

CAMBIOS EN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE UN *MOLLISOL* TRATADO CON VINAZA

Tatiana Quiroz Marín¹, Hernán Rojas Palacios²

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. AA 237.

Palmira Valle.

² Facultad de Ingeniería y Administración Universidad Nacional de Colombia. AA 237.

Palmira Valle.³ (Autor para correspondencia: hrojasp@palmira.unal.edu.co)

RESUMEN

La vinaza, subproducto de la destilación de alcohol carburante, se emplea para promover una mejor agregación en los suelos (Camargo, 1983; García, *et al.* 2006). Se planteó esta investigación, que evaluó el efecto de la aplicación de cuatro diferentes dosis de vinaza (0, 5.000, 10.000 y 15.000 Kg*ha⁻¹) a través del tiempo (dos, cuatro y seis meses después de la aplicación de la vinaza), sobre la estabilidad estructural de un *Mollisol*. Para la evaluación se emplearon tres métodos de medición: estabilidad en húmedo, distribución de agregados en seco y una metodología experimental que consistió en someter los agregados al impacto. Se midió el Diámetro Ponderado Medio (DPM). Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y cuando se presentaron diferencias se aplicó prueba de Duncan con un nivel de significancia del 5%. Los resultados encontrados en la determinación fueron consistentes en los tres métodos empleados; se halló una tendencia lineal decreciente en la estabilidad estructural con el tiempo, mas no con las dosis de vinaza. El efecto agregante de la vinaza se podría comprobar mas certeramente aplicándolo

de forma continua en suelos poco estructurados con una mineralogía de arcillas en donde predominen minerales de arcilla de tipo 2:1.

Palabras clave: vinaza, estabilidad estructural, Diámetro Ponderado Medio.

ABSTRACT

The vinasse generated when distilled alcohol is produced to be used as biofuel, is used to promote a good soil aggregation (Camargo, 1983; García, *et al.* 2006). Based on these observations, in this work, was evaluated the effect of four different vinasse doses (0, 5.000, 10.000 y 15.000 Kg*ha⁻¹) on the structure stability of a *Mollisol*, during two, four and six months after vinasse application (maa). Were employ three methods: wet structural stability test, dry aggregates distribution and impact aggregates resistance. The measurements were made in terms of Mean Weight Diameter (MWD). The results were subjected to variance analysis and when there were differences underwent to Duncan test with 5% to significance level. The findings in structural stability were consistent in all three methods employed; found a decreasing linear trend over time, but not with vinasse doses. The vinasse good effect could be confirmed applying it in a continuous way in different doses and in soils having poor structure and different mineralogy where predominate 2:1 clays.

Key words: vinasse, structural stability, Mean Weight Diameter

INTRODUCCION

Ante la crisis energética actual, una de las fuentes combustibles sustitutas o complementarias al petróleo, es el alcohol carburante, generado a partir de la fermentación de azúcar o de almidón convertido en azúcar. Como resultante de esta producción se genera un subproducto, la vinaza. Esta posee una elevada concentración de electrolitos, y por ello, es empleada como fuente fertilizante en suelos del Valle del Cauca.

En algunos países de Europa y América latina se ha investigado el efecto de la aplicación de vinazas y dependiendo de las condiciones ambientales, edafológicas y composición de la vinaza empleada, han encontrado efectos tanto benéficos como contraproducentes en la estabilidad estructural de los suelos (Da Silva y Oliveira,. 1987; Tejada, *et al*, 2007).

En Colombia a partir de una tonelada de caña procesada se producen aproximadamente 800 litros de vinaza (Korndörfer et al., 2004). Debido a su elevado contenido en potasio, se han realizado investigaciones en las cuales se establecieron las dosis de vinaza requeridas por el cultivo de la caña de azúcar como sustituto o complemento de la fertilización en este elemento y actualmente se aplica este producto en gran parte de los suelos del Valle Geográfico del Río Cauca que se encuentran en esta explotación (Quintero, 2006).

Según Camargo, 1983; García, *et al*. 2006 “las vinazas poseen una elevada concentración de electrolitos y estos tienen un reconocido efecto floculante, independientemente de su poder fertilizante, se pueden utilizar para promover una mejor agregación de suelos estructuralmente degradados o con problemas de permeabilidad; adicionalmente afirman que la aplicación de vinaza en los suelos contribuye al incremento de la actividad de los microorganismos, los cuales gracias a las sustancias excretadas y secretadas que

descomponen la materia orgánica, unen entre si las partículas del suelo mejorando de esta forma la agregación”.

Bajo las condiciones tanto de suelos como ambientales del Valle Geográfico del Río Cauca no se ha estudiado cual es la influencia de la aplicación de vinazas en la estabilidad estructural del suelo. Es por ello que como parte de las investigaciones adelantadas por el grupo de investigación de Uso y Manejo de Suelos y Aguas con énfasis en degradación de suelos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, se plantea la presente investigación, la cual pretende evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de vinaza en la estabilidad estructural de un *Mollisol* del Valle Geográfico del Río Cauca a través del tiempo.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó con un Fluventic Haplustoll (IGAC y CVC, 2004) proveniente de La Hacienda Gertrudis, (3° 35' 51.1''N y 76° 16' 8.9'' W), ubicado a una altura 1049 msnm. La etapa experimental se realizo en la Universidad Nacional de Colombia, municipio de Palmira, Valle del Cauca (3° 30' 45,6'' N y 76° 18' 29.911'' W, 950msnm, T 24 °C y HR del 60%). Cada unidad experimental correspondió a una muestra indisturbada de suelo; estas se obtuvieron empleando anillos bicelados de PVC con una altura de 10 cm, diámetro 16,83 cm y espesor de 4,12 mm; los cuales fueron enterrados hasta una profundidad de 5cm, y con ayuda de un palín se retiraron nuevamente evitando al máximo la alteración de la muestra. Estas fueron cuidadosamente empacadas y transportadas a un invernadero.

Las unidades experimentales se organizaron bajo un diseño completamente al azar conformado por cuatro tratamientos, cinco repeticiones y tres muestreos. Se aplicaron cuatro tratamientos 0, 5.000, 10.000 y 15.000 Kg*ha⁻¹ de vinaza y los muestreos destructivos se realizaron dos, cuatro y seis meses después de la aplicación. Durante el tiempo del experimento se aplicaron 30 mm de agua semanalmente a cada una de las muestras, tratando de mantener el régimen hídrico de campo. Antes de iniciar el experimento se realizó caracterización física, química y mineralógica.

La determinación de la estabilidad estructural del suelo se realizó por tres métodos: estabilidad estructural en húmedo o Yoder (Malagon y Montenegro, 1990), distribución de agregados en seco (Malagon y Montenegro, 1990) y resistencia a una fuerza de impacto (Metodología experimental en prueba de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, 2009).

En la medición de la resistencia a una fuerza de impacto se tomaron 200g de suelo, representativos de cada una de las muestras indisturbadas las cuales fueron secados al aire por un periodo de 36 horas. Posteriormente fueron colocados en la máquina de caída libre (figura 1), la cual estaba calibrada para que dejara caer la muestra de suelo sobre una lamina de acero desde una altura de un metro. Se recogió la totalidad de la muestra ya disgregada y se pasó por el juego de tamices (3/8, 4, 8, 16, 20 y 40mm). El suelo que fue retenido en cada uno de estos se pesó y su valor se consignó en una base de datos, luego se mezcló nuevamente todo lo obtenido en cada uno de los tamices y fue lanzado de nuevo desde la misma altura, nuevamente se pesó lo que se retiene en cada tamiz y se repitió lo

descrito anteriormente hasta que cada muestra fue sometida 6 veces al impacto producido por la caída libre desde un metro de altura.

Con los datos obtenidos se determinó el Diámetro Ponderado Medio (DPM), utilizando la metodología propuesta por (Motta, 1990 citado por Gómez 1999) el cual se empleó como indicador de la estabilidad estructural del suelo.

$$DPM = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \frac{w_i}{100}$$

A los resultados obtenidos se les realizó análisis de varianza (ANOVA) y en aquellos casos que se presentaron diferencias se aplicó prueba de Duncan con un nivel de significancia del 5%. El paquete estadístico utilizado fue SAS (2008).

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presenta una descripción de la caracterización química de la vinaza (Tabla 1) y las pruebas químicas, físicas y mineralógicas realizadas al suelo al inicio de la investigación (Tablas 2, 3 y 4).

Estabilidad estructural determinada en húmedo

Se realizó análisis de varianza y se observó que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, pero estas sí se presentaron entre épocas de muestreo. En general las pruebas de promedios realizadas para los muestreos mostraron que los valores

de DPM encontrados 4 y 2 meses después de la aplicación (mdda) fueron iguales entre si y mayores que en el muestreo realizado 6 mdda .

Como se observa en la figura 2a todos los tratamientos mostraron la misma tendencia lineal decreciente del DPM a través del tiempo y con el incremento de la dosis de vinaza. Corroborando lo encontrado para este mismo suelo por Narváez (2008) y Montenegro (2008), quienes trataron el suelo con combinaciones de vinaza y KCl, y este mostro ligeras disminuciones en el índice de estabilidad obtenido entre muestreos.

Otros autores encontraron que el estado de agregación del suelo se redujo por los altos contenidos de sodio y ácidos fúlvicos presentes en la vinaza de remolacha azucarera (Tejada y González 2006; Tejada *et al.*, 2006; y Tejada *et al.*, 2007).

Tisdall y Oades (1982), en su modelo de jerarquía de agregados, propusieron que los macroagregados ($>250\mu$) son formados por enlaces estables entre microagregados (20 – 250 μ), por enlaces temporales (hifas de hongos y raíces) y por enlaces transitorios (microbios, plantas y polisacáridos derivados). Los hongos por acción mecánica, participan en la mejora de la estabilidad estructural de los agregados del suelo (Alexander, 1980; Labrador, 1996 citados por Montenegro, 2008). Probablemente este suelo este dominado por hongos que se alimentan de azúcares y sustratos de rápida descomposición como la vinaza (Primavesi 1982), y debido a la competencia por tales sustratos; hace que los hongos lleguen a ser abundantes después de la adición de estas fuentes de carbono, aunque su

número declina rápidamente después de la proliferación inicial, y agotadas estas sustancias la situación es igual a la del inicio (Burbano 1989).

Estabilidad estructural determinada en seco

Se realizó análisis de varianza para la distribución de los agregados en seco, teniendo en cuenta los porcentajes de agregados retenidos en cada tamiz empleado (6.3, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0,125, <0,125 mm); no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos; como tampoco entre muestreos.

Según la clasificación dada por Volveras y Amézquita (2009), para la estabilidad estructural determinada en seco, se puede afirmar que el suelo estudiado es estable, porque al cuantificar los porcentajes de agregados retenidos en los tamices con diámetro mayor a 2mm, más de la mitad de sus agregados estuvieron en este rango (Tabla 5).

Boersma y Kooistra, (1994) y Amézquita, (1994) afirman que una proporción alta de microagregados (agregados con diámetro menor a 2mm) se puede considerar como indicador de degradación estructural del suelo, lo cual deduce una relación entre dispersión del suelo, infiltración, erosión y las modificaciones en la estructura por efecto del tipo de uso del suelo.

Se realizó análisis de varianza para la variable DPM, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos pero si entre épocas de muestreo, y la prueba de promedios mostró que el mayor valor de DPM se presentó en el muestreo realizado 2mdda con un

valor de 3,47mm y este fue diferente estadísticamente de los valores encontrados en las otras épocas de muestreo. En la figura 2b se observa claramente como al igual que con las pruebas de estabilidad en húmedo, las muestras de estabilidad en seco, mostraron una tendencia lineal decreciente del DPM con el tiempo más no con las dosis de vinaza.

La composición mineralógica del suelo posiblemente influyo en la baja respuesta a la aplicación de los tratamientos, puesto que las arcillas de tipo 1:1 que dominan la fracción mineral “son poco reactivos y por tanto bastante estables en el suelo” (Bronick y Lal, 2005), y dada su baja CIC la adición de compuestos orgánicos como las vinazas no alteran la fase intercambiable, perdiéndose rápidamente por lixiviación y por lo tanto no causo el efecto agregante que se esperaba.

Resistencia de los agregados a una fuerza de impacto

Se realizó análisis de varianza para medir la resistencia de los agregados a una fuerza de impacto, no se encontraron diferencias significativas para las variables dosis de vinazas y repeticiones; se encontraron diferencias altamente significativas para los niveles de energía aplicados y épocas de muestreo.

La prueba de promedios para los niveles de energía aplicados (variación entre 2 y 12 Joules) mostró una relación inversa del DPM con el incremento de la energía encontrándose una función de respuesta (Figura 8).

Para las épocas de muestreo la prueba de promedios mostró que el valor de DPM 2mdda fue un 25 % y 32% mayor que el encontrado 4 y 6 meses después de la misma

respectivamente. La figura 9 ilustra claramente la tendencia generalizada que se presentó al disminuir el DPM con el tiempo más no con las dosis, al igual que sucedió en las pruebas de estabilidad en seco.

El estado de humedad de las muestras de suelo empleadas en estas determinaciones era la higroscópica, no se emplearon muestras en estado friable puesto que este fue un método experimental en donde se pretendía simplemente establecer una comparación entre tratamientos. Según Zapata y Gaytan, en la práctica para lograr los mejores resultados tecnológicos con la menor aplicación de energía en labores de preparación del terreno, los suelos deben trabajarse en un rango de humedad entre los límites de contracción (LC) y límites inferiores de plasticidad (LIP), conocido como estado friable del suelo. Los puntos de aplicación mínima de energía en un suelo Franco se encontraron cuando el potencial mátrico estuvo entre -0.062 MPa (pF 2.8) y -0.246 MPa para la aradura y -0.123 MPa para el rastreo. Es importante conocer el estado de humedad del suelo puesto que la necesidad de energía para realizar la aradura se incrementa en suelos muy secos, pero también para laborar suelos muy húmedos. La cantidad de energía necesaria para la labor aumenta también de acuerdo con el contenido de arcilla en el suelo (Canarache 1993)

CONCLUSIONES

- DPM obtenido como índice de estabilidad estructural determinado con la prueba de estabilidad de agregados en húmedo (Yoder), no mostró cambios debidos a la

aplicación de diferentes dosis de vinazas, pero si los presento a través del tiempo, siendo mayor la estabilidad estructural dos meses después de la aplicación.

- La distribución de agregados en seco no mostró cambios debidos a la aplicación de las dosis de vinaza, sin embargo el DPM fue mayor en el primer muestreo y presento una disminución con el tiempo.
- La resistencia a la ruptura de los agregados del suelo empleada como medida indirecta de la estabilidad estructural, disminuyo con el paso del tiempo y no mostró cambios debidos a la aplicación de las dosis de vinaza.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira por el apoyo al trabajo de grado de Master en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos de Tatiana Quiroz Marín, a partir del cual se generó la información presentada en el artículo. Al Grupo de Investigación en Suelos y Aguas con énfasis en Degradación de Suelos. A DIPAL por la financiación del proyecto de investigación. Al señor Miguel Beltrán, laboratorista de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

BIBLIOGRAFIA

1. AMEZQUITA, E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Fertilidad de suelos, diagnostico y control., Bogotá, p. 137 –152.
2. BOERSMA, O. H., KOOISTRA, M.J. 1994. Differences in soil structure of silt loam Typic Fluvaquents undervarious agricultural management practices. Agric Ecosyst Envirom 51: p 21-42.
3. BRONICK, C.J., LAL R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124, p 3 –22.

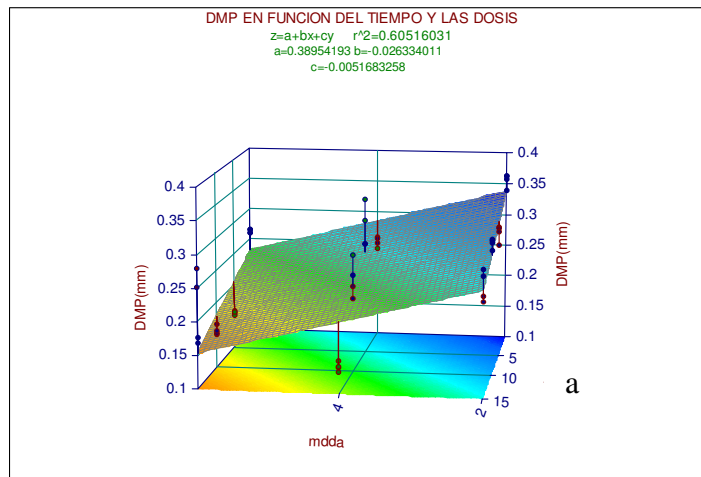
4. BURBANO, O.H. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Pasto: Universidad de Nariño. p 447.
5. CADENA, Z.M., CAMPOS, M.,S. 200. Determination of the Status of Moisture Content for a Minimum Energy Application for Tillage with Mechanical Traction. Terra Latinoamericana, 21, (1), p. 13-19.
6. CANARACHE, A. 1993. A preliminary model estimating soil specific resistance to ploughing. Soil Tillage Res. 27: p 355-363.
7. DA SILVA, F.E Y OLIVEIRA, M.A. 1987. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Boletim Técnico. Copesurcar 36 p 3-7.
8. GARCÍA O.A Y. ROJAS C.C. 2006. Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. SCCS Y SUCROMILES. Nota técnica.
9. GOMEZ. F.E. 1999. Procesos erosivos, estrategias para su caracterización e implementación de sus prácticas básicas de control y prevención. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. p 49.
10. KORNDÖRFER, G.; NOLLA, A.; LARA, W. WALDO A. R.2004. Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo. Memorias seminario “vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible” Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Palmira. Sp.
11. MALAGON, D. Y MONTENEGRO, H. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto geográfico Agustín Codazzi. Bogota. p. 88.

12. MONTENEGRO., G. S. 2008. Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en el cultivo de maíz dulce (zea mays). Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, p 133.
13. NARVAEZ, C. M. 2008. Evaluación de actividad de Fosfatasas y Deshidrogenasas por efecto de la aplicación de vinazas en suelos cultivados con maíz dulce (Zea Mays L). Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, p 124.
14. PRIMAVESI, A.O. 1982. Manejo ecológico do solo:Agricultura em regioes tropicais. São Paolo; Nobel, p 541.
15. QUINTERO, R. 2006. Respuestas de la Caña de Azúcar a las vinazas aplicadas al suelo. VII Congreso de Tecnicaña, Cali, Colombia, 6-8 de Septiembre. V.1 p. 12-20.
16. TEJADA, M. Y GONZALEZ, J. L. 2004. Effect of the application of compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. Eur. J. Agron. 19:357 – 368.
17. TEJADA, M., GONZÁLEZ, J.L. 2005. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield. European journal agronomy. 23: 336–347.
18. TEJADA, M., MORENO, J.L., HERNÁNDEZ, M.T. Y GARCÍA, C. 2007. Application of two beet vinasse forms in soil restoration: Effects on soil properties in an arid environment in southern Spain. Agriculture, ecosystems and environment. 119: 289-298.
19. TEJADA. M., GONZALEZ .J.L. 2006. Effects of two beet vinasse forms on soil physical properties and soil loss. Catena 68: 41-50

20. TISDALL, J. M. AND OADES, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*. 33: 141-163.
21. VOLVERAS, M.B., AMEZQUITA, C.E. 2009. Estabilidad Estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas Andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica, (Palmira)* 58, (1).



Figura 1



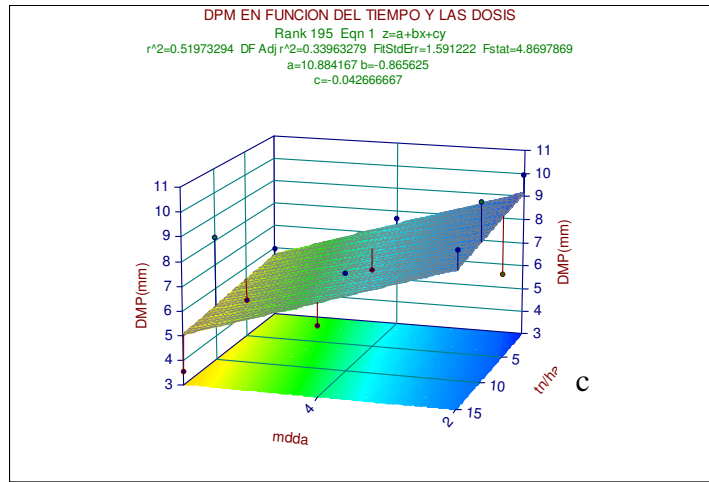
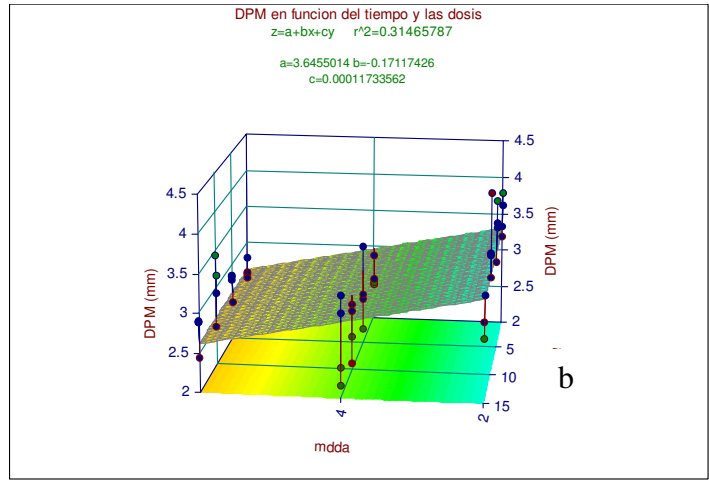


Figura 2.

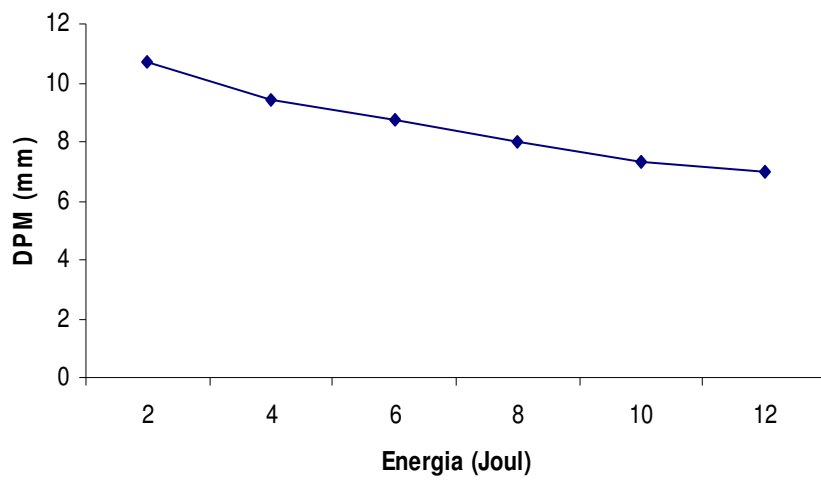


Figura 3.

Figura 1. Máquina de caída libre

Figura 2. Determinación de la estabilidad estructural. a. En húmedo. b. Distribución de agregados en seco. c. Resistencia de los agregados a una fuerza de impacto. DPM en función del tiempo y las dosis de vinaza

Figura 3. DPM promedio por cada nivel de energía aplicado.

Tabla 1. Caracterización química de la vinaza empleada

Brix	pH	CE dS/m	Determinación %									Micronutrientos ppm				
			M.O	N - Total	P2O5	CaO	MgO	K2O	Na2O	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
23,72	4,5	20,05	11,35	0,35	0,21	0,64	0,44	1,20	0,12	0,42	2,48	38,29	149,22	32,40	19,93	

Fuente: Laboratorio químico de Campo Ingenio Providencia S.A

Tabla 2. Caracterización química del suelo

pH	M.O	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Ca+Mg/K
1:1	(%)	cmol*Kg ⁻¹						ppm					
7,9	2,7	15,8	3,8	0,19	0,2	19,79	13	12,9	0,6	59,5	55,4	0,28	103,157

Tabla 3. Propiedades físicas del suelo estudiado

	.%.	Cm ³ .hora ⁻¹	.g.cm ⁻³	mm	%
Textura F Ar					
Arcilla	31,76				
Limo	28				
Arena	40,2				
Conduc. hidráulica		8,5			
Densidad aparente			1,23		
DPM				0,4	
Porosidad total					52,5

Tabla 4. Resultados análisis mineralógicos por difracción de rayos X.

Constitución	
Integrados 2:1 – 2:2	Tr
Micas (probablemente moscovita)	+(12%)
Caolinita	++++(54%)
Gibbsite	++(26%)
Feldspatos	+(6%)

Convenciones: ++++ dominante (>50%) +++ abundante(30-50%) ++ común(15-30%) + presente(5-10%)

tr= trazas(<5%)

Fuente: Análisis realizados por laboratorio de suelos del IGAC

Tabla 5. Cambios en la distribución de agregados (%) secos al aire por efecto del paso del tiempo

Distribución (%) de agregados por tamaño (mm)								
Muestreo (mdda)	> 6,3	6,3- 4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	<0,125
2	21,05 b	16,52 a	20,55 a	11,10 a	8,9 a	8,19 b	6,42b	9,23 a
4	22,136 b	17,75 a	17,32 b	10,7 a	9,09 a	6,61 ab	7,21 b	9,074 a
6	28,019a	13,39 b	14,76 c	10,46 a	10,28 a	8,52 a	8,79 a	5,76 b

Valores con la misma letra no difieren significativamente Duncan $P < (0,05)$