

Valoración física conformante del ambiente radical

Physical valuation of the radical ambient structure

Hossne G., Américo

Departamento de Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente. *Campus* Los Guaritos. Avenida Universidad, Maturín, estado Monagas. Telefax: 0291-6521192.
E-mail: ahossne@monagas.udo.edu.ve y americohossne@cantv.net

RESUMEN

Los procedimientos presentados en libros y manuales de mecánica y física de suelo para determinar los índices edáficos, y que sus usos han sido extendidos a la ingeniería agrícola, han producidos valores cuantitativos y cualitativos que no se adaptan a la realidad agrícola, especialmente en las áreas tropicales y semiáridas. Los ingenieros edáficos o civiles requieren suelos sin materia orgánica, y que estén y se mantengan secos; y toda información cuantitativa, debe ser sobre la base de esto. Son muchas las investigaciones que se llevan a cabo en el ámbito agrícola sin considerar los parámetros terramecánicos y físicos, sólo basándose en los resultados biomásicos y/o de cosecha, y aplicando análisis estadísticos que sólo emanan conclusiones estadísticas, valga la redundancia, sin explicaciones muchas veces científicas de los sucesos. Muchos testimonios documentados que analizan los beneficios de la modificación del ambiente radical son muy inconsistentes (Arkin y Taylor, 1981). En la agricultura, los suelos deben considerarse medios físicos y bióticos, y deben conservarse *húmedos*. El objetivo general de este estudio es la búsqueda y presentación de Índices de Suelos que expresen matemáticamente a los suelos agrícolas. Como objetivos específicos, tenemos: (a) Definir índices edáficos propios para la agricultura, y (b) estudiar los índices utilizados actualmente e inferir los más adaptables, o transformarlos al área ingenieril agrícola. Los resultados obtenidos hasta estos momentos producen la definición de un nuevo parámetro acuñado con el nombre de relación de solidez (i_s) igual al Volumen de las partículas de Suelo/Volumen_{total} (V_s/V_t), con las correlaciones correspondientes, y la introducción y redefinición de otros existentes. Este índice representa, con presencia imaginativa y concomitante, la solidez del suelo. Es un índice de compactación, disgregación y porosidad. Se recomienda la utilización de la relación $i_s \cdot \theta_w \cdot V_t \cdot G = S \cdot M_s(1 - i_s)$. Se propone una metodología con el uso de tablas para la indexación de los suelos agrícolas, la cual es bastante diferente a la utilizada por la ingeniería de la construcción.

Palabras Claves: Edafofísica Agrícola, indexación física agrícola.

ABSTRACT

The procedures for determining the soil indexes presented in books and manuals of soil mechanics and physics, and that their uses had been extended to Agricultural Engineering, had produced qualitative and quantitative values which do not adapt to the soil reality in agriculture, especially in the tropical and semiarid areas. The soil mechanic and civil engineers require soils without organic matter, and that they be and stay dried; and every quantitative data should be related to this latter information. There are too many studies in the agricultural scope, accomplished without considering the terramechanic and physic parameters, just basing their results upon biomass data and/or harvest data, and applying statistical analysis to only produce statistical conclusions, without giving sometimes scientific explanation of the events. Too many documented evidences that analyze modification of the root environment are very much inconsistent (Arkin and Taylor, 1981). In agriculture the soils should be of course physical and biotic, and for that, the soils should be sufficiently humid. The general objective of this study is the search and the presentation of soil indexes that express mathematically the agricultural soils. As specific objective, we have: (a) defined soil indexes properly for agricultural soils, and (b) to study the indexes used presently and infer the more useful and adaptable, or transform them to be useful to agricultural studies. The results obtained until now have produced the definition of a new parameter coined with the name of Firmness Ratio (i_s) equal to the ratio of (V_s/V_t), with the related transformations and derivations, and the introduction and redefining of other already existing. This index represents, with more presence and imagination, the firmness of the soil. It is an index of compaction, dispersion and porosity. On recommend the utilization of the relation $i_s \cdot \theta_w \cdot V_t \cdot G = S \cdot M_s(1 - i_s)$. On propose a methodology with the use of tables for indexing the agricultural soils, which is enough different to the one used by construction engineering.

Key words: Agricultural Soil Physics, agricultural physical indexes.

Nomenclatura estandarizada:

V_t	Volumen total de la muestra de suelo. cm^3
V_v	Volumen de vacío en la muestra. cm^3
V_w	Volumen de agua en la muestra. cm^3
V_a	Volumen de aire en la muestra. cm^3
V_s	Volumen de las partículas o sólidos en la muestra. cm^3
M_t	Masa total de la muestra. g
M_s	Masa de las partículas o sólidos en la muestra. g
M_w	Masa de agua en la muestra. g
w	Contenido de humedad en base seca de la muestra. % o adimensional
m	Contenido de humedad de la muestra en base húmeda. % o adimensional
θ_w	Contenido volumétrico de agua o volumen humectante en la muestra. % o adimensional
S	Grado de saturación. % o adimensional
i_s	Relación de solidez de la muestra, in situ. % o adimensional
$i_{s\max}$	Relación de solidez de la muestra en estado de mayor solidez
$i_{s\min}$	Relación de solidez de la muestra en estado de menor solidez
ρ_s	Densidad seca o aparente de la muestra. kg/m^3 , kN/m^3
ρ_N	Densidad húmeda o natural de la muestra, in situ. kg/m^3 , kN/m^3
D_r	Densidad natural o relativa. % o adimensional
ρ_p	Densidad real del suelo o de las partículas. kg/m^3 , kN/m^3
n	Porosidad. % o adimensional
e	Relación de vacío de la muestra, in situ. % o adimensional
e_{\max}	Relación de vacío de la muestra en condiciones de mayor porosidad
e_{\min}	Relación de vacío de la muestra en condiciones de menor porosidad
ρ_w	Densidad del agua a 4°C. 1000 kg/m^3 . 10^{-3} g/mm^3
G	Gravedad específica. Adimensional
M_{cv}	Masa del cilindro vacío y limpio. G
M_{cs}	Masa del cilindro con la muestra de suelo seco a la estufa. g

Nomenclatura en inglés:

V_t	Total soil volume. cm^3
V_v	Volume of void (pore) space. cm^3
V_w	Volume of water. cm^3
V_a	Void volume occupied by air or other gas. cm^3
V_s	Volume of soil matter in soil particles. cm^3
M_t	Total mass of soil mass. g
M_s	Mass of solids (soil particles). g
M_w	Mass of water in soil. g
w	Water content, dry basis. % or dimensionless
m	Water content, wet basis. % or dimensionless
θ_w	Volume wetness or volumetric water content. % or dimensionless
S	Degree of saturation. % or dimensionless
i_s	Firmness ratio, in situ. % or dimensionless
$i_{s\max}$	Firmness ratio in densest condition
$i_{s\min}$	Firmness ratio in loosest condition
ρ_s	Dry or bulk density of soil. kg/m^3 , kN/m^3
ρ_h	Wet density of soil, in situ. kg/m^3 , kN/m^3
D_r	Relative density. % or dimensionless
ρ_p	Real density or soil particle density. kg/m^3 , kN/m^3
n	Porosity. % or dimensionless
e	Void ratio, in situ. % or dimensionless
e_{\max}	Void ratio of soil in loosest condition
e_{\min}	Void ratio of soil in densest condition
ρ_w	Unit density of water at 4°C. 1000 kg/m^3 . 10^{-3} g/mm^3
G	Specific gravity. Dimensionless
M_{cv}	Mass of the empty and clean cylinder. G
M_{cs}	Mass of the cylinder with the sample of the stove dry soil. g

INTRODUCCIÓN

Los suelos utilizados para la construcción, de cualquier tipo de estructura, deben mantenerse secos y sin materia orgánica (suelos exánimes), para esto se utilizan muchos métodos; de otra forma, se tendría que profundizar más o crear estructuras subterráneas de aguante y soporte. La indexación de esos suelos está basada en que el suelo sea el basamento seguro para sostener peso a corto y a largo tiempo. En la agricultura, los suelos deben mantenerse vivos: húmedos y con materia orgánica y otros componentes

$$e = V_v / V_s \quad (1)$$

$$n = V_v / V_t \quad (2)$$

que coadyuven la estructura fisicoquímica y biológica, que mantengan los procesos intrínsecos de *auto generación del suelo*. Esto infiere que la indexación de los suelos agrícolas debe ser modelada matemáticamente de una forma diferente que exprese mejor la realidad agrícola que es el objetivo de este artículo, en donde se introducen relaciones algebraicas nuevas y la adaptación de otras conocidas.

Se propone el uso de una nomenclatura estandarizada aprobada y el Sistema Internacional de Unidades SI, en donde la densidad se expresa en kg/m^3 o kN/m^3 para los ingenieros (Soane *et al.* 1980).

PROCEDIMIENTOS Y DISCUSIÓN**Relación de Solidez de un Suelo Agrícola**

Revisando los parámetros conocidos como relación de vacío (e) y la porosidad (n) utilizados en el área agrícola, se observa que ellos vienen expresados ambos en función del volumen de vacíos (V_v), el cual es variable:

Estos índices no dan conocimiento en sí de la estructura del suelo en forma masiva (las partículas de suelo y el espacio poroso existentes al mismo tiempo); es decir, como está relacionado el volumen de las partículas con el volumen total del suelo con su condición de humedad, o cual espacio ocupan porcentualmente los sólidos del suelo, de tal forma de poder inferir conjeturando la estructura porosa, y que

también puedan hacerse correlaciones con la densidad de los sólidos (densidades aparentes, real o gravedad específica), ver las Ecs. 7, 13 y 16. De acuerdo a Hillel (1985) la relación de vacío (e) muestra que, si hay un cambio en el volumen poroso sólo cambia el numerador; pero para la porosidad (n), cambia tanto el numerador como el denominador; ende, Hillel (1985) considera que la relación de vacío (e) es un índice preferido por los ingenieros civiles y edáficos, en cambio porosidad (n) es más frecuentemente utilizado por los ingenieros agrícolas. Lambe *et al.* (1979) manifiestan que ambos términos (e , y n) son utilizados en mecánica de suelo; pero, la relación de vacío es más útil, ya que durante un proceso de compresión, tanto el numerador como el denominador disminuyen en n ; sin embargo, en e sólo el numerador decrece, este hecho hace a e más útil para estudiar el proceso de compresión de los suelos, de importancia en los estudios civiles. Hough, (1969) concluye que la relación de vacío (e) se debe descartar en agricultura ya que está intrínsecamente relacionado con suelos secos, y además, hay algunas dificultades prácticas para determinar la relación de vacío, una de las cuales es el problema envuelto en la determinación del volumen de los sólidos. Kézdi (1975) manifiesta que a veces es más conveniente emplear la relación de vacíos, debido a que en la definición de la porosidad el volumen de vacíos se compara con una cantidad que contiene al mismo. Debido a la gran influencia de la forma y el grado de uniformidad de las partículas en la porosidad (n), ésta no indica disgregación o apretamiento del suelo, Terzaghi y Peck (1967).

Considerando lo expuesto, en donde se observa mucha contradicción; en la agricultura, se necesita un índice que relacione el contenido fijo del volumen de partículas con respecto a la variación del volumen total del suelo; una representación más clara del estado poroso del suelo, y del espacio que ocupan los sólidos. Así se define el Índice de Relación de Solidez (i_s) de los suelos:

Este índice representa al suelo húmedo y sólo cambia el denominador por la humedad y otros factores, compresibilidad, cambios de texturas, etc. dando una visión rápida y precisa de lo solidificado en que el suelo se encuentra. Es un índice de compactación con mayor presencia física y concomita la imaginación. Este índice no puede ser utilizado por los ingenieros edáficos o civiles porque no contempla el estado de sequedad del suelo. Cuando se determina por ejemplo que i_s tiene un valor de 0,63 significa que

los sólidos ocupan el 63% del volumen total del suelo con presencia del contenido de humedad edáfica; es decir, expresa la solidez del suelo agrícola en estudio. El espacio poroso de un suelo típico está entre 40 y 60 por ciento del volumen total del suelo (Arkin and Taylor, 1981), esto produce una relación de solidez de 60 a 40 %. Espacios porosos con sólo un 12 % de aire ($i_s = 88 \%$) inhiben el desarrollo radical (Arkin and Taylor, 1981). El índice i_s también muestra que para aumentar la porosidad es necesario y suficiente aumentar a V_t . La solidez de un suelo es altamente influenciada por la forma de los granos y el grado de uniformidad del tamizado. Kezdi (1975) manifiesta que un suelo en particular sea suelto o denso no puede ser juzgado sobre la base de la porosidad solamente. El grado de compactación se cuantifica comparando el valor de la solidez natural con su valor extremo.

El Cuadro 1 presenta las expresiones algebraicas de las relaciones entre los componentes del suelo en función de la relación de solidez en los diferentes estados. Esta información es normalmente presentada en función de la relación de vacío como lo hace Capper *et al.* (1969). El Cuadro 2 presenta algunos valores de la relación de solidez de la realidad agrícola y su comparación con la relación de vacíos y la porosidad.

Generalmente la porosidad varía entre 0,3 - 0,6; la relación de vacío varía entre 0,3 - 2,0 y la relación de solidez varía generalmente entre 0,30 - 1,0. Lambe *et al.* (1979) reportan valores para e mayores de 25 y menor de 0,2, esto es debido al alto y bajo contenido de agua (900% y 7%) respectivamente; el valor máximo último es difícil para los suelos agrícolas. La relación de solidez i_s no debería ser siquiera cercana, mucho menos igual ni mayor que uno. Existe una relación directa entre la relación de solidez y la densidad seca o densidad húmeda lo cual aventaja el uso del índice de relación de solidez. De la Figura 1 se infiere, que el rango de valores para i_s debe estar entre 30 % y 65 %. Aplicando regresión lineal a los valores entre la

$$i_s = V_s / V_t \quad (3)$$

$$i_s = n / e \quad (4)$$

$$i_s = (1 - n) \quad (5)$$

$$i_s = 1 - (\rho_s / \rho_p) \quad (6)$$

densidad seca y la húmeda, máximas, con respecto a la relación de solidez máxima, se puede observar una relación directa entre ρ_s , ρ_N e i_s respectivamente para diferentes suelos texturales. Con una tendencia, al aumentar la relación de solidez, de acercamiento de las densidades aparentes.

La regresión lineal en los valores entre la densidad seca y la húmeda, mínima, con respecto a la relación de solidez mínima, Figura 2, se observa una relación directa entre ρ_s e i_s ; sin embargo, se nota que no hay relación directa entre ρ_h y i_s , aunque hay una tendencia aumentativa.

Con una inclinación, al aumentar la relación de solidez, de acercamiento de las densidades aparentes, y los valores de ρ_s y ρ_N tienden a ser iguales para los suelos con texturas inarcillosas. La

relación de solidez mínima posee mayor porosidad, lo cual influye en el arreglo partículas y posiblemente mayor humedad. En el Cuadro 3 se presentan algunos valores de la relación de solidez para cinco estados estructurales de diferentes texturas, en comparación con patrones. Se observa, que en condición de muy densa son pocas las condiciones texturales que alcanzan el 88 %, estado estructural que restringe la existencia de oxígeno en muchos suelos.

Cuadro 1. Expresiones matemáticas de las relaciones esquemáticas del suelo

Componentes	Estados del suelo					
	Estado seco		Estado insaturado		Estado saturado	
	g	cm ³	g	cm ³	g	cm ³
Vacíos de aire	0,0	$(1 - i_s) / i_s$	0,0	$((1-S)(1- i_s)) / i_s$	0.0	0,0
Vacíos de agua	0,0	0,0	$S(1 - I_s) / i_s$	$S(1 - I_s) / i_s$	$(1 - i_s) / i_s$	$(1 - i_s) / i_s$
Sólidos	G	1	G	1	G	1
Total	G	$1 / i_s$	$(I_s(G - 1)+1) / i_s$	$1 / i_s$	$(G^* i_s + S(1 - i_s)) / i_s$	$1 / i_s$

Cuadro 2. Valores agrícolas comparativos de la relación de solidez

Índices	%	Características
I_s	88	La carencia de aire inhibe el desarrollo radical
I_s	30 - 100	Variación
I_s	40 - 60	Agrícola
N	60 - 40	Agrícola
E	30 - 20	Agrícola

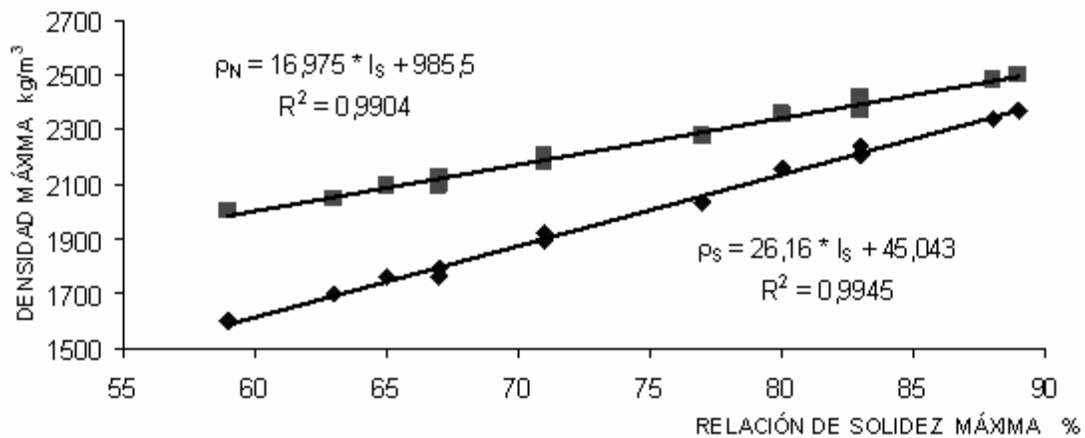


Figura 1. Densidad seca máxima y la densidad natural máxima versus la relación de solidez máxima

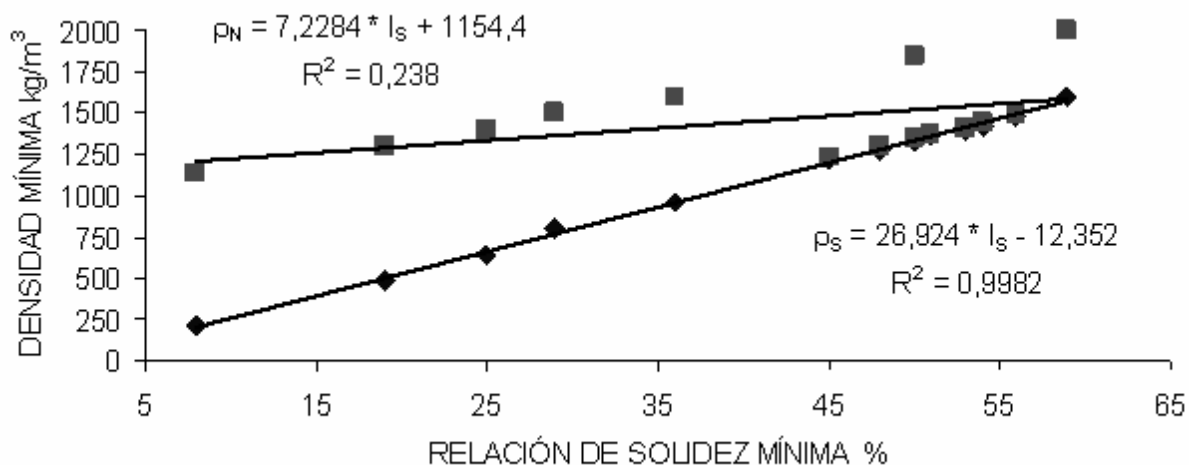


Figura 2. Densidad seca mínima y la densidad natural mínima versus la relación de solidez mínima

Cuadro 3. Relación de solidez para diferentes texturas de suelos en diferentes estados estructurales. [(Lambe *et al.* (1979); Kézdi, (1975); Hough, (1964); Terzaghi, (1967); Berry *et al.* (1998)]

Suelos	i_s	i_s	i_s	i_s	i_s
	muy suelto	suelto	medio	denso	muy denso
Eferas uniformes	55,64	59,96	66,44	70,76	74,00
Arenas patron	57,65	59,85	63,15	65,35	67,00
Arenas limpias uniformes	53,15	57,35	63,65	67,85	71,00
Limos inorganicos	51,45	56,05	62,95	67,55	71,00
Limo organico	31,00	39,00	51,00	59,00	65,00
Limo suelto	50,75	51,75	53,25	54,25	55,00
Limo ligeramente plástico	60,75	61,75	63,25	64,25	65,00
Limo duro	65,75	66,75	68,25	69,25	70,00
Arenas franco limosas	56,60	61,40	68,60	73,40	77,00
Arenas finas y gruesas	55,80	62,20	71,80	78,20	83,00
Arenas micaseas	48,90	54,10	61,90	67,10	71,00
Arenas franco limosas y gravas	59,10	65,90	76,10	82,90	88,00
Arena fina uniforme suelta	52,45	53,05	53,95	54,55	55,00
Arena fina uniforme densa	60,75	61,75	63,25	64,25	65,00
Arcillas arenosas o limosas	42,60	51,40	64,60	73,40	80,00
Arcillas limosas con gravas	54,95	61,55	71,45	78,05	83,00
Arcilla, grava, arena, limo	63,50	69,50	78,50	84,50	89,00
Arcilla delgada suelta	50,75	51,75	53,25	54,25	55,00
Arcilla delgada ligeramente plástica	60,75	61,75	63,25	64,25	65,00
Arcilla delgada dura	65,75	66,75	68,25	69,25	70,00
Arcilla gruesa suelta	31,50	33,50	36,50	38,50	40,00
Arcilla gruesa ligeramente plástica	47,25	50,25	54,75	57,75	60,00
Arcilla gruesa dura	61,50	63,50	66,50	68,50	70,00
Arcillosos	34,70	42,30	53,70	61,30	67,00
Arcillas coloidales	16,25	27,25	43,75	54,75	63,00
Arcilla organica	25,00	33,00	45,00	53,00	59,00

La Figura 3 presenta la relación entre la relación de solidez mínima y la relación de solidez máxima de varias condiciones texturales en comparación con patrones. Se observa que muchos suelos tienen un rango de variación entre las relaciones de solidez algo pronunciadas; en especial para aquellos con contenidos de arcillas, limo, materia orgánica y arena fina.

Porosidad Aerífera

De acuerdo Sterling *et al.* (1972), la fracción del volumen total de suelo ocupada por aire se le denomina la porosidad aerífera y se denota por E_a , la cual se expresa:

$$E_a = 1 - (i_s + \theta_w) \quad (7)$$

Densidad Edáfica

La densidad aparente seca ρ_s definida como la fracción M_s/V_t , se expresa en función de i_s y de la gravedad específica G o de la densidad real ρ_p , en donde ρ_w es la densidad del agua a 4°C, (1000 kg/m³):

$$\rho_s = M_s / V_t \quad (8)$$

$$\rho_s = i_s * G * \rho_w \quad (9)$$

$$V_s = M_s / (G * \rho_w) \quad (10)$$

Es decir, conociendo la gravedad específica de los suelos se conoce la densidad aparente, dando cabida a un mejor entendimiento del estado friable y compactado del suelo, ver Ec 8. Un suelo agrícola con una gravedad específica de 2,63 y una densidad aparente de aproximadamente 1325 kg/m³, tiene una relación de solidez de un 50 %. Pla Sentís (1993) manifiesta que la compactación del suelo son incrementos en la densidad seca y descenso en la porosidad sin considerar los efectos de la humedad. La densidad aparente de los suelos cambia con la humedad (Hossne, 1996a, 1997 y 2001a):

$$\rho_s = \frac{M_t * \theta_w}{V_w(1 + w)} \quad (11)$$

Generalmente, con muchas excepciones, las densidades aparentes de 1550, 1650, 1800 y 1850 kg/m³ severamente impiden el desarrollo radical en suelos franco arcillosos ($i_s = 59,62$), franco limosos,

franco fino arenosos ($i_s = 68,44$) y fino areno francosos, respectivamente (Arkin and Taylor, 1981). Brady (1974) considera que los suelos arcillosos, franco arcillosos y franco limoso tienen una densidad aparente en el rango de 1000 kg/m³ a 1600 kg/m³, y los suelos arenosos y franco arenosos en el rango 1200 kg/m³ a 1800 kg/m³. Esto es irresoluto para un buen contenido de humedad edáfica (Hossne, 1996b, 1997 y 2001a). **Densidad relativa** (D_r) caracteriza la densidad granulada de un suelo en condiciones naturales, la cual aquí se define:

$$D_r = (i_s - i_{smin}) / (i_{smax} - i_{smin}) \quad (21)$$

$$i_s = (i_{smax} - i_{smin}) * D_r + i_{smin} \quad (22)$$

Humedad Edáfica: Son muchas las formas en que se expresa el contenido de humedad de los suelos, Hillel (1985) y muchos otros autores, las expresa así:

$$m = M_w / M_t \quad (23)$$

$$\theta_w = V_w / V_t \quad (24)$$

$$w = M_w / M_s \quad (25)$$

El contenido de humedad en base húmeda (m). Brady, (1974) considera que no es un modelo adecuado dado que cambia con las fluctuaciones de humedad. Sin embargo, este método es utilizado en las evaluaciones de la humedad en los productos que son llevados a la agroindustria, considerando que fácilmente el contenido de humedad de los rubros recibidos por peso, se les calcula el contenido de agua. Se expresa así:

$$m + (M_s/M_t) = 1 \quad (26)$$

La humedad volumétrica o volumen humectante (θ_w). Este método tiene la ventaja de dar una mejor descripción de la humedad disponible para las raíces para un volumen dado de suelo (Brady, 1974). Este método es mucho más adaptable para la computación de flujos y requerimientos de agua por el suelo para riego o lluvia, y las cantidades abstraídas por el suelo y evapotranspiración o drenaje (Hillel, 1985).

El método gravimétrico, o método en base seca (w). Es el más común, pero es sólo de interés para los ingenieros edáficos y civiles y no tienen

aplicaciones en la agricultura, únicamente para referencia y su metodología no más que permite conocer la cantidad de agua de la muestra. **El grado de saturación (S)**. Expresa el volumen de agua presente en el suelo relativo al espacio poroso, se expresa matemáticamente por:

$$S = V_w / V_v \quad (27)$$

La saturación varía en el rango $0 \leq S < 1$. En los suelos saturados muchas veces se le considera igual a uno, pero en la realidad siempre hay poros llenos de aire. No es un buen índice para suelos que se abotagan, en donde la porosidad cambia con la humedad (Hillel, 1985). Pero todo suelo se abotaga con la humedad.

$$\theta_w = S * (1 - i_s) \quad (28)$$

$$\theta_w = S * n \quad (29)$$

$$i_s * \theta_w * V_t * G = S * M_s(1 - i_s) \quad (30)$$

En los cuadros 4 y 5 se muestra la información requerida en el ámbito de campo y de laboratorio, respectivamente, para calcular los índices edáficos del cuadro 6. Relación para el Equilibrio Indexar:

La relación para el equilibrio indexar de los suelos agrícolas es presentada aquí de la siguiente forma:

Esta relación es de importancia en la comprobación de los cálculos indexares. Los cuadros 7 y 8 muestran la aplicación del procedimiento.

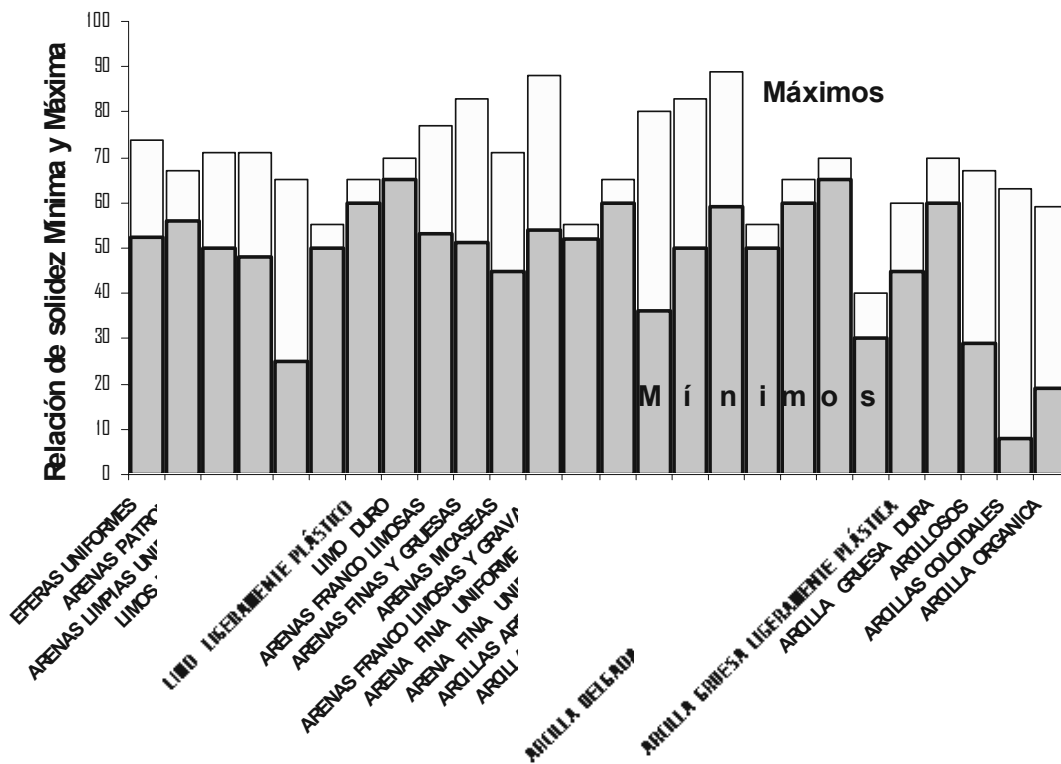


Figura 3. Relación de solidez máxima y mínima de varias texturas de suelos

Cuadro 4. Información necesaria en el ámbito de campo. No se debe utilizar el Muestreador Uhland (Hossne, 2001b).

1	V_t	Volumen de la muestra	cm^3
---	-------	-----------------------	--------

Cuadro 5. Información que debe determinarse en el ámbito de laboratorio

1	M_s	Masa del suelo seco en la estufa	G
2	G	Gravedad Específica	adimensional
3	D_r	$(i_{smax} - i_s) / (i_{smax} - i_{smin})$	adimensional o %
4	M_{cv}	Masa del cilindro vacío y limpio	G
5	M_{cs}	Masa del cilindro con la muestra de suelo seco a la estufa	G
6	M_t	$M_{cs} - M_{cv}$	G

Cuadro 6. Índices edáficos que deben ser calculados para los suelos agrícolas con la información obtenida en los cuadros 4 y 5.

1	M_w	$M_t - M_s$	G
2	V_w	M_w / ρ_w	cm ³
3	θ_w	(V_w / V_t)	adimensional o %
4	V_s	$M_s / (G * \rho_o)$	cm ³
5	i_s	(V_s / V_t)	adimensional o %
6	V_a	$V_v - V_w$	cm ³
7	S	V_w / V_v	adimensional o %
8	ρ_N	M_t / V_t	kg/m ³

Cuadro 7. Resultados fundamentales de un muestreo para un suelo agrícola.

Muestra	M_t (g)	M_s (g)	M_w (g)	V_w (cm ³)	V_t (cm ³)	G
1	541,2	511,3	29,9	29,9	292,3	2,58
2	526,4	498,9	27,5	27,5	288,8	2,57
9	437,3	421,7	15,6	15,6	291,5	2,58
4	463,9	449,9	14,0	14,0	292,2	2,56
5	483,7	470,8	12,9	12,9	290,9	2,55

Cuadro 8. Procesamientos necesarios y suficientes de los datos de campo para la indexación de los suelos agrícolas.

Muestra	w (%)	θ_w (%)	V_s (cm ³)	V_v (cm ³)	V_a (cm ³)	S (%)	i_s (%)	ρ_N (kg/m ³ 10 ³)	$i_s * \theta_w * V_t * G$	$S * M_s * (1 - i_s)$
1	5,84	10,23	198,17	94,12	64,222	31,77	67,80	1,85	52,301	52,301
2	5,51	9,52	194,12	94,67	67,17	29,04	67,22	1,82	47,507	47,503
3	3,69	5,35	163,45	128,05	112,45	12,18	56,07	1,50	22,569	22,569
4	3,11	4,79	175,74	116,45	102,45	12,02	60,14	1,59	21,553	21,559
5	2,74	4,43	184,62	106,27	93,37	12,13	63,47	1,66	20,881	20,877

CONCLUSIONES

1. Es muy típico encontrar trabajos publicados en las áreas agrícolas, agronómicas y pecuarias, prácticamente todos, con análisis de toda forma, sin hacer referencia a la humedad edáfica del proceso. Cuando todo, es alterado por el agua. La humedad del suelo es el elemento fundamental de las funciones físicas, terramecánicas, biológica y química del suelo.
2. El índice introducido, relación de solidez, en este artículo demuestra ser la mejor forma de expresar algebraicamente la compactación del suelo, porosidad y disgregación de un suelo agrícola. Se debe utilizar en lugar de la relación de vacío y porosidad.
3. Se concluye que el cuadro 5 debe ser utilizado para representar indexadamente los suelos en estudios. Correlacionándolo con otros parámetros agronómicos como la biomasa, precipitación, rendimiento, etc.
4. La determinación de la humedad edáfica por el método volumétrico θ_w , o volumen humectante, es el más apropiado para uso agrícola al representar la condición en tiempo y lugar del agua en el suelo. Establece además la diferencia entre la densidad aparente y la humedad
5. En todo trabajo en donde se involucren los índices de suelos agrícolas, se debe utilizar la relación del equilibrio indexar, para garantizar la precisión y veracidad de los datos calculados. Es la identidad matemática del suelo.
6. Se debe estudiar la relación entre la densidad húmeda mínima y relación de solidez mínima

LITERATURA CITADA

American Society of Agricultural Engineering. 1971. *Compaction of Agricultural Soils*. ASAE Monograph. 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085. 471 p.

Arkin G. F., And Taylor H. M. 1981. *Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress*. An ASAE Monograph, ASAE. 407 p.

Berry, P. L. y Reid, D. 1998. *Mecánica de suelos*. McGraw-Hill. p 85.

Brady, Nyle C. 1974. *The Nature and Properties of Soil*, Macmillan Publishing CO. New York. 8th Edition. 639 p.

Capper Leonard, P. and Cassie Fisher, W. 1969. *The Mechanics of Engineering Soils*. E. & F.N. Spon, London. Fifth Edition. 309 p.

Hillel, D. 1985. *Soil and Water*. Academic Press, New York and London. 287 p.

Hossne G., A. J. 1996a. *Investigaciones sobre las Interrelaciones Terramecánicas entre la Densidad y Humedad de los Suelos Agrícolas*. Resúmenes. III Congreso Científico de la Universidad de Oriente. Vol. 8, Suplemento, Memorias 1996. Maturín, Estado Monagas, Venezuela. pp 272.

Hossne G., A. J. 1996b. *Investigaciones Terramecánicas en las Interfases Suelo-Apero Agrícola y suelo-Planta*. 6tas Jornadas de Desarrollo Monagas Siglo XXI, Maturín, 6 de octubre de 1996. 25 p.

Hossne G., A. J. 1997. *La humedad del Suelo como Índice de Compactación de los suelos Agrícolas*. Resúmenes, Jornadas Agronómicas del 28 de julio al 2 de agosto de 1997, Hotel Maracay, Maracay, Estado Aragua, Venezuela. pp 34-35.

Hossne G., A. J. 2001a. *Investigaciones de la inherencia de la humedad edáfica sobre la densidad aparente en los suelos agrícolas*. IV Congreso Científico de la Universidad de Oriente. Memorias en CD, trabajo completo. Cumaná del 3 al 7 de diciembre, Estado Sucre, Venezuela.

Hossne G., A. J. 2001b. *El muestreador Uhland en la determinación de la humedad de compactación de un suelo Ultisol de sabana del Estado Monagas*. XVI Congreso Venezolano de la Ciencia del suelo. Efectuada del 24 al 27 de septiembre del 2001. En CD con posición FS-06.