

**DETERMINACIÓN DE ECUACIONES LINEALES DE CAPACIDAD DE
CAMPO PARA TRES TIPOS DE SUELOS: ARCILLOSO, FRANCO
ARCILLOSO Y FRANCO, PRESENTES EN LA CIUDADELA
UNIVERSITARIA PUERTA ROJA (SINCELEJO-SUCRE)**

**JOSE FERNANDO MENDOZA DIAZ
RAFAEL EUSEBIO PEÑALOZA PEREZ**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRÍCOLA
SINCELEJO, 2002**

**DETERMINACIÓN DE ECUACIONES LINEALES DE CAPACIDAD DE
CAMPO PARA TRES TIPOS DE SUELOS: ARCILLOSO, FRANCO
ARCILLOSO Y FRANCO, PRESENTES EN LA CIUADELA
UNIVERSITARIA PUERTA ROJA (SINCELEJO-SUCRE)**

**JOSE FERNANDO MENDOZA DIAZ
RAFAEL EUSEBIO PEÑALOZA PEREZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para
optar el título de Ingeniero Agrícola**

**Director
RUBY ORTIZ NAVAS
Ingeniero agrícola
MSc. Suelos y Aguas**

**Codirector
JESÚS CEPEDA CORONADO
Matemático
ESP. Docente de la Universidad de Sucre**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRÍCOLA
SINCELEJO, 2002**

*“UNICAMENTE LOS AUTORES SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS
EXPUESTAS EN EL PRESENTE TRABAJO”*

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Sincelejo, 2002

DEDICATORIA

Al Espíritu Santo por haberme dado
entendimiento;
a mis padres Abel y Rita, y a mí
hermano Javier
por darme su apoyo incondicional en todo
momento.
A mi tío Wilson y demás familiares.

José

Fernando

A Dios por ofrecerme la vida .
A mis padres por su crianza.
A mi cuñado y compadre por su respaldo.
A mis sobrinos por su cariño.
Y a todos mis amigos que creyeron en mí.

Rafael Peñaloza

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo dan las gracias a:

RUBY ORTIZ NAVAS, Ingeniero Agrícola M.Sc. Suelos y Aguas. Docente de la Universidad de Sucre y directora de este trabajo.

JESUS CEPEDA CORONADO. Matemático. Esp. Docente de la Universidad de Sucre y Codirector de este trabajo.

EDUARDO CHAUCANES JACOME. Licenciado en Matemáticas. MSc Docente de la Universidad de Sucre y asesor de este trabajo.

MELBA VERTEL MORINSON. Lic. En matemáticas. Esp. en Estadística. Docente de la Universidad de Sucre.

ANTONIO TOVAR ORTEGA. Ingeniero Agrícola. Esp. Profesional Universitario a cargo del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre.

JOSE GREGORIO ARRIETA. Tecnólogo en Producción Agropecuaria. Auxiliar del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre.

ERICK MILTON PACHECO. Lic. En Matemáticas. Estudiante Esp. Biometría. Universidad de Sucre.

YIMIS VIDUAL. Estudiante de Ingeniería de Sistemas CECAR.

Facultad de Ingeniería de la Universidad de Sucre.

Biblioteca de la Universidad de Sucre

y a todas aquellas personas que colaboraron con nosotros en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	25
1. REVISION DE LITERATURA	27
1.1 ALGUNOS CONCEPTOS DE INTERES SOBRE EL SUELO	27
1.1.1. Textura del suelo	27
1.1.2. La materia orgánica y su composición	28
1.1.3 La densidad aparente	29
1.1.4. El suelo como un medio poroso	31
1.2. EL AGUA EN EL SUELO	31
1.3. CONCEPTOS IMPORTANTES SOBRE ANALISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	35
1.3.1. Regresión lineal múltiple	35
1.3.2. Determinación del mejor conjunto de variables de predicción	36
1.3.2.1. El criterio del cuadrado medio del error, CME	37
1.3.2.2. El criterio Cp	37
1.3.3. Coeficiente de correlación múltiple, R^2	38
1.3.4. Análisis de residuos o residuales	39

1.3.5. Prueba de hipótesis en el análisis de la recta de regresión lineal simple	40
2. MATERIALES Y METODOS	41
2.1. MATERIALES	41
2.1.1. Localización	41
2.1.2. Información climática	41
2.1.3. Información de los suelos estudiados	41
2.1.4. Materiales de laboratorio	42
2.2. METODOS	42
2.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo	42
2.2.2. Determinación de capacidad de campo in-situ	42
2.2.3. Descripción de perfil de los suelos estudiados	43
2.3. TRABAJO DE LABORATORIO	43
2.3.1. Determinación de capacidad de campo por el método de las Ollas de presión	43
2.3.2. Determinación de capacidad de campo por el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre	44
2.4. TRABAJO DE OFICINA	45
2.5. DETERMINACION DE LA CONSTANTE DE RELACION K	45
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	47
3.1. DETERMINACION DE LAS ECUACIONES DE CAPACIDAD DE CAMPO DE LOS SUELOS ESTUDIADOS	47

3.1.1. Análisis de las ecuaciones obtenidas para la predicción de la capacidad de campo.	56
3.1.1.1. Análisis de la ecuación obtenida para el suelo arcilloso.	56
3.1.1.2. Análisis de la ecuación obtenida para el suelo franco.	56
3.1.1.3. Análisis para la ecuación obtenida para el suelo franco-arcilloso.	57
3.2 Determinación de la capacidad de campo (CC).	57
3.2.1. Determinación de la capacidad de campo in-situ (CC <i>in-situ</i>).	58
3.2.2. Determinación de la Capacidad de campo por el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre.	58
3.2.3. Determinación de la Capacidad de campo. Método de las ollas de presión.	59
3.2.4. Análisis de los resultados de capacidad de campo.	60
3.2.5. Determinación de la constante de relación k entre el Método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre y los métodos convencionales.	61
3.2.6. Determinación de las Curvas de retención de humedad.	63
3.2.7. Determinación de la relación entre la densidad aparente y la humedad del suelo, y formulación de ecuaciones lineales.	66
3.2.7.1. Determinación de ecuación de densidad aparente Vs. % Humedad para el suelo arcilloso.	66
3.2.7.2. Determinación de ecuación de densidad aparente Vs. Humedad	

para el suelo franco.	68
3.2.7.3. Determinación de ecuación de densidad aparente Vs. Humedad para el suelo franco-arcilloso.	70
3.2.8. Análisis de los gráficos de la relación entre la humedad y la densidad aparente de los suelos estudiados.	76
4. CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	85

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Determinaciones físicas de campo y laboratorio.	45
Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo arcilloso.	47
Cuadro 3. Propiedades físicas del suelo franco.	48
Cuadro 4. Propiedades físicas del suelo franco-arcilloso.	48
Cuadro 5. Criterios de bondad de ajuste para todas las posibles regresiones para los datos del suelo arcilloso.	49
Cuadro 6. Criterios de bondad de ajuste para todas las posibles regresiones para los datos del suelo franco.	50
Cuadro 7. Criterios de bondad de ajuste para todas las posibles regresiones para los datos del suelo franco-arcilloso.	51

Cuadro 8. capacidad de campo in-situ(CC in-situ).	58
Cuadro 9. Capacidad de campo. Método propuesto por el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Sucre.	59
Cuadro 10. Resultados de análisis de humedad(%) a diferentes Tensiones.	59
Cuadro 11. Capacidad de campo. Metodo de las ollas de presión.	60
Cuadro 12. Constante de relación k entre el metodo propuesto por el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Sucre y los metodos convencionales.	62
Cuadro 13. Valores de %Humedad Vs. Densidad aparente para el suelo arcilloso.	67
Cuadro 13. Valores de %Humedad Vs. Densidad aparente para el suelo franco.	69
Cuadro 14. Valores de %Humedad Vs. Densidad aparente para el suelo franco-arcilloso.	70

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Residuales para el %Ar para el suelo Arcilloso	53
Gráfico 2. Residuales para el %L para el suelo Arcilloso	53
Gráfico 3. Residuales para el %M.O para el suelo Arcilloso	53
Gráfico 4. Residuales para la D.apr para el suelo Arcilloso	53
Gráfico 5. Residuales para el %Ar para el suelo franco	54
Gráfico 6. Residuales para el %L para el suelo franco	54
Gráfico 7. Residuales para el %M.O para el suelo franco	54
Gráfico 8. Residuales para la D.ap para el suelo franco	54
Gráfico 9. Residuales para el %Ar para el suelo franco-Arcilloso	55

Gráfico 10. Residuales para el %L para el suelo franco-Arcilloso	55
Gráfico 11. Residuales para el %M.O para el suelo franco-Arcilloso	55
Gráfico 12. Residuales para la D.ap para el suelo franco-Arcilloso	55
Gráfico 13. Curvas de retención de humedad	64
Gráfico 14. Distribución t de Student para comprobar la utilidad de la ecuación de densidad aparente vs. Humedad del suelo arcilloso	68
Gráfico 15. Distribución t de Student para comprobar la utilidad de la ecuación de densidad aparente vs. Humedad del suelo franco.	70
Gráfico 16. Distribución t de Student para comprobar la utilidad de la ecuación de densidad aparente vs. Humedad del suelo franco-arcilloso.	72
Gráfico 17. Relación entre la humedad y la densidad aparente en el suelo arcilloso.	73
Gráfico 18. Relación entre la humedad y la densidad aparente en	

el suelo franco.

74

Gráfico 19. Relación entre la humedad y la densidad aparente en el suelo franco-arcilloso.

75

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO 1. Croquis de la Ciudadela Universitaria Puerta Roja y ubicación de los suelos estudiados.	86
ANEXO 2. Resultados del análisis de humedad a diferentes tensiones para los suelos estudiados.	87
ANEXO 3. Descripción del perfil presentado en el suelo de textura Arcilloso.	88
ANEXO 4. Descripción del perfil presentado en el suelo de textura Franco.	89
ANEXO 5. Descripción del perfil presentado en el suelo de textura Franco-arcilloso.	90
ANEXO 6. Registro sobre análisis de textura y resultados para el suelo Arcilloso.	91

ANEXO 7. Registro sobre análisis de textura y resultados para el suelo franco.	92
ANEXO 8. Registro sobre análisis de textura y resultados para el suelo Franco-arcilloso.	93
ANEXO 9. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura arcillosa	94
ANEXO 10. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura arcillosa.	95
ANEXO 11. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura arcillosa	96
ANEXO 12. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura arcillosa	97
ANEXO 13. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura franca.	98
ANEXO 14. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura franca	99

ANEXO 15 Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura franca.	100
ANEXO 16. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura franca.	101
ANEXO 17. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura franco-arcillosa.	102
ANEXO 18. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura franco-arcillosa	103
ANEXO 19. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura franco-arcillosa	104
ANEXO 20. Determinación de densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en un suelo de textura franco-arcillosa	105
ANEXO 21. Análisis estadístico para el suelo arcilloso	106
ANEXO 22. Análisis estadístico para el suelo franco	136
ANEXO 23. Análisis estadístico para el suelo franco-arcilloso	166

INTRODUCCIÓN

La información de la capacidad de retención de humedad del suelo es necesaria para interpretar las relaciones suelo - agua; pero su determinación es lenta y costosa. Una alternativa mas económica es estimarla por medio de ecuaciones de regresión lineal múltiple, a partir de características del suelo como los porcentajes de agregados texturales, la materia orgánica y la densidad aparente, que son datos básicos para cualquier desarrollo agrícola que se vaya a acometer. La estimación de ecuaciones de capacidad de campo basadas en los parámetros de suelo anteriormente enunciados, es el principal objetivo de este trabajo.

Debe anotarse que los modelos basados en ecuaciones de regresión son usados cada vez con mayor frecuencia, considerándose que dichos modelos o ecuaciones son extrapolables a otros suelos en la medida que tengan semejanza sus características edafológicas con la de los suelos estudiados para la obtención del modelo.

Además de las ecuaciones mencionadas, en este trabajo también se encontraron ecuaciones de predicción de la densidad aparente del suelo con relación a la humedad del mismo, lo que permite obtener un dato más preciso de ella para

calcular requerimiento de riego, lo que conlleva a un mejor manejo del agua y de la aireación del suelo.

En el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre, se desarrolló un método para determinar el contenido de humedad a capacidad de campo en el Laboratorio. Con el objeto de valorar su confiabilidad, en esta investigación se calculó la constante de relación k entre este método y los convencionales: determinación de capacidad de campo in-situ y, método de las ollas de presión.

(Además de las ecuaciones mencionadas anteriormente, en este trabajo también se encontraron ecuaciones de predicción de la densidad aparente del suelo con relación a la humedad del mismo y también se halló la constante de relación k para los métodos de determinación de la capacidad de campo (método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de UNISUCRE, método in-situ y método de las ollas de presión).

El replicar esta metodología para los diferentes suelos del departamento permitirá a la Universidad de Sucre ofrecer al productor del sector agropecuario, a partir de los análisis básicos de suelos, una información mucho más amplia que le permita hacer un uso racional y sostenible de los recursos agua y suelos.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

Considerando que la formulación de ecuaciones de predicción de la capacidad de campo requiere del concurso de dos disciplinas, la revisión de literatura se presenta en dos partes: la referente a conceptos edafológicos y antecedentes y la relacionada con la metodología estadística utilizada para el procesamiento de la información recolectada en campo.

- **PARTE 1**

1.1. ALGUNOS CONCEPTOS DE INTERES SOBRE EL SUELO:

1.1.1. Textura del suelo

MONTENEGRO (1990) expresa que el término "*Textura*" hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran, en una masa de suelo, varios grupos de granos individuales asociados por tamaño. Se refiere específicamente a las proporciones relativas de arena, limo y arcilla en la tierra fina del suelo, es decir en la tierra tamizada y con diámetro inferior a 2 mm.

La importancia del estudio de la textura radica en el papel que ésta juega en la cantidad de agua que puede almacenar el suelo, su movimiento a través del perfil y en la facilidad de abastecimiento de nutrientes y aire.

Muchos investigadores han llegado a la conclusión que la textura mejor balanceada corresponde a la de suelos francos (arcilla entre 10-25%, limo entre (28-50% y arena entre (50-65%), donde se presenta una tendencia uniforme a la retención de agua y de oxígeno y en la difusión de gases, de tal forma que las plantas no son afectadas o limitadas en sus funciones fisiológicas. El dominio de una u otra fracción puede influir sobre la fertilidad potencial y explicar en cierta forma el grado de evolución y las características físico-químicas mineralógicas y biológicas de los suelos

1.1.2. La materia orgánica y su composición

MUNEVAR (1982) considera que la materia orgánica del suelo es un material complejo sujeto a cambios continuos de descomposición y síntesis. Sus propiedades y efecto en el suelo son el producto de su interacción con otros componentes vivos o inertes del mismo.

En cuanto a la composición de la materia orgánica, esta consiste en un amplio grupo de sustancias que van desde tejidos vegetales y animales y células microbianas no descompuestas, pasando por productos de descomposición de

corta duración, hasta material estable amorfo sin vestigios de la estructura anatómica del material original.

No obstante que se está utilizando el contenido de materia orgánica del suelo, se habla de propiedades físicas del suelo, porque para fines de determinación de capacidad de campo y retención de humedad, es importante la participación de la materia orgánica únicamente como formador de agregados de suelos, sin tener en cuenta su aporte de nutrientes.

1.1.3. La densidad aparente

MONTENEGRO (1982) anota que tanto la densidad aparente como la porosidad y, por supuesto, sus componentes de micro y macroporos, están relacionados con la génesis y el manejo dado al suelo.

Las densidades aparentes, a pesar de verse afectadas por las labores agrícolas en algunos horizontes A (Ap), permiten demostrar los factores que las determinan a saber: contenidos de materiales orgánicos, textura y origen del suelo especialmente referido a sus materiales (orgánicos, piroclásticos, arcillosos, etc.

ORTIZ (1990) determinó dos ecuaciones de densidad aparente para un suelo arcilloso (Vertic Ustropept) a diferentes contenidos de humedad y a diferentes profundidades en el perfil:

$$Da = 1.608839 - 0.009225 H, \text{ con } r = -0.967, \text{ de } 0 \text{ a } 30 \text{ cms}$$

$$Da = 1.68849 - 0.011557 H, \text{ con } r = -0.900, \text{ de } 30 \text{ a } 70 \text{ cms}$$

MORENO Y OSORNO (1999) trabajando en el mismo suelo de textura arcillosa estudiado por Ortiz, determinaron para éste una ecuación de predicción de la densidad aparente, además de otras ecuaciones para suelo franco y franco arcilloso respectivamente. Las ecuaciones fueron las siguientes:

$$\text{Suelo franco arcilloso: } Da = 2.0821 - 0.0232 H, \text{ con } r = -0.9458$$

$$\text{Suelo franco: } Da = 2.16237 - 0.02141 H, \text{ con } r = -0.9527$$

$$\text{Suelo arcilloso: } Da = 1.029 - 0.01555 H, \text{ con } r = -0.9506$$

Observando que el valor de la densidad aparente varía en forma inversa con el contenido de humedad, lo cuál indica que la densidad aparente no es un valor constante, y que su comportamiento se ajusta a una ecuación lineal de la forma:

$$Da = a + bx$$

Donde a y b son constantes de la ecuación.

GONZALEZ (1983) y GUROVICH (1985), citado por **ORTIZ (1990)**, indican que la densidad aparente es afectada por las características de expansión y contracción del suelo que dependen del contenido de humedad. Esto es especialmente importante cuando el suelo presenta altos contenidos de arcilla expandible.

1.1.4. El suelo como un medio poroso. El suelo puede dejar pasar agua a través de él dado que se trata de un medio poroso, con un sistema de poros interconectados. En campo, raramente se dan unas condiciones de equilibrio termodinámico en el sistema suelo agua. El movimiento del agua en forma líquida en muchos casos, puede explicarse como el resultado de diferencias de potencial hidráulico entre distintos puntos.

1.2 EL AGUA EN EL SUELO:

AMEZQUITA (1995) dice que el agua en el suelo es retenida por fuerzas de adhesión, cohesión y capilaridad. El fenómeno de adhesión ocurre cuando láminas moleculares de agua se ponen en contacto con partículas de suelo; el de cohesión cuando más láminas de agua se unen a las láminas adheridas, y el de capilaridad cuando las láminas cohesionadas encuentran los poros del suelo.

Desde el punto de vista agrícola es interesante considerar tres tipos de tamaños de poros: macro, meso y microporos. En los primeros el agua se mueve libremente obedeciendo a la ley de la gravedad; siendo estos los poros de drenaje y de aireación del suelo. En los segundos, los mesoporos, se almacena el agua aprovechable, la cual es definida como la cantidad de agua en base a volumen o lámina que se ubica entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). La capacidad de campo, es la máxima cantidad de agua (%) que puede retener un suelo contra la gravedad después de que se ha mojado abundantemente y ha drenado por 48 ó 72 horas. Preferiblemente debe determinarse en el campo.

El punto de marchitez permanente se ha definido como la cantidad de agua presente en el suelo cuando un cultivo se marchita permanentemente.

Usualmente la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente se han determinado en el laboratorio sometiendo muestras disturbadas o indisturbadas a equilibrio con presiones correspondientes a 0.3 (CC) y 15(PMP) bares, sin embargo, esta metodología no puede ser tan precisa como hacerlo bajo las condiciones de campo y de manejo en que se esté trabajando.

GUROVICH (1999) anota que la medición del contenido de agua del suelo tiene fundamental importancia para el riego y la lámina de agua a reponer en el suelo durante el riego, siendo la capacidad de campo un parámetro muy importante para esta determinación.

DONAHUE (1981) considera importante la determinación de la textura y el contenido de materia orgánica para conocer la cantidad de agua que un suelo puede retener. Además, define la capacidad de campo como el porcentaje de humedad que es retenido a 1/3 de bar y es la medida de la mayor cantidad de agua que un suelo retendrá bajo condiciones de completa humedad después de que este ha drenado libremente.

PORTA, LOPEZ-ACEVEDO Y ROQUERO (1994). Definen la capacidad de campo como el contenido de agua en el suelo después de 48 horas de un riego o

de una lluvia abundante. Se supone que transcurrido este tiempo empieza un drenaje lento del agua contenida en el suelo. Se trata de cierta medida del contenido máximo de agua que puede retener el suelo cuando la mayoría de la macroporosidad está ocupada por aire.

GAVANDE (1987). Considera que la capacidad de campo como un valor que no es único en el suelo; y que como consecuencia del sistema dinámico que es el suelo y de los muchos factores modificantes, la capacidad de campo debe considerarse como característica de las condiciones de campo, y por lo tanto, solo puede ser determinada con exactitud en el campo.

MORENO Y OSORNO (1999). En su tesis de grado realizaron la determinación de ecuaciones de capacidad de campo para tres tipos de suelos presentes en la Ciudadela Universitaria Puerta Roja, las cuales fueron las siguientes:

$$\text{Suelo franco arcilloso: } C.C = 0.6159 (\% A) + 0.4013 (\% L) + 0.1437 (\% Ar) - 3.1215 (\% M.O)$$

$$\text{Suelo franco: } C.C = 0.0723 (\% A) + 0.1401 (\% L) + 0.0326 (\% Ar) + 11.9411 (\% M.O)$$

$$\text{Suelo arcilloso: } C.C = 0.8261 (\% A) + 0.9437 (\% L) + 0.0796 (\% Ar) - 0.9550 (\% M.O)$$

También en otros estudios realizados fuera del país por otros autores, estos encontraron las siguientes ecuaciones:

- Sawchik, 1989:

Para horizontes A de textura media a pesada, encontró que:

$$CC = 21.977 - 0.681 * (\% arena) + 2.601 * (\% Materia orgánica) + 0.127 * (\% arcilla)$$

Para el caso de los suelos arenosos:

$$CC = 8.658 + 2.571 * (\% \text{ Materia orgánica}) + 0.296 * (\% \text{ Limo})$$

- Gupta-Larson, 1979: $CC = (3,075 \times b) + (5,886 \times c) + (8,039 \times d) + (2,208 \times e) - (14,340 \times f)$
- Rawls et al, 1982: $CC = 0,2576 - (0,0020 \times b) + (0,0036 \times d) + (0,0299 \times e)$
- Delgado y Barreto, 1988: $CC = 29,06 - (0,290 \times b) - (0,253 \times c) + (0,135 \times d) + (2,56 \times e)$
- Malavé, N. 1991: $CC = 23,953 - (0,2228 \times b) + (4,6436 \times e)$

Donde: b = arena (%), c = limo (%), d = arcilla (%), e = materia orgánica (%), f = densidad aparente (Mg.m-3)

Así mediante análisis fáciles de realizar en el laboratorio (como la textura y la materia orgánica), se puede tener una información más precisa de la capacidad de almacenaje de un suelo. Esquemáticamente se puede hacer referencia al valor de capacidad de campo (CC) como aquel donde se tiene un 100 % de agua disponible y al punto de marchitez permanente (PMP) donde el agua disponible es cero

• PARTE 2

1.3. CONCEPTOS IMPORTANTES SOBRE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

A continuación se enunciarán algunos conceptos de interés para la realización de un análisis de datos:

1.3.1. Regresión lineal múltiple.

CANAVOS(1999) asegura que en muchas aplicaciones prácticas generalmente existe más de una variable independiente que ayuda a explicar la variabilidad de una variable dependiente considerada de interés. Esto es, supóngase que se tienen k variables independientes o explicativas, y que el modelo poblacional que relaciona estas variables está dado por el modelo de regresión lineal múltiple siguiente:

$$Y = B_0 + B_1X_{1i} + B_2X_{2i} + \dots + B_kX_{ki} + \mathcal{E}_i$$

Donde

i : indica uno de los valores de la población para cada variable

B_0 : es la ordenada al origen

B_i : es la pendiente de la relación lineal entre Y y X_i

\mathcal{E}_i : término de error

Los coeficientes se llaman coeficientes de regresión parcial, e indican la influencia parcial de cada variable independiente sobre Y , cuando se mantiene constante la influencia de las otras variables independientes.

Para estimar los parámetros del modelo se utiliza la información de una muestra de n observaciones de las k variables independientes y de Y . Se quiere encontrar la recta de regresión múltiple que ajuste mejor a esos datos, y usar los

coeficientes de esa ecuación como estimadores de los parámetros de la línea de regresión múltiple.

1.3.2. Determinación del mejor conjunto de variables de predicción

MONTGOMERY y RUNGER (1998). Indican que un problema muy importante del análisis de regresión es determinar cuales de las variables de predicción en la lista inicial deberán incluirse en el modelo de regresión.

Un procedimiento que es muy recomendable para determinar el mejor conjunto de variables de predicción por incluir en la ecuación de regresión es calcular y comparar todas las posibles ecuaciones de regresión.

Para evaluar y comparar las ecuaciones de regresión, de manera especial dentro del contexto de todas las posibles regresiones, es necesario tener criterios efectivos.

Dos de los criterios más útiles son el del cuadrado medio del error (CME) y el criterio C_p . Con el propósito de tener un panorama mas completo, también se estudiará el coeficiente de correlación múltiple R^2 .

1.3.2.1. El criterio del cuadrado medio del error, CME.

Dado que el CME es la suma de los cuadrados de los residuos dividida entre el número de grados de libertad de la sumatoria del cuadrado del error (SCE), CME toma en cuenta el número de parámetros en el modelo a través del número de grados de libertad. Mientras que la suma de los cuadrados de los errores no puede aumentar si se permiten más variables en el modelo, no ocurre lo mismo con el cuadrado medio del error si la reducción en el valor de SCE es tan pequeña que no puede compensar la pérdida del número de grados de libertad adicionales

1.3.2.2. El criterio C_p . Es el criterio de selección de la mejor ecuación de regresión ($C_p \approx p$).

$$C_p = (SCE/CME_t) - (n - 2p)$$

Donde:

P: es el número de variable que intervienen en la ecuación de regresión.

SCE: es la suma de los cuadrados de los errores para la ecuación de regresión, la cual contiene **p** variables.

CME_t : es el cuadrado medio del error basado en todas las variables de predicción.

n: es el número de datos utilizados para la realización de la regresión múltiple.

Los valores deseables de C_p para la bondad del ajuste de una ecuación de regresión que contiene p variables son aquellos que se encuentran muy cercanos a p .

Cuando se obtienen todas las posibles regresiones, se calcula un valor de C_p para cada caso.

1.3.3. Coeficiente de correlación múltiple, R^2 . Además de considerar a CME y a C_p , también se debe considerar al coeficiente de correlación múltiple R^2 para evaluar las ecuaciones de regresión. Dado que R^2 varía en forma inversa a la suma de los cuadrados de los errores, R^2 aumentará conforme se añadan más variables al modelo de regresión y R^2 alcanzará su valor máximo cuando todas las variables de predicción se encuentren en la ecuación de regresión. Por lo tanto, la razón para emplear a R^2 como un criterio no es la de encontrar el conjunto de variables que maximiza R^2 , sino más bien determinar el punto más allá del cual sumar más variables no es deseable, ya que el incremento que se tiene en R^2 es mínimo.

Entonces, para la selección de la mejor ecuación de regresión se tomará en cuenta aquella ecuación que cumpla con los siguientes criterios:

$C_p \approx p$

Ecuación con menor CME, y

Ecuación con mayor R^2

1.3.4. Análisis de residuos o residuales. Para determinar si un modelo de regresión es lineal o no en las variables de predicción, se grafican los residuos contra los correspondientes valores de cada una de las variables de predicción que figuran en la ecuación de regresión. Finalmente, para determinar si una variable de predicción, potencialmente importante, debe incluirse o no en el modelo de regresión, se grafican los residuos contra los valores de esta variable. Si la ecuación de regresión estimada está prácticamente libre de cualquier deficiencia o violación de suposiciones, entonces los residuos estandarizados tenderán a encontrarse dentro de una banda horizontal centrada alrededor del valor cero, sin ninguna tendencia sistemática a ser positivos o negativos, y en forma muy rara se encontrarán fuera del intervalo ± 3 . Cualquier desviación significativa con respecto a este comportamiento indicará la existencia de un problema: la ecuación de regresión puede no ser lineal en las variables de predicción, la varianza del error puede no ser constante y una o más de las variables de predicción que ejercen una influencia importante pueden no estar incluidas en el modelo.

1.3.5. Prueba de Hipótesis en el análisis de la recta de regresión lineal simple. Según Martínez (2000) debe hacerse el planteamiento de dos hipótesis; siendo la primera la que pruebe la no-linealidad de las variables estudiadas y la segunda la que pruebe la linealidad. Entonces se debe calcular un valor t y otro se debe buscar en tablas de Distribución t de Student de donde t calculado debe ser mayor que el t tabulado, con lo cual se probará la linealidad de la recta de

regresión obtenida, complementándose esto con un gráfico de distribución de probabilidad t de Student.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. MATERIALES

2.1.1. Localización. El trabajo se realizó en tres tipos de suelos (Arcilloso, franco y franco-arcilloso) que se encuentran presentes en la ciudadela Universitaria Puerta Roja, ubicada en el municipio de Sincelejo, 9°18" latitud norte y 75° 27" longitud oeste, y con una altura de 200 metros sobre el nivel del mar.

2.1.2. Información climática. Según la clasificación realizada por Holdridge, citado por Alviz, Ruíz y Vergara (1987) la zona de estudio corresponde al bosque seco tropical (bs-T) con una temperatura media ambiental de 27.5 °C y una precipitación promedio anual de 1087 mm. En cuanto a la humedad relativa del ambiente (HR) esta presenta un valor promedio de 77% con variaciones similares a las que presenta la precipitación.

2.1.3. Información de los suelos estudiados. Los suelos seleccionados para la realización del presente estudio se encuentran localizados en la Ciudadela Universitaria Puerta Roja (Universidad de Sucre). La ubicación exacta de estos suelos se presenta en el Anexo 3.

2.1.4. Materiales de Laboratorio: Se utilizaron los equipos y reactivos necesarios para las pruebas de laboratorio requeridos en este estudio, como son: capacidad de campo, textura, % de materia orgánica y densidad aparente.

2.2. Métodos

2.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo. Preliminarmente basados en el estudio de suelos de la Ciudadela Universitaria Puerta Roja realizado por Alviz, Ruiz y Vergara (1987), se ubicaron los sitios de muestreo correspondientes a un suelo arcilloso, franco y franco-arcilloso.

Para verificar la exactitud de la ubicación se realizó el análisis de textura de cada suelo a estudiar, correspondiendo a las texturas escogidas.

2.2.2. Determinación de capacidad de campo in-situ Para esta prueba se adoptó la metodología propuesta por el Centro Internacional de Investigaciones de Aguas y Tierras (CIDIAT), para estudios con fines de riego; el cual recomienda tomar una hectárea como representativa del suelo a estudiar; de esta hectárea se toman cinco puntos para realizar la prueba; pero para esta investigación se tomaron diez puntos para una mayor representatividad. En cada punto seleccionado se retiró la vegetación en un área de 1 m², este metro cuadrado se delimitó mediante un pequeño dique de 7 cm. de altura el cual se compactó bien para evitar la escorrentía de la lámina aplicada. Posteriormente se llenaron las áreas delimitadas con agua hasta

que el suelo se saturó; para verificar la saturación, se esperó hasta que el suelo mantuviera una lámina delgada de agua por un espacio de 24 a 36 horas aproximadamente. Una vez que el agua desaparece de la superficie se cubre (el metro cuadrado en estudio) con plástico para evitar la evaporación del agua y se descubre únicamente al momento de tomar las muestras.

2.2.3. Descripción de perfil de los suelos estudiados. Para esta descripción de perfiles se hicieron calicatas de 1 m. de largo, por 1 m. de ancho por 1 m. de profundidad, en el caso del suelo arcilloso se profundizó hasta 1.10 m. En estas calicatas se estudiaron características como la textura, estructura, color y consistencia; esto con el fin de observar el estado actual de los suelos en estudio. (Ver Anexo 3)

2.3. TRABAJO DE LABORATORIO

2.3.2. Determinación de la capacidad de campo por el método de las ollas de presión. Para esta prueba se tomaron muestras de suelo con el barreno de toma de muestras indisturbadas, en una cantidad de una por cada suelo a estudiar, luego estas muestras se enviaron al laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en Santafé de Bogotá para su posterior análisis.

2.3.3. Determinación de capacidad de campo por el método propuesto por el

Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre. Para esta prueba se tomaron muestras con el barreno para muestras indisturbadas en una cantidad de diez por cada suelo a estudiar; esto con el fin de obtener mejores resultados al aplicar el análisis estadístico de los datos en mención.

Para la toma de estas muestras se retiran los cinco primeros centímetros de la superficie del suelo y se introduce el barreno para obtener la muestra. A continuación a cada una de estas muestras es colocada en un cilindro patrón de permeámetro y sumergidas en un balde con agua para saturarlas por un tiempo de 24 a 36 horas, luego de que la muestra esté saturada se deja drenar de 12 a 15 horas el suelo franco, y de 24 a 36 horas el suelo arcilloso. Después de que el drenaje termina se considera que el suelo está en capacidad de campo.

A continuación se procede a destapar el cilindro patrón de permeámetro, se saca el cilindro de suelo y se toma de éste una muestra del tercio medio para determinar el porcentaje de humedad, correspondiendo éste al valor de capacidad de campo.

A continuación se resume en el cuadro 1 los análisis de campo y laboratorio fundamentales para la realización de este trabajo.

Cuadro 1. Determinaciones físicas de campo y laboratorio

DETERMINACIÓN FÍSICA	METODO UTILIZADO
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de campo in situ • Capacidad de campo en el laboratorio de suelos y aguas de UNISUCRE • Capacidad de campo en el IGAC • Densidad aparente • Textura • Materia Orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Método gravimétrico • Método propuesto por el laboratorio de suelos y aguas de UNISUCRE • Ollas de presión • Método del cilindro • Método de Bouyoucos • Walkley-Black

2.4. TRABAJO DE OFICINA

Con los datos obtenidos del análisis textural, análisis de la materia orgánica y densidad aparente, se procede a la formulación de ecuaciones lineales de capacidad de campo para cada uno de los suelos estudiados.

Estas ecuaciones fueron obtenidas mediante la herramienta Análisis de datos del paquete de Office “ Microsoft Excel 2000 “, para lo cual se realizaron todas las regresiones posibles (30 regresiones lineales múltiples por cada suelo en estudio).

2.5. Determinación de la constante de relación k.

La determinación de la constante de relación **k** entre el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre para la determinación de la capacidad de campo y los métodos convencionales: in-situ y de ollas de presión se hizo mediante un análisis de relación.

Método Laboratorio de Suelos y Aguas Unisucre = **k** Método de campo in-situ

Método Laboratorio de Suelos y Aguas Unisucre = k Método de ollas de presión

Al obtener el valor de k se podrá definir con cual de los métodos convencionales correlaciona mejor el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre y el nivel de confiabilidad que presenta el método en estudio.

3. RESULTADOS Y ANALISIS

3.1. DETERMINACION DE LAS ECUACIONES DE CAPACIDAD DE CAMPO DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Para la determinación de las ecuaciones de capacidad de campo se llevó a cabo un análisis estadístico de regresión lineal múltiple con la información de propiedades físicas mostrada en los cuadros 2, 3 y 4. Para este análisis se tomó como variable dependiente la capacidad de campo y como variables independientes se tomaron la arcilla, arena, limo, materia orgánica y densidad aparente. Luego mediante la ayuda de Microsoft Excel 2000 se obtuvieron 30 ecuaciones lineales de regresión múltiple para cada tipo de suelo, las cuales comprendieron a 30 combinaciones diferentes entre la variable dependiente y la(s) variable(s) independiente(s). En este análisis también se obtuvieron gráficos de residuos para cada variable independiente seleccionada como influyente en el modelo o ecuación, según los tres criterios anotados en la metodología: C_p , CME y R , aclarando que el cumplimiento de dichos criterios de selección de la mejor ecuación se cumplieran al mismo tiempo.

En los Anexos 21, 22 y 23 pueden observarse los resultados del análisis estadístico que se obtuvo.

Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo arcilloso.

SITIO	CC <i>in-situ</i>	%Ar	%A	%L	%M.O	D.ap (gr/cc)
1	45.85	50.00	18.70	31.30	2.03	1.05
2	47.77	47.40	20.20	32.40	2.05	1.03
3	45.07	49.40	14.00	36.60	2.14	1.07
4	45.75	48.60	14.40	37.00	2.09	1.06
5	44.20	48.80	21.10	30.10	2.22	1.08
6	43.71*	50.10	15.80	34.10	2.13	1.07
7	44.78*	49.70	16.76	33.54	2.20	1.04
8	43.78*	46.20	22.50	31.30	2.40	1.06
9	41.80*	43.76	19.80	36.44	2.24	1.10
10	41.42*	46.04	22.94	31.02	2.50	1.09

*Tomados de Moreno y Osorno (1999)

Cuadro 3. Propiedades físicas del suelo franco.

SITIO	CC <i>in-situ</i>	%Ar	%A	%L	%M.O	D.ap (gr/cc)
1	33.69	21.33	39.57	39.10	1.62	1.17
2	33.12	20.47	44.00	35.53	1.55	1.16
3	32.89	20.90	41.86	37.24	2.26	1.18
4	33.25	21.19	43.29	35.53	2.33	1.17
5	29.90	19.90	37.43	42.67	1.42	1.21
6	29.34	21.47	44.29	34.24	1.87	1.22
7	33.89	19.04	46.86	34.10	1.68	1.16
8	32.94	20.19	40.14	39.67	1.55	1.18
9	31.23	19.61	42.00	38.39	1.75	1.19
10	30.66	20.75	40.29	38.96	1.29	1.20

Cuadro 4. Propiedades físicas del suelo franco-arcilloso.

SITIO	CC <i>in-situ</i>	%Ar	%A	%L	%M.O	D.ap (gr/cc)
1	31.71	34.40	29.92	35.68	1.55	1.29
2	32.26	38.21	28.85	32.93	1.68	1.28
3	28.71	38.82	27.94	33.24	1.54	1.31
4	32.01	37.60	30.84	31.56	2.07	1.30
5	31.42	32.11	32.21	35.68	1.14	1.29
6	29.08	37.76	22.75	39.50	1.42	1.32
7	34.30	30.58	25.19	44.23	1.94	1.28
8	30.05	29.21	24.89	45.91	1.75	1.30
9	32.17	31.04	25.80	43.16	1.43	1.29
10	33.25	32.11	26.26	41.63	1.24	1.27

A continuación se muestran tres cuadros que resumen las estadísticas de selección de las ecuaciones para los suelos estudiados

Cuadro 5. CRITERIOS DE BONDAD DE AJUSTE PARA TODAS LAS POSIBLES REGRESIONES. DATOS DEL SUELO ARCILLOSO

Variables de predicción	P	R²	SCR	CME	Cp
Ar	2	0.3000	22.69	2.84	26.41
A	2	0.1436	27.76	3.47	33.66
L	2	0.0009	32.38	4.05	40.26
M.O	2	0.6195	12.33	1.54	11.61
D.ap	2	0.7500	8.10	1.01	5.57
Ar,A	3	0.3032	22.59	3.23	28.27
Ar,L	3	0.3032	22.59	3.23	28.27
Ar,M.O	3	0.6325	11.91	1.70	13.01
Ar,D.ap	3	0.7631	7.68	1.10	6.97
A,L	3	0.3032	22.59	3.23	28.27
A,M.O	3	0.6494	11.36	1.62	12.23
A,D.ap	3	0.7865	6.92	0.99	5.89
L,M.O	3	0.6861	10.17	1.45	10.53
L,D.ap	3	0.7745	7.31	1.04	6.44
M.O,D.ap	3	0.8928	3.48	0.50	0.97
Ar,A,L	4	0.3032	22.59	3.76	30.27
Ar,A,M.O	4	0.6872	10.14	1.69	12.49
Ar,A,D.ap	4	0.7865	6.92	1.15	7.89
Ar,L,M.O	4	0.6872	10.14	1.69	12.49
Ar,L,D.ap	4	0.7865	6.92	1.15	7.89
Ar,M.O,D.ap	4	0.8948	3.41	0.57	2.87
A,L,M.O	4	0.6872	10.14	1.69	12.49
A,L,D.Ap	4	0.7865	6.92	1.15	7.89
A,M.O,D.ap	4	0.8975	3.32	0.55	2.74
L,M.O,D,ap	4	0.8945	3.42	0.57	2.89
Ar,A,L,M.O	5	0.6872	10.14	2.03	14.49
Ar,A,L,D.ap	5	0.7865	6.92	1.38	9.89
<u>Ar,L,M.O,D.ap</u>	5	0.8977	3.31	0.66	4.73
A,L,M.O,D.ap	5	0.8976	3.31	0.66	4.73
Ar,A,L,M.O,D.ap	6	0.9129	2.82	0.70	6.00

A: %arcilla; A: %arena; L: %limo; M.O: %materia orgánica y D.ap: Densidad aparente (gr./cc)

Cuadro 6. CRITERIOS DE BONDAD DE AJUSTE PARA TODAS LAS POSIBLES REGRESIONES. DATOS DEL SUELO FRANCO

Variables de predicción	P	R²	SCR	CME	Cp
Ar	2	0.0143	24.36	3.04	87.69
A	2	0.0991	22.26	2.78	79.62
L	2	0.0792	22.75	2.84	81.50
M.O	2	0.0794	22.75	2.84	81.50
D.ap	2	0.9304	1.72	0.21	0.62
Ar,A	3	0.1038	22.14	3.16	81.15
Ar,L	3	0.1037	22.15	3.16	81.19
Ar,M.O	3	0.1347	21.38	3.05	78.23
Ar,D.ap	3	0.9388	1.51	0.22	1.81
A,L	3	0.1039	22.14	3.16	81.15
A,M.O	3	0.1297	21.51	3.07	78.73
A,D.ap	3	0.9366	1.59	0.22	2.12
L,M.O	3	0.1067	22.68	3.15	83.23
L,D.ap	3	0.9328	1.66	0.24	2.38
M.O,D.ap	3	0.9384	1.52	0.22	1.85
Ar,A,L	4	0.1586	20.79	3.48	77.96
Ar,A,M.O	4	0.1578	20.81	3.49	78.04
Ar,A,D.ap	4	0.9438	1.39	0.23	3.35
Ar,L,M.O	4	0.1578	20.81	3.47	78.04
Ar,L,D.ap	4	0.9438	1.39	0.23	3.35
Ar,M.O,D.ap	4	0.9419	1.43	0.24	3.50
A,L,M.O	4	0.1579	20.81	3.47	78.04
A,L,D.Ap	4	0.9438	1.39	0.23	3.35
A,M.O,D.ap	4	0.9516	1.20	0.20	2.62
L,M.O,D.ap	4	0.9485	1.27	0.21	2.88
Ar,A,L,M.O	5	0.1744	20.40	4.08	78.46
Ar,A,L,D.ap	5	0.9440	1.38	0.28	5.31
<u>Ar,L,M.O,D.ap</u>	5	0.9525	1.17	0.23	4.50
<u>A,L,M.O,D.ap</u>	5	0.9525	1.17	0.23	4.50
Ar,A,L,M.O,D.ap	6	0.9576	1.05	0.26	6.00

A: %arcilla; A: %arena; L: %limo; M.O: %materia orgánica y D.ap: Densidad aparente (gr./cc)

Cuadro 7. CRITERIOS DE BONDAD DE AJUSTE PARA TODAS LAS POSIBLES REGRESIONES. DATOS DEL SUELO FRANCO-ARCILLOSO

Variables de predicción	p	R²	SCR	CME	Cp
Ar	2	0.1919	22.61	2.83	15.74
A	2	0.0226	23.35	3.42	16.45
L	2	0.0477	26.65	3.33	19.63
M.O	2	0.0393	26.88	3.36	19.85
D.ap	2	0.7713	6.40	0.80	0.15
Ar,A	3	0.2563	20.81	2.97	16.01
Ar,L	3	0.2567	20.80	2.97	16.00
Ar,M.O	3	0.2587	20.74	2.96	15.94
Ar,D.ap	3	0.7731	6.35	0.91	2.11
A,L	3	0.2560	20.82	2.97	16.02
A,M.O	3	0.0638	26.20	3.74	21.19
A,D.ap	3	0.7737	6.33	0.90	2.09
L,M.O	3	0.0941	25.35	3.62	20.38
L,D.ap	3	0.7744	6.31	0.90	2.07
M.O,D.ap	3	0.8461	4.31	0.61	0.14
Ar,A,L	4	0.2611	20.68	0.45	17.88
Ar,A,M.O	4	0.3317	18.70	3.12	15.98
Ar,A,D.ap	4	0.7744	6.31	1.05	4.07
Ar,L,M.O	4	0.3321	18.70	3.11	15.98
<i>Ar,L,D.ap</i>	4	0.7744	6.31	1.05	4.07
Ar,M.O,D.ap	4	0.8513	4.16	1.69	2.00
A,L,M.O	4	0.3310	18.72	3.12	16.00
A,L,D.Ap	4	0.7744	6.31	1.05	4.07
A,M.O,D.ap	4	0.8482	4.25	0.71	2.09
L,M.O,D.ap	4	0.8513	4.16	0.69	2.00
Ar,A,L,M.O	5	0.3366	18.56	3.71	17.85
Ar,A,L,D.ap	5	0.7745	6.31	1.26	6.07
<i>Ar,L,M.O,D.ap</i>	5	0.8518	4.15	0.83	3.99
A,L,M.O,D.ap	5	0.8518	4.15	0.83	3.99
Ar,A,L,M.O,D.ap	6	0.8518	4.15	1.04	6.00

A: %arcilla; A: %arena; L: %limo; M.O: %materia orgánica y D.ap: Densidad aparente (gr./cc)

Para la selección de la mejor ecuación de predicción de capacidad de campo (CC) se escogen las más ajustadas a los criterios de selección CME y Cp.

Para la selección de la mejor ecuación de predicción de capacidad de campo (CC) se seleccionan de acuerdo al mínimo CME y $C_p \approx p$

Para el suelo arcilloso se seleccionan las regresiones que contienen: (Ar, L, M.O, D.ap), (A, L, M.O, D.ap) y (Ar, A, L, M.O, D.ap). De estas el mejor modelo de predicción es (Ar, L, M.O, D.ap).

Para el suelo franco se seleccionan las regresiones que contienen: (Ar, M.O, D.ap), (Ar, L, M.O, D.ap), (A, L, M.O, D.ap) y (Ar, A, L, M.O, D.ap). De estas el mejor modelo de predicción es (Ar, L, M.O, D.ap).

Para el suelo franco-arcilloso se seleccionan las regresiones que contienen a: (Ar, L, M.O, D.ap), (A, L, M.O, D.ap) y (Ar, A, L, M.O, D.ap). De estas el mejor modelo de predicción es (Ar, L, M.O, D.ap).

Como puede verse en los cuadros 5, 6 y 7 la ecuación que incluye todas las variables y que por su alta correlación parece la mejor de todas, no se toma debido a que el CME es bastante alto, por lo cual se obvia. También en la ecuaciones candidatas a mejores ecuaciones la arena no se incluye debido a que desde el punto de vista edáfico esta no es considerada como componente retenedor de humedad del suelo. Las ecuaciones seleccionadas son:

- **Suelo arcilloso:**

$$C.C = 120,674 - 0,067 \%Ar - 0,048 \%L - 6,537 \%M.O - 53,574 D.ap, R^2 = 0.8977$$

- **Suelo franco:**

$$C.C = 120,120 + 0,149 \%Ar + 0,075 \%L + 0,561 \%M.O - 80,114 D.ap, R^2 = 0.9525$$

- **Suelo franco-arcilloso:**

$$C.C = 162,434 - 0,022 \%Ar + 0,014 \%L + 1,696 \%M.O - 103,172 D.ap, R^2 = 0.8518$$

A continuación se observan los gráficos de los residuos.

- **GRAFICOS DE LOS RESIDUALES PARA EL SUELO ARCILLOSO**

Gráfico 1. Residuales para el %Ar en el suelo arcilloso

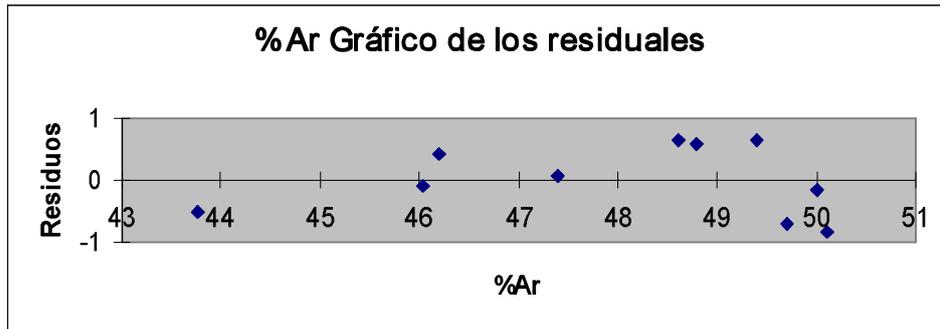


Gráfico 2. Residuales para el %L en el suelo arcilloso

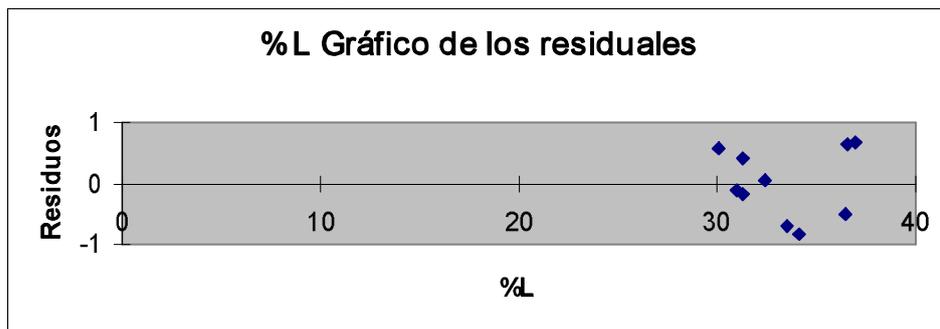


Gráfico 3. Residuales para el %M.O en el suelo arcilloso

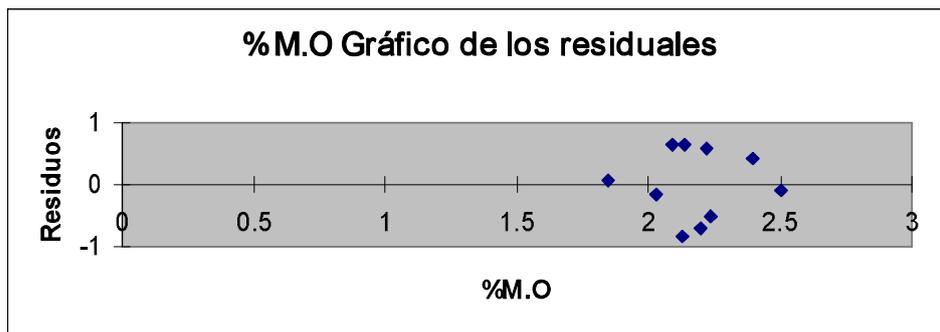
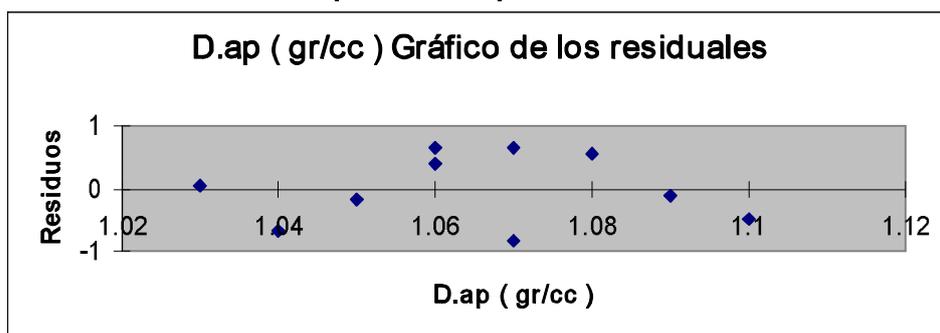


Gráfico 4. Residuales para la D.ap en el suelo arcilloso



- **GRAFICOS DE LOS RESIDUALES PARA EL SUELO FRANCO**

Gráfico 5. Residuales para el %Ar en el suelo franco

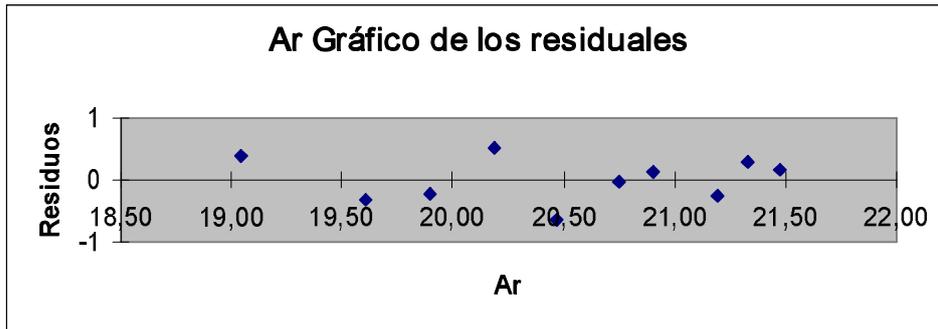


Gráfico 6. Residuales para el %L en el suelo franco

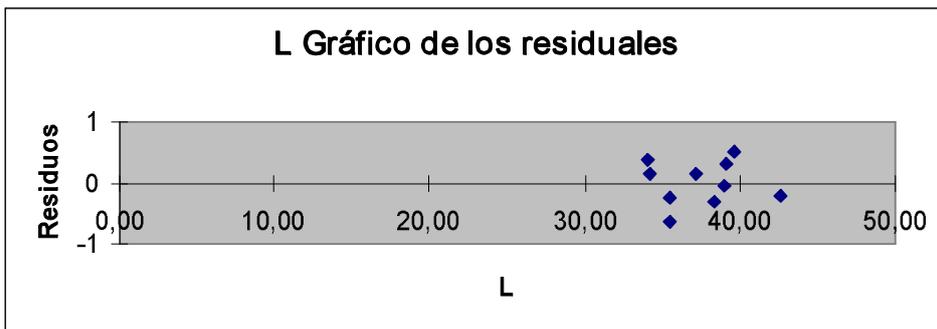


Gráfico 7. Residuales para el %M.O en el suelo franco

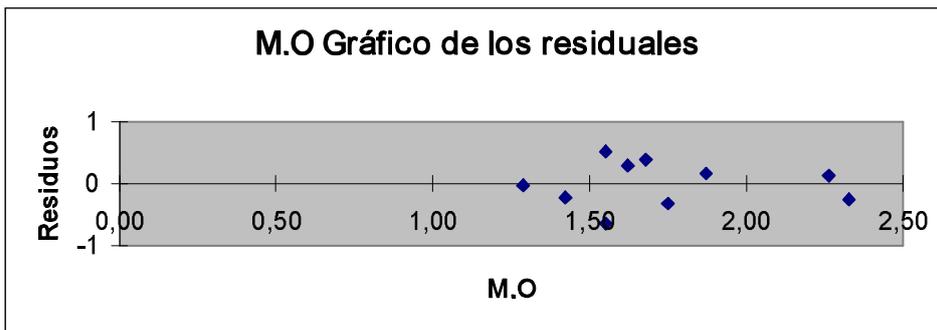
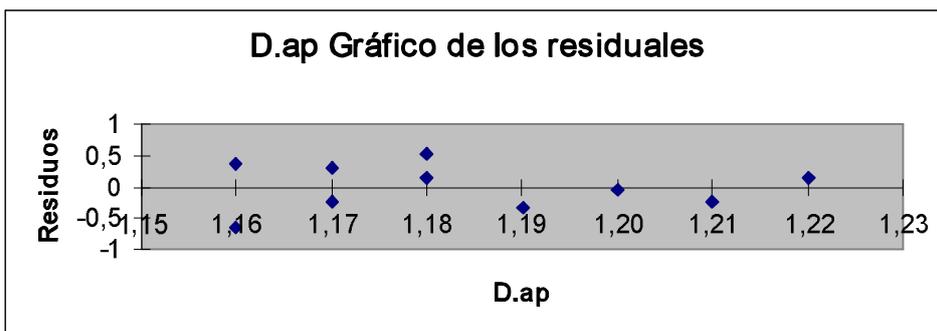


Gráfico 8. Residuales para la D.ap en el suelo franco



- **GRAFICO DE RESIDUALES PARA EL SUELO FRANCO ARCILLOSO**

Gráfico 9. Residuales para el %Ar en el suelo franco-arcilloso

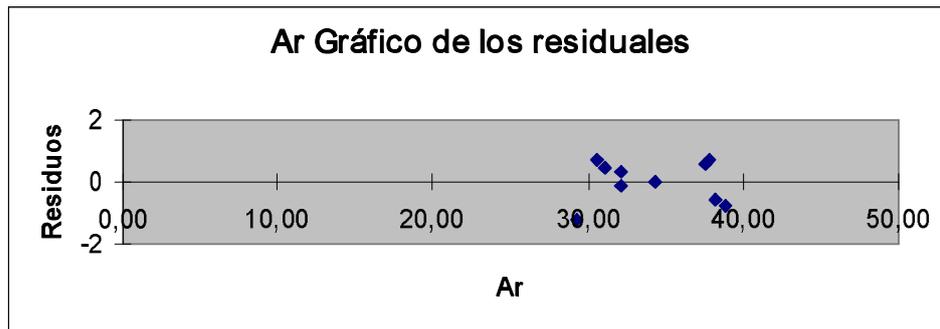


Gráfico 10. Residuales para el %L en el suelo franco-arcilloso

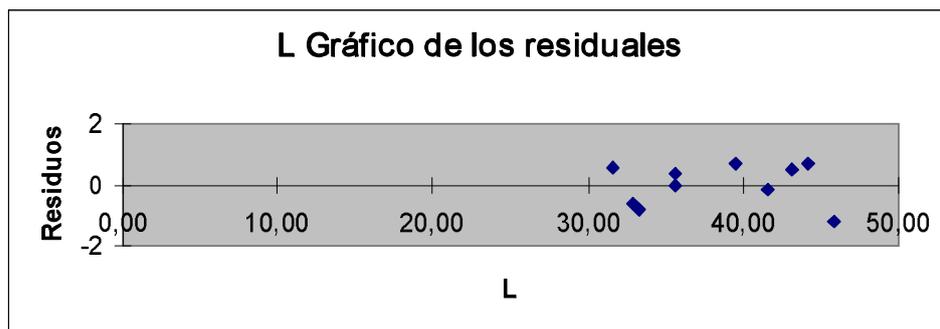


Gráfico 11. Residuales para el %M.O en el suelo franco-arcilloso

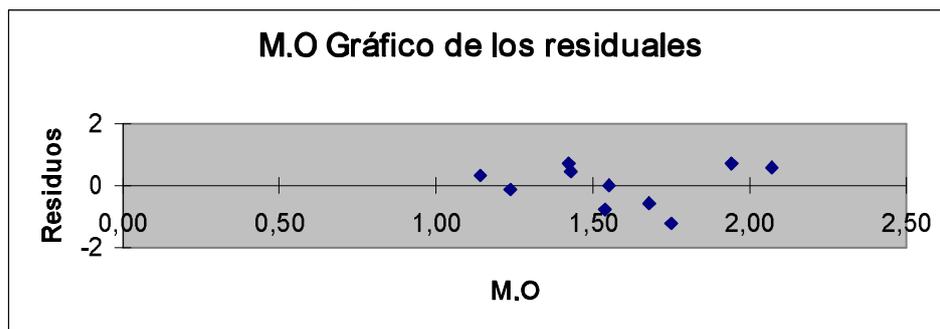
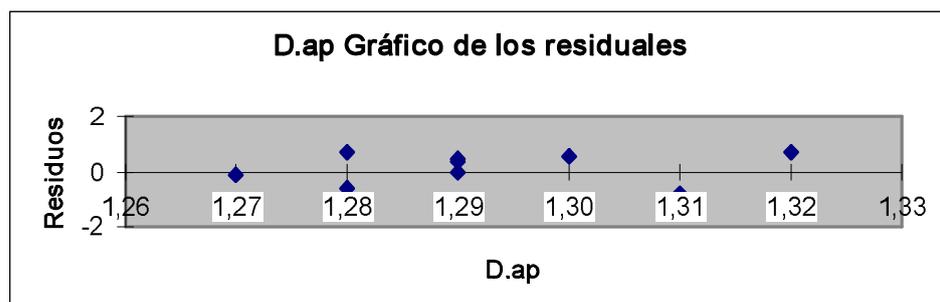


Gráfico 12. Residuales para la D.ap en el suelo franco-arcilloso



3.1.1. Análisis de las ecuaciones obtenidas para la predicción de la capacidad de campo.

3.1.1.1. Análisis de la ecuación obtenida para el suelo arcilloso: La ecuación seleccionada presentó un valor R^2 de 0.8977, esto quiere decir que el 89.77% de las variaciones de la capacidad de campo son explicadas por las variaciones del porcentaje de arcilla, limo, materia orgánica y la densidad aparente(gr/cc).

Observando los gráficos de los residuos para esta ecuación correspondientes a las variables arcilla, limo, materia orgánica y densidad aparente, se puede ver que estas gráficas presentan un intervalo vertical de +1 y -1 respectivamente, valores que son menores que el intervalo permitido ± 3 por lo que se puede decir que no existe ningún problema en la determinación de la ecuación, considerada como una ecuación lineal.

3.1.1.2. Análisis de la ecuación obtenida para el suelo franco: La ecuación seleccionada presentó un valor R^2 de 0.9525, lo que indica que esta ecuación explica 95.25% de las variaciones en la capacidad de campo, o lo que es lo mismo, los parámetros considerados en la ecuación son responsables del 95.25% del comportamiento de la capacidad de campo que son influidos por la cantidad de arcilla, limo, materia orgánica y la densidad aparente del suelo.

Los gráficos de residuos para esta ecuación, indican que es lineal al igual que la del suelo arcilloso.

La alta correlación entre las variables, en este suelo se debe principalmente a los componentes texturales de este suelo, los cuales están mejor balanceados que los del suelo arcilloso y franco-arcilloso.

3.1.1.3. Análisis para la ecuación obtenida para el suelo franco-arcilloso:

La ecuación seleccionada presentó un valor R^2 de 0.8518, lo que indica que esta ecuación explica 85.18% de las variaciones en la capacidad de campo.

El análisis de residuos de la ecuación muestra un comportamiento similar a las anteriores, y por consiguiente la ecuación es lineal al igual que la del suelo arcilloso y franco.

Los resultados anteriores nos muestran la relación entre la capacidad de campo y la textura y estructura del suelo, en este caso expresada en términos de la materia orgánica como estructurador y de la densidad aparente como expresión de relación entre sólidos y vacíos del suelo, lo cual es totalmente válido porque es el espacio poroso del suelo el que determina la retención de agua del mismo siendo la capacidad de campo la máxima expresión de esta retención. También se observa que las variables involucradas en las ecuaciones son las apropiadas, pues se obtuvo R^2 bastante altos considerando que el material de estudio es suelo.

3.2. Determinación de la capacidad de campo (CC).

Con el fin de obtener el coeficiente de relación entre el método propuesto por el Lab. Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre y los métodos convencionales.

3.2.1. Determinación de la capacidad de campo in-situ (CC *in-situ*). Para la determinación de la capacidad de campo por este método se seleccionaron por cada tipo de suelo diez (10) sitios. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 11.

Cuadro 8. Capacidad de campo in-situ (CC *in-situ*).

SITIO	TIPO DE SUELO		
	ARCILLOSO	FRANCO	FRANCO ARCILLOSO
1	45.85	33.69	31.71
2	47.77	33.12	32.26
3	45.07	32.89	28.71
4	45.75	33.25	32.01
5	44.20	29.90	31.42
6	43.71	29.34	29.08
7	44.78	33.89	34.30
8	43.78	32.94	30.05
9	41.80	31.23	32.17
10	41.42	30.66	33.25
Promedio	44.41	32.09	31.50

Los datos están expresados en porcentaje (%)

3.2.2. Determinación de la Capacidad de campo por el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre. Los resultados obtenidos en este ensayo se consignan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Capacidad de campo. Método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre

SITIO	TIPO DE SUELO		
	ARCILLOSO	FRANCO	FRANCO ARCILLOSO
1	44.03	34.11	33.22
2	43.98	33.80	33.10
3	44.35	34.16	33.04
4	45.02	33.67	32.06
5	44.82	30.01	37.61
6	45.04	31.09	34.98
7	44.88	34.54	37.13
8	44.92	33.02	34.61
9	45.01	32.14	33.05
10	44.71	31.76	33.97
Promedio	44.68	32.83	34.28

* Los datos están expresados en porcentaje (%)

3.2.3. Determinación de la Capacidad de campo. Método de las ollas de presión. De las muestras de cada suelo que fueron enviadas al IGAC se obtuvo la información que se consigna en el cuadro 10.

Cuadro 10. Resultados de análisis de humedad (%) a diferentes tensiones.

TENSIONES (atm.)	TIPO DE SUELO		
	ARCILLLOSO	FRANCO	FRANCO ARCILLOSO
0,1	57,15	37,22	54,25
0,3	45,08	30,28	43,31
1	41,24	23,34	35,44
5	37,39	21,07	30,12
15	33,41	18,61	22,28

De los datos anteriores se seleccionó el valor de capacidad de campo para los suelos arcilloso y franco arcilloso, tomando el porcentaje de humedad retenido a 0.3 atm. de tensión y para el suelo franco tomando el contenido de humedad del suelo retenido a 0.1 atm. de tensión.

Cuadro 11. Capacidad de campo. Método de las ollas de presión.

TIPO DE SUELO	CAPACIDAD DE CAMPO (%)
Arcilloso	45.08
Franco	37.22
Franco arcilloso	43.31

3.2.4. Análisis de los resultados de capacidad de campo. Al comparar los resultados obtenidos por los diferentes métodos, el de campo o *in-situ*, el propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre y el método de las Ollas de presión, se puede anotar que los valores más altos de capacidad de campo corresponden al suelo arcilloso, presentándose debido al alto contenido de arcillas de tipo 2:1 (montmorillonita), alta microporosidad, moderados contenidos de materia orgánica (1.85 a 2.50 %) y densidad aparente en el rango normal para este tipo de textura (1.03 a 1.10 gr/cc). Estas propiedades le confieren alta retención de humedad al suelo. La gran similitud entre los valores indica que cualquiera de los tres métodos es altamente confiable en este tipo de suelo.

Los suelos franco y franco arcillosos presentan valores de capacidad de campo similares en la determinaciones in-situ y mediante el método propuesto por la el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre y difieren un poco del valor obtenido mediante el método de ollas a presión, esta situación se explica porque en los dos primeros casos el agua drena libremente y la capacidad de campo se obtiene determinando el contenido de humedad del suelo cuando deja de drenar, mientras que en el método de las ollas de presión se obtiene el contenido de humedad a capacidad de campo a una tensión predeterminada que no siempre coincide con las condiciones reales del suelo, pudiendo ser un valor un poco menor que 0.3 atmósferas o un poco mayor que 0.1 atmósferas.

Estos resultados indican que el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre es de alta confiabilidad, para determinar la capacidad de campo con fines de planificación de riego, ya que los resultados son muy similares a los del método in-situ, recomendado por investigadores en suelos por considerarlo el más adecuado.

3.2.5. Determinación de la constante de relación k entre el Método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre y los métodos convencionales.

Se determinó una constante k que relaciona el método propuesto por la Universidad de Sucre, con los métodos convencionales (de campo y laboratorio) para cada tipo de suelo estudiado. En el cuadro 12 se consignan estos valores.

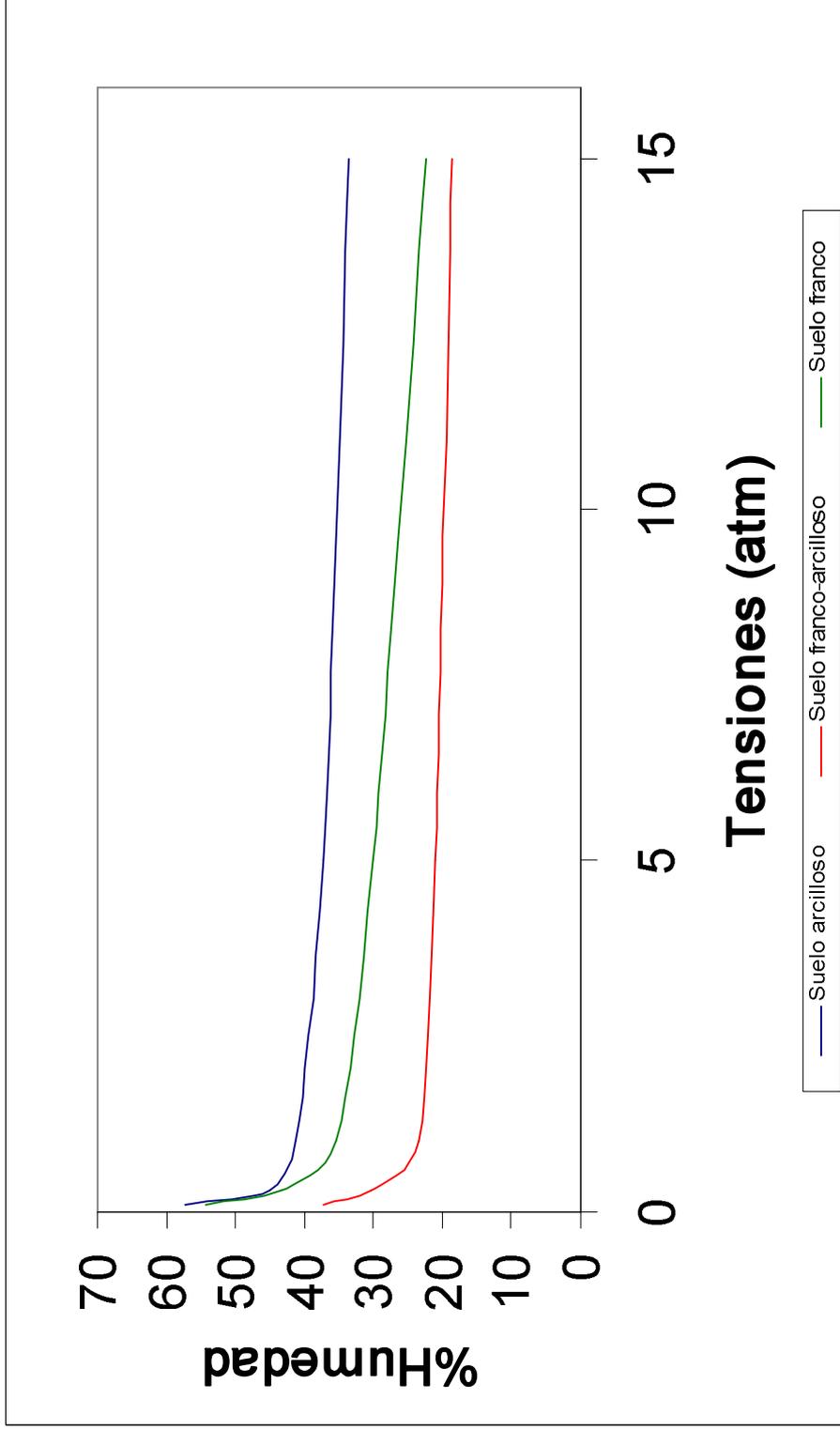
Cuadro 12. Constante de relación k entre el Método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre y los métodos convencionales.

TIPO DE SUELO	K	
	$C.C_{UNISUCRE}/C.C_{COLLA DE PRESION}$	$C.C_{UNISUCRE}/C.C_{IN-SITU}$
ARCILLOSO	0.977	0.960
	0.976	0.921
	0.984	0.984
	0.999	0.984
	0.994	1.014
	0.999	1.030
	0.996	1.002
	0.996	1.026
	0.998	1.077
	0.992	1.079
$K_{promedio}$	0.991	1.008
FRANCO	0.916	1.012
	0.908	1.021
	0.918	1.039
	0.905	1.013
	0.806	1.004
	0.835	1.060
	0.928	1.019
	0.887	1.002
	0.864	1.029
	0.853	1.036
$K_{promedio}$	0.882	1.023
FRANCO ARCILLOSO	0.767	1.048
	0.764	1.026
	0.763	1.151
	0.740	1.002
	0.868	1.197
	0.808	1.203
	0.857	1.083
	0.799	1.152
	0.763	1.027
	0.784	1.022
$K_{promedio}$	0.791	1.091

Al relacionar el Método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre con el método de campo, se encontraron valores de k , próximos a uno (1) presentando la mejor relación el suelo arcilloso con $k_{promedio} = 1.008$. Para el suelos Franco se obtuvo $k_{promedio} = 1.023$ y para el Franco arcilloso, $k_{promedio} = 1.091$ lo cual indica que existe muy buena correlación entre ellos y en consecuencia una alta confiabilidad del método en estudio por cuanto sus resultados son muy similares al método in-situ, que es el recomendado por los investigadores como el mejor. Se observa también que los valores de k obtenidos al comparar el método en estudio con el de las ollas de presión son un poco más bajos (0.991, 0.882 y 0.791 para los suelos arcilloso, franco y franco-arcilloso), pero dentro de rangos significativamente buenos, lo que indica que el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre es, en definitiva una excelente aproximación a los resultados que se obtienen mediante los métodos convencionales de campo y laboratorio.

3.2.6. Determinación de las Curvas de retención de humedad. Con los datos obtenidos del análisis de las muestras de los suelos enviadas al IGAC, cuadro 14, se trazaron las curvas de retención de humedad para cada suelo: Arcilloso, Franco y Franco-arcilloso, las cuales se presentan en el gráfico 13.

Gráfico 13. Curvas de retención de humedad



En el gráfico se observa que a mayor humedad registrada en el suelo, el potencial mátrico es menor, y a menor humedad del suelo mayor es el potencial mátrico; esto se explica porque las unidades estructurales de los suelos inicialmente retienen una fina película de agua alrededor de ellas por fuerzas de adhesión, pero al aumentar el contenido de agua la posibilidad de la fase sólida del suelo de retener el agua es cada vez menor y son las fuerzas de cohesión entre las moléculas de agua entre sí la que las retiene. Este comportamiento es el mismo para cualquier tipo de textura del suelo.

Sin embargo para una misma tensión, el contenido de humedad del suelo difiere dependiendo de su textura y estructura. Es decir, los agregados, retienen el agua a presiones variables que se relacionan principalmente con la naturaleza y organización de los componentes del suelo.

En general los suelos que presentan mayor contenido de arcillas, especialmente si son de tipo 2:1, como en este caso, se caracterizan por una mayor retención de humedad, ya que ellas permiten la entrada de agua al espacio interlamina lo que favorece la retención de humedad si se compara con texturas de menor contenido de arcillas.

En este caso, para las mismas tensiones el suelo franco retiene mas humedad que el suelo franco arcilloso, en un comportamiento atípico, esto se debe por una parte al mayor contenido de materia orgánica del suelo franco y por otra parte a un

problema de compactación incipiente que presenta el suelo franco arcilloso, por ser una zona tradicionalmente dedicada al pastoreo del ganado. Esta situación se refleja en los valores de densidad aparente un poco mas altos de lo normal para este tipo de texturas y en la observación directa del perfil. Anexos 3, 4 y 5.

Se puede observar también en el gráfico que la cantidad de agua retenida a potenciales matriciales bajos, 0.03 a 0.1 atmósferas, están relacionadas con el agua retenida a capacidad de campo y los potenciales matriciales altos, 10 a 15 atmósferas, están relacionadas con el agua retenida en el punto de marchitez permanente.

3.2.7. Determinación de la relación entre la densidad aparente y la humedad del suelo, y formulación de ecuaciones lineales. Para la realización de este estudio, se escogieron cuatro (4) sitios representativos en cada suelo y se hizo una medición diaria de densidad aparente y de humedad durante 12 días. Anexos 10 a 21. Para la obtención de las ecuaciones para el suelo Arcilloso, Franco y Franco arcilloso, se realizó un análisis de datos con ayuda del paquete de Office: Microsoft Excel 2000.

3.2.7.1. Determinación de ecuación de densidad aparente Vs. % Humedad para el suelo arcilloso. Para la determinación de esta ecuación se escogieron de todos los datos obtenidos para este suelo, los que se encuentran en el rango de humedad aprovechable.

Cuadro 16. Valores de %Humedad Vs. Densidad aparente para el suelo arcilloso.

%H	D.ap (gr/cc)	%H	D.ap(gr/cc)
44,78	1,06	34,04	1,17
34,45	1,16	41,80	1,12
42,63	1,08	41,56	1,06
40,16	1,10	35,37	1,16
40,01	1,09	33,47	1,18
43,73	1,07	34,35	1,16
39,84	1,10	39,92	1,09
39,45	1,11	40,59	1,10
44,13	1,06	37,70	1,13
34,84	1,16	36,23	1,15
41,90	1,08	41,42	1,11
37,16	1,13	34,14	1,16

La ecuación resultante fue la siguiente:

$$Dap = 1.5177 - 0.0103\%H , r = - 0.9529$$

Para comprobar que esta ecuación en verdad representa una ayuda para estimar la densidad aparente a diferentes contenidos de humedad, se llevó a cabo una prueba t , para lo cual se supusieron las siguientes hipótesis:

- ▶ $H_0 = \beta_1 = 0$ (No hay relación lineal entre la humedad y la densidad aparente)
- ▶ $H_a = \beta_1 \neq 0$ (Sí hay relación lineal entre la humedad y la densidad aparente)

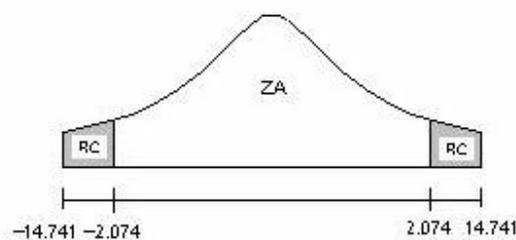
Microsoft Excel 2000 también arrojó los siguientes resultados:

$t_c = -14.741$ (t calculado)

$t_t = 2.074$ (t de tablas: para $v=22$ y 0.05 (95.5%))

Como $t_t > t_c$, aceptamos la hipótesis $H_a = \beta_1 \neq 0$, como lo podemos observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 14. Distribución t de Student para comprobar la utilidad de la ecuación de D.ap Vs.% Humedad para el suelo arcilloso



Donde: ZA, es llamada zona de aceptación de hipótesis H_0

RC, es la zona crítica o de aceptación de hipótesis H_a

3.2.7.2. Determinación de ecuación de densidad aparente Vs. Humedad para

el suelo franco. Para la determinación de esta ecuación se utilizaron los datos que se presentan a continuación, escogidos de la misma forma que los anteriores.

Cuadro 17. Valores de %Humedad Vs. Densidad aparente para el suelo franco.

%H	Dap (gr/cc)	%H	Dap (gr/cc)
27,83	1,23	27,07	1,25
28,47	1,22	26,75	1,24
28,17	1,24	28,67	1,22
30,04	1,23	26,45	1,25
27,86	1,25	26,01	1,26
30,22	1,22	21,48	1,29
29,36	1,23	20,81	1,30
25,74	1,26	28,38	1,24
29,36	1,23	27,28	1,25

La ecuación resultante es:

$$Dap = 1.4696 - 0.0083 \%H , \quad r = - 0.947$$

Para comprobar que esta ecuación en verdad representa una ayuda para estimar la densidad aparente a diferentes contenidos de humedad, se llevó a cabo una prueba t , para lo cual se supusieron las siguientes hipótesis:

- ▶ $H_0 = \beta_1 = 0$ (No hay relación lineal entre la humedad y la densidad aparente)
- ▶ $H_a = \beta_1 \neq 0$ (Sí hay relación lineal entre la humedad y la densidad aparente)

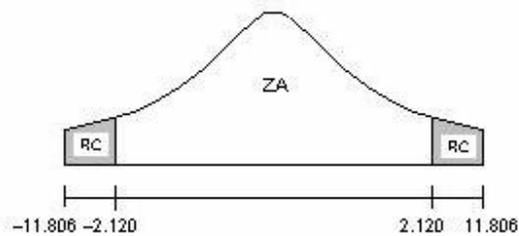
Microsoft Excel 2000, también arrojó los siguientes resultados:

$$t_c = -11.806 \text{ (t calculado)}$$

$t_t = 2.120$ (t de tablas: para $v=16$ y 0.05 (95.5%))

Como $t_t > t_c$, se acepta la hipótesis $H_a = \beta_1 \neq 0$, lo cual se puede observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 15. Distribución t de Student para comprobar la utilidad de la ecuación de D.ap Vs.% Humedad para el suelo franco



3.1.7.3. Determinación de ecuación de densidad aparente Vs. Humedad para el suelo franco-arcilloso. Al igual que los dos análisis anteriores para la determinación de esta ecuación se utilizaron los datos siguientes para la determinación de la ecuación de regresión:

Cuadro 18. Valores de %Humedad Vs. Densidad aparente para el suelo franco-arcilloso

%H	D.ap(gr/cc)	%H	D.ap(gr/cc)
23,56	1,27	26,68	1,25
23,11	1,28	29,17	1,22
24,07	1,26	29,11	1,22
24,95	1,26	28,58	1,23
24,36	1,27	29,34	1,21

24,37	1,24	28,84	1,22
22,94	1,28	28,05	1,23
25,02	1,26	24,13	1,27
22,31	1,28	24,24	1,26
26,72	1,24	28,16	1,23
27,39	1,23	25,60	1,25
25,56	1,25	24,05	1,27
27,20	1,24	25,42	1,26
28,01	1,23	31,52	1,20
28,35	1,25	28,28	1,23
26,02	1,25	24,71	1,26
29,33	1,22	27,57	1,24
25,95	1,25	26,95	1,24
27,15	1,24	24,35	1,27

La ecuación resultante es la siguiente:

$$Dap = 1.4724 - 0.0086 \%H \quad , \quad r = -0.8893$$

Para comprobar que esta ecuación en verdad representa una ayuda para estimar la densidad aparente a diferentes contenidos de humedad, se llevó a cabo una prueba t , para lo cual se supusieron las siguientes hipótesis:

- ▶ $H_0 = \beta_1 = 0$ (No hay relación lineal entre la humedad y la densidad aparente)
- ▶ $H_a = \beta_1 \neq 0$ (Sí hay relación lineal entre la humedad y la densidad aparente)

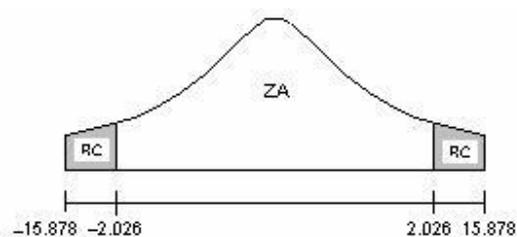
Microsoft Excel 2000 también arrojó los siguientes resultados:

$$t_c = -15.878 \text{ (t calculado)}$$

$$t_t = 2.026 \text{ (t de tablas: para } v=37 \text{ y } 0.05 \text{ (95.5\%))}$$

Como $t_t > t_c$, se acepta la hipótesis $H_a = \beta_1 \neq 0$, lo cual se puede observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 16. Distribución t de Student para comprobar la utilidad de la ecuación de D.ap Vs.% Humedad para el suelo franco-arcilloso



Nota: Para la búsqueda de t tabulado se usó el Anexo 26

Para observar la relación entre la densidad aparente y el contenido de humedad se presentan las siguientes gráficas para cada tipo de suelo estudiado:

Gráfico 17. Relación entre la humedad y la densidad aparente en el suelo arcilloso

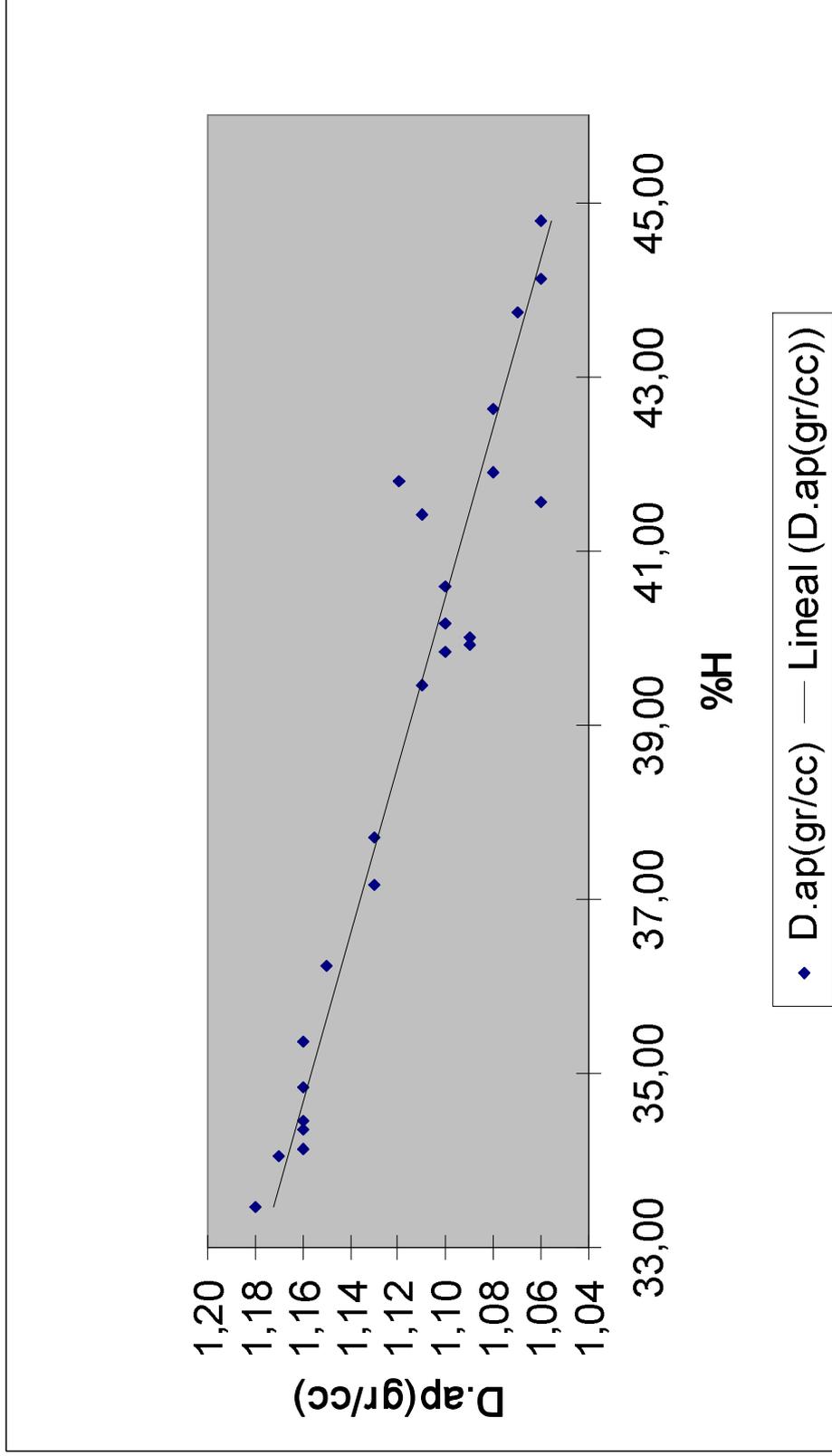
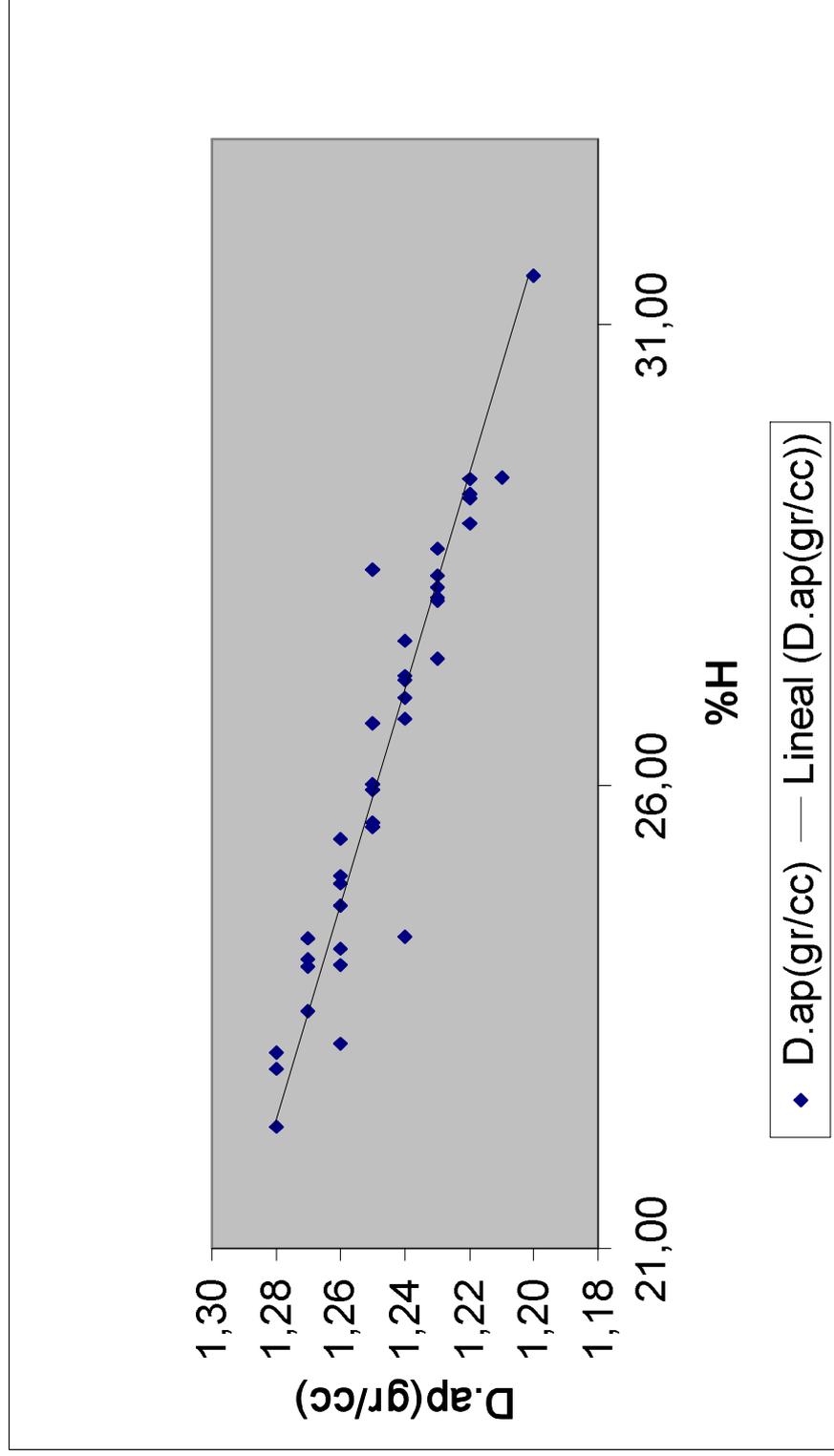


Gráfico 19. Relación entre la humedad y la densidad aparente en el suelo franco-arcilloso



3.1.8. Análisis de los gráficos de la relación entre la humedad y la densidad aparente de los suelos estudiados. Al observar los gráficos anteriores, estos nos indican que a mayor contenido de humedad menor es la densidad aparente, independientemente del tipo de suelo, pero esta variación es más significativa en el suelo arcilloso, mientras que el suelo franco y el franco-arcilloso presentan una disminución en la densidad aparente del 8% para un aumento en el contenido de humedad del 10%; el suelo arcilloso muestra una disminución del 11% para el mismo aumento de contenido de humedad, lo cual indica que la densidad aparente de un suelo debe ser referenciada al contenido de humedad al cual se obtiene. Esta consideración es muy importante en el cálculo de láminas de riego con fines de diseño y planificación del mismo.

4. CONCLUSIONES

- Se determinaron ecuaciones para la predicción de la capacidad de campo para los suelos arcilloso, franco-arcilloso y franco presentes en la Ciudadela Universitaria Puerta Roja, las cuales son las siguientes:

Suelo arcilloso:

$$C.C = 120,674 - 0,067 \%Ar - 0,048 \%L - 6,537 \%M.O - 53,574 D.ap, \quad R^2 = 0.8977$$

Rango de variación de entrada de datos: % Arcilla de 43 a 51; % Limo de 30 a 37; % Materia orgánica de 2.03 a 2.5 y Densidad aparente en gr/cc. de 1.03 a 1.10

Suelo franco:

$$C.C = 120,120 + 0,149 \%Ar + 0,075 \%L + 0,561 \%M.O - 80,114 D.ap, \quad R^2 = 0.9525$$

Rango de variación de entrada de datos: % Arcilla de 19 a 22; % Limo de 34 a 40; %Materia orgánica de 1.29 a 2.33 y Densidad aparente en gr/cc. de 1.16 a

1.22Suelo franco-arcilloso:

$$C.C = 162,434 - 0,022 \%Ar + 0,014 \%L + 1,696 \%M.O - 103,172 D.ap, \quad R^2 = 0.8518$$

Rango de variación de entrada de datos: % Arcilla de 29 a 39; % Limo de 31 a 46; % Materia orgánica de 1.14 a 2.07 y Densidad aparente en gr/cc. de 1.27 a 1.32.

- La constante de relación k obtenida, al comparar el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre para la determinación de la capacidad de campo, con los métodos convencionales indica que puede ser utilizado con seguridad ya que éste ofrece resultados confiables.

- La constante de relación k presenta un valor promedio cercano a 1 con el método de campo, lo que indica que el método propuesto por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre para los suelos estudiados en este trabajo se puede usar en reemplazo de éste.

- Se determinaron ecuaciones de densidad aparente con base en el contenido de humedad del suelo las cuales se consideran una valiosa herramienta para la determinación rápida de ésta. Considerando el alto valor de correlación obtenido, pueden sustituir sin detrimento de la veracidad de la información su determinación en los suelos estudiados. Las ecuaciones obtenidas son:

Suelo arcilloso: $Dap = 1.5177 - 0.0103\% H, \quad r = - 0.9529$

Suelo franco arcilloso: $Dap = 1.4696 - 0.0083\% H, \quad r = - 0.9471$

Suelo franco: $Dap = 1.4724 - 0.0086\% H, \quad r = - 0.889$

RECOMENDACIONES

- Para el caso de suelos correspondientes a las texturas estudiadas, en los cuales los valores de la densidad aparente y cualquier otra variable no correspondan a los rangos para los cuales fueron calculadas las ecuaciones, se recomienda usar la ecuación general obtenida con los datos de los tres suelos en conjunto y que se presenta en la última recomendación.
- Continuar con los estudios de determinación de ecuaciones de capacidad de campo, con base en propiedades del suelo, inicialmente con las mismas texturas pero con diferentes relaciones de fracción mineral conseguidas con el estudio de diferentes sitios, y posteriormente en otros tipos de suelo.
- Determinar en futuros estudios ecuaciones de punto de marchitez permanente, con el fin de calcular la humedad disponible del suelo, para los suelos estudiados en este trabajo y en los próximos.
- Continuar los estudios comparativos de determinación de capacidad de campo mediante el método propuesto por la Universidad de Sucre, con capacidad de

campo in-situ, con el fin de recopilar suficiente información que permita solicitar el aval de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo para la utilización y divulgación de esta metodología.

- Desarrollar nuevas ecuaciones de densidad aparente, vs contenido de humedad del suelo, para las áreas donde se determinen ecuaciones de capacidad de campo.
- Seleccionar como áreas de investigación los mini-distritos de riego de Sucre, con el fin de que el pequeño y mediano productor se beneficien de los resultados investigativos y tecnológicos obtenidos en la Universidad de Sucre.
- Al relacionar todos los datos recolectados para los suelos estudiados resultó una ecuación como la siguiente en la cual el rango de entrada de datos es más amplio:

$$CC = 84.3868 + 0.2829\%Ar - 0.5774 \%L + 2.2485\%M.O - 34.2918D.ap , R^2 = 0.9885$$

Rango de variación de los datos: % Arcilla de 19 a 51, % limo de 30 a 46, % M.O de 1.10 a 2.50 y D.ap en gr/cc. de 1.03 a 1.43

BIBLIOGRAFÍA

- **ALVIZ S, Heraldo; RUIZ B, Fredy; VERGARA A, Hugo.** Estudio semidetallado de suelos de la granja El Perico (Sampués) y de la Ciudadela Universitaria Puerta Roja (Sincelejo). (Tesis de grado Ingeniería agrícola). Universidad de Sucre.1987
- **AMEZQUITA, Edgar.** El agua y la erodabilidad de los suelos. pp.128-136. en: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. SCCS. Bogotá, D.C.1995.
- **BENCARDINO, Ciro.** Estadística y muestreo. Ed. Ecoediciones. Décima edición. Santafé de Bogotá D.C. 2000. 863p.
- **CANAVOS, George.** Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. Ed. McGraw-Hill/Interamericana. México D.F.1999. 651p.
- **DONAHUE, R.L.** Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Prentice may International. Madrid-España. 1981.

- **GAVANDE, Sampat A.** Física de suelos. Principios y aplicaciones. Ed. Limusa. México D.F. 1987.
- **GUROVICH R. Luis A.** Riego superficial tecnificado. Ed. Alfaomega. Ediciones universidad Católica de Chile. México D.F. 1999. 610p.
- **ICONTEC.** Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación de tesis y otros trabajos de grado. Bogotá D.C. 1996. 132p NTC 1486 (Cuarta actualización. 2001).
- **MONTENEGRO, Hugo; MALAGON, Dimas.** Propiedades físicas de los Suelos. Bogotá D.C. IGAC. 1990. 813p
- **MONTGOMERY, Douglas ; RUNGER, George.** Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Ed. McGraw-Hill/Interamericana. México D.F. 1998. 895p.
- **MORENO, Fabián; OSORNO, Jaime.** Estudio comparativo de los métodos de campo y laboratorio para determinación de capacidad de campo y obtención de ecuaciones. (Tesis de grado Ingeniería agrícola - Universidad de Sucre).1999. 117p

- **MUNEVAR, Fernando.** Conceptos sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo relacionados con la interpretación de análisis químicos. pp. 227-239. en : Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. SCCS. Bogotá, D.C.1995.
- **ORTIZ, R.** Determinación de la evapotranspiración y el coeficiente de evapotranspiración para tres cultivos en un suelo con características vérticas. Palmira. 1990. 186 p. Tesis (Postgrado en suelos y aguas). Universidad nacional de Colombia.
- **PORTA C, Jaime; LOPEZ-ACEVEDO R, Marta; ROQUERO DE LABURU,Carlos.** Edafología-para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. España. 1994. 807p.

DIRECCIONES DE INTERNET

- www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/riego/conceptos.pdf
- www.edafologia.ugr.es/Revista/tomo7tr/a197v7tt.htm
- www3.unileon.es/ce/fbi/prog/amb/seg/edafo.html
- www.agroecologia.net/congre_3_pdf/27.pdf
- www.ing.unlp.edu.ar/bibcent/hiprog/hi29.htm
- www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v05_1-2/v512a060.html

- www.inia.es/IASPV/2000/vol15/rodri.pdf
- www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v021/v021a020.html
- www.bsyse.wsu.edu/saxton
- www.inia.cl/at/espanol/v61n3/art8_e_3_2001.htm
- www.insuelos.org.ar/proyectos/lineasInvestigacion/lineasInvestigacion.htm

