DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UNA METODOLOGIA PARA INSTALACION DE TUBOS DE ACCESO Y CALIBRACION DE UN ASPERSOR DE NEUTRONES

Aderaldo de Souza Silva *
Manuel Anaya Garduño **

INTRODUCCION

El método de moderación de neutrones usado para la determinación del contenido de agua del suelo ha recibido gran interés por parte de los investigadores que estudian las relaciones agua-suelo-planta.

Teóricamente se considera que el agua del suelo es el factor principal, responsable por la moderación de los neutrones rápidos y cuando el equipo de moderación de neutrones es calibrado, bajo condiciones de homogeneidad del suelo o en circunstancias similares, hay un buen ajuste de los datos con las condiciones del campo; constituyendo de esta manera buena la evidencia para el soporte de esta teoría. Investigaciones que demuestran los efectos de las propiedades físicas del suelo sobre las mediciones hechas con aspersor de neutrones son descritas por Cannell y Asbell, (1974) (3).

* Rama de Riego y Drenaje, C. P., Chapingo, México.
** Profesor Investigador de la Rama de Suelos, C. P., Chapingo, México.

Desarrollo experimental de una
FL - 02435
32524 - 1
EMBRAPA

Investigadores en diferentes partes del mundo han realizado estudios de calibración de estos aparatos: Cuevas, 1973 y 1975, Stolzy (1967) Marais (1962), Douglas (1966), Burn (1965), Couchat (1967), Gardner y Kirhan (1952), Millar et al., (1971), Van Bavel (1956 y 1961), Homes (1956) y Sousa Silva y Millar en 1975.

Otros escriben sobre la instalación de tubos de acceso como: Carpenter, 1972 (5), y Cline y Jeffers, 1975 (4).

Según Millar, 1975 (19), una curva de calibración de un suelo dado servirá como su padrón, siempre que se mantengan las mismas condiciones iniciales, es decir, el mismo equipo, tipo de tubos de acceso, método de instalación de los tubos y la simetría para el "conteo standard" o de referencia.

El objetivo de esta investigación, es determinar una metodología sencilla y rápida para la instalación de tubos de acceso y calibración del aspersor de neutrones; desarrollandose a través de la experimentación con la finalidad de proporcionar bases sólidas para la utilización de estos aparatos con fines de riego.

Con este supuesto la presente investigación considera de prioridad al aspecto de la metodología, no así el conocimiento detallado del tipo de suelo.

Los primeros trabajos en aspersor de neutrones fueron realizados por Gardner y Kirkham (1952). Igualmente, Belcher et al. (1950)[1] trabajaron en el referido problema, aplicando la metodología a los aspectos relativos a la construcción. El medidor utilizado por Gardner y Kirkham no era portátil; fueron los que iniciaron la fabricación de medidores disponibles a nivel comercial. Un modelo comercial que incluye medidas de superficie y de profundidad fué descrito por Kuranz, (1960) citado por Kirkham et al 1962).

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en los terrenos pertenecientes a la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo, Méx., localizada a 19° 31' de latitud Norte y 98° 53' de Longitud Occidental, del meridiano de Greenwich. La altura sobre el nivel del mar es de 2 249.0 metros.

De acuerdo a la clasificación de Koppen modificada por García, citado por Andrade (1) el clima de Chapingo se clasifica como C (WI) (W) b (i'). El significado de los símbolos es el siguiente:

---

1 Belcher, D.J., Cuykendall, T.R., and Sack, H.S. (1950). Civil Aeronant. Admin. Tech. Develop. Rept. 127.

C (Wi) - Subhúmedo con lluvias en verano, con cociente P/T entre 43.0 y 55.0.

(W) - Con un porcentaje de lluvia invernal menor del 5% de el total anual.

(b) - Templado con verano fresco y largo, temperatura media anual entre 12° y 18° C, temperatura del mes más frío entre 3° y 18° C, temperatura media del mes más caliente entre 6.50° y 22°C.

(i') - Con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales (entre 5° y 7°C).

Características del suelo.

Las características del suelo "de la parcela de prueba" son presentadas en los cuadros 1 y 2.

CUADRO 1. Valores representativos de los límites de Atterberg en porcentaje de humedad, densidad real en gr/cm^3 y textura del suelo (método de hidrómetro), en el perfil del mismo. (1).

Profundidad del suelo - en cm.	Límites de Atterberg			Densidad real	Textura del Suelo			Clasificación textural
	LL	LP	IP		arena	limo	arcilla	
0 - 24 cm	38.3	28.0	10.3	2.15	14.0	64.0	12.0	Migajón limoso
25 - 43 cm	38.0	10.6	17.4	2.26	25.0	49.0	17.0	Migajón limoso
44 - 74 cm	26.3	17.3	9.0	2.39	59.0	33.0	8.3	Migajón arcilloso
75 - 184 cm	25.2	18.0	8.2	2.26	41.0	57.0	5.0	Migajón limoso

LL = Límite líquido
LP = Límite plástico
IP = Indice de plasticidad

CUADRO 2. Algunos valores más importantes para la presente investigación obtenidos del análisis químico en el perfil del suelo.

ANALISIS QUIMICO	METODO UTILIZADO	PROFUNDIDAD DEL SUELO			
		0-24 cm	25-43 cm	44-74 cm	75-184 cm
% M. O.	Walkley y Black	2.34	1.24	0.38	1.07
% Nitrógeno total	Kjeldahl	1.1	0.7	0.6	0.7
pH	Potenciómetro	6.7	7.2	7.5	7.9

NOTA: Estas determinaciones fueron realizadas porque una desventaja del método es su utilización en suelos orgánicos y suelos pedregosos (Millar, 1975).

INSTALACION DE LAS PARCELAS DE PRUEBAS PARA CALIBRACION DE CAMPO

Descripción del sitio Experimental

Las parcelas de pruebas fueron instaladas en suelos de serie de Chapingo, donde generalmente los perfiles son profundos con un 35% de arcilla y un 30% de arena hasta una profundidad de 90 - cm y por debajo de esta el contenido de arcilla disminuye a un 20% y el de arena se mantiene en 30% (7). El contenido de materia orgánica no pasa de 0.8% en todo el perfil.

Instalación de las parcelas de prueba.

Se realizaron varias pruebas con diferentes formas de parcelas buscando algunas condiciones favorables para la operabilidad - del método en cuestión conocer: llegamos a la conclusión que la figura 1 y 2, debido a las siguientes ventajas presentadas:

1. Rapidez en la delimitación de los bordos utilizando únicamente un cordel con distancias fijas (3.0 m, 3.5 m, 4.0 m y 4.5 m de radio).

2. Facilidad en la construcción de los bordos tanto de la parcela como los bordes testigos, necesarios para que mantenga solamen-

te la infiltración vertical, no habiendo pérdidas de lámina de agua por infiltración horizontal.

3. Mayor uniformidad de la lámina que se riego sobre la superficie delimitada.

4. Que puedan funcionar estas parcelas de prueba para calibración de campo como micro-cuencas utilizadas en la determinación de curvas de infiltración donde se pueda controlar la altura del agua y reponiéndola conforme sean las necesidades requeridas por la permeabilidad del suelo. Satudando al mismo tiempo la parcela y determinando las curvas de infiltración para un mismo lugar.

Medición de densidad aparente y humedad por el aspersor de nuetrones - LB 3624.

El aparato consiste de unos conductos independientes al amplificador LB 3623 en combinación con la sonda de superficie - LB 362 ó la sonda de profundidad LB 3624.

La sonda de profundidad que fué utilizada en este trabajo es el LB 2624 que contiene un medidor de centelleos, un emisor de rayos gama y un emisor de neutrones, haciendo posible la medición de la densidad aparente y la humedad de acuerdo al método "Backstter" para la profundidad del suelo deseado.

Detalles del modelo, funcionamiento y dimensiones están contenidas en el prospecto C_1 - 0664 E).

Determinación de la densidad y humedad del suelo con la sonda de profundidad Lb 3624 (Fig. 3).

Las mediciones son realizadas en agujeros perforados en el suelo, dentro de estos orificios se colocan los tubos de acceso. Fig. 5, dichos tubos de acceso que tienen un diámetro de 90 x 37 mm son adaptados para el diámetro de la sonda de 36 mm. La curva de calibración que viene con el aparato fué determinada por medio de estos tubos con las dimensiones especificadas; en caso de utilizar tubos de acceso con mayor diámetro, es necesario determinar otra curva de calibración. Sin embargo, será necesario determinar una curva de calibración para cada suelo. Millar, - - (1975).

El protector de plomo LB 3625 con la sonda de profundidad LB 3624 en la posición de reposo es colocada sobre el tubo de acceso el cual se encuentra en el interior del agujero. La sonda es conectada al amplificador de medida y es ajustado para la "depth probe"; liberando posteriormente la sonda del protector de plomo, bajando luego hasta la profundidad deseada para hacer las mediciones, figs. 3 y 5.

El procedimiento para el muestreo de calibración del asper_ sor de neutrones en base a contenido de humedad del suelo, consiste en sacar muestras inalteradas, en número de 4 o más, conforme el grado de dificultad que ofrece los diferentes tipos de suelos y compa_ rar el promedio de la humedad del suelo determinado en estufa a - (105° - 110°C) con la lectura del medidor a la misma profundidad del muestreo (Fig. 5), graficandole luego, donde el eje de las absisas - estacan los datos de humedad, en los ordenados el contaje del neu- trómetro de humedad; esto en el caso del medidor LB 3624. En - otros tipos de aspersores de neutrones donde la fuente de rayos ga- mas y la fuente de neutrones son aisladas generalmente se tiene - "cuentas por minutos" de los neutrones (CPM), mayor referencias sobre la calibración de estos aparatos son citados por Couchat, - 1967 (6), David y Cady, 1967 (9), Douglas, 1966 (10), Gardner y Kirkham, 1952, (11), Gornat y Goldberg, 1972 (12), Hajdorovic et - al., 1967 (13), Lal, 1974 (16) y Stolzy y Cahaoo, 1957 (25).

En caso de ser favorable la determinación de la curva - de calibración en el campo para el medidor de densidad aparente el procedimiento constituye en distribuir algunos tubos de acceso - aleatoriamente dentro de la serie de suelo (en puntos que sean más o menos representativos de las condiciones locales). Su instalación

será 5 tubos en linea recta aislados a un metro. (Cuando anteriormente se determinó a través de la sonda de profundidad cambios marcantes en el contaje del "neutrómetro" de densidad aparente - en tubo de acceso).

Constatados los cambios de lecturas a través del neutrómetro se hacen lecturas a los 30, 60, 90 y 120 cm, etc., en los tubos. Después se abre un perfil de 5.0 m de largo como también a la profundidad deseada, como en la Fig. 4, en forma de escalera al lado de los tubos, luego se saca no menos de 4 muestras para cada perfil para la determinación de la densidad aparente.

Cuando las condiciones fueron desfavorables, se recomienda la metodología utilizada por Cuevas, 1973 (8), ó la curva de calibración del fabricante, caso de la densidad aparente - ($g\ cm^{-3}$).

En ambos casos la calibración de las curvas son obtenidas mediante una regresión lineal, segundo a la Ec. 4.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de los datos obtenidos experimentalmente, para determinación de las curvas de calibración (Fig. 8 y Tabla 1), fueron realizados a través de regresion lineal obedeciendo a las siguientes fórmulas:

$$r = \frac{N\Sigma(XY) - X\Sigma Y\Sigma}{\sqrt{N\Sigma X^2 - (\Sigma X^2)}\sqrt{N\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2}} \qquad \text{----------(1)}$$

$$ox = \sqrt{\frac{N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}{N}} \qquad \text{----------(2)}$$

$$oy = \sqrt{\frac{N\ Y^2 - (\ Y\ )^2}{N}} \qquad \text{----------(3)}$$

$$yc = r\ \frac{ox}{oy}\ (X - \overline{x}) + \overline{y} \qquad \text{----------(4)}$$

DEFINICION DE LOS TERMOS:

r = Es el coeficiente de correlación

x = Es la variable independiente

Y = Es la variable dependiente

N = Es el número de datos

$\overline{x}$ = Es la media aritmética de X

$\overline{y}$ = Es la media aritmética de Y

x, y = Son las desviaciones típicas de X y Y

Yc = Es la línea de regresión.

INSTALACION DE LOS TUBOS DE ACCESO Y MUESTREO

(Ver Fig. 5).

Después de haber trabajado la parcela en la serie que se deseaba estudiar, se perfora un agujero en los sitios indicados con una barrena tipo holandesa de diámetro inferior al del tubo de acceso y se sacan las muestras para distintas profundidades (ver fig. 5 y 7). Sin embargo para cada profundidad determinada se debe extraer una muestra dentro de un intervalo de 10 - 15 cm para que sea representativa de la lectura realizada con la sonda de profundidad, este intervalo cambia con el contenido de humedad del suelo. Cuanto más húmedo, menor es el intervalo (ver fig. 5A y 7). - Las muestras sacadas son pesadas y llevadas a la estufa (105 - 110°C) con la finalidad de determinar el contenido de humedad del suelo.

Se interesa en el agujero un tubo de acceso de 3 a 5 - cms de diámetro, según el modelo que se está usando, hasta la - profundidad deseada (para suelos cultivados, según Taylor, 1966, citado por De La Loma (24), de 1.5 a 1.8 m), por lo tanto el tamano del tubo de acceso cambia con la finalidad del trabajo que - uno desea. Como el tubo también se encuentra abierto en la extremidad inferior, penetra a tierra dentro de ella, debe ser sacada -

con la misma barrena utilizada para perforar el agujero y posteriormente eliminarla. (ver Fig. 5B).

Cuando hay gran diferencia entre el diámetro de la barrena utilizada para perforar el agujero y el diámetro del tubo de acceso tenemos que introducir el tubo en el suelo con la ayuda de un martillo especial (ver Fig. 5C), de 8 kg.

Después de llegar a la profundidad deseada ponemos dentro del tubo de acceso chapopote en ebullición (líquido) a través de un tubo de plástico PVC, u otro material, correspondiente a una altura de 5 cm dentro del tubo de acceso. Tres minutos después ponemos también una esponja (10 cm) amortigua el golpe en la punta de la sonda en caso de que accidentalmente esta cayera al fondo del tubo de acceso (Fig. 5D).

Sobre el extremo del tubo de acceso que sale a la superficie, se coloca el adaptador y sobre el aspersor de neutrones y y después se inserta en el tubo la sonda hasta la profundidad deseada. Esta sonda lleva una fuente de neutrones y de rayos gama de alta energía, según el modelo que se está usando, y un tubo contador (Fig. 3 y 7). Los neutrones de alta energía emitidos van siendo movilizados moderadamente por los iones de las moleculas de -

agua del suelo. El tubo solo registra los neutrones lentos (térmicos), cuyo número es proporcional al número de iones hidrogeno - que a su vez están intimamente relacionados con el tanto por ciento, en volúmen, de agua del suelo.

Las lecturas con la sonda de profundidad deben ser realizadas a las profundidades promedias de los intervalos en que fueron sacadas las muestras gravimetricas. (Fig. 5E).

Despues de realizadas las lecturas se pone la sonda de profundidad dentro de la capa protectora de plomo y se hace el - "conteo estandard" o sea una lectura cuando la sonda se encuentra en "reposo". (pudiera ser realizada antes de la prueba).

Siguiendo esta metodología el suelo se queda en "in statu quo" (Fig. 5F).

DISTRIBUCION DE LOS TUBOS DE ACCESO EN LA SERIE DE SUELO

Cuando el factor se considera para su medición (contenido de humedad del suelo), es muy variable para una misma lectura con la sonda de profundidad sera necesario un mayor número de lugares de calibración.

Para este objetivo se debe tomar en cuenta la precisión que uno desea; los recursos disponibles y el método de muestreo a aplicar. Puede utilizarse dos tipos de muestreo;

a). El muestreo simples aleatorio, que consiste en la selección de n lugares para instalación de tubos de acceso entre los N que constituyen la población, de modo que todas las muestras posibles de tamaño m (tantas como combinaciones de N elementos de n en n) tengan la misma probabilidad $(\frac{\Delta}{\binom{N}{m}})$ de ser obtenidas.

El tamaño de la muestra puede ser estimado a través de la siguiente fórmula:

$$m = \frac{N\ z^2\ \ s^2}{Nd^2 + z^2\ s^2}$$

donde:

N: Tamaño de la población

Z: Coeficiente de confiabilidad

s^2: Varianza de las y_i (variación de una misma lectura - con el aspersor de neutrones para diferentes contenidos de humedad) poblacional.

d: Precisión de estimador ($\bar{y}n$)

La varianza (s^2) podrá ser determinada por una encuensa preliminar.

Cuando N de la Ec. 1., se obtiene:

$$n = \frac{z^2 \, s^2}{d^2} \qquad - - - - - - \quad (2)$$

Lo que simplifica (bastante) los cálculos en el presente estudio.

b). El muestreo estratificado simple, cuya ventaja es aumentar la precisión de las estimaciones a través de estratificación L de la población N en este caso específico agrupando aquellos tipos de suelos con características comunes. El procedimiento por el que se subdivide la población en L estratos se denomina muestreo estratificado. Si además la selección en cada estrato es por muestreo aleatorio simple.

La aplicabilidad de esta metodología con mayores deta-

lles nos muestra el libro de Azorin Poch, 1972 (20).

En la Fig. 6, se presenta un ejemplo general de como distribuir los tubos de acceso en la parcela de prueba para la calibración del aspersor de neutrones en unos estudios preliminares.

RESULTADOS Y DISCUSION

El número de muestras necesarias para determinar la curva de calibración del contenido de humedad del suelo presenta algunas contradicciones debido a que algunos investigadores recomiendan 7 muestras para cada lectura con el aspersor de neutrones. Stone et al., 1960. Otros recomiendan 6 Shaw et al., 1959 (citados por Kirkham, 1962), pero se deberá considerar un número no inferior a 4 muestras para suelos francos y para suelos pesados que ofrece problemas en la calibración (vertisolos) no menos de 6 para mayor seguridad de los resultados, Figs. 6, 7 y 5.

Según Cuevas, 1973 (8), la curva de calibración del aspersor de neutrones relativa a la densidad aparente en el campo, presenta una baja correlación porque la metodología usada no es suficientemente precisa (y que es) recomendando por lo tanto efectuar su calibración bajo condiciones mas controladas de laboratorio.

Rendon 1974 (21), llegó a las mismas conclusiones que el anterior (8) con relación a la curva de calibración de densidad aparente, debido a que estos aparatos ofrecen lecturas erróneas, cuando la densidad aparente del suelo sea relativamente baja, menor ó alrededor de 1.0 gr/cm^3.

La metodología utilizada para determinar la curva de calibración de la densidad aparente (Fig. 4) no es suficiente precisa - cuando el número de muestras para cada lectura del "neutrómetro" es inferior a 10 (diez), debido a que la densidad no es uniforme en el campo; eliminando consecuentemente aquellas que son distintas - del 70% por ciento siendo mismo así algunas veces es recomendable efectuar su calibración en condiciones controladas, Cuevas ó utilizar la curva de calibración del fabricante.

En las tablas 1 y 2 se presentan las ecuaciones y las - lecturas del neutrómetro de humedad y de densidad aparente correspondiente a cada contenido de humedad del suelo y densidad aparente respectivamente.

La calibración del contenido de humedad en base a peso seco (105-110°C) fué debido al aparato usado LB 3624, disponibilidad de lad dos fuentes redioactivas en la misma sonda de profun

didad, ofreciendo al mismo tiempo en el contador lecturas de humedad y densidad, ver Fig. 3.

La instalación de los tubos de acceso utilizando chapopote, es muy económica y rápida en comparación con la instalación de tubos cerrados (soldados) en la parte inferior. La metodología usada es precisa, pero puede presentar algunos problemas en casos de vertisolos cuando se utilizan tubos de aluminio debido a la gran compacticidad característica de este tipo de suelo el que se recomendaría la utilización de tubos de fierro galvanizado siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente, también con la finalidad de aumentar el coeficiente de correlación se puede aumentar el número de muestras gravimétricas para cada lectura correspondiente y promediarlas despues de eliminar aquellas muestras que son 80 por ciento diferentes.

El muestreo simple aleatorio por ofrecer una varianza mas grande que los diversos métodos de muestreo; se adapta mejor a este tipo de trabajo; aún cuando los trabajos fueran intensificados y sistemáticamente en una región, podian afinandose mas las curvas de calibración. (Cuando se trata de) para diferentes series de suelo sera recomendable usar el método de muestreo estratificado simple donde cada serie de suelo sería un estrato.

Tabla 1. Comparación entre la curva de calibración del fabricante y la curva de densidad aparente determinada en el campo experimental de xaltepa, lote x 3, Chapingo, Mexi - México.

CONTAJE DEL "NEUTROMETRO" (x)	DENSIDAD APARENTE GCM^{-3}		
	(1) Fabricante (y) (gcm^{-3})	(2) Campo (Promedio de 5 muestras) y (gcm^{-3})	(2) yc=2.19-0.012 x (gcm^{-3})
37	1.85	1.70	1.75
40	1.81	1.71	1.71
46	1.71	1.66	1.64
54	1.62	1.60	1.54
65	1.48	1.50	1.41
70	1.43	1.35	1.35
71	1.42	1.25	1.34

(1) r = 0.945
ox = 13.155
oy = 0.166
yc = 2.274 - 0.012x

(2) r = 0.943
ox = 13.155
oy = 0.167
yc = 2.19-0.012x

TABLA 2. Calibración del aspersor de neutrones para la humedad del suelo (105-110°C) y la densidad aparente (gcm^{-3}) en el campo experimental de "Xaltepa", Chapingo, Mex. - México, en marzo de 1976.

LECTURA HUMEDAD	LECTURA HUMEDAD	LECTURA DENSIDAD	LECTURA DENSIDAD
98 - 36.8	64 - 24.0	100 - 1.00	68 - 1.37
97 - 36.4	63 - 23.7	98 - 1.01	67 - 1.39
96 - 36.1	62 - 23.3	97 - 1.03	66 - 1.40
95 - 35.7	61 - 22.9	96 - 1.04	65 - 1.41
94 - 35.3	60 - 22.5	95 - 1.05	64 - 1.42
93 - 34.9	59 - 22.2	94 - 1.06	63 - 1.43
92 - 34.6	58 - 21.8	93 - 1.07	62 - 1.45
91 - 34.2	57 - 21.4	92 - 1.08	61 - 1.46
90 - 33.8	56 - 21.0	91 - 1.10	60 - 1.47
89 - 33.4	55 - 20.7	90 - 1.11	59 - 1.48
88 - 33.1	54 - 20.3	89 - 1.12	58 - 1.49
87 - 32.7	53 - 19.9	88 - 1.13	57 - 1.51
86 - 32.3	52 - 19.5	87 - 1.15	56 - 1.52
85 - 31.9	51 - 19.2	86 - 1.16	55 - 1.53
84 - 31.6	50 - 18.8	85 - 1.17	54 - 1.54
83 - 31.2	49 - 18.4	84 - 1.18	53 - 1.55
82 - 30.8	48 - 18.0	83 - 1.19	52 - 1.57
81 - 30.4	47 - 17.7	82 - 1.21	51 - 1.58
80 - 30.1	46 - 17.3	81 - 1.22	50 - 1.59
79 - 29.7	45 - 16.9	80 - 1.23	49 - 1.60
78 - 29.3	44 - 16.5	79 - 1.24	48 - 1.61
77 - 28.9	43 - 16.2	78 - 1.25	47 - 1.63
76 - 28.6	42 - 15.8	77 - 1.27	46 - 1.64
75 - 28.2	41 - 15.4	76 - 1.28	45 - 1.65
74 - 27.8	40 - 15.0	75 - 1.29	44 - 1.66
73 - 27.4	39 - 14.7	74 - 1.80	43 - 1.67
72 - 27.1	38 - 14.3	73 - 1.31	42 - 1.69
71 - 26.7	37 - 13.9	72 - 1.33	41 - 1.70
70 - 26.3	36 - 13.5	71 - 1.34	40 - 1.71
69 - 25.9	35 - 13.1	70 - 1.35	
68 - 25.5	34 - 12.8	69 - 1.36	
67 - 25.2	33 - 12.4		
66 - 24.8	32 - 12.0		
65 - 24.4	31 - 11.6		

Hum=0.3757 x - 0.10 (r=0.982) - Hum=Humedad del suelo (105-110°C)
Den =2.19 - 0.012 x (r=0.94) - Den =Densidad aparente (gcm^{-3})

CONCLUSIONES DEL TRABAJO EXPUESTO; SE PUEDE CONCLUIR:

Las curvas de calibración obtenidas para contenido de humedad del suelo y densidad aparente a través del medidor LB 3624 fué de:

a) Hum = 0.3757 X - 0.10 (r = 0.982) (campo)

b) Den = 2.1900 - 0.012X (r = 0.943) (campo)

c) Den = 2.274 - 0.012X (r = 0.945) (fabricante)

Los resultados obtenidos a través de estas curvas de calibración demuestran que las metodologias utilizadas presentan un alto coeficiente de correlacion.

Por otra parte, analizando la curva de calibración para densidad aparente se concluye que, además del alto coeficiente de correlación la calibración debe ser hecha generalmente bajo condiciones controladas de laboratorio ó utilizar la curva de calibración del fabricante, debido al hecho de que la densidad aparente en el campo, es muy variable.

En este trabajo de investigación fué posible la calibración de la curva de densidad aparente debido a la variación de la misma de 1.25 a 1.70 ($g\ cm^{-3}$) dentro del campo experimental -

(Xaltepa lote 6), de la Sección de Física de Suelos de la Rama de - Suelos del Colegio de Postgraduados de Chapingo, Méx., México. - Donde 8 años se viene investigando diferentes métodos de manejo de suelo, comprendiendo desde mínima hasta la máxima labranza.

La metodología descrita para instalación de tubos de acceso, presenta mayor ventaja en lo referente al factor de tiempo y a minimización de los costos. La desventaja de esta metodología residiría cuando el manto freatico es muy somero por las dificultades que ofrece.

RECOMENDACION

La altura del chapopote del tubo de acceso debe ser en el mínimo de 5.0 cm para que sea más resistente a golpes.

B I B L I O G R A F I A

1. Andrade, F.E. (1974). Influencias del "Aporque" Bajo Diferentes Métodos de Labranza Sobre el Rendimiento de Maíz para Forraje. Tésis de Maestria. C.P. Chapingo, Méx., México.

2. Burn, K.N. (1965). Calibration of Neutron Soil Moisture Meter. Humidity and Moisture 3:205-212.

3. Cannell, G.H., and C.W. Asbell. (1974). The Effects of Soil - Profile Variations and Related Factors on Neutron - Moderation Measurements. Soil Sci. 117: 124 - 127.

4. Cline, R.G., and B.L. Jeffers. (1975). Installacion of Neutron Probe Access Tubes in Stony and Bouldery Forest Soils. Soil - Sci. 120: 71 - 72.

5. Carpenter, C.D. (1972). Installation of Soil Moisture Access - Tubes in Gravels and Cobbles. Soil Sci. 453-455.

6. Couchat, P. (1967). Determination of the Calibration Curve for The Neutron Moisture Meter by Chemical Soil Analysis. Isotopes Radiation Techniques in Soil Physics and Irrigation Studies. Proc. Panel FAO/IAEA/Symp. Instambul, June 12 - 16, pp: 67-82.

7. Cuevas, B.R. (1973). Calibración y Operación de un Medidor de Humedad y de Peso Volumétrico del Suelo que usa Fuentes Radiactivas. U.N.A.M. (Tésis para obtener el título de Físico). México. p. 102.

8. Cuevas, B.R., et al. (1975). Calibración de Campo de un Medidor de Humedad y de Peso Volumétrico Usando Fuentes Radiactivas en Suelos Representativos de la Cuenca del Valle de México, C.P., Chapingo, Mex., p. 19.

9. David, H.T., and F.B. Cady. (1967). The Nature of Calibration Methods of Soil Analysis. Agronomy No. 9 part. 1. pp: 73-81.

10. Douglas, J.E. (1966). Volumetric Calibration of Neutron Moisture Proble. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 541-44.

11. Gardner, W. and D. Kirkham. (1952). Determination of Soil - Moisture by Neutron Scattering. Soil Sci. 73: 391-401.

12. Gornat, B., and D. Goldberg. (1972). The Relation Between - Moisture Measurements with a Neutron Probe and Soil Texture. Soil Sci, 114: 254-258.

13. Hajdorovic, M., M. Jakovlevic, V. Vajgand. (1967). Comparation of Three Methods of Measuring Soil Moisture. Isotopes - and Radiation Techniques in Soil Physics and Irrigation Studies. IAEA/FAO Symp., Istambul, June 12-16: 11

14. Holmes, J.W. (1956). Calibration and Field Use of the Neutron Scattering Methods of Measuring Soil Water Content. Aust. J. Appl. Sci. 7: 45-58.

15. Kirkhan, D., and R.J. Kunze. (1962). Isotopes Methods and Uses in Soil Physics Research. Edited by A.G. Norman, Advances in Agronomy, Academic Press, New York, pp: 321-355.

16. Lal, R. (1974). The Effect of Soil Texture and Density on the Neutron and Density Probe Calibration for Some Tropical Soil. Soil Sci. 117: 183-190.

17. Maertens, C., and J.R. Marty. (1972). Controle de L' Utilization et de L' Efficiencie de L' Eau Chez Diverses Cultures - Irriguees Ou Non, Au Moyen D' Humidimetres a Neutrones. Edited by International Atomic Energy Agency, Isotopes and - Radiation in Soil Plant Relationships Including Forest, Proc. of Symp. Vienna, 13 - 17 December 1971, pp: 621-630.

18. Marais, P.G., and De V. Smith, W.B. (1960). Laboratory Calibration of the Neutron Moisture Meter. S. Afr. J. Agric. - Sci. 3: 381-5.

19. Millar, A.A. (1975). Determinación del Agua del Suelo. IICA/OEA. Petrlina, PE., Brasil.

20. Souza Silva, A. de, Y A.A. Millan. (1975). Testes de Tubos de Accesso para Uso Com a Sonda de Nertrones, Petrolina, - PE., Brasil.

(Comunicacion persona')

21. Stewart, G.L. and Talylor, S.A. (1957). Field Experience With the Neutron Scattering Method of Measuring Soil Moisture. Soil Sci. 83 (2): 151.

20. Foch, A. (1972). Curso de Muestreo y Aplicaciones. Aguilar - S.A. Juan Bravo 38 Madrid. p: 375.

21. Rendon, L.P. (1974). Uso de Medidores de la Humedad del Suelo en la Investigacion Agrometeorologica. Tesis Profesional. - E.N.A., Chapingo, Méx., México.

24. S.R.H. Memorándum Técnico No. 239. (1966). Métodos Económicos para Medir la Humedad de un Suelo. México. p: 18.

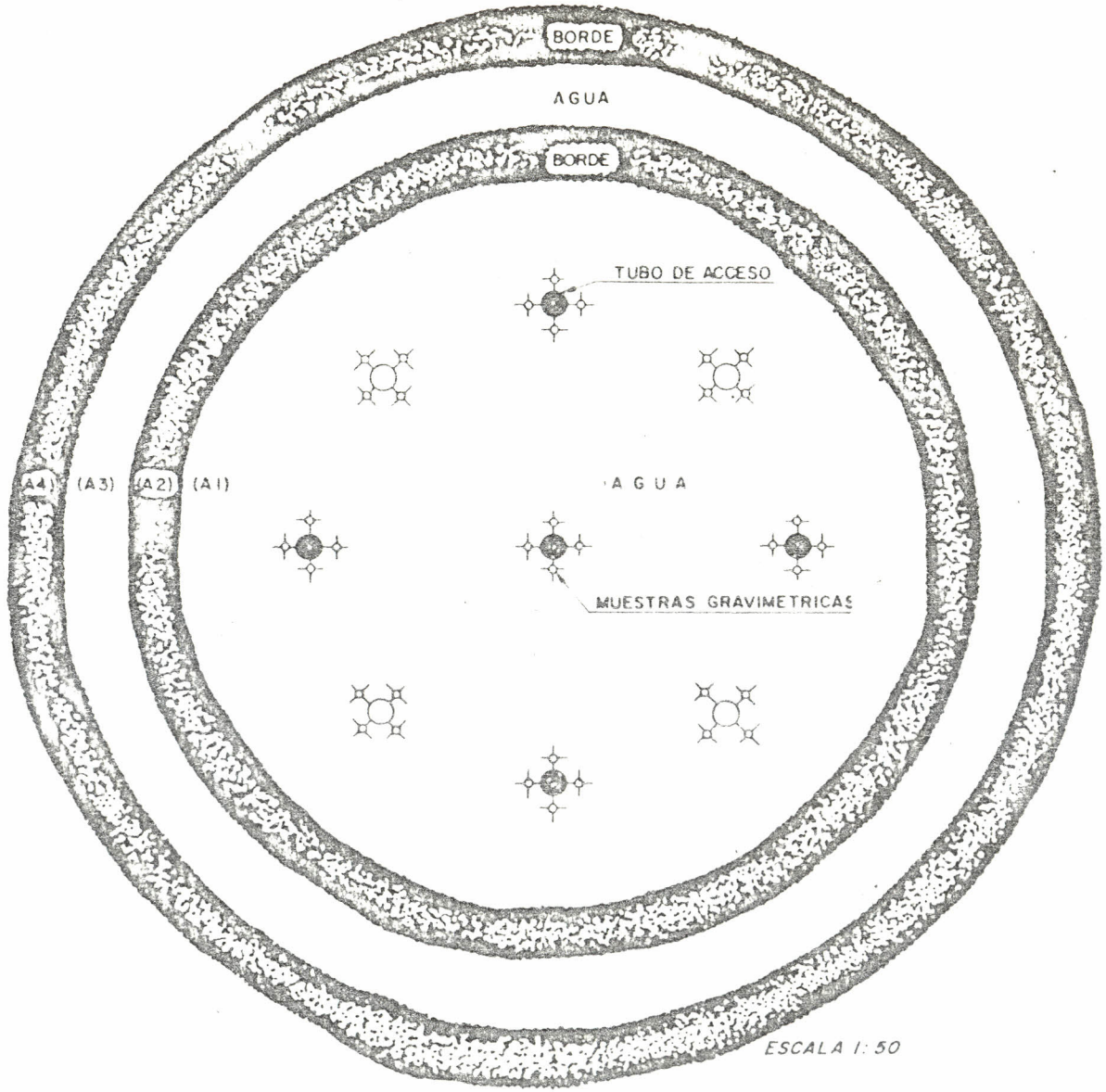
25. Stolzy, I.H., y Cahoo, G.A. (1957). A Field Calibrated Portable Neutron Rate Meter for Measuring Soil Moisture in Citrus Orchards. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21:571 - 575.

26. Van Bavel, C.H.M., Nielsen, D.R. y Davidson, J.M. (1961). Calibration and Characteristics of Two Neutron Moisture Probes, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 329-333.

27. Van Bavel, C.H.M., Underwood, N., y Swanson, R.W. (1956). Soil Moisture Measurement by Neutron Moderation. Soil Sci. 82: 24-41.

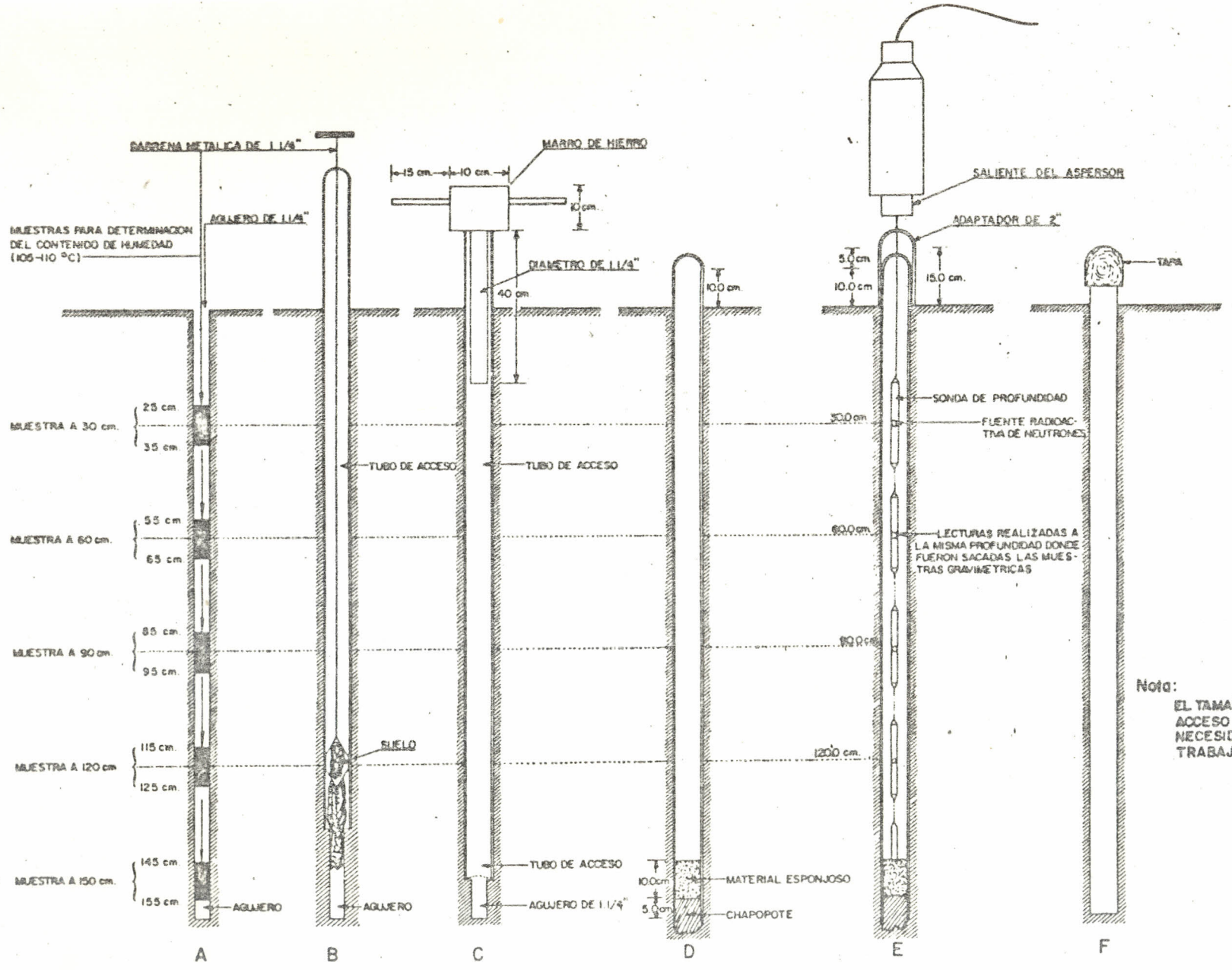
28. Raws, W.J. y Asmussen, L.E. (1973). Neutron Probe Field - Calibration For Soils in the Georgia Coast Plain. Soil Sci. 116: 262-265.

A 1 = 28,274 m²
A 2 = 10,211 m²
A 3 = 11,781 m²
A 4 = 13,352 m²
AREA TOTAL = 63,62 m²



A 1 = RADIO DE 3.0 m
A 2 = RADIO DE 3.5 m
A 3 = RADIO DE 4.0 m
A 4 = RADIO DE 4.5 m

Fig. . PARCELA DE PRUEBA DE DOBLE CIRCULO PARA CALIBRACION DEL ASPERSOR DE NEUTRONES.



Nota:

EL TAMAÑO DEL TUBO DE ACCESO CAMBIA CON LAS NECESIDADES DE LOS TRABAJOS.

Fig. 6. METODO DE LA INSTALACION DE UN TUBO DE ACCESO.

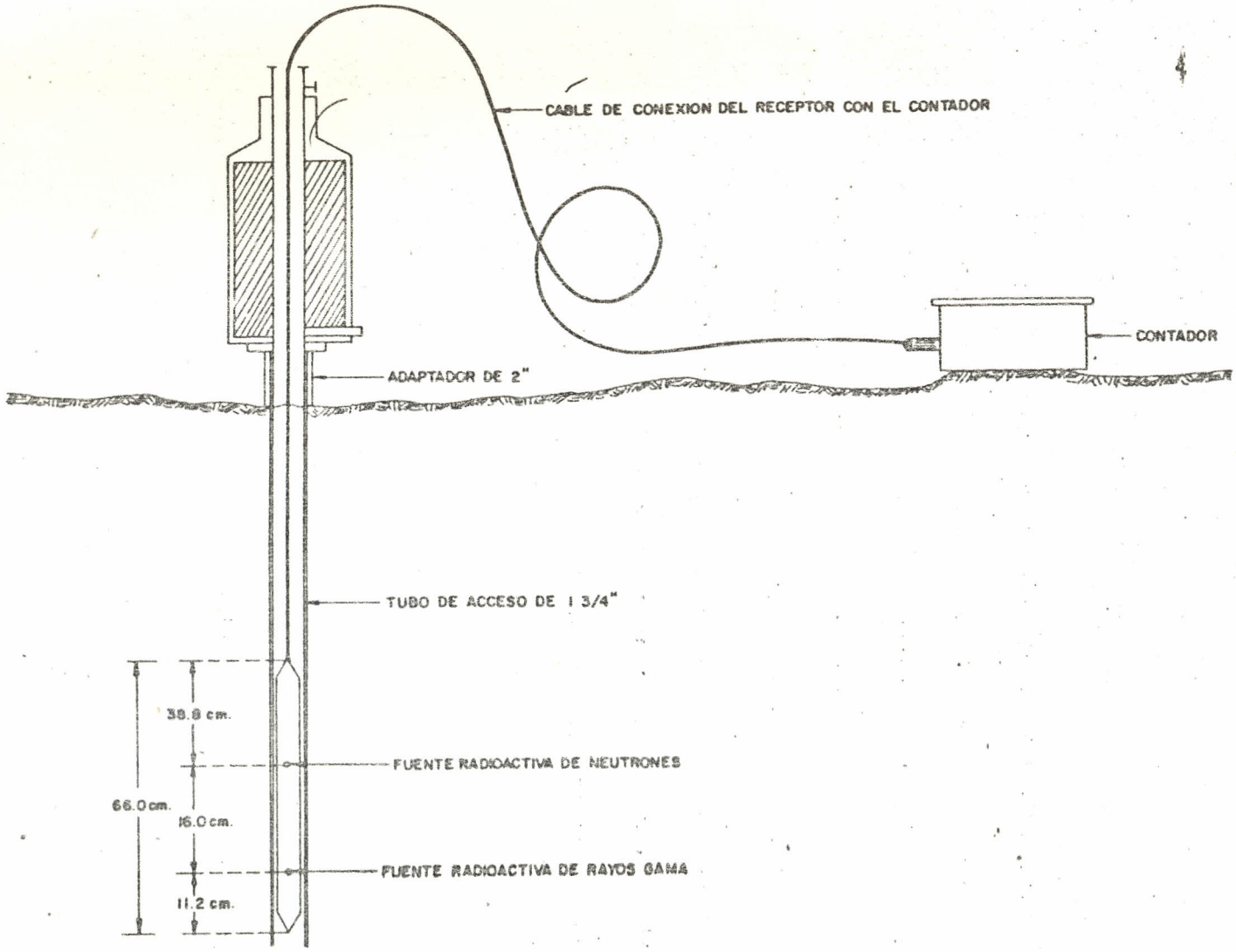


Fig. MEDIDOR DE TIPO SUBTERRANED LB-3624 UTILIZADO EN LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE Y HUMEDAD DEL SUELO.

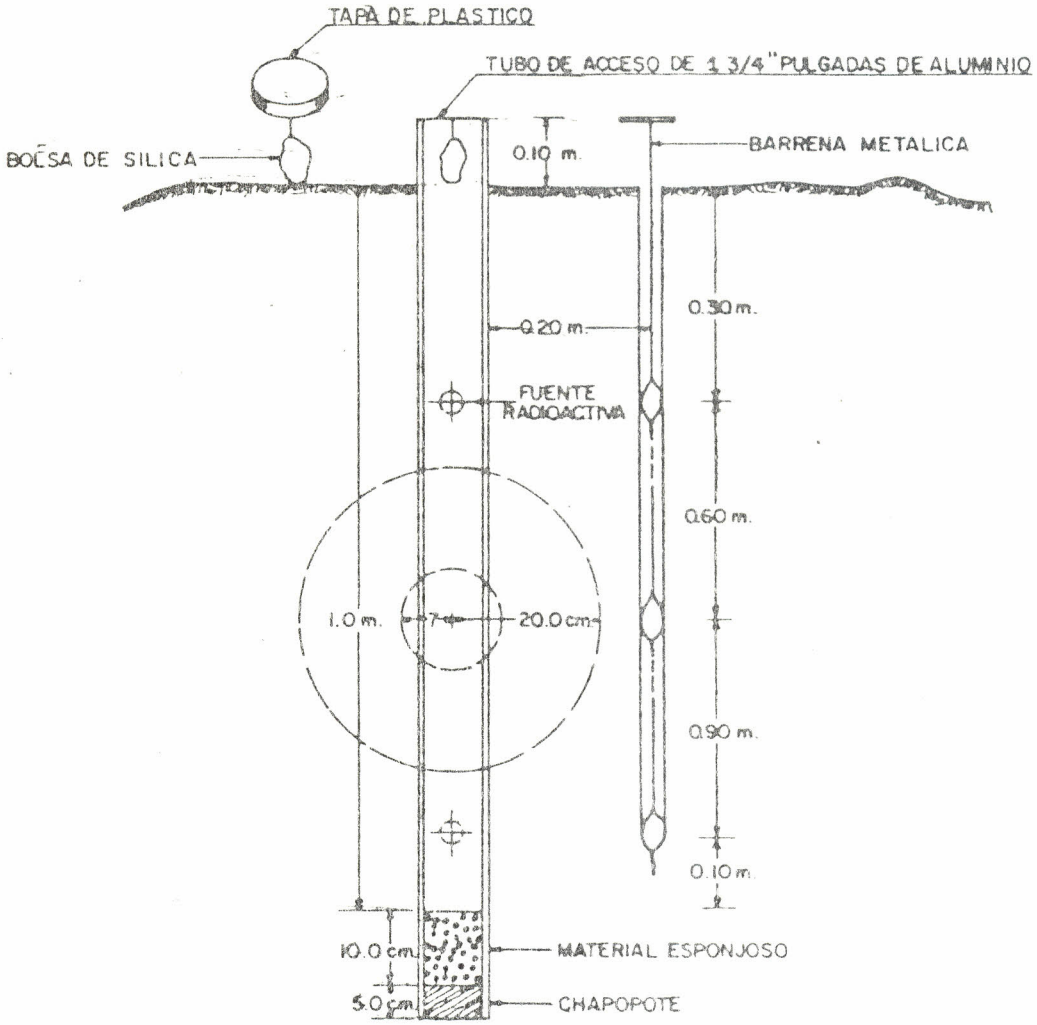


Fig. VISTA DE PERFIL DE UN TUBO DE ACCESO EN LA PARCELA DE PRUEBAS Y SITIO DE MUESTRAS GRAVIMETRICAS PARA LA CALIBRACION DEL ASPERSOR DE NEUTRONES.

Nota:

EL RADIO DE ACCION DE LA EMISION DE NEUTRONES RAPIDOS VARIA APROXIMADAMENTE ENTRE 7.0 – 20.0 cm. DEPENDIENDO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO.

SUELO SECO = 20.0 cm.
SUELO HUMEDO = 7.0 cm.
(APROXIMADAMENTE).

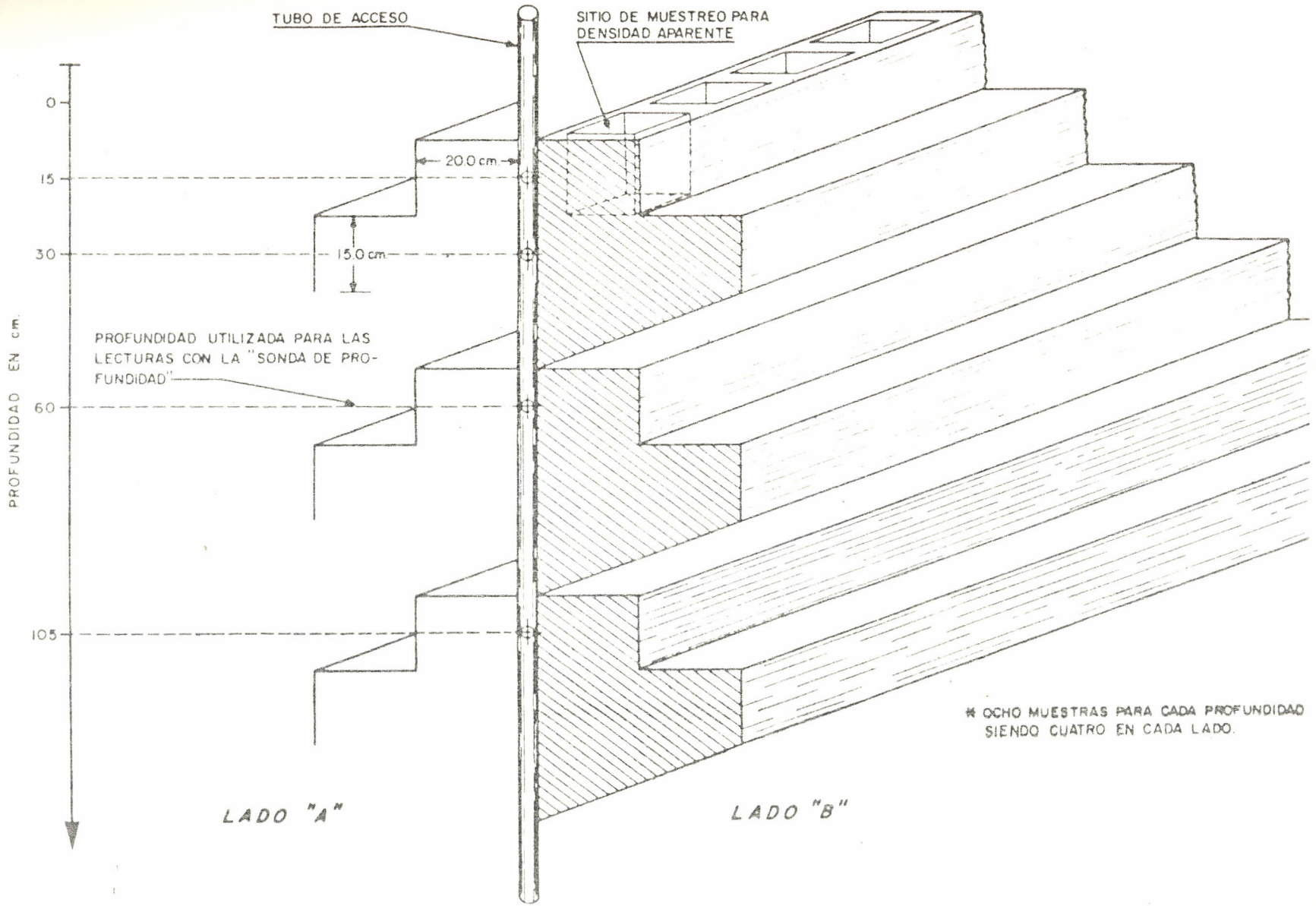


Fig. . METODOLOGIA UTILIZADA PARA DETERMINAR LA CURVA DE CALIBRACION DE LA DENSIDAD APARENTE A TRAVE DE LA SONDA DE PROFUNDIDAD.

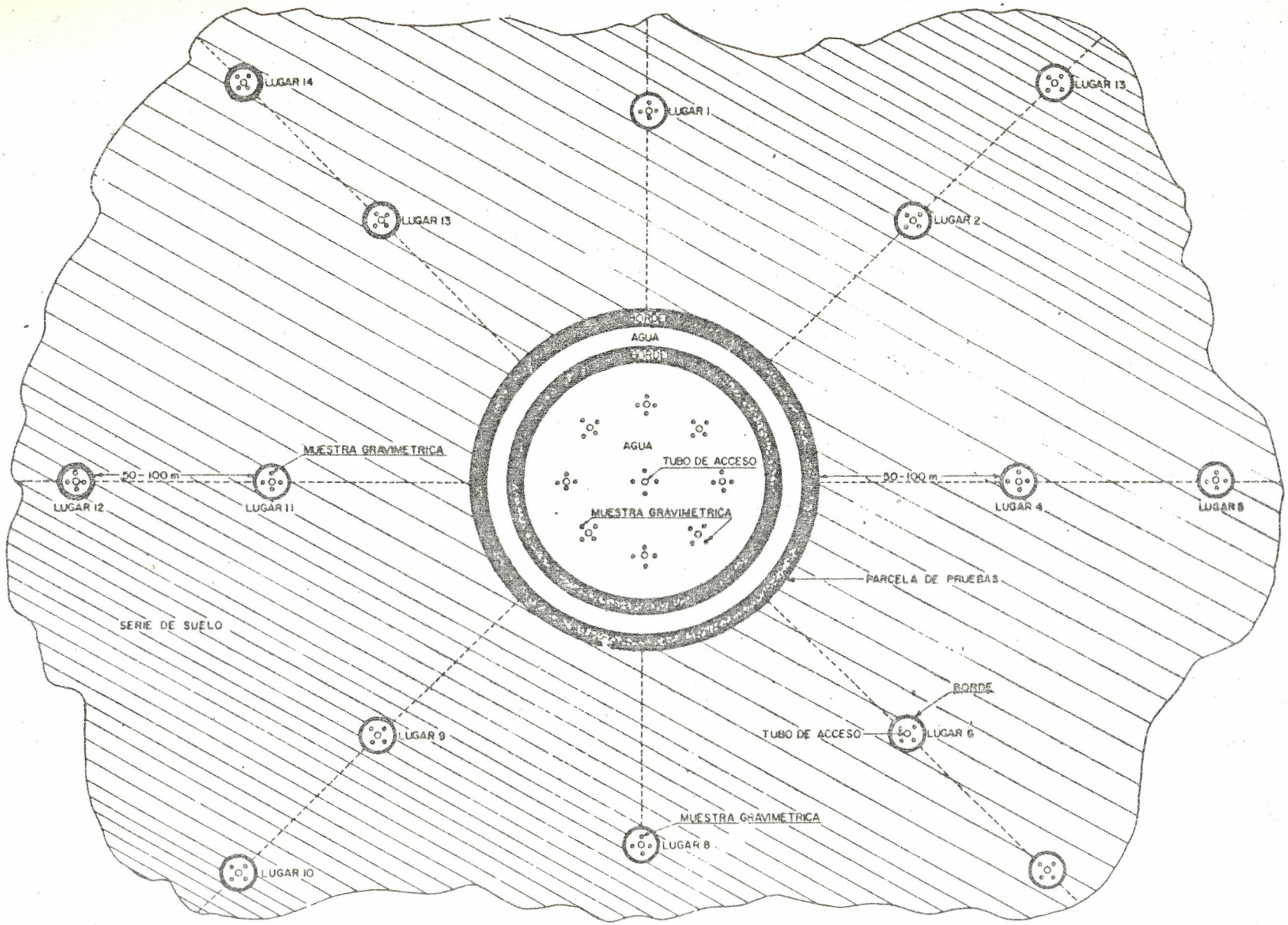


Fig. . EJEMPLO GENERAL DE COMO DISTRIBUIR LOS TUBOS DE ACCESO DE LA PARCELA DE PRUEBA PARA LA CALIBRACION DEL ASPERSOR DE NEUTRONES EN UNA DETERMINADA SERIE DE SUELO.

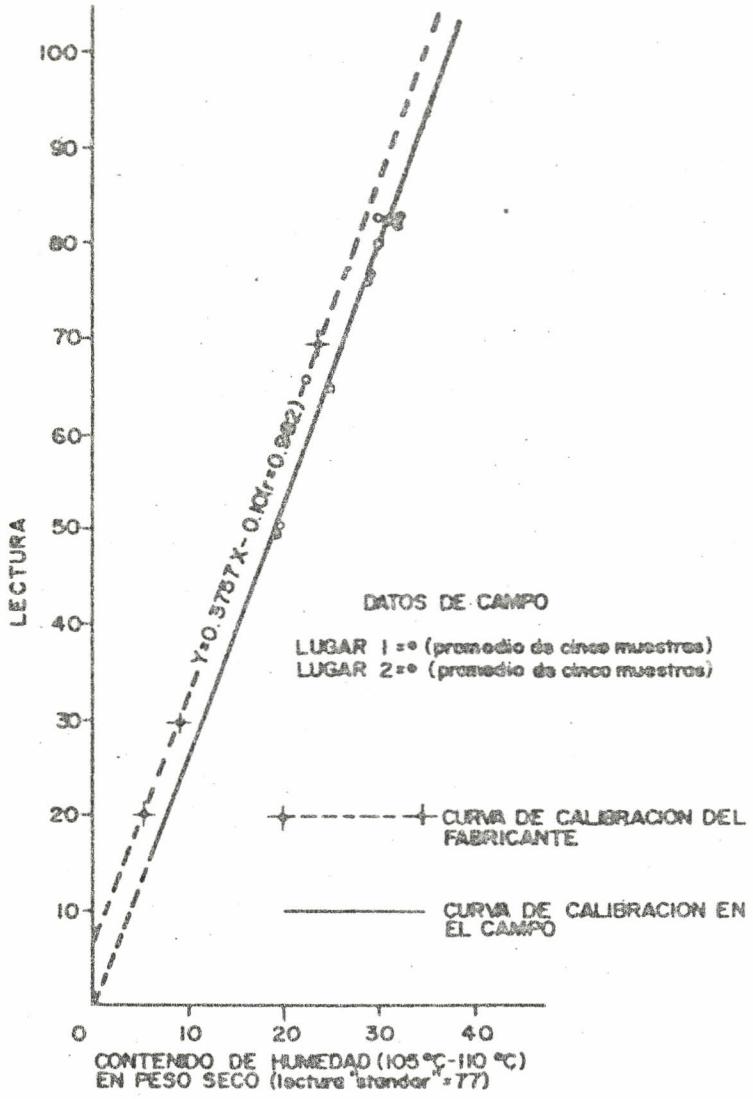


FIG. . CURVA DE CALIBRACION (campo experimental) Chapingo, México-1976