

FN
631.43
y 939
g.

DETERMINACION DE LA PENETRAIBILIDAD EN ALGUNOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO, NARIÑO, COLOMBIA

Por	<i>[Handwritten Signature]</i>
Valor	<i>[Handwritten]</i>
Fecha	<i>[Handwritten]</i>

LUIS FELIPE GUEVARA BENAVIDES
HERNAN ROJAS GUERRERO

Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO AGRONOMO**

Artículo 10. del Acuerdo No. 104 de Octg. de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Presidente de Tesis
LUCIO LEGARDA BURRANO I.A., N. Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA

1976

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
DEPARTAMENTO DE BIBLIOLÓGICAS
PASTO - COLOMBIA

No.	19654	Pj.	1
Valor	\$ 1.000,-	Vol.	
Fecha	VII-27-76	Don.	X
Fact.	Agremiación	Conje	
Librería	Antes	Cinop.	

A NIE NARIÑO

A NIE NARIÑO

"Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son de responsabilidad exclusiva de sus autores".

Artículo 10. del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES

DEDICO :

LUIS FELIPE GUEVARA BENAVIDES

AGRADECIMIENTOS A :

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS LEONORA MORALES I.A., N. Sc.

A PATTY ANTONIO ANIAS MORALES I.A., N. Sc.

A MIS FAMILIARES HERNANDO CALZADA I.A., N. Sc.

A MIS AMIGOS EN GENERAL QUINCY I.A., N. Sc.

HERNAN VIVIANO ZARAGOZA I.A.

FRANCISCO MARTIN DE LA CRUZ I.A.

HERNAN ROJAS GUERRERO

Investigador Asociado, T.M.

Laboratorio de Suelos de la Facultad de
Ciencias Agrícolas, Universidad de Navarra,
España.

CONTENIDO

3. INTRODUCCION	1
II. MATERIALES Y METODOS	2
2.1 Características generales del suelo y la subcapacidad de la zona	2
2.2 Muestreo y análisis de los materiales estudiados y los resultados	3
2.3 AGRADECIMIENTOS A :	
2.3.1 Agradecimientos a los señores investigadores y algunos personales de la zona	5
2.3.2 Agradecimientos de la Universidad de Maricao	6
2.3.3 Agradecimientos de la Universidad de Puerto Rico	7
2.3.4 Agradecimientos de la Universidad de la Habana	8
2.3.5 Agradecimientos de la Universidad de Chile	9
2.3.6 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	10
2.3.7 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	11
2.3.8 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	12
2.3.9 Agradecimientos de la Universidad de México	13
2.3.10 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	14
2.3.11 Agradecimientos de la Universidad de Chile	15
2.3.12 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	16
2.3.13 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	17
2.3.14 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	18
2.3.15 Agradecimientos de la Universidad de México	19
2.3.16 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	20
2.3.17 Agradecimientos de la Universidad de Chile	21
2.3.18 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	22
2.3.19 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	23
2.3.20 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	24
2.3.21 Agradecimientos de la Universidad de México	25
2.3.22 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	26
2.3.23 Agradecimientos de la Universidad de Chile	27
2.3.24 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	28
2.3.25 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	29
2.3.26 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	30
2.3.27 Agradecimientos de la Universidad de México	31
2.3.28 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	32
2.3.29 Agradecimientos de la Universidad de Chile	33
2.3.30 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	34
2.3.31 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	35
2.3.32 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	36
2.3.33 Agradecimientos de la Universidad de México	37
2.3.34 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	38
2.3.35 Agradecimientos de la Universidad de Chile	39
2.3.36 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	40
2.3.37 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	41
2.3.38 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	42
2.3.39 Agradecimientos de la Universidad de México	43
2.3.40 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	44
2.3.41 Agradecimientos de la Universidad de Chile	45
2.3.42 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	46
2.3.43 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	47
2.3.44 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	48
2.3.45 Agradecimientos de la Universidad de México	49
2.3.46 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	50
2.3.47 Agradecimientos de la Universidad de Chile	51
2.3.48 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	52
2.3.49 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	53
2.3.50 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	54
2.3.51 Agradecimientos de la Universidad de México	55
2.3.52 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	56
2.3.53 Agradecimientos de la Universidad de Chile	57
2.3.54 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	58
2.3.55 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	59
2.3.56 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	60
2.3.57 Agradecimientos de la Universidad de México	61
2.3.58 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	62
2.3.59 Agradecimientos de la Universidad de Chile	63
2.3.60 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	64
2.3.61 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	65
2.3.62 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	66
2.3.63 Agradecimientos de la Universidad de México	67
2.3.64 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	68
2.3.65 Agradecimientos de la Universidad de Chile	69
2.3.66 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	70
2.3.67 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	71
2.3.68 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	72
2.3.69 Agradecimientos de la Universidad de México	73
2.3.70 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	74
2.3.71 Agradecimientos de la Universidad de Chile	75
2.3.72 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	76
2.3.73 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	77
2.3.74 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	78
2.3.75 Agradecimientos de la Universidad de México	79
2.3.76 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	80
2.3.77 Agradecimientos de la Universidad de Chile	81
2.3.78 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	82
2.3.79 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	83
2.3.80 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	84
2.3.81 Agradecimientos de la Universidad de México	85
2.3.82 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	86
2.3.83 Agradecimientos de la Universidad de Chile	87
2.3.84 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	88
2.3.85 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	89
2.3.86 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	90
2.3.87 Agradecimientos de la Universidad de México	91
2.3.88 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	92
2.3.89 Agradecimientos de la Universidad de Chile	93
2.3.90 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	94
2.3.91 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	95
2.3.92 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	96
2.3.93 Agradecimientos de la Universidad de México	97
2.3.94 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	98
2.3.95 Agradecimientos de la Universidad de Chile	99
2.3.96 Agradecimientos de la Universidad de Colombia	100
2.3.97 Agradecimientos de la Universidad de Venezuela	101
2.3.98 Agradecimientos de la Universidad de Ecuador	102
2.3.99 Agradecimientos de la Universidad de México	103
2.3.100 Agradecimientos de la Universidad de Cuba	104

RN
T
31.43
939
9.1.

CONTENIDO

Pág.

XV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
I.	INTRODUCCION	1
II.	REVISION DE LITERATURA	3
	2.1 Resistencia mecánica del suelo a la penetración de las raíces	3
	2.2 Relaciones entre la resistencia mecánica y la compactación	5
	2.3 Relaciones entre la resistencia mecánica y algunas propiedades físicas	7
	2.4 Determinación de la resistencia mecánica del sue- lo	8
III.	MATERIALES Y METODOS	12
	3.1 Generalidades de la región	12
	3.2 Suelos	12
	3.3 Determinación de la penetrabilidad en el campo	13
	3.3.1 Materiales	13
	3.3.2 Procedimiento	17
	3.3.3 Cálculo	17
	3.4 Análisis de laboratorio de algunas propiedades <u>fi</u> sicas	21
	3.4.1 Densidad aparente	21
	3.4.2 Capacidad de campo	21
	3.4.3 Humedad gravimétrica de campo	21
	3.4.4 Coeficiente higroscópico	22
	3.4.5 Textura	22
	3.4.6 Porosidad total	22
	3.4.7 Materia orgánica	22
	3.5 Análisis estadístico	22

CONTENIDO

	Pág.	
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	23	
FIGURA 4.1 Textura	23	
4.2 Densidad aparente y porosidad	24	
FIGURA 4.3 Humedad	26	
4.4 Materia orgánica	27	
4.5 Penetrabilidad	27	
FIGURA 5. Humedad de campo, relación de la humedad de campo		
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56	
VI. RESUMEN	57	
SUMMARY	58	
FIGURA 7. Relación entre la precipitación y la penetrabili-		
dad para la condición de cultivo en función de		
la profundidad ($n = 12$). Valle de Ocuilón	59	
FIGURA 8. Relación entre la precipitación y la penetrabili-		
dad para la condición de cultivo en función de		
la profundidad ($n = 12$). Valle de Ocuilón		59
FIGURA 9. Relación entre la humedad y la penetrabilidad en		
la condición de cultivo en función de la pen-		
etrabilidad ($n = 12$). Valle de Ocuilón		59
FIGURA 10. Relación entre la humedad y la penetrabilidad en		
la condición de cultivo en función de la pen-		
etrabilidad ($n = 12$). Valle de Ocuilón		59

TABLAS

		Pág.
TABLA	XII. Valores mensuales de humedad de campo (%) para el suelo de La Laguna, bajo condiciones de	
TABLA	I. Algunas características descriptivas de los sitios estudiados	16
TABLA	XIII. Valores mensuales de humedad de campo (%) para	
TABLA	II. Datos meteorológicos registrados en la estación del ICA, Obonuco, Pasto	35
TABLA	XIII. Promedios del análisis textural de los suelos estudiados bajo condiciones de cultivo . . .	36
	cultivo y pradera	37
TABLA	IV. Promedios del análisis textural de los suelos estudiados bajo condiciones de pradera . . .	37
TABLA	XIV. Valores mensuales de humedad de campo (%) para el suelo de Botana, bajo condiciones de	
TABLA	V. Valores promedios de densidad aparente y porosidad, bajo condiciones de cultivo y pradera	38
TABLA	XVI.	
TABLA	VI. Valores promedios de capacidad de campo y coeficiente higroscópico, bajo condiciones de cultivo y pradera	39
TABLA	XVII.	
TABLA	VII. Valores promedios de materia orgánica, bajo condiciones de cultivo y pradera	40
TABLA	XVIII.	
TABLA	VIII. Valores mensuales de humedad de campo (%) para el suelo de Aranda, bajo condiciones de cultivo y pradera	41
TABLA	XIX.	
TABLA	IX. Valores mensuales de humedad de campo (%) para el suelo de Botana, bajo condiciones de cultivo y pradera	42
TABLA	XX.	
TABLA	X. Valores mensuales de humedad de campo (%) para el suelo de Catambuco, bajo condiciones de cultivo y pradera	43
TABLA	XXI.	
TABLA	XI. Valores mensuales de humedad de campo (%) para el suelo de Gevey, bajo condiciones de cultivo y pradera	44

ESTUDIOS DE LA PENETRABILIDAD EN ALGUNOS TIPOS DE SUELOS DEL ALTIPLANO DE
SAN PABLO, NOROCCIDENTE, COLOMBIA (*) Pág.

TABLA XII.	Valores mensuales de humedad de campo (%) para el suelo de La Laguna, bajo condiciones de cultivo y pradera	45
TABLA XIII.	Valores mensuales de humedad de campo (%) para el suelo de Obonuco, bajo condiciones de cultivo y pradera	46
TABLA XIV.	Valores mensuales de penetrabilidad (Kg/cm^2) para el suelo de Aranda, bajo condiciones de cultivo y pradera	47
TABLA XV.	Valores mensuales de penetrabilidad (Kg/cm^2) para el suelo de Botana, bajo condiciones de cultivo y pradera	48
TABLA XVI.	Valores mensuales de penetrabilidad (Kg/cm^2) para el suelo de Catambuco, bajo condiciones de cultivo y pradera	49
TABLA XVII.	Valores mensuales de penetrabilidad (Kg/cm^2) para el suelo de Genoy, bajo condiciones de cultivo y pradera	50
TABLA XVIII.	Valores mensuales de penetrabilidad (Kg/cm^2) para el suelo de La Laguna, bajo condiciones de cultivo y pradera	51
TABLA XIX.	Valores mensuales de penetrabilidad (Kg/cm^2) para el suelo de Obonuco, bajo condiciones de cultivo y pradera	52
TABLA XX.	Relaciones entre la penetrabilidad y algunas propiedades físicas	53
TABLA XXI.	Relaciones entre la penetrabilidad y la humedad del suelo	54
TABLA XXII.	Relaciones entre la penetrabilidad y la precipitación pluvial. Suelo Obonuco	55

DETERMINACION DE LA PENETRABILIDAD EN ALGUNOS SUELOS DEL ALTIPLANO. Los
realizados en Colombia DE PASTO, NARIÑO, COLOMBIA (*) conocimiento de export
dentro realizadas en suelos de la zona comprendida, desde la agricultura de sus
ciencia avanzada. Por tal razón se efectuó el presente trabajo cuyos objeti
vos fueron:

Por

1. Conocer la penetrabilidad en algunos suelos del Altiplano de Pas
to, bajo las condiciones

LUIS FELIPE GUEVARA BENAVIDES

HERNAN ROJAS GUERRERO

2. Determinar la penetrabilidad de los suelos estudiados con otras pro
piedades físicas

I. INTRODUCCION

La determinación de la penetrabilidad de los suelos

Según Forsythe (13) los factores químicos, biológicos y físicos, entre
otros, determinan de manera directa el desarrollo y producción de las plan
tas. Dentro de los factores físicos tiene gran importancia la succión to
tal, la aireación, la temperatura y la resistencia mecánica al desarrollo
de las raíces, las cuales a su vez están influenciadas por las propiedades
físicas del suelo.

Varios investigadores han encontrado que uno de los factores físicos
que más influye en la penetración de las raíces es la resistencia que opone
el suelo, el cual limita tanto el crecimiento de las mismas como la produc
ción de los cultivos, por lo tanto el conocimiento de este parámetro es de
gran importancia para el adecuado y racional manejo de los suelos.

El crecimiento constante de la población y la falta de mano de obra
económica en algunas regiones de Latinoamérica, han aumentado el empleo de
la maquinaria agrícola, la cual ha sido considerada como una de las causas
de la mayor incidencia en la compactación y por consiguiente en la resisten
cia a la penetración de las raíces al suelo.

(*) Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar al título
de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Lucio Legarda B., I. A.,
M. Sc.

Estudios de esta naturaleza aun no se han llevado a cabo en Maricao y los realizados en Colombia son muy escasos, sólo se tiene conocimiento de experimentos realizados en suelos de la zona templada, donde la agricultura es una ciencia avanzada. Por tal razón se efectuó el presente trabajo cuyos objetivos fueron:

Se ha demostrado que existe una estrecha correlación entre el desarrollo normal de las plantas y los factores físicos del suelo.

1. Determinar la penetrabilidad en algunos suelos del Altiplano de Pasco, bajo las condiciones de cultivo y pradera.

2. Relacionar la penetrabilidad de los suelos estudiados con otras propiedades físicas.

3. Determinación de la penetrabilidad in situ.

Estas condiciones físicas crean un ambiente normal a la actividad biológica del suelo y de la planta, influyendo sobre la circulación de los elementos nutritivos y permitiendo su normal asimilación. El laboreo del suelo la causa produce una degradación del estado estructural, deteniendo la compactación del suelo y la disminución de su capacidad porosa (21). Este hecho tiene dos consecuencias fundamentales: a) limita el crecimiento de las plantas; b) altera la actividad normal de los nutrientes.

En el primer aspecto, hay numerosos trabajos que señalan la limitación del crecimiento de las plantas por efecto de la compactación del suelo. Bostrom y Johansson (6) muestran la densidad aparente como un factor de la penetrabilidad y encuentran que los suelos en ellos son mejores e igualmente se aplicaron a 1,2 g/l y con densidad = 1,7 g/l. Bostrom y Johansson (21) determinaron con la densidad aparente que el desarrollo normal en suelos naturales con 1,72 g/l y en suelos artificiales variaba entre 1,46 y 1,73 g/l.

Los anteriores autores concluyeron que la penetrabilidad del suelo depende de la densidad aparente y que esta es un factor muy superior a la densidad aparente y

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Resistencia mecánica del suelo a la penetración de las raíces

Se ha encontrado que existe una estrecha correlación entre el desarrollo normal de las plantas y los factores físicos del suelo. Entre estos factores físicos sin duda, el más importante es la estructura del suelo a la cual Bayer (3) considera como la "llave de la fertilidad".

Zuccardi y Fadda (31) dicen que la estructura del suelo depende de múltiples factores e influye directivamente en la relación suelo-agua-aire. Cuando esta relación es adecuada existen en el suelo buenas condiciones de aireación y humedad, con espacios porosos que regulan los intercambios gaseosos y el equilibrio hídrico del suelo.

Estas condiciones físicas crean un ambiente normal a la actividad biológica del suelo y de la planta, influyendo sobre la dinámica de los elementos nutritivos y posibilitando su normal asimilación. El laboreo del suelo cuando produce una degradación del estado estructural, determina la compactación del mismo y la disminución de su espacio poroso (31). Este hecho tiene dos consecuencias fundamentales: a) Impide el crecimiento de las raíces; b) Altera la asimilación normal de los nutrientes.

En el primer aspecto, hay numerosos trabajos que señalan la limitación del crecimiento de las raíces por efecto de la elevada densidad del suelo. Bertrand y Kohnke (4) usaron la densidad aparente como un índice de la penetrabilidad y encontraron que las raíces del maíz no penetran a densidades superiores a 1,5 g/ml y eran normales a 1,2 g/ml. Veihmeyer y Hendrickson (27) determinaron que la densidad limitante para el desarrollo radical en suelos arenosos era de 1,72 g/ml y en suelos arcillosos variaba entre 1,46 y 1,73 g/ml.

Los anteriores autores concluyeron que la resistencia del suelo medida con un penetrómetro es un índice muy superior a la densidad aparente y

a la humedad del suelo, para cuantificar la penetrabilidad del suelo por las raíces. La penetración de la raíz del maíz, cuando crece que el desarrollo de las semillas es retardado en la zona compacta debido al incremento de la presión del Taylor y Burnet (26) encontraron que una resistencia al penetrómetro de $24,5 \text{ Kg/cm}^2$ y de $29,4 \text{ Kg/cm}^2$, impidió la penetración de las raíces de varios cultivos, no existiendo diferencia a la penetración entre los especies estudiadas. Así mismo anotan que las raíces primarias del algodón penetraron más del 60% cuando la resistencia al penetrómetro fue de 5 Kg/cm^2 , de 35% cuando fue de 10 Kg/cm^2 , y que cesó enteramente a un valor de 22 Kg/cm^2 .

En general, se puede anotar que el crecimiento de las raíces tiende a variar inversamente con la resistencia a la penetración y puede detectarse cuando la resistencia del suelo excede a la presión disponible del crecimiento de las raíces para vencerla.

Huertas (18) indica que el rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.), variedad 27-R fue óptimo cuando las raíces encontraron una resistencia de 3,6 bares ($3,5 \text{ Kg/cm}^2$) y el menor rendimiento y menor altura de las plantas se presentaron cuando todo el perfil del suelo tenía una resistencia de 21 bares ($20,5 \text{ Kg/cm}^2$) y la succión del agua del suelo oscilaba entre 10 y 80 centibares. Legarda y Forsythe (20) encontraron que el menor rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedad 27-R se encontró cuando el esfuerzo de penetración fue 9 Kg/cm^2 , correspondiente a una succión de 12,8 bares.

Zimmerman y Kardos (30) establecieron que cuanto mayor es la densidad del suelo, menor es el peso de las raíces. Phillips y Kirkham (22), señalaron en trabajos de maíz, que la compactación del suelo afecta no solamente a la penetración de las raíces, sino también la emisión de raíces secundarias. Esta dificultad ofrecida a la penetración y desarrollo de las raíces, se traduce en una disminución de la eficiencia de asimilación de elementos nutritivos. Wiersum, citado por Zuccardi y Fadda (31) señala que las plantas se desarrollan mejor en suelos de agregados finos y que hay una correlación directa entre la relación nitrógeno-fósforo y el tamaño de los agregados del suelo.

Henry y McKibben (17), en sus experimentos sobre resistencia del suelo a la penetración de la raíz del maíz, encontraron que el desarrollo de las semillas es retardado en la zona compacta debido al incremento de la presión del suelo; el crecimiento de las semillas aumentó únicamente en la zona no compactada. Efectos adversos producidos por la compactación se deben a que la planta no alcanza su altura normal, y además que el contenido de humedad del suelo no es óptimo.

2.2 Relaciones entre la resistencia mecánica y la compactación del suelo

La reducción del volumen de una masa dada de suelo mediante la aplicación de esfuerzos (fuerza aplicada/área de aplicación) origina el fenómeno de la compresión. La compactación y la consolidación son los principales tipos de compresión. La primera se refiere a la compresión de un suelo no saturado realizada mediante la expulsión del aire en los poros del suelo. Como la condición del suelo más importante en la agricultura es no saturado, la compactación se considera como el fenómeno de mayor importancia para ella. La consolidación es la compresión de un suelo saturado realizada mediante la expulsión del agua en los poros del suelo (13).

La fuerza necesaria para compactar un suelo de una densidad dada decrece exponencialmente al aumentar el contenido de humedad de un suelo (3). La densidad de un suelo bajo un esfuerzo constante de compactación aumenta progresivamente al aumentar el contenido de agua. Este máximo se llama contenido de agua óptimo para la compactación. El contenido de humedad óptimo disminuye a medida que la fuerza de compactación crece. En el estudio de la resistencia al esfuerzo de la compresión y la compactación, se han presentado hechos para demostrar que la aplicación de las fuerzas de compresión y de cortadura a un suelo cohesivo disminuye la porosidad y aumenta la densidad y la resistencia del suelo. La compactación destruye los poros más grandes y los llena parcialmente con partículas sólidas (3).

La compactación a altas presiones (21 kg/cm^2), especialmente cuando es en todo el perfil, reduce la altura de las plantas. Varios investigadores han hecho esta observación en suelos compactados. Así por ejemplo Learson y Allmaras, citados por Huertas (18) señalan que la compactación puede cambiar la estructura de la geometría interna del suelo suficientemente para modificar el flujo de calor, aire y agua; un cambio que ocurre en cualquiera de los factores anteriores puede retardar el crecimiento de la planta y disminuir su altura, así mismo anotan que la compactación algunas veces limita el desarrollo de la raíz y reduce el crecimiento y la altura de la planta.

Existe la posibilidad de que la compactación de los suelos puede comportarse de un modo semejante a la forma geométrica del instrumento. La interacción suelo-instrumento en la compactación de los suelos tiene una importante influencia sobre la medida de la resistencia a la penetración (28). Cuando un penetrómetro es introducido en el suelo, hay un incremento gradual de resistencia con un aumento en la profundidad de penetración.

Según Vomocil y Flocker (29) si la producción de raíces es restringida en la superficie (0-15 cm) causa severa compactación en el subsuelo. La irrigación debe ser necesaria durante un período de sequía relativamente corto en regiones húmedas, y en regiones áridas donde la irrigación es frecuente, se la puede aumentar.

El evitar viajar en los campos húmedos es una gran recomendación, pero los productos agrícolas en las fluctuaciones del mercado y la demanda en los controles de programa predomina muchas veces. De aquí que los métodos de compactación del suelo en el control de otras variables como la humedad necesaria, la característica de la deformación del suelo, debería ser útil en esta meta y también en la designación de implementos agrícolas y tractores, los cuales cumplirán el deseo propuesto con una mínima incidencia en la compactación (31).

Es común encontrar en muchos suelos una capa compacta en el fondo de la zona de labranza, llamada piso de arado; se supone que esta capa se forma por una combinación de arada y otras operaciones culturales. Como la zona por encima de esta capa es arada y labrada con regularidad, la compactación se observa debajo de la capa suelta. Esta compactación es notablemente perjudicial cuando la profundidad de arado es constante, por cuanto, según anota Cooper, citado por Huertas (18), las raíces no penetran fácilmente en una capa dura de suelo cuando están creciendo en una de menor resistencia.

A su vez, Zuccardi y Fadda (31) también encontraron que en estas condiciones el rendimiento del trigo aumentó. Laws, citado por Huertas (18) comunica que los productos de cosechas en las tierras negras de Texas han declinado en 40 a 50% durante los últimos 50 ó 100 años y que los fertilizantes no mejoraron los rendimientos; agrega que el descenso es debido a la formación de una capa dura en el suelo como resultado de la labranza en el campo, lo cual impide el normal desarrollo radicular por efecto de una alta penetrabilidad.

2.3 Relaciones entre la resistencia mecánica y algunas propiedades físicas

Se ha observado que la compactación del suelo restringe el crecimiento de las raíces, y por lo tanto de las plantas. Veihmeyer y Hendrickson (27) usaron la densidad aparente como un índice de la compactación y determinaron que la densidad limitante para el desarrollo radicular de varias especies en suelos arcillosos variaba entre 1,45 y 1,73 g/ml.

Vonocil y Flocker (29), en su estudio sobre el efecto de la compactación del suelo sobre el almacenamiento y el movimiento de aire y de agua afirman que se pueden examinar las características físicas del suelo, tal como espacio aéreo, permeabilidad al agua y al aire, y la velocidad de infiltración a partir de la compactación ocasionada por el intenso tráfico del suelo.

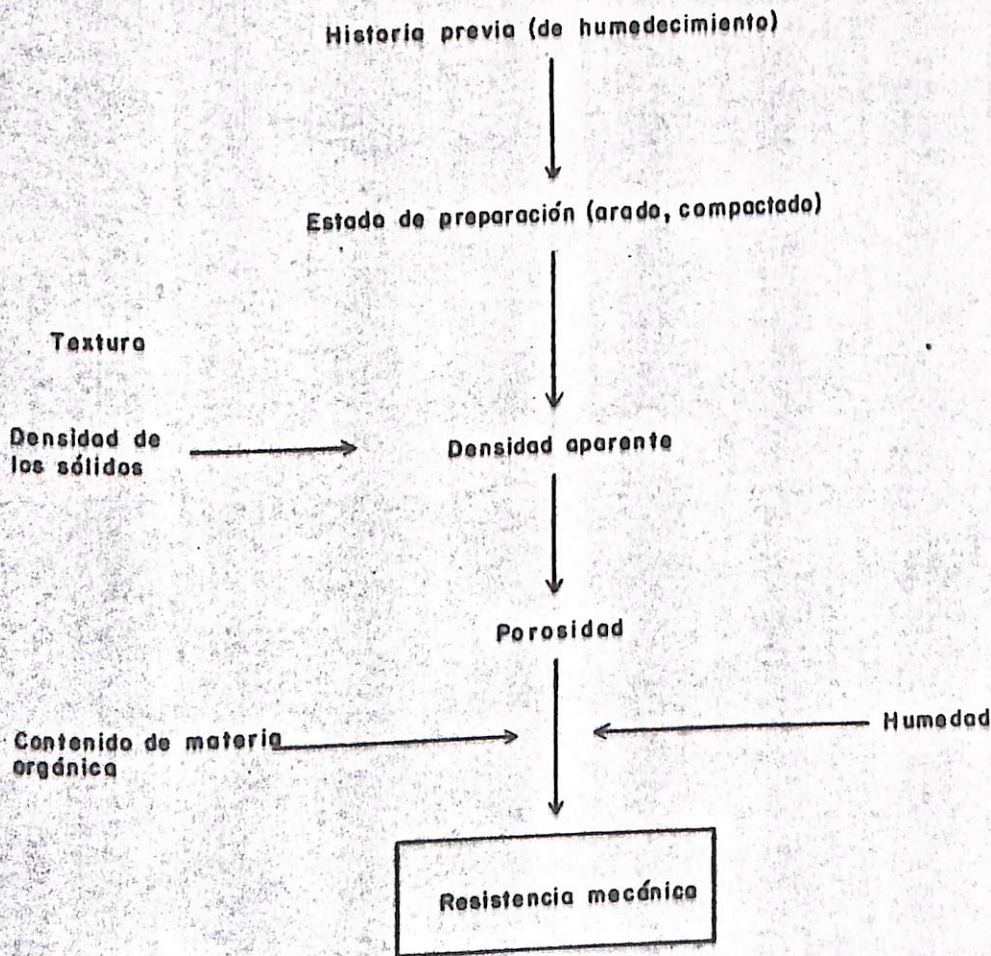


FIGURA 1. RELACION ENTRE LAS PROPIEDADES FISICAS Y EL FACTOR DE CRECIMIENTO, LA RESISTENCIA MECANICA (13)

Es una determinación que implica la consistencia y estructura del suelo. La cantidad de penetración por unidad de fuerza aplicada a un suelo determinado varía con la forma y tipo de instrumento empleado. A medida que el penetrómetro entra en el suelo, encuentra la resistencia a la compresión, la fricción entre el suelo y el material y la resistencia del suelo al esfuerzo constante, que implica la fricción interna y la cohesión (14, 15).

El desplazamiento del penetrómetro en el suelo es una combinación de un esfuerzo tangencial de la compactación y del flujo plástico del suelo. El penetrómetro mide la resistencia del suelo in situ (14).

Según Forsythe (14) existen varios tipos, formas y tamaños de penetrómetros, lo que dificulta el uso estandarizado del aparato. Los dos tipos principales de penetrómetros son el de impacto y el estático. El penetrómetro de impacto mide el número de caídas de un martillo de cierto peso a cierta distancia para introducir un pistón hasta determinada profundidad en el suelo, con lo que se puede calcular la energía gastada en esta operación. El penetrómetro estático mide la fuerza o las fuerzas por unidad de área seccional, necesaria para introducir un pistón lentamente hasta cierta profundidad del suelo.

Zelenios, reseñado por Forsythe (14) encontró una relación lineal entre el número de golpes para introducir un pistón de extremo plano y una área seccional de 1 cm^2 o de 2 cm^2 hasta 10 cm de profundidad en el suelo, y el esfuerzo de penetración necesaria en Kg/cm^2 para introducir el mismo pistón como un penetrómetro estático hasta la misma profundidad en el suelo. El autor encontró una buena correlación lineal: 10 golpes = 50 Kg/cm^2 esfuerzo de penetración, relación que se encontró en varios suelos.

El trabajo de Zelenios demostró que hay una equivalencia entre los dos tipos de penetrómetros, encontrando que el estático es más sensible, razón por la cual su uso se ha difundido ampliamente.

La región de estudio comprenda el Altiplano de Pasto, el cual se encuentra situado en el Departamento de Pasto, suroeste de Colombia, a una altitud comprendida entre 2.500 y 3.000 m.s.n.m. (8). En esta región se encuentra el Valle de Lirio, de topografía típicamente andina, las montañas del Volcán Galeras presentan pendientes fuertes (9).

El Altiplano de Pasto está conformado por depósitos volcánicos del Cuaternario, constituido por arenas cuaternarias y aluviones cuaternarios (10). Los depósitos volcánicos más recientes lo forman restos de lavas provenientes de los volcanes Galeras, Hornos, Patate y Macaulilla, de espesor variable, dependiendo de la topografía, dirección del viento y proximidad de los volcanes (11).

La temperatura media anual de la región estudiada está comprendida entre 10 y 14°C, dependiendo de la altitud, y la precipitación pluvial promedio anual es de 781 mm (12). Según el estudio de las formaciones vegetales de Colombia (13), el Altiplano de Pasto se encuentra ubicado en el Bosque de los páramos bajo.

Lina y Caribón (14), en un reciente estudio sobre la génesis y clasificación de los suelos derivados de lavas volcánicas del Departamento de Boyacá, muestran que en el Altiplano de Pasto se encuentran suelos de clases más o menos volcánicos y suelos desarrollados de materiales complejos.

1.2. Materiales

Los suelos donde se tomaron los análisis de suelo fueron los siguientes:

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Generalidades de la región

La región de estudio comprende el Altiplano de Pasto, el cual se encuentra situado en el Departamento de Nariño, Sur-ocidente de Colombia, a una altitud comprendida entre 2.500 y 3.000 m.s.n.m. (8). En esta región se encuentra el Valle de Atriz, de topografía ligeramente ondulada, las vertientes del Volcán Galeras presentan pendientes fuertes (8).

El Altiplano de Pasto está conformado por depósitos volcánicos del Cuaternario, constituido por tobas andesíticas y aluviones cuaternarios (2). Los depósitos volcánicos más recientes lo forman espas de ceniza provenientes de los volcanes Galeras, Morasurco, Patascoy y Bordoncillo, de espesor variable, dependiendo de la topografía, dirección del viento y proximidad de los volcanes (23).

La temperatura media anual de la región estudiada está comprendida entre 10 y 14°C, dependiendo de la altitud, y la precipitación pluvial promedio anual es de 781 mm (19). Según el estudio de las formaciones vegetales de Colombia (12), el Altiplano de Pasto se encuentra ubicado en el Bosque seco Montano bajo.

Luna y Carlhoun (21), en su reciente estudio sobre la génesis y clasificación de los suelos derivados de cenizas volcánicas del Departamento de Nariño, anotan que en el Altiplano de Pasto se encuentran suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas y suelos desarrollados de materiales complejos.

3.2 Suelos

Los sitios donde se tomaron las muestras de suelo fueron los siguientes :

1. Aranda
2. Botana
3. Catanbuco
4. Genoy
5. La Laguna
6. Obonuco

En las Figuras 2 y 3 se presenta la localización de la zona de estudio y la ubicación de los sitios de muestreo.

Se tomaron 36 muestras en las localidades antes mencionadas, durante 12 meses, a razón de 6 muestras por sitio bajo dos condiciones: cultivo y pradera, teniendo en cuenta tres profundidades diferentes a saber:

- 0 - 15 centímetros
- 15 - 30 centímetros
- 30 - 45 centímetros

En la Tabla I se indican algunas características descriptivas de los sitios de estudio.

3.3 Determinación de la penetrabilidad en el campo

Para su determinación se siguió el método del penetrómetro de cono, descrito por Davidson (9) que a continuación se detalla:

3.3.1 Materiales

El penetrómetro de cono usado en este estudio consta de un manubrio en T, una varilla de penetración de 45,72 cm, una varilla de extensión de 91,44 cm y graduada cada 15,24 cm, un anillo de pruebas con 250 libras de capacidad y con punta de cono removible. La punta del cono tiene

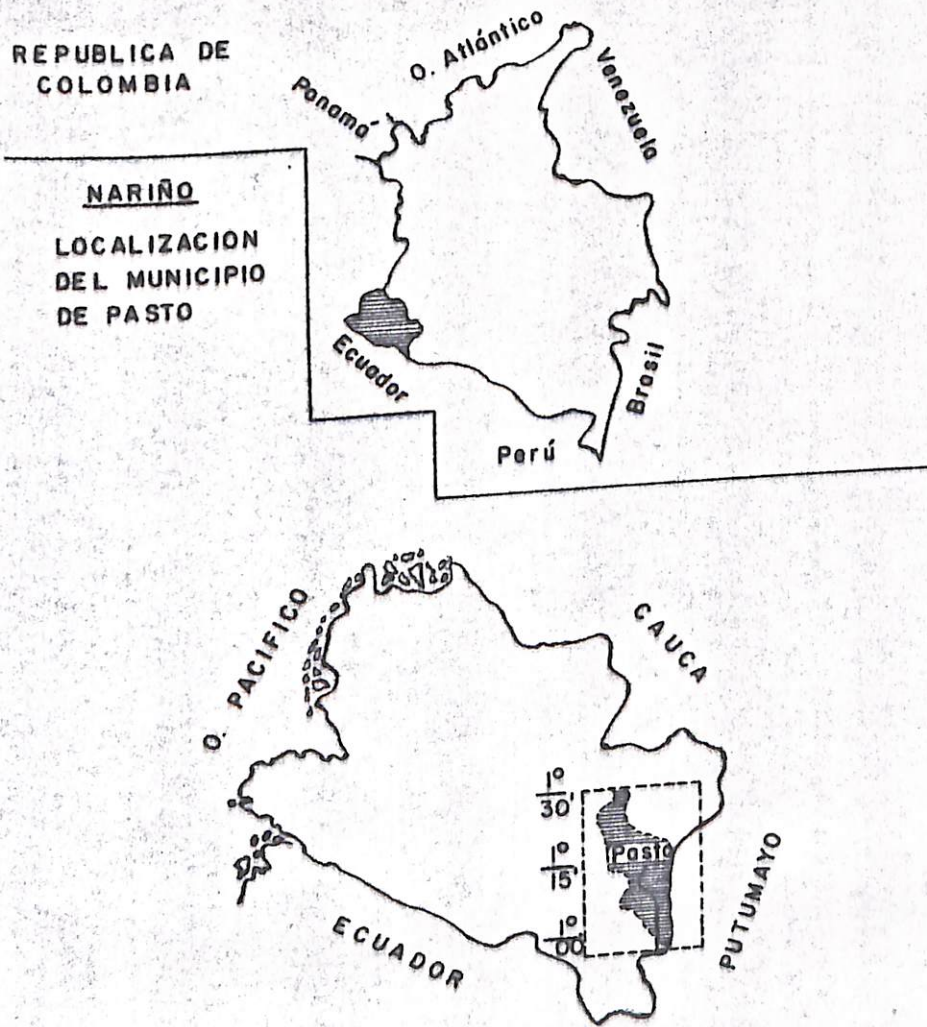


FIGURA 2. LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE PASTO EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO, COLOMBIA. TOMADO DE ESCOVAR, JURADO (II)

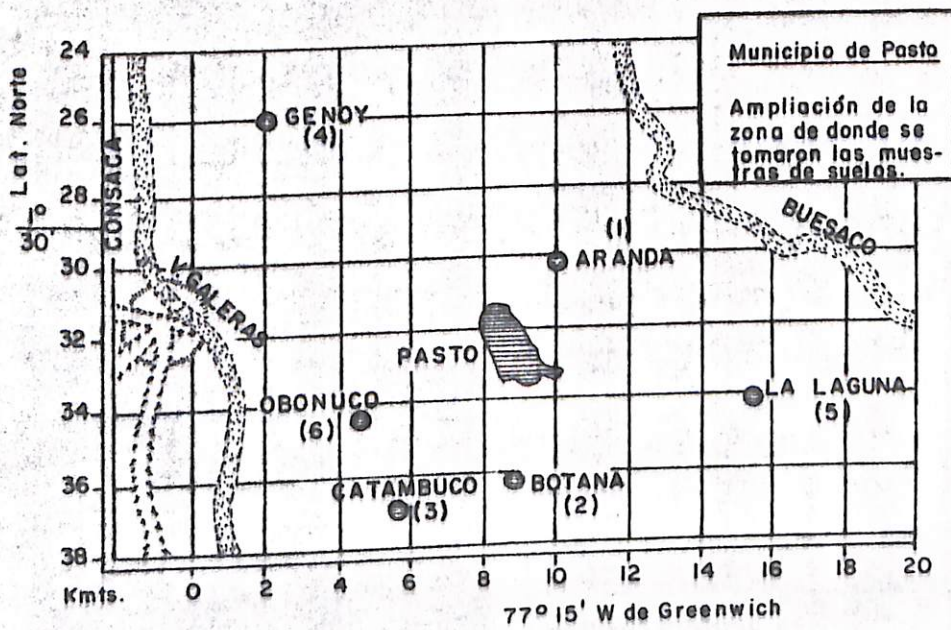


FIGURA 3. MUNICIPIO DE PASTO, AMPLIACION DE LA ZONA DE MUESTREO. TOMADO DE ESCOVAR, JURADO (II)

TABLA I

ALGUNAS CARACTERISTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Lugar	Ubicación	Altitud (')	u.s.n.m.	Cultivo	Condición
Aranda	Granja Agrícola del Departamento de Narino.	2.765		Alfalfa (<u>Medicago sativa</u>)	Kikuyo (<u>Pennisetum clandestinum</u>) Pradera
Botana	Granja de Botana (Estación Meteorológica).	2.650		Fresa (<u>Fragaria chiloensis</u>)	Kikuyo (<u>Pennisetum clandestinum</u>)
Catambuco	Finca propiedad de José Narváez	2.840		Papa (<u>Solanum tuberosum</u>)	Kikuyo (<u>Pennisetum clandestinum</u>)
Genoy	Km 15, margen derecha, carretera Pasto-Sandona	2.530		Maíz (<u>Zea mays</u>)	Kikuyo (<u>Pennisetum clandestinum</u>)
La Laguna	Km 10, margen izquierda, carretera Pasto-El Encano	2.850		Papa (<u>Solanum tuberosum</u>)	Kikuyo (<u>Pennisetum clandestinum</u>)
Obonuco	Granja ICA, Estación Meteorológica	2.780		Trigo (<u>Triticum vulgare</u>)	Kikuyo (<u>Pennisetum clandestinum</u>)

(*) Datos tomados de Escovar y Jurado (11).

un área basal de 6,342 centímetros cuadrados, un área cónica de 24.685 centímetros cuadrados. El penetrómetro descrito es el modelo LC-2B de la Soil Test Inc. (24).

El penetrómetro de cono además tiene un tope que mantiene la lectura hasta que éste devuelve manualmente. Para devolver la posición o el marcador, se presiona la parte más baja del trinquete sobre el encaje del vástago de la manecilla (Figuras 4 y 5).

3.3.2 Procedimiento

Para determinar las lecturas del penetrómetro se abrieron huecos, de 40 cm de ancho por 40 cm de espesor y 50 cm de profundidad.

Una vez inspeccionado el instrumento antes de usarlo, esto es, que todas sus tuercas, pernos y uniones estén herméticas y que el tronco del dial toque el bloque de contacto del anillo de prueba; se deja el penetrómetro suspendido verticalmente desde su manubrio mientras el cero es desplazado. Para colocar el indicador del dial en cero se hace rotar la cara del dial hasta encontrar el cero y se ajusta el tornillo estriado que mantiene el cero en el dial. Luego se selecciona el sitio donde se va a tomar la medida, se empuña fuertemente el manubrio, se presiona la punta del cono hacia abajo dentro del suelo con un ritmo uniforme hasta que el tope del cono alcance la superficie del suelo.

Se registra la lectura que da el indicador del dial, usando la carta de calibración (Figura 6) del anillo de prueba y se determina la carga de penetración en Kg/cm^2 . Esta es la resistencia a la penetración.

3.3.3 Cálculo

Para calcular la resistencia a la penetración (Fuerza/Área) se empleó la siguiente fórmula:

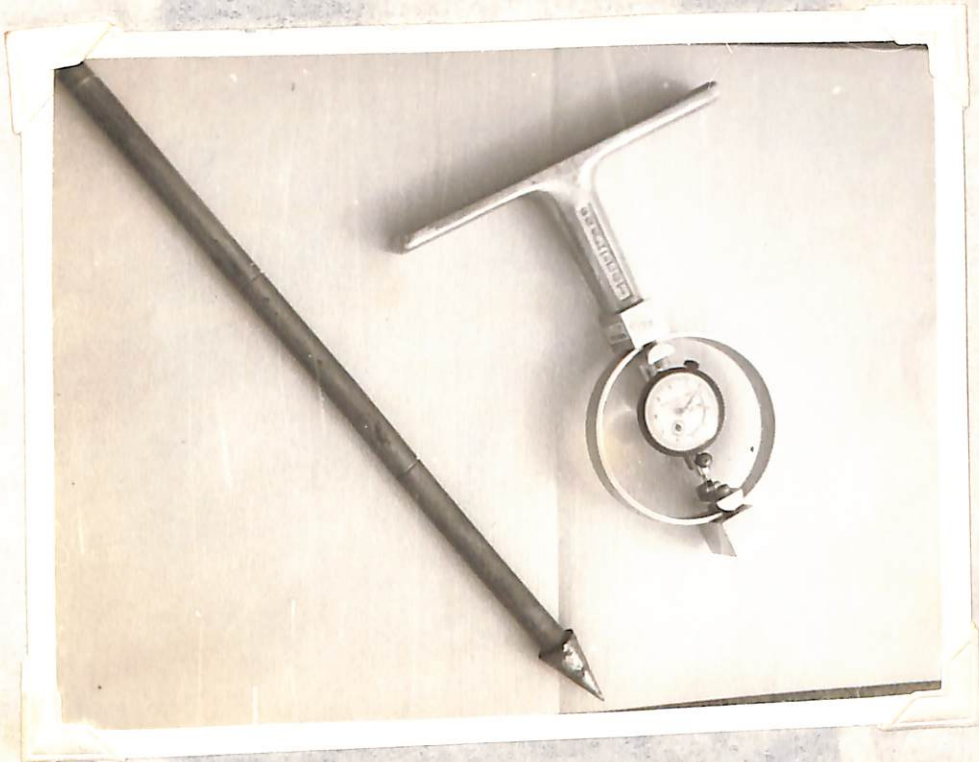


Figura 4. Penetrómetro de cono modelo LC-2B utilizado en la determinación de la penetrabilidad del suelo.

Foto : L. Arturo.



Figura 5. Modo de empleo del penetrómetro de cono modelo 1K-2B.

Foto : L. Arturo.

LECTURA DEL...

DE CONO 1K-2B

VALERACION DE

CARTA

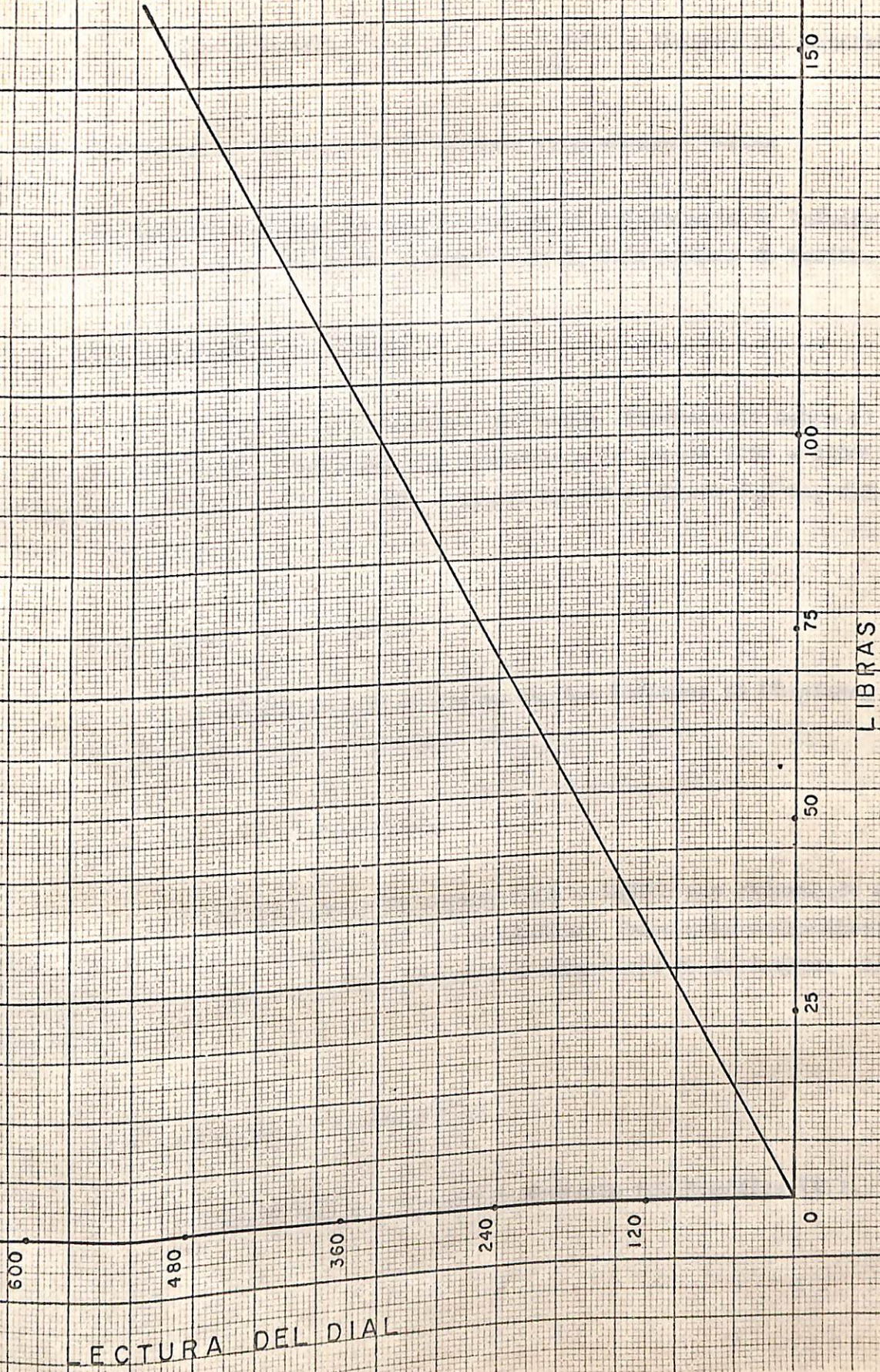


Fig. 6 - CARTA DE CALIBRACION DEL PENETROMETRO DE CONO LC - 2B

3.4.3 Penetración

Penetrabilidad (Kg/cm^2) = $0,0715 \times$ lectura del penetrómetro

Se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos, según

3.4. Análisis de laboratorio de algunas propiedades físicas

Las determinaciones se realizaron en el laboratorio de Química y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Warisio.

Se calculó en base a la relación entre la densidad aparente

3.4.1 Densidad aparente

y la densidad de las partículas.

Se tomaron las muestras del suelo directamente sobre el sitio y sin disturbar; posteriormente se llevaron a la estufa ($105 - 110^\circ\text{C}$), se utilizaron cilindros de PVC cuyas medidas fueron: altura 6,5 cm, diámetro interno 5,5 cm. según el método de atenuación volumétrica de Walkley-Black, descrito por González (16).

3.4.2 Capacidad de campo

Se determinó por el método de las Columnas de Chapingo, descrito y modificado por Arias y Guerrero (2).

Se determinó la capacidad de campo, el punto de marchitamiento, el punto de flósculo de humedad del suelo, densidad aparente, materia orgánica, mediante un

3.4.3 Humedad gravimétrica

Se determinó en la estufa ($105 - 110^\circ\text{C}$) por diferencia de pesos en las muestras contenidas en los cilindros. Para esta determinación se emplearon las muestras de suelo tomadas el mismo día de la lectura del penetrómetro.

3.4.4 Coeficiente higroscópico

Se determinó por el método descrito por González (16).

3.4.5 Textura

Se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos, descrito por González (16).

3.4.6 Porosidad total

Se calculó en base a la relación entre la densidad aparente y la densidad de las partículas.

3.4.7 Materia orgánica

Se empleó el método de titulación volumétrica de Walkley-Black, descrito por González (16).

3.5 Análisis estadístico

Se analizaron los resultados de penetrabilidad, contra el contenido de humedad del suelo, densidad aparente, materia orgánica, mediante un modelo estadístico de regresión lineal.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Textura

En las Tablas III y IV se indican los valores obtenidos para arcillas, arenas y limos. Los datos demuestran que el separado arena predomina, tanto en el suelo como en el subsuelo, en todos los suelos estudiados, bajo las dos condiciones consideradas. Los menores contenidos corresponden a la fracción arcilla, la cual en algunos suelos aumenta con la profundidad debido posiblemente a la acción de la precipitación que arrastra arcillas de la capa superficial. Los limos presentaron valores intermedios. Se observa que tanto bajo condiciones de cultivo, como de pradera el tipo de textura predominante es la franca en un 67%, el resto o sea el 33% está representado por la textura franco arcillosa.

El promedio de los valores de penetrabilidad para el 67% de los suelos cultivados, de textura franca fue de $4,49 \text{ Kg/cm}^2$, y para los de textura franco arcillosa fue de $5,52 \text{ Kg/cm}^2$. En los suelos de pradera se presenta igual tendencia, para el 67% de suelos de textura franca los valores de resistencia a la penetrabilidad fue de $4,96 \text{ Kg/cm}^2$, y para los de la textura franco arcillosa fue de $5,40 \text{ Kg/cm}^2$.

La textura es una de las propiedades físicas que más influye en la resistencia mecánica que opone el suelo a la penetración de las raíces, especialmente en suelos con alto contenido de arcillas, lo cual trae la formación de capas endurecidas, donde los valores de penetrabilidad son marcadamente elevados.

Al respecto se demostró que la relación entre el contenido de arcillas y la penetrabilidad, para los suelos estudiados bajo las dos condiciones y en las tres profundidades consideradas fue de tendencia positiva, aunque no significativa, encontrándose una correlación más estrecha en la tercera capa ($r = 0,49$ y $0,45$) bajo las dos condiciones analizadas, respectivamente (Tabla XX).

Esta correlación se complementa con la obtenida por Brazo y Paz (10) entre el contenido de arcillas y la velocidad de infiltración con un "r" de 0,52, y con la encontrada por Castillo (6) entre aquella y la conductividad hidráulica con un "r" de 0,46, en algunos suelos del Altiplano de Pasto, ya que a mayor contenido de arcillas se restringe el movimiento del agua, disminuyendo así la infiltración y la permeabilidad y aumentando la resistencia mecánica que opone el suelo a la penetración de las raíces por los cultivos.

Lo anterior está de acuerdo con el criterio de Buckingham (5) quien afirma que el contenido de arcillas del suelo incrementa la compactación, la cual restringe el crecimiento de las raíces, reduce la infiltración y la permeabilidad del agua y su almacenamiento, limitando el rendimiento potencial de las cosechas.

Con respecto a la relación entre las arenas y la penetrabilidad se encontró una correlación inversa, aunque no significativa (Tabla XX), resultado que puede considerarse normal, debido a que el espacio que presentan las partículas de arena entre sí es relativamente grande, razón por la cual las arenas imparten al suelo buenas condiciones de penetrabilidad. Al respecto, Bayer, Gardner y Gardner (3) anotan que en un suelo arenoso suelto, la resistencia que opone el suelo a la penetración de las raíces es mínima.

4.2 Densidad aparente y porosidad

En la Tabla V se indica los valores obtenidos de densidad aparente y porosidad total bajo las dos condiciones estudiadas.

Conviene observar que los valores de densidad aparente y porosidad total variaron en los suelos estudiados a pesar de que los tipos texturales son ligeramente similares, lo cual puede deberse al diferente manejo que han tenido los distintos suelos.

La porosidad influye en la resistencia a la penetración por parte de las raíces, las cuales penetran más fácilmente en un suelo grueso con

mayor porosidad no capilar, que en un suelo pesado, en el cual predominan los poros capilares. Los suelos estudiados muestran cierta concordancia al presentar mayor porosidad en las capas superficiales y menor esfuerzo a la penetración especialmente en los suelos francos. La anterior afirmación se corrobora al encontrar una correlación negativa entre la penetrabilidad y la porosidad, aunque no significativa.

Según Vomocil y Flocker (29) la densidad aparente también influye en el esfuerzo del suelo a la penetración, mediante el incremento de la compactación, es decir, la reducción del volumen de aire en los poros del suelo; así en suelos pesados la restricción en el desarrollo radicular puede deberse a una alta densidad aparente y el pequeño tamaño de los poros del suelo, los cuales ofrecen resistencia a la penetración de las raíces y empobrecen la aireación. Esta condición se presenta en los suelos estudiados, pero con mayor intensidad en los suelos de Botana, donde los valores de densidad aparente aumentan en las capas inferiores, lo cual guarda cierta relación con el alto contenido de arcillas y con los elevados valores de penetrabilidad de estas capas.

Según los resultados obtenidos se encuentra que la densidad aparente aumenta con el incremento de la profundidad del suelo, lo cual posiblemente se debe a una menor acumulación de materia orgánica y mayor contenido de arcillas en las capas inferiores. Como consecuencia directa de este aumento de la densidad se obtiene una mayor compactación del suelo, como se observa en las mayores lecturas del penetrómetro, el cual indica un incremento en la resistencia a la penetración. En los análisis de regresión obtenidos (Tabla XX) se aprecia una resistencia a la penetración, en los suelos de mayor densidad.

Al respecto Veihmeyer y Hendrickson (27) usaron la densidad aparente como un índice de la compactación del suelo al encontrar que las plantas de girasol no penetraron en suelos con densidades aparentes mayores de 1,9 g/ml. Así mismo Taylor y Gardner (25) en sus investigaciones sobre la penetración de las raíces del cultivo del algodón, encontraron que el factor más

determinante que afecta a aquella es la resistencia del suelo, la que midieron por medio de un penetrómetro de cono, similar al que se utilizó en el presente estudio. El coeficiente de correlación lineal entre el porcentaje de penetración de las raíces y la densidad aparente fue de $-0,59$, lo cual indica que a mayor valor de la densidad aparente menor es la penetración de las raíces debido al aumento de la penetrabilidad. Los coeficientes de correlación encontrados entre la penetrabilidad y la densidad aparente en los suelos del Altiplano de Pasto, si bien no son significativos, sí indican la tendencia positiva, lo cual concuerda en parte con el estudio de Taylor y Gardner (25).

4.3 Humedad

En las Tablas VIII a XIII se presentan los resultados de la humedad del suelo y en la Tabla XXI las regresiones entre la penetrabilidad y humedad.

Se observó que la correlación entre la humedad orgánica y la penetrabilidad tenía una tendencia lineal negativa, observándose que al aumentar el contenido de materia orgánica se observa un rápido aumento en la resistencia mecánica con la creciente disminución de la humedad, lo que indica que el esfuerzo del suelo a la resistencia se hace más grande a medida que las partículas se acercan unas a otras durante el proceso de desecación. La humedad del suelo por lo tanto, afecta las lecturas del penetrómetro indicando una relación estrecha entre éstas y aquella.

4.5 Penetrabilidad

Taylor y Gardner (25) encontraron que la resistencia a la penetrabilidad determinada por medio de diferentes penetrómetros, aumentó con la pérdida de agua, en varios suelos y a distintas profundidades. Este resultado concuerda con los obtenidos en este estudio donde la penetrabilidad también aumenta con la disminución de la humedad del suelo. Estadísticamente se demostró que existe una alta correlación entre estas dos variables, siendo más notoria en los suelos de Oboruco, que en los demás, posiblemente, debido a la distribución más regular de la humedad del suelo, ya que las muestras fueron tomadas en una área adyacente a la estación meteorológica del mismo lugar (Tabla II).

Corroborando lo anterior en estos suelos se observa una notable influencia de la precipitación pluvial, sobre la penetrabilidad, en razón de que hay una marcada relación inversa es decir, que en los meses de mayor precipitación como Octubre, Noviembre y Diciembre el suelo presenta poca resistencia a la penetración, en cambio en los meses de menor precipitación como Enero, Julio, Agosto y Septiembre estos valores se incrementan debido a la dureza que presenta el suelo. La correlación encontrada entre la penetrabilidad y la precipitación en los suelos de Obonuco para las tres profundidades consideradas bajo las dos condiciones de cultivo y pradera, fue altamente significativa.

4.4 Materia orgánica

En la mayoría de los suelos se encontró que los valores de penetrabilidad disminuían con el incremento de la materia orgánica. Estadísticamente se demostró que la correlación entre la materia orgánica y la penetrabilidad fue de tendencia lineal negativa, observándose que el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad del perfil del suelo, mientras que la resistencia aumenta con la misma. La anterior relación concuerda con el criterio de Forsythe (13) quien afirma que altos contenidos de materia orgánica influyen en una buena aireación y por lo tanto en la facilidad de penetración de las raíces en suelos que han recibido labranza.

4.5 Penetrabilidad

En las Tablas XIV a XIX se presentan los valores de penetrabilidad.

Para el suelo de Aranda los promedios anuales de penetrabilidad en las tres profundidades estudiadas bajo condiciones de cultivo son respectivamente : 2,81, 4,12 y 4,16 Kg/cm², y bajo condiciones de pradera son : 4,51, 4,69 y 5,04 Kg/cm². Los suelos de Catambuco presentan los siguientes valores de penetrabilidad bajo condiciones de cultivo 2,54, 4,70 y 5,37 Kg/cm² y bajo condición de pradera 4,09, 4,98 y 5,01 Kg/cm². El suelo de

Genoy 4,06, 5,11 y 5,70 Kg/cm^2 para cultivo y 5,32, 5,18 y 5,86 Kg/cm^2 para pradera. Los valores de 3,82, 4,44 y 5,39 Kg/cm^2 presenta el suelo de La Laguna bajo condiciones de cultivo y 3,59, 4,17 y 5,49 Kg/cm^2 para pradera. El suelo de Obonuco tiene una penetrabilidad de 4,41 para 0-15 cm de profundidad, de 5,26 Kg/cm^2 para la profundidad de 15-30 cm y de 5,92 Kg/cm^2 para la profundidad de 30-45 cm, bajo condición de cultivo. El mismo suelo bajo condición de pradera presenta valores de 4,19, 5,83 y 6,29 Kg/cm^2 para las tres profundidades estudiadas.

En todos estos suelos se puede apreciar que existe un incremento a la resistencia a la penetración por parte de las raíces a medida que la profundidad del suelo aumenta, también se observa en algunos suelos que los valores de penetrabilidad son mayores bajo condiciones de cultivo, que bajo condición de pradera, lo cual posiblemente se debe a que son suelos más trabajados, bien sea por implementos mecánicos o por el modo de tracción animal, lo cual ha traído como consecuencia un aumento en la compactación del suelo. Además Buckingham (5) dice que cualquier tránsito de ruedas produce compactación del suelo, pero que puede ser muy severo especialmente después de la aradura. Esta afirmación se complementa al encontrar algunos valores de densidad aparente mayores en la condición de cultivo.

En los demás suelos estudiados, bajo condiciones de cultivo, los valores de penetrabilidad aumentan con el incremento de la profundidad. Igual tendencia se presenta con los valores de penetrabilidad bajo condiciones de pradera.

El suelo de Botana presenta valores de penetrabilidad superiores con relación a los suelos antes mencionados, así presenta valores para las tres profundidades de 5,45, 6,26 y 7,12 Kg/cm^2 para la condición de cultivo, superando a la condición de pradera que presenta valores de 5,34, 5,46 y 6,31 Kg/cm^2 . Los altos valores de penetrabilidad del suelo de Botana posiblemente pueden explicarse en base a que la textura predominante es la franco arcillosa, con marcada tendencia a arcillosa. También se puede atribuir los altos valores de penetrabilidad a la presencia de capas endurecidas que se presentaron en algunos casos, entre 30 y 45 cm de profundidad,

según el estudio realizado por Alvarez (1). Con un penetrómetro de acero, con 3,6 Kg/cm² hasta 1,352 Kg/cm², dando la resistencia fue de 49 Kg/cm².

La resistencia de los suelos estudiados a la penetración del instrumento usado (penetrómetro) es un índice integrado debido a la compactación, contenido de humedad, textura y tipo de mineral de arcilla, es decir, la penetración es un índice de la resistencia del suelo en las condiciones de la medición.

Se midió la resistencia de los suelos estudiados por medio del penetrómetro directamente en el campo, es decir in situ. Esta medida implica tanto la consistencia como la estructura. Es interesante destacar este detalle, porque se detecta esta propiedad física directamente en el campo, y de esta manera se considera como un valor más práctico y real, ya que a medida que el penetrómetro entra en el suelo se manifiesta la resistencia a la compresión, la fricción entre el suelo y el material, la resistencia del suelo al esfuerzo cortante. Estas condiciones del suelo se manifiestan junto a la punta del instrumento allí donde existen fallas (14).

El laboreo del suelo, por efecto de la arada y rastrillada, bien sea con el fin de obtener mayores rendimientos en las cosechas, causa un detrimento en la estructura del suelo, ocasionando una fuerte compactación, lo que trae como consecuencia directa un obstáculo para el crecimiento de las raíces, que altera la asimilación normal de los nutrientes.

Además de la dificultad que ofrece la alta penetrabilidad a las raíces se ha demostrado así mismo que los nutrientes también disminuyen en asimilabilidad. Esta situación la encontró Zimmerman (30), Phillips y Kirkham (22).

De acuerdo a varios investigadores como Taylor y Gardner (25) las raíces de algodón no penetraron en el suelo cuando la resistencia a la penetración fue de 29 Kg/cm². Los trabajos de Carter et al (7) demuestran que la cosecha de semillas de algodón decreció linealmente desde 3.500 Kg/ha

donde la resistencia a la penetración medida con un penetrómetro de cono, fue $3,0 \text{ Kg/cm}^2$ hasta 1.450 Kg/ha , donde la resistencia fue de 40 Kg/cm^2 . Por otra parte, Huertas (18) obtuvo en suelos de Costa Rica un rendimiento máximo de frijol, cuando la resistencia a la penetración fue menor de 8 Kg/cm^2 . Por lo anterior se puede apreciar que los suelos del Altiplano de Pasto no presentan problemas de resistencia a la penetración por parte de las raíces, cuando la humedad del suelo es adecuada.

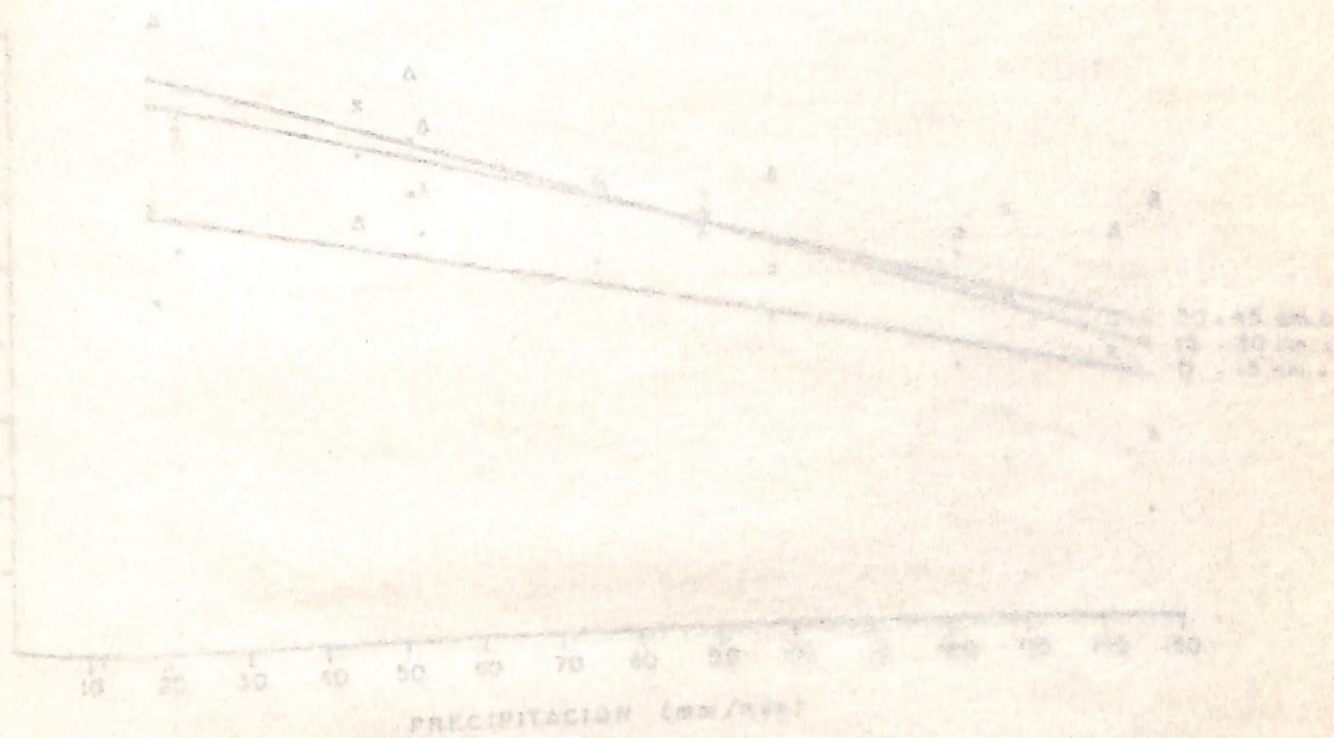


FIGURA 4 RELACION ENTRE LA PRECIPITACION Y LA PENETRABILIDAD PARA LA CONDICION DE CULTIVO EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD EN EL SUELO DE OSORCO.

0 - 15 $Y = 6.04 - 0.02 X$
 $r = - 0.78^{**}$
 $R^2 = 60.84 \%$

15 - 30 $Y = 7.97 - 0.031 X$
 $r = - 0.87^{**}$
 $R^2 = 75.69 \%$

30 - 45 $Y = 7.55 - 0.026 X$
 $r = - 0.76^{**}$
 $R^2 = 57.76 \%$

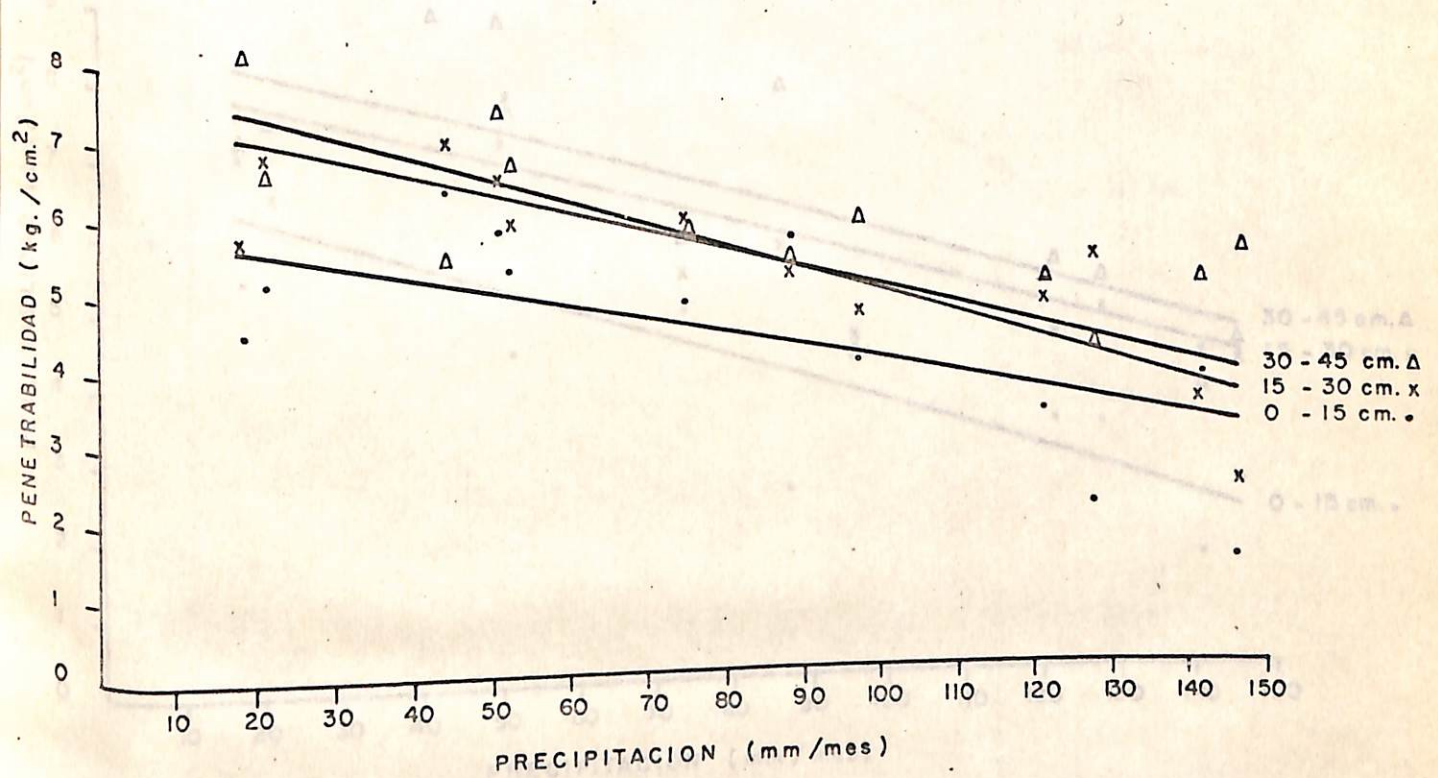


FIGURA 7. RELACION ENTRE LA PRECIPITACION Y LA PENETRABILIDAD PARA LA CONDICION DE CULTIVO EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD (n=12). SUELO DE OBONUCO.

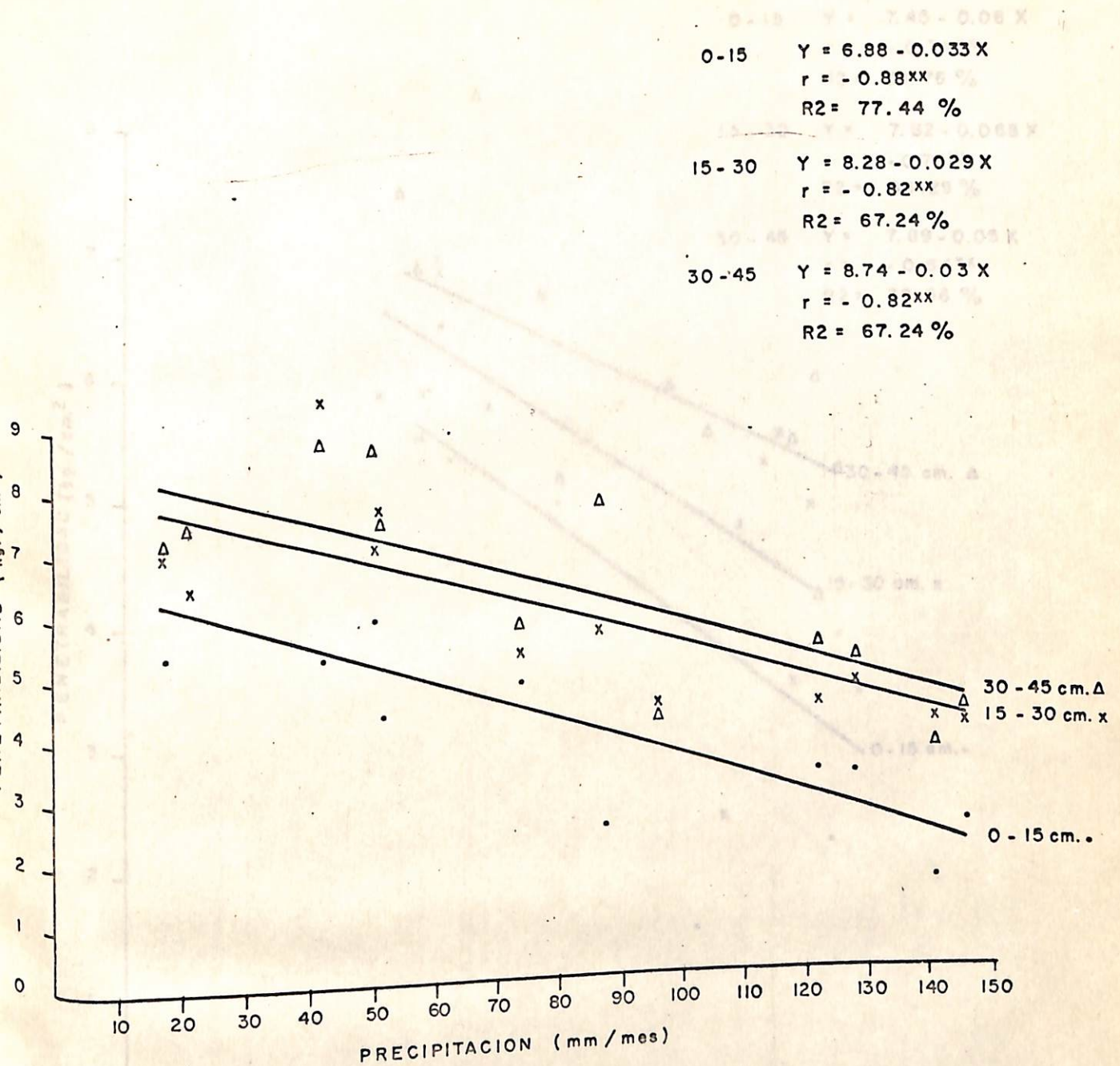


FIGURA 8. RELACION ENTRE LA PRECIPITACION Y LA PENETRABILIDAD PARA LA CONDICION DE PRADERA EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD (n=12). SUELO DE OBONUCO.

FIGURA 9. RELACION ENTRE LA HUMEDAD Y LA PENETRABILIDAD PARA LA CONDICION DE CULTIVO EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD (n=12). SUELO DE OBONUCO.

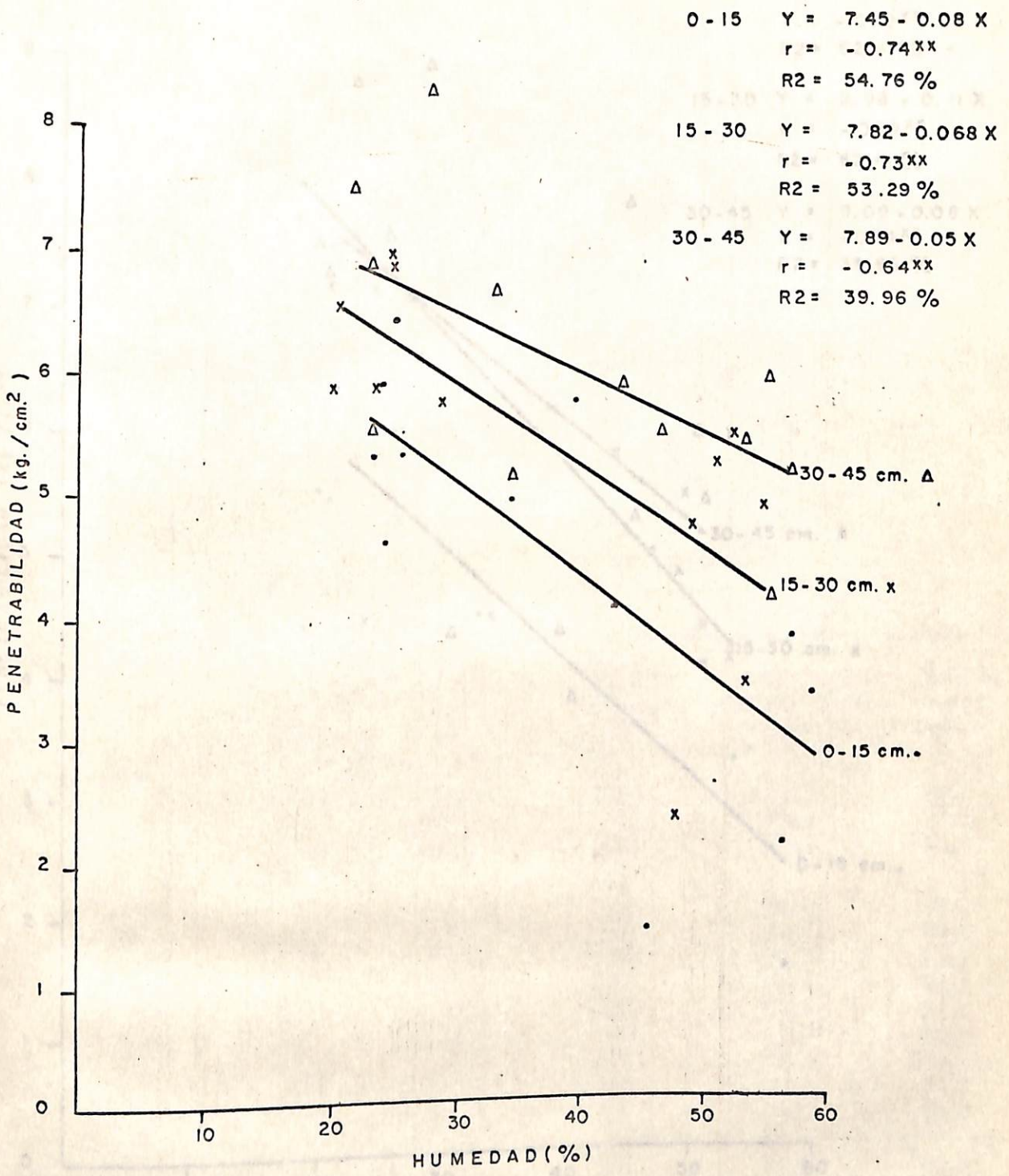


FIGURA 9. RELACION ENTRE LA HUMEDAD Y LA PENETRABILIDAD PARA LA CONDICION DE CULTIVO EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD (n = 12). SUELO DE OBONUCO.

TABLA II

TABLA III

DATOS METEOROLOGICOS MENSUALES REGISTRADOS EN LA ESTACION DEL ICA, OBOUUCO (*)

PROCESOS DEL ANALISIS TRIMESTRAL DE LOS SEÑALES METEOROLOGICAS

PLANTAS CULTIVADAS EN EL CULTIVO

Estación Meteorológica	:	Obouuco
Municipio	:	Pasto
Departamento	:	Nariño
Latitud	:	1° 13' N
Longitud	:	77° 16' W
Organismo a cargo	:	ICA
Periodo registrado	:	1974 - 1975

Año	Mes	Temperatura media °C	Precipitación mm	Humedad relativa %	Evaporación tanque tipo A, mm	Brillo solar horas
1974	Oct	12,5	127,41	82	73,7	76,4
	Nov	12,9	146,40	84	66,3	97,7
	Dic	12,4	104,12	84	73,4	114,0
1975	Ene	12,4	18,00	80	56,1	59,1
	Feb	12,7	96,32	85	63,2	70,1
	Mar	13,2	87,11	78	77,3	75,1
	Abr	13,4	74,70	78	79,4	97,5
	May	12,7	43,40	81	74,5	96,1
	Jun	12,0	121,50	79	65,2	80,4
	Jul	11,4	52,08	77	79,0	110,6
	Agt	11,5	21,39	77	74,4	84,7
	Sep	12,0	50,40	73	87,6	89,2
Promedio				80	72,2	87,6

(*) Información personal Estación Meteorológica - Obouuco - ICA.

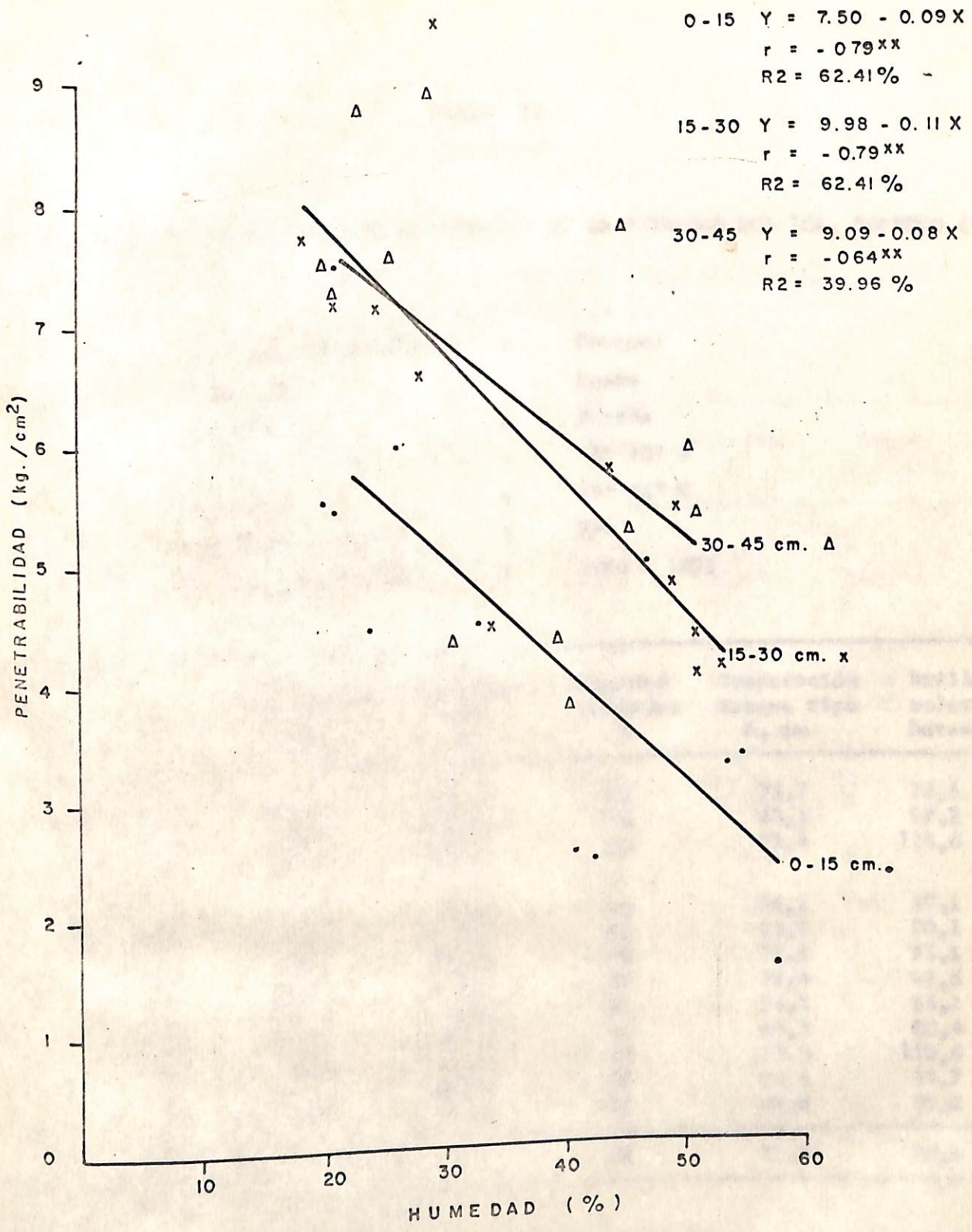


FIGURA 10. RELACION ENTRE LA HUMEDAD Y PENETRABILIDAD PARA LA CONDICION DE PRADERA EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD (n = 12). SUELO DE OBONUCO.

TABLA II

TABLA III

DATOS METEOROLOGICOS MENSUALES REGISTRADOS EN LA ESTACION DEL ICA, OBOUUCO (*)

RESUMEN DEL ANALISIS TRIMESTRAL DE LOS MESES REGISTRADOS

CONDICIONES DE CULTIVO

Estación Meteorológica : Obouuco

Municipio : Pasto

Departamento : Norño

Latitud : 1° 13' N

Longitud : 77° 16' W

Organismo a cargo : ICA

Periodo registrado : 1974 - 1975

Año	Mes	Temperatura media °C	Precipita- ción mm	Humedad relativa %	Evaporación tanque tipo A, mm	Brillo solar horas
1974	Oct	12,5	127,41	82	73,7	76,4
	Nov	12,9	146,40	84	66,3	97,7
	Dic	12,4	104,12	84	73,4	114,0
1975	Ene	12,4	18,00	80	56,1	59,1
	Feb	12,7	96,32	85	63,2	70,1
	Mar	13,2	87,11	78	77,3	75,1
	Abr	13,4	74,70	78	79,4	97,5
	May	12,7	43,40	81	74,5	96,1
	Jun	12,0	121,50	79	65,2	80,4
	Jul	11,4	52,08	77	79,0	110,6
	Agt	11,5	21,39	77	74,4	84,7
	Sep	12,0	50,40	73	87,6	89,2
Promedio				80	72,2	87,6

(*) Información personal Estación Meteorológica - Obouuco - ICA.

TABLA III

PROMEDIOS DEL ANALISIS TEXTURAL DE LOS SUELOS ESTUDIADOS
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO

Sitio	Profundidad cm	Arena %	Limos %	Arcilla %	Nombre Textural
1. Aranda	0 - 15	40,05	35,00	24,95	F
	15 - 30	41,40	26,53	32,07	F-Ar
	30 - 45	45,05	35,00	19,95	F
2. Botana	0 - 15	41,85	32,09	36,06	F-Ar
	15 - 30	39,07	32,37	28,65	F-Ar
	30 - 45	38,19	30,53	30,73	F-Ar
3. Catambuco	0 - 15	44,74	44,00	11,26	F
	15 - 30	51,93	37,62	10,45	F
	30 - 45	47,43	40,31	12,26	F
4. Genoy	0 - 15	48,05	44,00	7,65	F
	15 - 30	51,05	40,00	8,95	F
	30 - 45	34,33	31,13	34,53	F-Ar
5. La Laguna	0 - 15	50,39	30,66	18,95	F
	15 - 30	38,36	38,35	23,29	F-Ar
	30 - 45	46,36	38,69	14,19	F
6. Obonuco	0 - 15	43,99	36,56	19,45	F
	15 - 30	46,43	40,12	13,45	F
	30 - 45	47,43	40,31	12,26	F

F = Franco
Ar = Arcilla

TABLA IV

PROMEDIOS DEL ANALISIS TEXTURAL DE LOS SUELOS ESTUDIADOS
BAJO CONDICIONES DE PRADERA

Sitio	Profundidad cm	Arenas %	Limos %	Arcilla %	Nombre Textural
1. Aranda	0 - 15	40,36	35,69	23,95	F
	15 - 30	45,74	24,97	29,20	F-Ar
	30 - 45	45,05	32,31	22,64	F
2. Botana	0 - 15	42,55	36,19	21,36	F
	15 - 30	30,73	33,53	30,73	F-Ar
	30 - 45	35,40	33,53	31,05	F-Ar
3. Catanbuco	0 - 15	47,05	43,65	9,26	F
	15 - 30	47,62	37,62	14,76	F
	30 - 45	34,80	32,26	33,20	F-Ar
4. Genoy	0 - 15	45,36	45,69	8,95	F
	15 - 30	27,05	50,00	22,95	F-Limoso
	30 - 45	42,55	40,50	16,95	F
5. La Laguna	0 - 15	39,55	42,50	17,95	F
	15 - 30	44,39	35,66	19,95	F
	30 - 45	31,06	38,33	30,60	F-Ar
6. Obonuco	0 - 15	48,93	33,12	17,95	F
	15 - 30	43,43	37,62	18,95	F
	30 - 45	50,43	40,62	8,95	F
		F = Franco	34,80	1,14	32,30
		Ar = Arcilla	33,46	1,14	31,07
			34,37	1,15	33,41

TABLA V
TABLA V

VALORES PROMEDIOS DE DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD,
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Sitio	Profundidad cm	Cultivo		Pradera	
		Densidad aparente g/ml	Porosidad %	Densidad aparente g/ml	Porosidad %
1. Aranda	0 - 15	1,07	56,32	1,04	60,31
	15 - 30	1,09	55,51	1,06	61,07
	30 - 45	1,11	54,87	1,08	59,09
2. Botana	0 - 15	1,14	53,46	1,07	57,20
	15 - 30	1,16	52,65	1,08	56,80
	30 - 45	1,18	51,84	1,10	56,00
3. Catambuco	0 - 15	0,90	62,96	0,90	63,26
	15 - 30	0,94	61,32	0,90	63,26
	30 - 45	0,96	60,50	0,80	64,08
4. Genoy	0 - 15	0,84	65,64	0,89	64,54
	15 - 30	0,85	64,73	0,89	64,54
	30 - 45	0,83	65,56	0,89	64,82
5. La Laguna	0 - 15	1,05	56,97	1,06	55,83
	15 - 30	1,04	57,73	1,07	53,41
	30 - 45	1,06	56,91	1,08	55,38
6. Obonuco	0 - 15	1,14	54,40	1,14	52,50
	15 - 30	1,16	53,60	1,14	52,07
	30 - 45	1,15	54,37	1,15	53,41

TABLA VI
TABLA VII

VALORES PROMEDIOS DE CAPACIDAD DE CAMPO Y COEFICIENTE HIGROSCÓPICO (*),
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Sitio	Profundidad cm	Cultivo		Pradera	
		Capacidad de campo %	Coefficiente higroscópico %	Capacidad de campo %	Coefficiente higroscópico %
1. Aranda	0 - 15	37,10	7,98	31,73	6,85
	15 - 30	36,75	6,22	32,83	11,31
	30 - 45	37,14	8,05	35,35	7,92
2. Botana	0 - 15	40,72	7,88	30,15	7,79
	15 - 30	38,75	7,22	34,84	7,73
	30 - 45	37,27	7,50	36,06	5,80
3. Catambuco	0 - 15	33,73	11,38	34,52	9,19
	15 - 30	35,76	19,20	36,56	11,00
	30 - 45	36,76	9,34	32,25	10,28
4. Cenoy	0 - 15	39,14	15,77	42,31	16,81
	15 - 30	38,30	10,80	38,58	14,45
	30 - 45	41,04	16,53	34,55	18,54
5. La Laguna	0 - 15	31,97	11,72	32,76	13,02
	15 - 30	34,10	11,92	34,80	11,71
	30 - 45	37,23	11,75	38,13	13,54
6. Obomuco	0 - 15	31,72	6,28	38,26	8,61
	15 - 30	33,65	7,21	37,10	8,49
	30 - 45	34,98	9,22	35,11	8,13

(*) Humedad en base gravimétrica

TABLA VII

VALORES PROMEDIOS DE MATERIA ORGANICA (%).

VALORES MINIMALES Y MAXIMALES DE MATERIA ORGANICA (%) PARA EL SUELO DE ATACAMA, BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Sitio	Profundidad cm	Condición		
			Cultivo	Pradera	
1974	1. Aranda	0 - 15	6,71	5,50	
		15 - 30	5,58	4,08	30,57
		30 - 45	4,37	3,79	30,57
	2. Botana	0 - 15	6,80	6,77	40,87
		15 - 30	6,65	7,18	
		30 - 45	6,12	5,87	30,70
1975	3. Catambuco	0 - 15	4,60	4,48	33,43
		15 - 30	3,85	3,65	45,04
		30 - 45	3,62	3,97	31,25
	4. Genoy	0 - 15	9,32	7,38	31,70
		15 - 30	6,98	6,18	
		30 - 45	6,38	4,64	43,80
5. La Laguna	0 - 15	6,23	6,72	31,13	
	15 - 30	5,44	5,30	18,40	
	30 - 45	6,10	6,79	25,87	
6. Obonuco	0 - 15	5,32	5,93		
	15 - 30	3,84	2,81		
	30 - 45	4,20	2,69	30,15	

(*) Cantidad en toneladas por hectárea

TABLA VIII

VALORES MENSUALES DE HUMEDAD DE CAMPO (1) (2) PARA EL SUELO DE ARANDA, BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	38,02	38,02	30,06	38,31	38,19	38,57
	Nov	34,86	38,49	32,96	34,93	38,72	36,67
	Dic	35,24	32,56	29,49	44,22	46,06	40,27
1975	Ene	23,15	19,98	23,07	28,11	26,80	26,78
	Feb	36,61	39,69	21,27	35,42	37,70	25,45
	Mar	30,57	30,53	20,53	47,66	44,70	45,04
	Abr	35,76	43,74	38,99	25,14	28,19	31,85
	May	27,92	18,85	41,14	27,12	37,97	21,99
	Jun	40,42	45,32	48,24	37,06	39,86	33,60
	Jul	33,96	30,74	20,03	23,97	23,42	21,19
	Agt	20,50	20,97	20,03	27,13	18,81	16,49
	Sep	20,91	21,59	20,40	20,05	16,21	23,97
Promedio		31,50	31,70	28,87	32,42	33,06	30,15

(1) Humedad en base gravimétrica

TABLA IX

VALORES MENSUALES DE HUMEDAD DE CAMPO (*) (%) PARA EL SUELO DE NOTANA, BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	40,79	40,89	42,07	62,21	63,41	45,42
	Nov	34,32	33,23	32,31	37,82	41,14	30,23
	Dic	32,03	28,96	24,66	38,36	40,47	42,06
1975	Ene	19,59	17,86	17,92	17,03	17,15	22,13
	Feb	38,73	38,44	38,97	32,23	39,33	57,69
	Mar	26,06	27,47	31,13	19,74	26,98	27,93
	Abr	28,47	28,77	29,28	24,22	26,03	28,67
	May	29,80	27,42	26,91	21,43	29,18	26,80
	Jun	44,43	44,36	45,71	44,79	32,06	35,02
	Jul	24,25	25,02	52,31	31,83	26,75	27,34
	Agt	25,86	25,38	23,23	27,00	25,14	28,70
	Sep	24,47	25,02	23,53	26,57	26,82	29,02
Promedio		30,73	20,23	32,34	31,11	32,86	33,37

(*) Humedad en base gravimétrica

TABLA X

VALORES MENSUALES DE HUMEDAD DE CAMPO (*) (%) PARA EL SUELO DE CATAHUICO,
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	41,74	38,50	38,27	52,78	42,48	36,16
	Nov	45,31	48,74	46,54	32,24	32,17	43,72
	Dic	37,99	33,82	35,95	58,77	50,69	39,98
1975	Ene	26,24	27,77	27,50	26,82	21,22	22,36
	Feb	39,78	40,76	38,16	32,75	33,81	46,11
	Mar	39,58	42,77	38,90	35,45	30,95	39,98
	Abr	26,64	35,70	34,40	29,16	36,70	30,26
	May	38,62	34,11	43,32	29,89	27,28	36,89
	Jun	46,18	48,67	42,15	53,39	52,59	52,98
	Jul	25,43	26,47	28,96	21,94	21,22	26,06
	Agt	22,00	23,85	20,38	22,40	29,86	23,94
	Sep	25,04	25,64	34,47	21,98	25,00	30,41
Promedio		34,84	35,57	34,91	34,96	33,66	34,90

(*) Humedad en base gravimétrica

TABLA XI

VALORES MENSUALES DE HUMEDAD DE CAMPO (%) PARA EL SUELO DE GENOY, BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	62,63	43,21	37,10	54,18	42,52	45,20
	Nov	37,83	35,39	41,65	49,74	47,97	44,77
	Dic	39,26	34,54	35,12	38,17	34,41	46,38
1975	Ene	26,07	30,36	28,59	27,88	25,31	11,28
	Feb	36,34	40,30	22,16	38,73	43,66	47,72
	Mar	37,30	39,68	38,18	34,33	17,13	56,11
	Abr	36,41	52,33	20,92	54,98	54,05	43,38
	May	35,05	38,90	24,86	53,43	51,79	51,08
	Jun	48,87	40,24	40,85	45,71	40,25	47,90
	Jul	25,91	25,81	25,27	25,44	25,75	28,19
	Agt	26,04	29,78	25,24	20,33	17,23	19,82
	Sep	28,50	20,65	25,50	20,19	24,28	16,41
Promedio		36,51	35,10	31,10	38,59	35,62	38,10

(*) Humedad en base gravimétrica

TABLA XII

VALORES MENSUALES DE HUMEDAD DE CAMPO (*) (%) PARA EL SUELO DE LA LAGUNA, BAJO
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	55,27	53,85	47,50	44,61	46,87	45,94
	Nov	54,84	46,80	40,87	54,35	43,45	48,32
	Dic	45,65	55,32	41,10	56,31	63,88	62,05
1975	Ene	38,54	32,99	34,32	31,18	38,28	37,52
	Feb	41,83	46,16	42,46	49,27	41,22	39,11
	Mar	40,26	41,11	43,27	40,91	49,24	50,41
	Abr	41,36	31,25	29,88	32,25	28,86	26,12
	May	28,91	28,58	29,00	32,17	28,86	26,77
	Jun	48,89	49,30	48,37	48,62	41,19	45,69
	Jul	29,62	30,90	33,92	35,36	29,80	37,53
	Agt	25,32	21,46	29,66	28,22	34,35	38,65
	Sep	30,85	30,07	30,54	36,16	34,36	38,92
Promedio		39,45	39,82	37,08	40,86	40,53	41,42

(*) Humedad en base gravimétrica

TABLA XIII

VALORES MENSUALES DE HUMEDAD DE CAMPO (%) (Z) PARA EL SUELO DE OBONUCO, BAJO
CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	56,67	52,30	55,78	53,77	48,84	45,31
	Nov	46,85	48,01	45,90	42,37	51,34	39,41
	Dic	56,55	53,34	56,35	57,82	53,18	40,18
1975	Ene	24,09	28,87	27,69	20,36	21,09	20,81
	Feb	42,78	48,77	54,86	32,68	33,70	30,79
	Mar	39,32	50,99	52,78	40,77	43,85	44,87
	Abr	34,11	23,61	42,74	46,97	49,45	50,49
	May	24,85	24,82	23,33	20,97	28,63	28,64
	Jun	58,29	54,57	34,57	54,51	50,83	50,83
	Jul	25,27	20,58	32,93	23,81	18,56	25,30
	Agst	23,24	24,89	22,98	20,78	28,19	20,19
	Sep	23,62	20,06	21,63	26,40	25,07	23,18
Promedio		37,96	37,60	39,30	36,76	37,73	35,00

(*) Humedad en base gravimétrica

TABLA XV

VALORES MENSUALES DE PENETRABILIDAD (kg/cm^2) PARA EL SUELO DE BOTANA
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	2,93	4,79	5,09	3,24	3,04	4,23
	Nov	3,69	4,63	4,34	2,00	3,32	4,01
	Dic	2,65	3,81	4,06	3,80	3,33	5,55
1975	Ene	6,69	6,63	8,62	6,95	7,13	8,33
	Feb	4,60	4,57	4,69	4,10	5,13	5,62
	Mar	4,71	6,46	6,45	5,04	5,52	5,90
	Abr	4,70	5,55	8,91	5,61	8,01	4,67
	May	5,08	5,15	6,75	5,60	4,82	7,86
	Jun	3,21	3,99	4,19	3,79	3,44	3,94
	Jul	6,31	6,46	7,28	6,02	5,78	8,00
	Agt	9,12	10,24	11,89	8,99	6,69	9,30
	Sep	11,65	12,80	13,06	8,94	9,26	8,30
Promedio		5,45	6,26	7,12	5,34	5,46	6,31

TABLA XVII

VALORES MENSUALES DE PENETRABILIDAD (kg/cm^2) PARA EL SUELO DE GENOYA
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	1,39	2,48	2,33	3,91	4,60	5,66
	Nov	0,95	1,86	2,78	5,60	5,76	5,15
	Dic	1,15	2,27	3,83	4,69	4,23	5,72
1975	Ene	4,85	6,47	6,78	6,92	6,84	6,66
	Feb	5,78	6,33	7,17	5,20	4,96	5,94
	Mar	5,59	7,17	7,67	4,46	5,01	5,53
	Abr	2,59	3,47	5,23	5,77	5,36	5,72
	May	4,47	5,75	5,08	7,79	6,11	6,33
	Jun	1,10	3,72	3,90	2,87	3,51	4,14
	Jul	7,53	7,16	7,74	5,49	4,34	6,38
	Agt	4,51	6,28	7,47	6,04	6,32	6,44
	Sep	8,92	8,41	8,33	5,14	5,18	6,73
Promedio		4,06	5,11	5,70	5,32	5,18	5,86

TABLA XVIII

VALORES MENSUALES DE PENETRABILIDAD (Kg/cm^2) PARA EL SUELO DE LA LAGUNA
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	1,13	1,88	0,75	3,72	5,83	5,49
	Nov	1,24	1,25	3,52	2,96	4,13	5,63
	Dic	2,98	2,85	3,37	2,47	3,49	4,66
1975	Ene	7,40	6,67	6,98	4,80	5,23	7,52
	Feb	2,52	2,90	4,07	2,67	3,09	3,36
	Mar	3,02	6,45	7,97	2,23	2,35	4,37
	Abr	3,78	4,92	5,76	3,73	3,71	3,20
	May	4,53	5,85	7,75	4,41	5,12	8,71
	Jun	3,20	3,29	3,67	1,04	1,69	3,17
	Jul	4,63	6,16	7,17	3,80	4,45	6,59
	Agt	7,29	6,58	8,84	4,44	5,71	6,86
	Sep	4,07	4,52	4,90	6,84	6,34	6,34
Promedio		3,82	4,44	5,39	3,59	4,17	5,49

TABLA IX

RELACIONES ENTRE LA INDETERMINADA TABLA IX LEVANTADO PROPIEDAD DEL INIA (S)

VALORES MENSUALES DE PENETRABILIDAD (Kg/cm²) PARA EL SUELO DE OBONUCO
BAJO CONDICIONES DE CULTIVO Y PRADERA

Año	Mes	Cultivo			Pradera		
		Profundidad (cm)					
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	0 - 15	15 - 30	30 - 45
1974	Oct	2,03	5,36	4,11	3,14	4,62	5,09
	Nov	1,35	2,29	5,37	2,36	3,95	4,24
	Dic	3,72	3,37	5,09	1,43	4,04	3,67
1975	Ene	4,53	5,72	8,18	5,45	7,10	7,15
	Feb	4,02	4,62	5,80	4,38	4,35	4,22
	Mar	5,68	5,16	5,29	2,43	5,61	7,67
	Abr	4,84	5,81	5,73	4,88	5,33	5,81
	May	6,34	6,93	5,50	5,35	9,49	8,80
	Jun	3,29	4,77	5,05	3,21	4,29	5,23
	Jul	5,26	5,85	6,55	4,36	7,66	7,45
	Agt	5,25	6,84	6,71	7,39	6,48	7,47
	Sep	5,82	6,47	7,45	5,91	7,05	8,70
	Promedio	4,41	5,26	5,92	4,19	5,83	6,29

TABLA XX

RELACIONES ENTRE LA PENETRABILIDAD (Y) Y ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS (X)

Parámetros	Profundidad	Ecuación	Coefficiente de Correlación	Coefficiente de Determinación
Arena-Penetrabilidad	C 0-15	$Y = 3,63 - 0,005X$	- 0,02	0,04
	C 15-30	$Y = 5,48 - 0,01X$	- 0,05	0,25
	C 30-45	$Y = -3,49 - 0,39X$	- 0,18	3,95
	P 0-15	$Y = 4,07 - 0,01X$	- 0,07	0,49
	P 15-30	$Y = 6,23 - 0,03X$	- 0,40	16,00
	P 30-45	$Y = 4,87 - 0,02X$	- 0,27	7,00
Arcilla-Penetrabilidad	C 0-15	$Y = 4,97 + 0,057X$	0,54	29,16
	C 15-30	$Y = 5,06 + 0,001X$	0,08	0,64
	C 30-45	$Y = 6,55 + 0,04X$	0,49	24,01
	P 0-15	$Y = 4,58 + 0,004X$	0,04	0,16
	P 15-30	$Y = 4,51 + 0,01X$	0,10	10,00
	P 30-45	$Y = 6,39 + 0,03X$	0,45	20,00
Materia orgánica-Penetrabilidad	C 0-15	$Y = 4,24 - 0,06X$	- 0,10	1,00
	C 15-30	$Y = 4,50 - 0,10X$	- 0,19	4,00
	C 30-45	$Y = 3,82 - 0,35X$	- 0,45	20,00
	P 0-15	$Y = 2,55 - 0,32X$	- 0,49	24,00
	P 15-30	$Y = 5,19 - 0,03X$	- 0,08	0,64
	P 30-45	$Y = 5,88 - 0,04X$	- 0,10	1,00
Porosidad Penetrabilidad	C 0-15	$Y = 10,25 - 0,11X$	- 0,49	24,9
	C 15-30	$Y = 8,49 - 0,06X$	- 0,38	14,44
	C 30-45	$Y = 9,03 - 0,06X$	- 0,28	7,84
	P 0-15	$Y = 8,05 - 0,006X$	- 0,39	15,21
	P 15-30	$Y = 6,81 - 0,003X$	- 0,27	7,29
	P 30-45	$Y = 9,20 - 0,06X$	- 0,51	29,6
Densidad aparente Penetrabilidad	C 0-15	$Y = -0,26 + 4,00X$	0,48	23,04
	C 15-30	$Y = 2,69 + 2,25X$	0,38	14,44
	C 30-45	$Y = 3,50 + 2,00X$	0,27	7,29
	P 0-15	$Y = 2,35 + 1,80X$	0,26	6,76
	P 15-30	$Y = 3,51 + 1,50X$	0,29	8,41
	P 30-45	$Y = 4,34 + 1,29X$	0,26	6,76

TABLA XXI

RELACIONES ENTRE LA PENETRABILIDAD (Y) Y LA HUMEDAD DEL SUELO (X)

Sitio	Condición y Profundidad	Ecuación	Coefficiente de Correlación	Coefficiente de Determinación
Aranda	C 0-15	$Y = 5,97 - 0,10X$	- 0,58*	33,64
	C 15-30	$Y = 6,67 - 0,08X$	- 0,29	8,41
	C 30-45	$Y = 4,46 - 0,01X$	- 0,08	0,64
	P 0-15	$Y = 5,72 - 0,03X$	- 0,85**	72,25
	P 15-30	$Y = 6,14 - 0,04X$	- 0,31	9,61
	P 30-45	$Y = 7,15 - 0,07X$	- 0,34	11,56
Botana	C 0-15	$Y = 12,50 - 0,229X$	- 0,64**	41,96
	C 15-30	$Y = 12,31 - 0,20X$	- 0,56*	31,36
	C 30-45	$Y = 9,05 - 0,06X$	- 0,33	10,89
	P 0-15	$Y = 8,45 - 0,10X$	- 0,60*	36,00
	P 15-30	$Y = 9,32 - 0,117X$	- 0,69**	47,61
	P 30-45	$Y = 19,65 - 0,22X$	- 0,71**	50,41
Catanhuco	C 0-15	$Y = 4,98 - 0,07X$	- 0,58*	33,64
	C 15-30	$Y = 6,12 - 0,04X$	- 0,30	9,00
	C 30-45	$Y = 6,78 - 0,04X$	- 0,44	19,36
	P 0-15	$Y = 7,25 - 0,09X$	- 0,71	50,91
	P 15-30	$Y = 7,25 - 0,07X$	- 0,46	21,16
	P 30-45	$Y = 7,80 - 0,08X$	- 0,58	33,64
Genoy	C 0-15	$Y = 9,91 - 0,16X$	- 0,67**	44,89
	C 15-30	$Y = 9,58 - 0,13X$	- 0,56*	31,36
	C 30-45	$Y = 1,03 - 0,13X$	- 0,64**	40,96
	P 0-15	$Y = 5,66 - 0,009X$	- 0,09	0,81
	P 15-30	$Y = 5,46 - 0,008X$	- 0,11	1,21
	P 30-45	$Y = 8,92 - 0,08X$	- 0,85**	72,25
La Laguna	C 0-15	$Y = 6,19 - 0,06X$	- 0,45	20,25
	C 15-30	$Y = 8,42 - 0,10X$	- 0,72**	51,84
	C 30-45	$Y = 8,37 - 0,08X$	- 0,41	16,81
	P 0-15	$Y = 4,42 - 0,02X$	- 0,29	8,41
	P 15-30	$Y = 4,42 - 0,006X$	- 0,08	0,64
	P 30-45	$Y = 5,90 - 0,01X$	- 0,15	2,25
Obonuco	C 0-15	$Y = 7,45 - 0,08X$	- 0,74**	54,76
	C 15-30	$Y = 7,82 - 0,068X$	- 0,73**	52,29
	C 30-45	$Y = 7,89 - 0,05X$	- 0,64**	40,96
	P 0-15	$Y = 7,50 - 0,09X$	- 0,79**	62,41
	P 15-30	$Y = 9,98 - 0,11X$	- 0,79**	62,41
	P 30-45	$Y = 9,09 - 0,08X$	- 0,64**	40,96

* : Significativo al nivel del 5%
 ** : Significativo al nivel del 1%

TABLA XXII

RELACION ENTRE LA PENETRABILIDAD (Y) Y LA PRECIPITACION PLUVIAL (X).
SUELO DE OBONUCO

Condi - ción	Profundidad cm	Ecuación de Regresión	Coefficiente de Correlación	Coefficiente de Determinación
Cultivo	0 - 15	$Y = 6,04 - 0,02X$	- 0,78**	60,84
	15 - 30	$Y = 7,97 - 0,03X$	- 0,87**	75,69
	30 - 45	$Y = 7,55 - 0,026X$	- 0,76**	57,76
Pradera	0 - 15	$Y = 6,86 - 0,033X$	- 0,88**	77,44
	15 - 30	$Y = 8,28 - 0,029X$	- 0,82**	67,24
	30 - 45	$Y = 8,74 - 0,03X$	- 0,82**	67,24

** : Altamente significativo

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Todas las propiedades físicas que se determinaron tienen influencia, ya sea mayor o menor sobre la magnitud de la penetrabilidad. A elevados valores de densidad aparente y altos contenidos de arcillas la penetrabilidad fue mayor; en cambio a mayores valores de porosidad total, materia orgánica, precipitación, humedad y porcentaje de arenas la penetrabilidad fue menor.

2. Los resultados obtenidos demuestran que probablemente la gran mayoría de los suelos estudiados no presentan impedimento a la penetración de las raíces.

3. En los meses de menor precipitación, se presentan problemas de penetración de las raíces.

4. Se deben ampliar estudios sobre este aspecto, pero teniendo en cuenta la planta, bajo condiciones de invernadero.

VI. RESUMEN

En el trabajo realizado, se tomó como principal objetivo la determinación de la penetrabilidad, directamente en el campo por medio del penetrómetro de cono, en los suelos de Aranda, Botana, Catambuco, Genoy, La Laguna y Obonuco.

Además se estudiaron algunas propiedades físicas que están relacionadas con la penetrabilidad como la textura, densidad aparente, porosidad, materia orgánica y humedad.

En cuanto a los valores de penetrabilidad, los suelos presentaron los siguientes: Aranda 2,81, 4,12 y 4,16 Kg/cm^2 bajo cultivo; 4,51, 4,69 y 5,02 Kg/cm^2 bajo pradera; Catambuco 2,54, 4,70 y 5,37 Kg/cm^2 bajo cultivo; 4,09, 4,88 y 5,01 Kg/cm^2 bajo pradera; Genoy 4,06, 5,11 y 5,70 Kg/cm^2 bajo cultivo; 5,32, 5,18 y 5,86 Kg/cm^2 bajo pradera; La Laguna 3,82, 4,44 y 5,39 Kg/cm^2 bajo cultivo; 3,39, 4,17 y 5,49 Kg/cm^2 bajo pradera; Obonuco 4,41, 5,51 y 5,92 Kg/cm^2 bajo cultivo; 4,19, 5,23 y 6,29 Kg/cm^2 bajo pradera.

El suelo de Botana presenta valores de penetrabilidad superiores a los suelos antes mencionados así: 5,45, 6,26 y 7,12 Kg/cm^2 bajo cultivo; 5,34, 5,46 y 6,31 Kg/cm^2 bajo pradera. Los altos valores de penetrabilidad del suelo de Botana posiblemente pueden explicarse en base a la textura predominante que es franco-arcillosa y a la presencia de capas endurecidas.

VII. SUMMARY

The main objective of this work was to determine penetrability at the field, by means of cone penetrometer, in soils of Aranda, Botana, Catambuco, Genoy, La Laguna and Obonuco.

Besides, some physical properties related to penetrability as : texture, bulk density, porosity, organic matter and moisture, were studied.

Penetrability values of soils were : Aranda 2,81, 4,12, 4,16 Kg/cm² crop conditions; 4,51, 4,69 and 5,02 Kg/cm² prairie conditions; Catambuco 2,54, 4,70 and 5,37 Kg/cm² crop conditions; 4,09, 4,88 and 5,01 Kg/cm² prairie conditions; Genoy 4,06, 5,11 and 5,70 Kg/cm² crop conditions; 5,32, 5,18 and 5,86 Kg/cm² prairie conditions; La Laguna 3,82, 4,44 and 5,39 Kg/cm² crop conditions; 3,59, 4,17 and 5,49 Kg/cm² prairie conditions; Obonuco 4,41, 5,51 and 5,92 Kg/cm² crop conditions; 4,19, 5,23 and 6,29 Kg/cm² prairie conditions.

Soil of Botana shows higher penetrability values than former soils : 5,45, 6,26 and 7,12 Kg/cm² crop conditions; 5,34, 5,46 and 6,31 Kg/cm² prairie conditions. This values can be explained, as a consequence of clay loam texture and by the presence of clay pan.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ALVAREZ, A. Evaluación de un sistema de drenaje a nivel parcelario en el Municipio de Pasto, Colombia. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 1975. 80 p.

2. ARIAS, H. A. y GUERRERO, R. E. Algunas propiedades físicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Pasto, Colombia, determinados por diferentes métodos. Terralba 21(4): 393-403. 1971.

3. BAVER, L. D., GARDNER, W. H. y GARDNER, W. R. Física de suelos. Trad. del inglés por Jorge Rodríguez. México, UTEHA, 1973. 530 p.

4. BERTRAND, H. y KHONKE, H. Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and growth of corn roots. Soil Science Society of America Proceedings 21 : 135-140. 1957.

5. BUCKINGHAM, F. En sus cultivos controle el tránsito, producción de más dinero. Agricultura de las Américas 7 : 44-48. 1975.

6. CASTILLO, S. Determinación de la conductividad hidráulica, en tres suelos del Altiplano de Pasto, Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 1974. 67 p.

7. CARTER, L. N., STOCKTON, J. R., ZAVERVETTI, J. R. y COLMYER, R. F. Precision tillage for cotton production. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 8: 457-460. 1964.

8. CHAVES, M. et al. Estudio socioeconómico de Nariño. Bogotá, Ministerio de Trabajo, División de Seguridad Social Campesina. 218 p.

9. DAVIDSON, D. T. Penetrometer measurement. In Black, C. ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy 1965. pp. 472-484.

10. KRASO, G. E. y PAZ, S. A. Determinación de la tasa básica de infiltración en algunos suelos del Altiplano de Pasto, Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1975. 97 p.
11. ESCOBAR, G. y JURADO, E. Propiedades físicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del Municipio de Pasto, Nariño, Colombia. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola. 1970. 64 p.
12. ESPINAL, T. L. y E. MONTENEGRO. Formaciones vegetales de Colombia; Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1963. 201 p.
13. FORSYTHE, W. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. *Fitotecnia Latinoamericana* 4a. 165-176. 1967.
14. _____. Manual de laboratorio de Física de Suelos. San José (Costa Rica), IICA, 1975. 212 p.
15. FREITAG, D. R. Penetration test for soil measurement. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 11(6): 750-753. 1968.
16. GONZALEZ, M. A. Manual de laboratorio de suelos. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1964. 96 p.
17. HENRY, J. E. y McKIBBIN, J. S. Effect of soil strength on corn root penetration. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 10(2): 281-282. 1962.

18. HUERTAS, A. Efecto de la resistencia mecánica del suelo en la producción del frijol (Phaseolus vulgaris L.). V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia, 1975. 20 p.
19. ISRAELSEN, O. y HANSEN, V. Irrigation principles and practices. 3a ed. New York, Wiley, 1965. 380 p.
20. LEGARDA, L. B. y FORSYTHE, W. Efecto de la penetrabilidad y la succión sobre el rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.). Turrialba Costa Rica, 1972. (En prensa).
21. LUNA, Z. C. y CARLHOUN, G. F. Suelos derivados de cenizas volcánicas del Departamento de Nariño. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Dirección Agrológica, 1973. 157 p.
22. PHILLIPS, R. y KIRKHAM, D. Mechanical impedance and corn seedling root growth. Soil Science of America Proceedings 26(4): 319-322. 1962.
23. ROYO, A. y GOMEZ, J. Datos para la geología económica de Nariño y Alto Putumayo. In Compilación de estudios geológicos oficiales en Colombia. Bogotá, Ministerio de Trabajo, Minas y Petróleos. pp. 53-260. 1949.
24. SOIL TEST INC. Proving ring penetrometer. Operation instructions. Evanston, Illinois, U.S.A. 2205 Lee Street, 1960. 4 p.
25. TAYLOR, H. M. y GARDNER, H. B. Penetration of cotton seedling top roots as influenced by bulk density, moisture content and strenght of soil. Soil Science 96: 153-156. 1963.
26. _____ y BURNETT, E. Influence of soil strenght of the root growth habits of plants. Soil Science 98: 174-180. 1964.

27. VEHMEYER, F. y HENDRICKSON, A. Soil density and root penetration. *Soil Science* 65 : 487-493. 1948.
28. WILLIAM, R. y GILL, G . Influence of compaction hardening of soil on penetration resistance. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 11(6): 744-745. 1968.
29. VONOCIL, J. A. y FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil and water. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 4: 242-245. 1961.
30. ZIMMERMAN, R. y KARDOS, L. Effect of bulk density and root growth. *Soil Science* 91(4): 280-289. 1961.
31. ZUCCARDI, R. B. y FADDA, G. S. Influencia de la compactación del suelo sobre el desarrollo y rendimiento del trigo. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 4(2): 143-153. 1965.