. granos/vaina	0.167 ^{ns}	0.034 ^{ns}	0.197 ^{ns}	0.436 ^{ns}	0.533 ^{ns}	0.368 ^{ns}	0.039 ^{ns}	0.403 ^{ns}	0.026 ^{ns}
Long. de vainas (cm)	0.261 ^{ns}	0.277 ^{ns}	0.389 ^{ns}	0.923 ^{**}	0.306 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.230 ^{ns}	0.691 ^{**}	0.155 ^{ns}
Rend grano seco (kg/ha)									

** = Significancia al 1%

* = Significancia al 5%

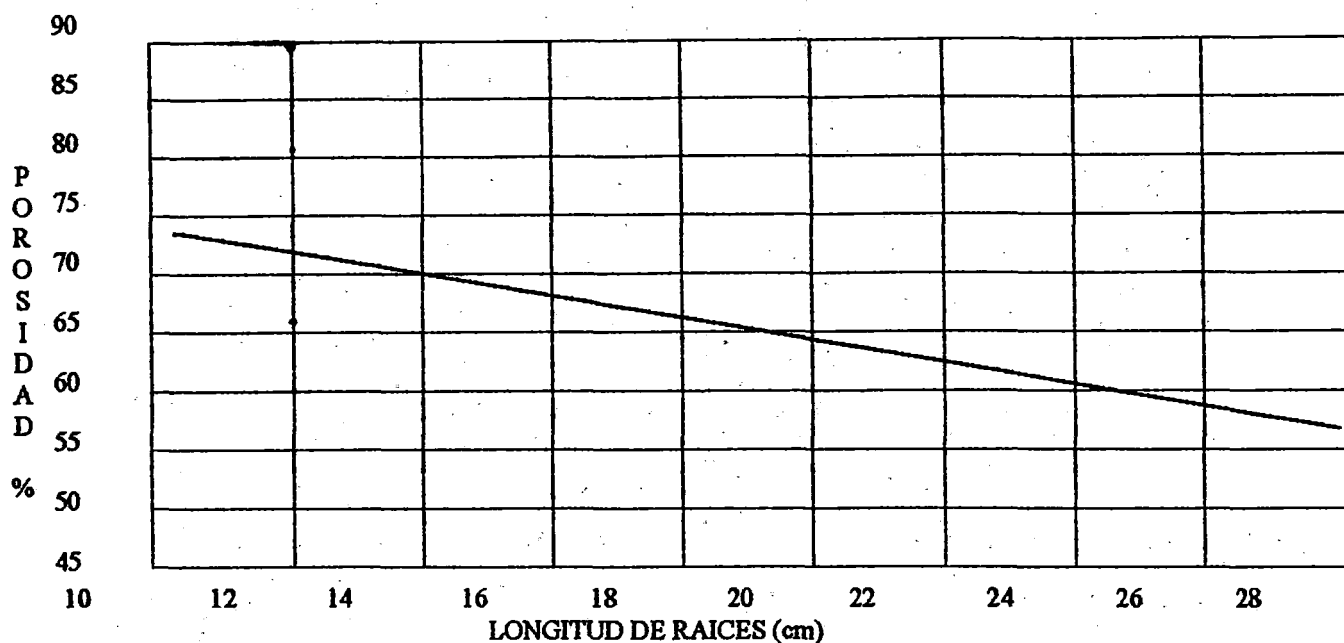


Figura 7. Relación entre el porcentaje de porosidad y la longitud de raíces en el cultivo de Vigna, utilizando tres tipos de arados de tracción animal. CAPREX, 1994.

4.5 Análisis económico

Los análisis económicos realizados para cada uno de los tratamientos reportaron una mayor relación beneficio/costo para el tratamiento con arado combinado, con un valor de 1.24; para el tratamiento con arado de madera 1.13 y para el arado de vertedera 1.05 (Cuadros 10,11,12).

Los costos por hectárea en cada uno de los tratamientos fueron los mismos, debido a que el alquiler de los arados en el momento del laboreo del terreno fue establecido en forma similar para los tres tipos de implementos usados. El costo total por hectárea fue de ₡ 2,625.33 para cada tratamiento (Cuadros 10, 11, 12).

El beneficio por hectárea para el tratamiento con arado combinado fue de ₡ 632.96, para el arado de madera ₡ 341.27 y para el arado de vertedera ₡ 122.34

(Cuadros 10, 11, 12). Se puede observar por lo tanto que fue el arado combinado el que presentó mayores beneficios por hectárea en comparación con el arado de madera y el arado de vertedera, respectivamente; esto debido a que el rendimiento de grano por hectárea, para el arado combinado (Cuadro 6) fue mayor que para los otros tipos de arados, además este arado presenta algunas ventajas sobre el arado de madera y al arado de vertedera, tales como una mayor vida útil y una mayor resistencia (el arado de madera se rompe fácilmente aunque el costo de adquisición es menor y su fabricación es más fácil que los otros arados) y lo más importante es que al arado combinado se le puede adaptar una sembradora PROMECH, lo que permite hacer de una sola vez el surcado, la siembra y el tapado de la semilla, con la yunta de bueyes y una sola persona (24), pudiéndose disminuir considerablemente los costos de producción.

5. CONCLUSIONES

1. Las variables físicas del suelo evaluadas en el presente ensayo demuestran que no existió una diferencia estadísticamente significativa al ser sometidas al laboreo utilizando los tres tipos de arados de tracción animal, o sea que las propiedades físicas en general no fueron afectadas considerablemente por dichos arados, únicamente la densidad aparente en el montaje a una profundidad de 20-40 cm. Provocó un cambio significativo, siendo el arado de madera el que mostró un mejor valor de densidad aparente (1.07 gr./cc) en comparación con los demás tratamientos.
2. Al comparar los resultados obtenidos en las variables físicas del suelo al inicio, en el montaje del ensayo y al final del ciclo vegetativo del cultivo; se determinó que el comportamiento de dichas variables presentaron diferencias no significativas, pero al comparar los datos generales de las variables al final del ciclo vegetativo con los del inicio se observó una tendencia de estas variables a volver a su estado inicial o de equilibrio.
3. Al evaluar las variables del cultivo que se evaluaron en el presente estudio se demostró que estadísticamente dichas variables no presentaron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos exceptuando el diámetro de tallo (mm), el cual

presentó diferencias significativas, obteniendo un valor mayor para el arado de vertedera.

4. El mayor rendimiento de grano seco (kg/ha) lo presentó el tratamiento con arado combinado con 925.65 kg/ha obteniéndose un mayor beneficio por hectárea, le siguió el arado de madera con un rendimiento de 842.70 kg/ha y 780.59 kg/ha para el arado de vertedera presentado ambos un beneficio por hectárea menor que el arado combinado. La relación beneficio costo presentó igual tendencia obteniéndose un mayor valor para el arado combinado que presentó un valor de 1.24 y para el arado de madera 1.13 y 1.06 para el arado de vertedera respectivamente.

6. RECOMENDACIONES

- 1. Utilizar el arado combinado para proporcionar un favorable cambio de las propiedades físicas del suelo que ayudan a obtener un mayor rendimiento (kg/ha) del cultivo de Vigna.**
- 2. Utilizar el arado de vertedera cuando se desea que el cultivo de Vigna establecido, sea utilizado como heno, ensilado (mezclado con sorgo), pasto, cobertura o abono verde.**
- 3. Continuar las investigaciones sobre la tracción animal en cuanto a la generación, validación y transferencia de tecnología; también incluyendo en los contenidos curriculares de las instituciones educativas agrícolas en tema de la tracción animal.**

7. BIBLIOGRAFIA

1. ALVARES SOLIS, J.D.; CARDENAS, M.; TASISTRO, A.; VESGACALA, A.B. 1990. Nodulación y rendimiento del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris), tratado con diferentes herbicidas en dos sistemas de labranza. Turrialba (C.R.) 40(2): 252-255.
2. ANGULO, R. 1988. Manejo del suelo en las zonas de producción de soja de Bolivia. In Reunión sobre manejo y conservación de suelo. (XXIV, 1987, Santiago, Chile). Diálogo. Ed. Juan Puinau. Montevideo, Uru., IICA. P. 12.
3. BAVER, L.D.; GARDNER, W.R. 1973. Física de suelos. Trad. por Jorge Manuel Rodríguez y Rodríguez. México, D.F., UTEHA. 259 P.
4. BOLAÑOS, J. 1989. Labranza de conservación en maíz. El Batán, México. CIMMYT-PROCIANDINO. P. 19-24, 28-30, 32-44.
5. BOWEN, J.E.; KRATHY, B.A. 1982. Labranza reducida. Revista Agricultura de las Américas (Kansas, EUA) 90(6): 6.
6. BRAVO PEREZ, E. 1965. Pruebas de henificación en rabiza (Vigna sinensis), bajo condiciones naturales. Tesis Ing. Agr., Universidad de Costa Rica. P. 4-6.

7. CAÑAS REYES, V.M.; OSORIO TORRES, M.J. 1991. Clasificación de las tierras con fines de riego de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador. P. 76, 93-94.
8. CUEVA CHAVARRIA, E.S.; LOPEZ LANDAVERDE, R.A.; VILLALTA RODRIGUEZ, C.A. 1992. Efecto de los sistemas de labranza convencional, reducida y mínima en las propiedades físicas del suelo y comportamiento bio-económico del cultivo de Vigna (*Vigna sinensis* W.). San Luis Talpa, La Paz. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. P. 3, 4-6.
9. DEMOLON, A. 1965. Dinámica del suelo. Trad. Por José Pérez Malla. Barcelona, España. Ed. OMEGA, S.A. P. 114-151.
10. ESTADOS UNIDOS. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS. Relación entresuelo-planta-agua. Relación entresuelo-planta-agua. Trad. por Emilio Avila de La Torre. México, D.F. Ed. Diana. P. 20, 49.
11. FOGG, G.E. 1973. El crecimiento de las plantas. Trad. por Jorge Wright. 2ª. Ed. Buenos Aires, Argentina. Eudeba. P. 30, 75, 219-220. 279.

12. FORSYTHE, W. 1975. Manual de laboratorio; Física de suelos. San José, Costa Rica. Editorial IICA. P. 211.
13. GAVANDE, S.A. 1976. Física de suelos. Principios y aplicaciones. México D.F. Limusa. 351 P.
14. HARDY, F. 1984. Edafología tropical. México, D.F. Ed. Herrero Hnos. S.A. P. 2-10.
15. HOPFEN, H.J. 1969. Farm implements for arid and tropical regions. Roma, Italia. FAO. P. 44-47.
16. HOPFEN, H.J. 1953. Pequeños aperos de labranza. Roma, Italia. FAO. P. 12.
17. IBÁÑEZ CIENFUEGOS, M. 1988. Oportunidad de la labranza y sus efectos. In Reunión sobre manejo y conservación de suelo. (XXIV, 1987, Santiago, Chile). Diálogo. Ed. Juan P. Puinau. Montevideo, Uru., IICA 11. P. 59-62.
18. INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA. 1985. Compendio de agronomía tropical. San José, Costa Rica, CIDIA. P. 620-621.
19. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1986. Diccionario geográfico de El Salvador. San Salvador, El Salvador. Ed. Ministerio de Obras Públicas. (TOMO II). P. 1211-1212.

20. JUAREZ DUBON, K.L.; LANDAVERDE VALLE, M.J.; SANCHEZ DELGADO, B.A. 1991. Diseño de un programa de riego para la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador. P. 113.
21. LITZENBERGER, S.C. 1976. Guía para cultivos en los trópicos; legumbres comestibles de grano. México, D.F. Centro Regional de Ayuda Técnica (AID). P. 73-76.
22. MANEJO DE agua a nivel de finca. 1990. Santa Tecla, El Salv., CENTA. P. I.
23. MATEO BOX, J.M. 1969. Leguminosas de grano. La Habana, Cuba. Ed. Revolucionaria. P. 300-312.
24. MEIER, H. 1993. Experiencias de mecanización agrícola en América Latina. Lima, Perú. Ed. CIFEMA-PROMECH HERRANDINA. P. 103-110, 170-174.
25. MEYER, B.S. 1976. Introducción a la Fisiología vegetal. 4 ed. Buenos Aires, Argentina, Eudeba. P.44.
26. MILLER, E.V. 1967. Fisiología vegetal. Trad. por Francisco Latorre. México, Uteha. P. 111.
27. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. 1978. Mapa Ecológico de El Salvador. San Salvador, El Salvador, Ed. MAG. Escala 1:300,000. Color.

28. ORTIZ CAÑAVATE, J. S1975. Técnica de la mecanización agraria. Madrid, España. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. P. 167, 170, 173.
29. PEARSON, M.S. 1967. Maquinaria y Equipo agrícola. 5ª. Ed. Barcelona, España. OMEGA. P. 105.
30. PERDOMO, R.; HAMPTON, H.E. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. Guat. Centro de Producción de Materiales de la Universidad de San Carlos. 366 P.
31. RAY, P.M. 1964. La planta viviente. México, CECSA. P. 45.
32. RICCITELLI, J.A. 1967. Arados de reja y vertedera. Buenos Aires, Argentina. Ed. Universitaria. P. 47.
33. SCOTT, W.O. 1975. Producción moderna de la soja. México. Centro Regional de Ayuda Técnica. P. 60-61.
34. SKERMAN, P.J.; CAMERON, D.G.; RIVEROS, F. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. Roma, Italia. FAO. P. 510-515.
35. SOSA MORAN, J.H. 1992. Labranza de conservación para la producción de maíz en laderas. El Salvador, CENTA. Boletín divulgativo No. 64. 12 P.
36. THORME, D.W.; PATERSON, M.B. 1985. Técnicas de riego, fertilidad y explotación de los suelos. Trad. por José Luis Lepe. México, D.F. Continental. P. 33.
37. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. 1978. Porosidad, densidad aparente y real. Departamento de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas. 15 P.

38. UNIVERISIDAD DE EL SALVADOR, 1994. Datos meteorológicos "La Providencia". Departamento de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas. 60 P.
39. VILLANOVA, J.R. 1989. Fisiología vegetal. Departamento de Fitotecnia de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. 12 P.
40. WHYTE, R.O.; NILSON -LEISSNER, G.; TRUMBLE, H.C. 1955. Las leguminosas en la agricultura. Yugoslavia. FAO. Estudios Agropecuarios No. 21. P. 382.

ANEXOS

CUADRO A-1. Tipos y clases de estructura.

TIPOS Y CLASES DE ESTRUCTURA DEL SUELO							
Tipo (forma y disposición de los agregados)							
	Laminiforme, con una dimensión (la vertical) limitada y mucho menor que las otras dos orientación en un plano horizontal; las caras son en su mayoría horizontales.	Prismas con dos dimensiones (las horizontales) limitadas y considerablemente menores que la vertical; orientación alrededor de un eje vertical; caras verticales bien definidas; vértices angulares.		Semejando bloques; poliédrico o esferoidal, con tres dimensiones del mismo orden de magnitud; orientación alrededor de un punto.			
		Sin partes superiores redondeadas	Con partes superiores redondeadas	Semejando bloques; bloques o poliedros que tienen superficies planas o curvadas moldeadas por las caras de los agregados que los circundan.		Esferoides o poliedros que tienen caras planas o curvadas, las cuales se ajustan ligeramente o nada a las superficies de los agregados que los circundan.	
				Caras aplanadas; la mayoría de los vértices fuertemente angulosas.	Caras aplanadas y redondeadas mezcladas; con muchos vértices redondeados.	Agregados relativamente no porosos.	Agregados porosos.
	Laminar	Prismática	Columnar	En bloques angulares	En bloques subangulares	Granular	Migajosa
Fina muy delgada	Laminar muy fina; 1 mm.	Prismática muy fina; 10 mm.	Columnar muy fina; 10 mm.	En bloques angulares muy finos; 5 mm.	En bloques subangulares muy finos; 5 mm.	Granular muy fina; 1 mm.	Migajosa muy fina; 1 mm.
Delgada	Laminar fina; 1 a 2 mm.	Prismática fina; 10 a 20 mm.	Columnar fina; 10 a 20 mm.	En bloques angulares finos; 5 a 10 mm.	En bloques subangulares finos; 5 a 10 mm.	Granular fina; 1 a 2 mm.	Migajosa fina; 1 a 2 mm.
Mediana	Laminar mediana; 2 a 5 mm.	Prismática mediana; 20 a 50 mm.	Columnar mediana; 20 a 50 mm.	En bloques angulares medianos; 10 a 20 mm.	En bloques subangulares medianos; 10 a 20 mm.	Granular mediana; 2 a 5 mm.	Migajosa a mediana; 2 a 5 mm.
Gruesa o espesa	Laminar gruesa; 5 a 10 mm.	Prismática gruesa; 50 a 100 mm.	Columnar gruesa; 50 a 100 mm.	En bloques angulares gruesos; 20 a 50 mm.	En bloques subangulares gruesos; 20 a 50 mm.	Granular gruesa; 5 a 10 mm.	
Muy gruesa o espesa	Laminar muy gruesa; 10 mm.	Prismática muy gruesa; > 100 mm.	Columnar muy gruesa; > 100 mm.	En bloques angulares muy gruesos; > 50 mm.	En bloques subangulares muy gruesos; > 50 mm.	Granular muy gruesa; > 10 mm.	

CARRUTERA DEL ALTIPLANO

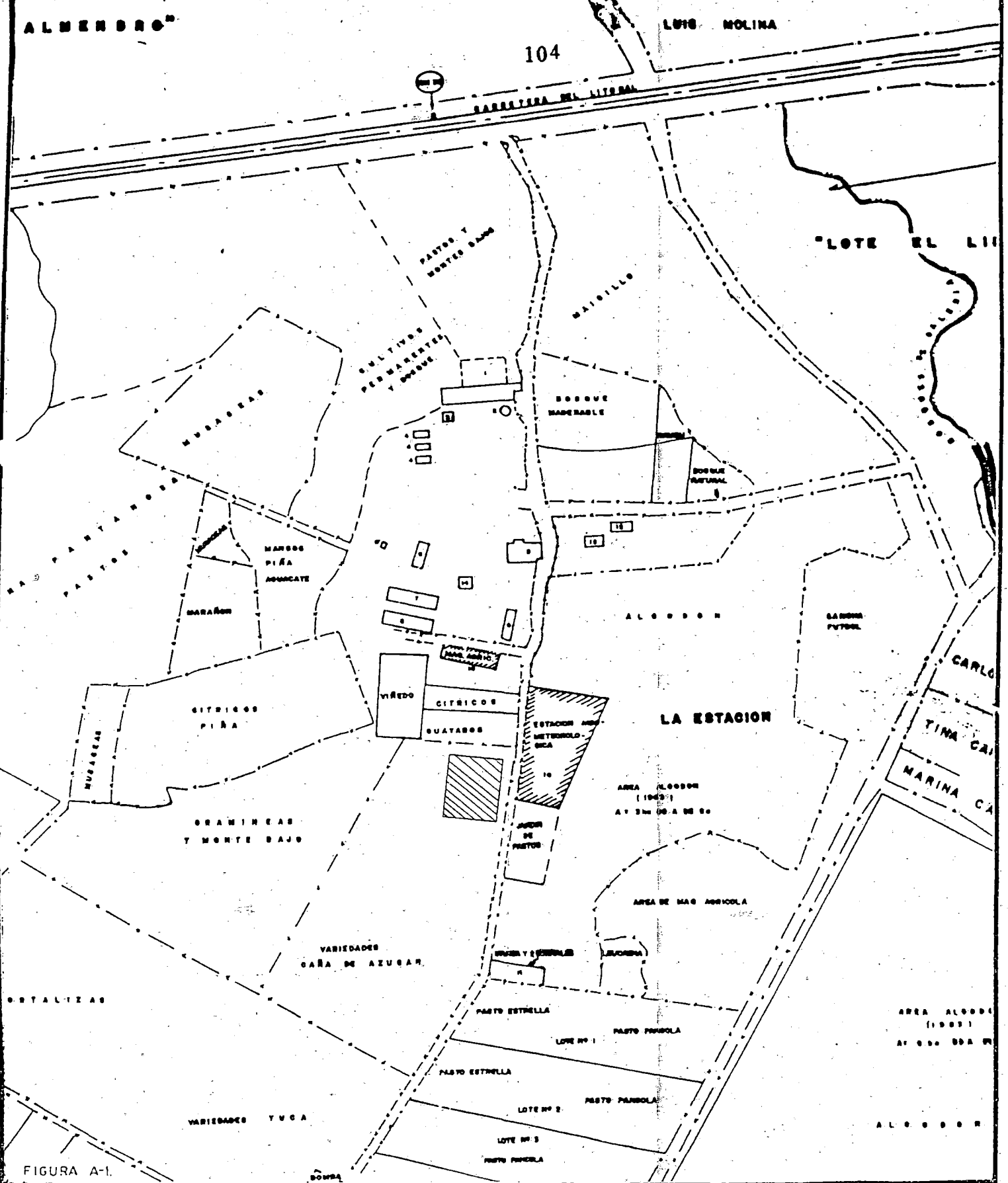



FIGURA A-1.

TEMA: EFECTO DE TRES ARADOS DE TRACCION ANIMAL SOBRE LAS PROP. FIS. DEL SUELO..... CAPREX, 1994.

LUGAR : CAMPO EXPERIMENTAL FAC. CIENCIAS AGRONOMICAS UES. SAN LUIS TALPA, DEPTO. DE LA PAZ

AREA DE ENSAYO: 

ESCALA 1:3000

CUADRO A-2.

Resultados promedios por tratamiento y análisis de varianza resumidos para las variables fisiológicos, de rendimiento del cultivo de Vigna y propiedades físicas del suelo. CAPREX, San Luis Talpa, La Paz. 1994.

PARAMETRO	PROMEDIOS			G.L.	F. Calc.	F. Tab. 5%
	AV	AC	AM			
I Dens. Apar. (gr./cc) montaje	0.711	0.789	0.911	2	3.35	3.88
II Dens. Apar. (gr./cc) montaje	0.159	1.12	1.069	2	7.63*	3.88
I Dens. Real (gr./cc) montaje	2.507	2.396	2.261	2	0.63	3.88
II Dens. Real (gr./cc) montaje	2.409	2.423	2.283	2	0.46	3.88
I Porosidad (%) montaje	70.277	65.637	59.32	2	2.33	3.88
II Porosidad (%) montaje	51.131	51.141	50.844	2	0.05	3.88
I Dens. Apar.(gr./cc) final	1.474	1.363	1.421	2	1.25	3.88
II Dens. Apar. (gr./cc) final	1.567	1.544	1.463	2	0.72	3.88
I Dens. Real (gr./cc) final	2.719	2.337	2.099	2	1.11	3.88
II Dens. Real (gr./cc) final	2.507	2.343	2.716	2	0.71	3.88
I porosidad (%) final	51.147	38.673	42.651	2	0.77	3.88
II Porosidad (%) final	40.536	45.481	41.767	2	0.13	3.88
Infiltración (cm/h) montaje	1.514	2.057	1.543	2	2.02	3.88
Infiltración (cm/h) final	1.286	1.286	1.629	2	0.37	3.88
I Humedad (%) Montaje	20.429	20.639	21.204	2	1.42	3.88
II Humedad (%) montaje	25.729	24.42	25.257	2	3.43	3.88
Altura de plantas (cm)	48.286	44.457	44.129	2	2.17	3.88
Diámetro de tallo (mm)	6.686	6.5	5.914	2	5.54*	3.88
Germinación (%)	80.227	73.253	82.956	2	3.53	3.88
Longitud de raíces (cm)	16.607	17.429	19.929	2	2.19	3.88
Materia seca (%)	16.419	15.09	15.514	2	0.75	3.88
No. de nódulos	18	13.286	16.571	2	0.96	3.88
No. de vainas/planta	10.143	9.429	9.714	2	0.19	3.88
Longitud de vainas (cm)	16.786	16.529	15.971	2	0.81	3.88
No. de granos/vaina	13.857	14	12.857	2	2.9	3.88
Rendimiento de grano (kg/ha)	780.59	925.65	842.692	2	0.74	3.88

I = 0-20 cm

II = 20-40 cm

G.L. por repetición = 6

G.L. del error = 12

AV = Arado vertedera

AC = Arado combinado

AM = Arado de madera

CUADRO A-3. Condiciones climáticas del Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en los meses de septiembre a diciembre de 1994. San Luis Talpa, Departamento de La Paz. 1994.

	MESES			
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE (*)	DICIEMBRE
Precipitación total (mm)	281.3	72.0	107.5	Las precipitaciones desaparecieron.
Temperatura Promedio mensual (°C)	26.3	26.2	25.9	25.6
Humedad relativa Promedio mensual (%)	86	86	82	75
Viento Promedio mensual (km/h)	2.4	2.2	2.1	2.7
Evaporación Potencial (mm)	174	155	135	151.9

(*) En la segunda década del mes de noviembre se reportó que las precipitaciones fueron nulas.

FUENTE: Datos meteorológicos "La Providencia".

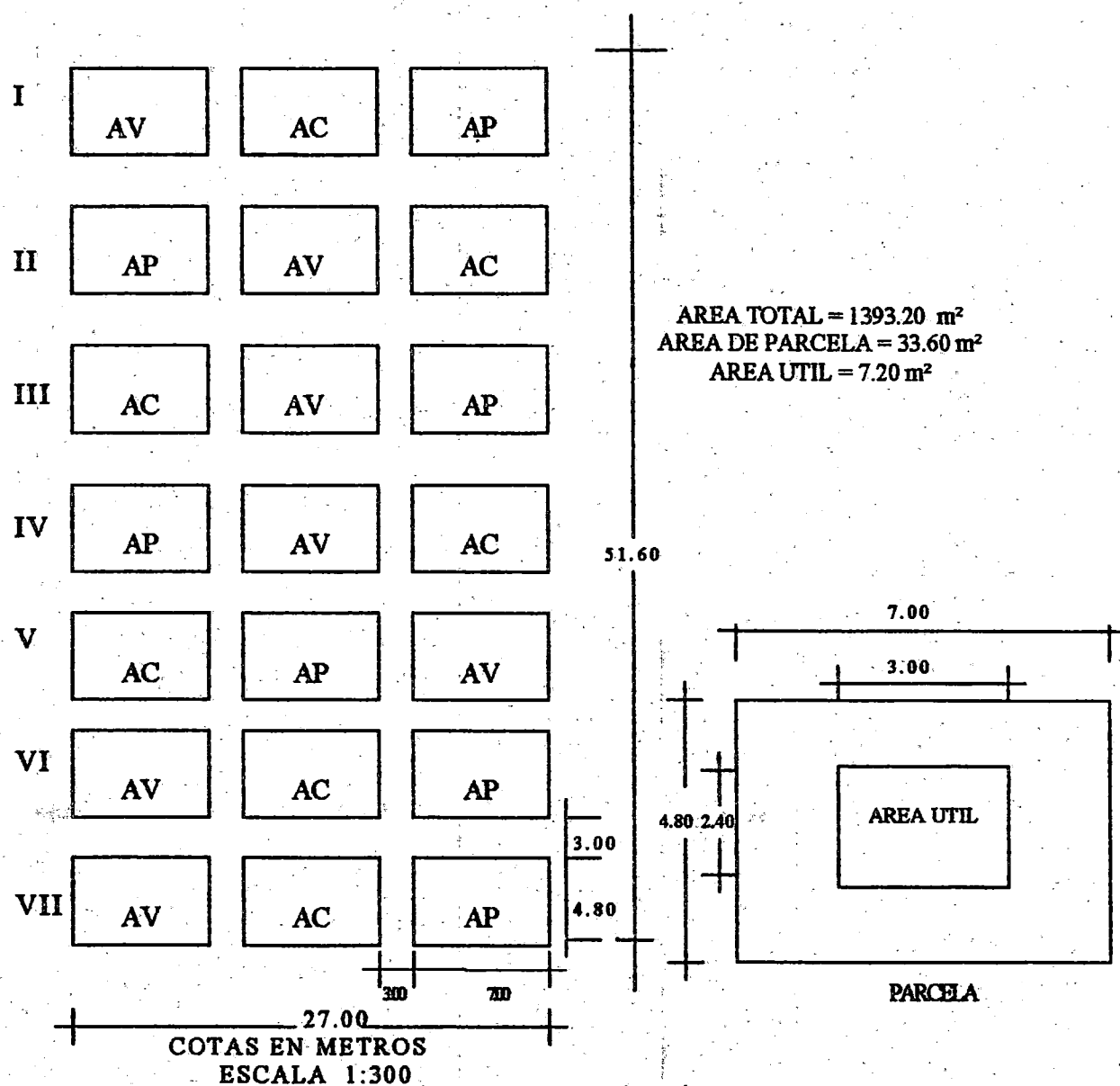


Figura A-2. Distribución de los tratamientos con los tres tipos de arados de tracción animal sobre las propiedades físicas del suelo y rentabilidad del cultivo de Vigna, CAPREX, 1994.

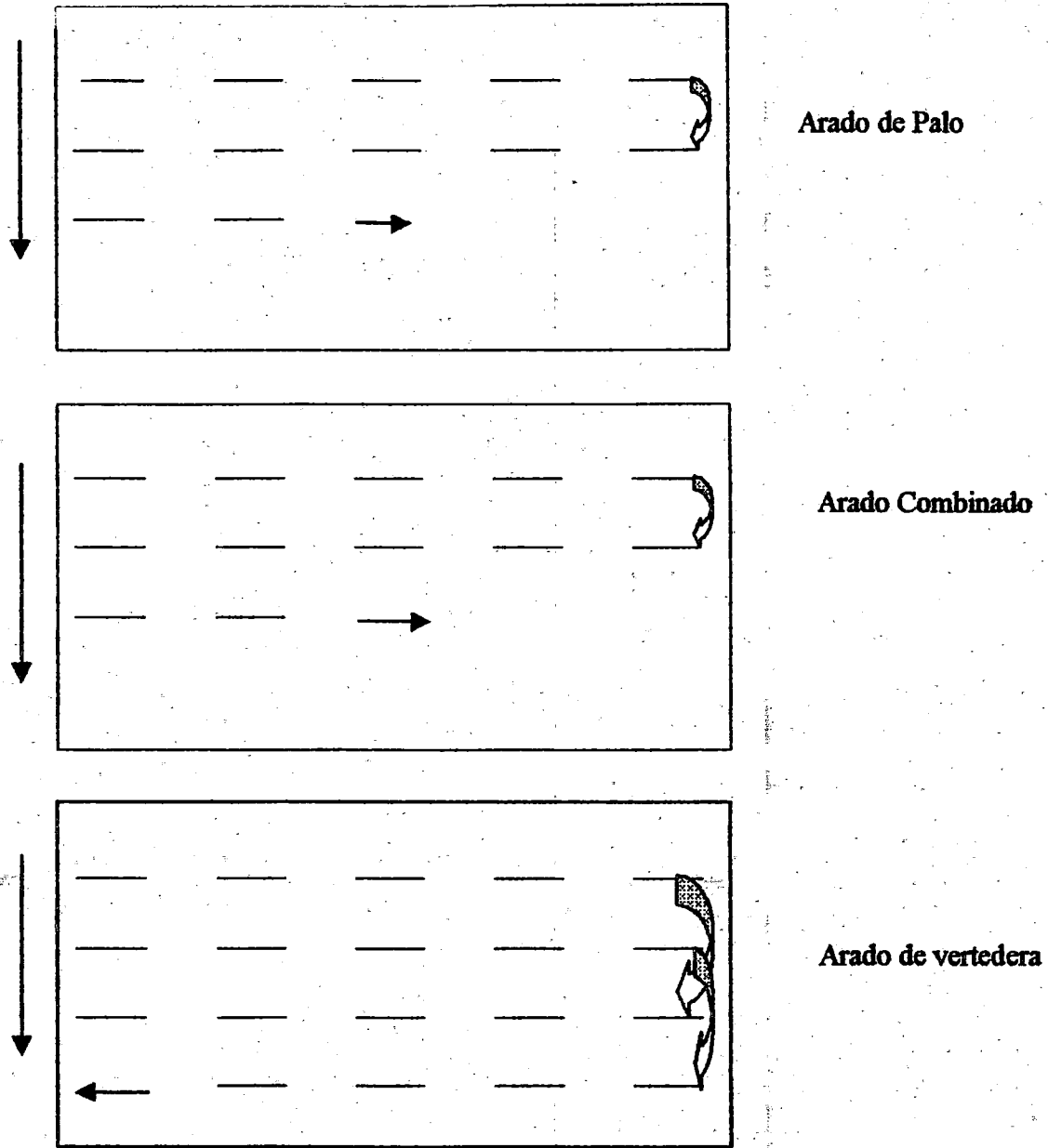


Figura A-3: Sentido de trabajo con cada uno de los de tracción animal usados en el ensayo sobre las propiedades físicas y rentabilidad del cultivo de Vigna. CAPREX, 1994.

ANEXO 1. Determinación de la densidad real del suelo por el método de picnómetro.

- a) Pese un picnómetro limpio y seco.
- b) Agregue aproximadamente 10 gr. de una muestra de suelo al horno. Limpie el picnómetro por fuera para que no quede suelo adherido. Pese al picnómetro + suelo.
- c) Llene el picnómetro hasta la mitad con agua destilada. Lavando a cualquier partícula que permanezca en el cuello del mismo.
- d) Caliente el picnómetro en calentador eléctrico o mechero Bunsen por varios minutos para remover el aire que haya entre las partículas de suelo. Se debe calentar agitando para evitar pérdida de suelo en la espuma.
- e) Enfríe y picnómetro y su contenido a la temperatura ambiente y luego agregue agua destilada hervida y enfriada hasta llenar el picnómetro cuidadosamente. Limpie bien el picnómetro exteriormente.
- f) Pese al picnómetro y su contenido. Tome temperatura.
- g) Lave el picnómetro, y llénelo con agua destilada hervida y ponga la tapa. Pese el picnómetro lleno de agua y mida la temperatura.

ANEXO 2: Metodología para la determinación de la infiltración utilizando el método de los cilindros infiltrometros.

- a) Instalar el anillo exterior primero, luego colocar el interior con el cuidado de que este quede al centro.
- b) Colocar la tapa metálica sobre los dos anillos y golpear suavemente con una almadana de fibra, para así introducirlos en el suelo de una forma vertical y con cuidado, de manera que su entrada sea uniforme y nivelada.
- c) Una vez introducidos, se procede a instalar sobre el anillo interior un flotador que porta una regla graduada con la cual se medirá el nivel del agua por medio de un gancho indicador.
- d) Colocar un plástico sobre la superficie del suelo del anillo inferior para evitar compactación y cualquier alteración cuando se hecha el agua.
- e) Agregar agua en el borde del anillo exterior hasta aproximadamente 5 cm y mantener este nivel durante la prueba. Luego que se haya mojado el borde, agregar aproximadamente unos 7.5 cm de agua en el cilindro interior. Quite el plástico de la superficie del suelo.
- f) Medir la altura del agua al llenar el anillo interior en la parte donde se encuentra la regla graduada con la ayuda del gancho indicador.

- g) Leer el nivel del brazo del gancho cuando este toque la superficie del agua. Empezar a contar el tiempo. Poner las lecturas de altura y tiempo en un registro de datos.
- h) Tomar lecturas a los 0,1,2,3,4 y 5 minutos y a los 10,20,30,30,45,60,90 y 120 minutos y luego cada hora hasta que la velocidad de entrada sea casi constante.
- i) Cuando el agua haya bajado unos 5 cm en el cilindro interior, tomar una lectura del nivel y tiempo y poner mas agua en el cilindro hasta completar de nuevo aproximadamente 7.5 cm. Al agregar mas agua tomar lecturas del nivel y del tiempo y anotar en el registro la adición de agua.

ANEXO 3. Metodología para la determinación de la estructura del suelo.

- a) Una vez determinada el área de estudio, proceder a excavar el suelo a una profundidad aproximada de 0-20 cm.
- b) Sacar una muestra de suelo, procurando no disturbarla, para así observar su forma y disposición de los agregados.
- c) Comparar la muestra extraída con las características enunciadas en cuadro A-1 donde se describen los tipos y clases de estructura.
- d) Posteriormente se observa la forma de los agregados y en una forma aproximada se determina si sus componentes varían desde fina ó delgada a muy gruesa o espesa.
- e) Una vez clasificada su forma, se busca en forma horizontal en el cuadro A-1 hasta encontrar la estructura que más se apegue a la muestra que se esta estudiando para luego así determinar el tipo de estructura.

ANEXO 4. Metodología para la determinación de la consistencia del suelo. Límite plástico inferior (consistencia friable).

1. Colocar una página de papel milimetrado sobre la mesa de trabajo y sobre él un plástico transparente para no manchar el papel.
2. Preparar una pasta dura de suelo usando apropiadamente 30 gramos de muestra.
3. Tomar aproximadamente una mitad de la muestra, y con ella haga una masa de forma elipsoide.
4. Ruede la masa uniformemente sobre los dedos (de varilla o hilo del suelo que se moldea debe tener un diámetro uniforme como sea posible). El ritmo de rodaje debe ser entre 80 y 90 vueltas por minuto. Una vuelta se considera como un movimiento completo de la mano hacia delante y hacia atrás.
5. Cuando el diámetro del hilo sea de $1/8$ de pulgada sin fragmentar (esto puede verse por el espaciamiento del papel gráfico bajo el plástico).
6. Fragmente el hilo en 6 u 8 partes. Junte los pedazos y moldee la masa de nuevo dándole forma elipsoide.
7. Ruede la masa otra vez y siga este ciclo de moldeo y rodamiento hasta que el hilo se desmenuce por la presión de los dedos al rodarlo.
8. En este punto el suelo ya no rueda para formar hilos sin que se fragmente y se llama límite plástico inferior.

9. Cuando el hilo se desmenuce introducirlo en una lata previamente pesada e indentificada, pésele con el suelo y métala a estufa a 105°C por 24 horas.
10. Cumplidas las 24 horas en la estufa, saque las muestras y déjelas enfriar para posteriormente pesarlas. La humedad gravimétrica así obtenida representa el porcentaje de humedad al que el suelo está en su consistencia friable.