

## RELACION ENTRE EL GRADO DE APLICACION DEL AGUA DEL RIEGO Y LA ESTRUCTURA DEL SUELO\*

Por:

Fabio Bustamante B.\*\*

### RESUMEN

Algunos suelos sueltos, sin estructura, tienden a consolidarse como un resultado del efecto que produce el riego o la lluvia. Una de las manifestaciones de la estructura del suelo es la densidad aparente, la cual está relacionada con la consolidación y reducción de espacios porosos en el suelo. La consolidación causada por la adición de agua al suelo puede tener el mismo efecto de la compactación causado por la labranza o por los equipos agrícolas.

Se hicieron ensayos para determinar la relación entre los diferentes grados de aplicación del agua y la consolidación del suelo debida al riego, y se determinó para cada caso, la densidad y la porosidad. Se encontró que la resistencia del suelo, o sea, el mantenimiento de una estructura dada, es muy sensible al contenido y cambios en el incremento de la humedad, haciendo que se disminuya la macroporosidad con el consecuente aumento de la densidad aparente.

### INTRODUCCION

La determinación de las propiedades físicas de los suelos ha adquirido una gran importancia práctica en relación con el incremento de las zonas de riego y el desarrollo de mejoras y prácticas agrícolas para el aumento de la fertilidad de las tierras bajo riego. La estructura de los suelos es uno de los factores que tiene influencia en los rendimientos de los cultivos y ha venido estudiándose en un empeño de relacionarlo con las otras condiciones físicas del suelo que tienen que ver con el crecimiento de las plantas. En riego, el "grado de aplicación" es una variable de diseño y su selección por el ingeniero diseñador se basa en el criterio generalmente aceptado de que debe ser menor que el grado de infiltración de un suelo particular.

---

\* Contribución del Departamento de Tecnología Agropecuaria.

\*\* Ing. Agr. M. S. Profesor Asociado de Riego y Drenaje.

## REVISION DE LITERATURA

### Definiciones

El grado de aplicación es la cantidad de agua por unidad de tiempo que deberá aplicarse al suelo, ya sea por el método de aspersión o por cualquier otro sistema superficial. La estructura del suelo generalmente se define como la condición según la cual las partículas de suelo se unen y arreglan entre sí, disponiéndose en agregados de distintas formas, tamaños y grados de cementación.

Michurin (9), basado en el principio de que el concepto de la estructura del suelo debería definirse de tal manera que haya un medio para medirla y suponiendo que la estructura se puede representar por un modelo de esferas que forman un arreglo hexagonal de orden múltiplo, evidenciado por la segunda ley de la termodinámica y por hechos experimentales, ha expresado el concepto de estructura por una fórmula matemática simple, que es la siguiente:

$$\frac{D_1}{je} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{D_3}{D_2} = \dots = \frac{D_n}{D_{n-1}} = 0,74 = \text{Constante}$$

En donde  $je$  es la gravedad específica;  $D_1, D_2, D_3, D_n$ , son las densidades promedias de sistemas con primer orden ( $D_1$ ), segundo orden ( $D_2$ ), tercer orden ( $D_3$ ) y cuarto orden ( $D_n$ ), agrupando las esferas. El mismo autor expresa que el coeficiente 0,74 tiene un significado físico, "Describe la constancia de un sistema de arreglos de partículas primarias de suelo y sus agregados, o la constante del grado de compactación que corresponde a un arreglo hexagonal. El término de compactabilidad es una generalización del concepto de densidad aparente de los suelos y permite describir la estructura del suelo de conjunto complejo".

Michurin, tiene en su trabajo algunos ejemplos con los cuales quiere mostrar que la fórmula es el principio de una descripción cuantitativa de la estructura del suelo.

El mismo autor también ha desarrollado una fórmula general para expresar la estructura del suelo, similar a la fórmula mencionada antes, que es:

$$D_n = \frac{je}{(1 + B)^n}$$

en la que  $D_n$  es la densidad aparente;  $je$  la gravedad específica y  $B$  el coeficiente de porosidad expresado por la relación  $P/M$ , en la cual  $P$  es la fracción de volumen de los poros y  $M$  es la fracción de volumen del material en una unidad de volumen de suelo.

## *Factores de Discusión*

Las propiedades físicas de los suelos están caracterizadas por un cierto dinamismo y son muy dependientes del grado de humedecimiento. Uno de los índices principales de las propiedades físicas de los suelos es su densidad aparente, la cual caracteriza la compactación estructural de los suelos como un todo y de sus horizontes individuales.

Los factores "in situ" que están asociados con la velocidad y grado de compactación del suelo son: textura, densidad del suelo (real), contenido de humedad, contenido de materia orgánica. Afirma Krynine (6) que las densidades aparentes de los suelos disminuyen sistemáticamente en el orden de disminución en que las partículas de suelo lo hacen desde grava hasta arcilla.

Según Lull (8), si el suelo se somete a iguales esfuerzos, la compactación será una función de la densidad inicial; la menor densidad corresponde a un mayor esfuerzo de compresión, manteniendo todos los otros elementos iguales.

Doneen y Henderson (1) encontraron una relación lineal inversa entre el grado de infiltración de un suelo arenoso después de que éste fue compactado y su contenido inicial de humedad. Russel *et al.* (10), estudiaron el efecto de 25 adiciones anuales de materia orgánica a un suelo en condiciones de campo y concluyeron que estas adiciones ayudaban muy poco a la resistencia del suelo a la compactación. Kinpers (7) observó que un pequeño cambio en el contenido de humedad del suelo influye notablemente en la resistencia de éste a la compresión.

## *Asentamiento y Compactación del suelo.*

Para el presente trabajo es necesario aclarar la diferencia entre asentamiento y compactación del suelo. Ambos representan un cambio en el espacio ocupado por el suelo y los factores como densidad aparente, porosidad, contenido de humedad y otros que se analizan para la compactación, conservan casi el mismo efecto en el estudio del asentamiento del suelo. La diferencia entre ellos puede entenderse con ayuda de sus definiciones. Keller (5) define asentamiento del suelo como "el movimiento hacia abajo que ocurre a la superficie del suelo cuando éste está siendo humedecido" y la compactación del suelo se puede definir como "el apretamiento de las partículas del suelo por el efecto de las fuerzas que se ejercen sobre él y que se manifiestan en un aumento de la densidad del suelo debido a una disminución de los espacios porosos". En este caso el movimiento de las partículas de suelo es tridimensional.

En condiciones de campo, el efecto del grado de aplicación del agua de riego sobre el suelo aparentemente lo afecta desde el punto de vista del asentamiento, aunque durante el drenaje, el encogimiento del suelo puede causar algunos movimientos hacia abajo, seguidos de movimientos tridimensionales que producen rompimiento del mismo.

## Grado de aplicación del agua de riego, y estructura del suelo.

De acuerdo con la literatura revisada, pocos trabajos se han hecho para buscar la relación entre el grado de aplicación del agua de riego, y la estructura del suelo. Finkel y Nir (2) atribuyen la diferencia en rendimientos, al comparar los efectos del riego por melgas y por aspersión sobre las características del suelo y la respuesta de los cultivos, en un estudio desarrollado con alfalfa, a una disminución significativa de la aireación del suelo como un resultado del riego por gravedad.

Gray (4) observó el uso de bajos grados de aplicación del agua por aspersión y encontró que con una aplicación de 0,04 pulgadas (0,10 centímetros) por hora la estructura del suelo fue mejorada y que los suelos fueron más manejables a bajos grados de aplicación.

Witte, citado por Keller (5), usando una gota que causara el mismo impacto en un campo de riego por aspersión, en un suelo pesado de Alemania, encontró que el volumen de poros en una profundidad de 0,3 pulgadas, (7,6 centímetros) desde la superficie del suelo, no fue afectado por grados de aplicación de 0,4 pulgadas (1,01 centímetros) por hora, hasta completar 1,5 pulgadas (3,81 centímetros) de lámina total de agua aplicada. Mostró en su informe una disminución en porosidad cuando usó aplicaciones de 0,75 pulgadas (1,90 centímetros) aplicadas a 3,0 pulgadas (7,6 centímetros) por hora y para una aplicación de 1,5 pulgadas (3,81 centímetros) aplicadas al mismo grado, encontró una disminución en la porosidad del suelo superficial mayor del 10%. Con relación al rendimiento del cultivo, para lo cual usó frijol (*Phaseolus vulgaris*. L) la respuesta fue de 35% cuando el grado de aplicación cambió de 0,4 a 3,0 pulgadas (1,01 a 7,6 centímetros) por hora.

Fireman (3) expresó el concepto de que el cambio en la estructura del suelo está relacionado con los cambios en la permeabilidad, los cuales a su vez están influenciados por varios factores, siendo los más importantes los que están relacionados con el desplazamiento del aire desde los espacios porosos. Stalzy *et. al.* (11) reportaron que no hubo diferencias significativas en la estructura del suelo cuando se empleó riego por inundación o riego por aspersión con grados de aplicación bajos.

## MATERIALES Y METODOS

Para observar el efecto del grado de aplicación sobre la estructura del suelo, se llevó a cabo un trabajo experimental para el cual se usó una columna de suelo de textura franco limosa. El equipo empleado consistió en un aplicador de agua que permitió que ésta se aplicara simulando aspersión e inundación a distintos grados de aplicación; un recipiente para el suelo, el cual fue colocado a una densidad aparente inicial de 1,2; un peso para producir la carga externa sobre la muestra y que equivalía a una presión de 12 gramos por centímetro cuadrado, o una columna de suelo de 10 centímetros sobre la misma; un juego de pequeños tensiómetros para observar el cambio en contenido de humedad y controlar la duración de la aplicación, la cual se terminaba cuando el contenido de humedad era uniforme en toda la muestra (Figuras 1 y 2).

## RESULTADOS

Los resultados del trabajo experimental se presentan en la Tabla 1, en la cual se dan los valores de asentamiento, los cambios de altura de la columna de suelo, la densidad final, la porosidad final y los grados de aplicación. La Figura 3 muestra la relación entre el grado de aplicación y la densidad final obtenida de cada ensayo y prueba que el grado de aplicación y la densidad final son medios para producir compactación del suelo y para expresar cambios en la estructura del mismo. Se observó también, una relación exponencial positiva entre estos dos parámetros (Figura 4). El mayor incremento en densidad final de 1,20 a 1,39 o sea el 80%, se obtuvo cuando los grados de aplicación pasaron de 0,00 a 2,06 centímetros por hora.

La porosidad final, después de altos grados de aplicación, fue de 45,6%, comparada con 53,5% para bajos grados de aplicación. Se puede suponer que el porcentaje de humedad por volumen que quedó después de drenar a una tensión de 100 centímetros de agua, es aproximadamente igual a la microporosidad. Suponiendo una capacidad de campo de 20% de humedad por peso, la microporosidad obtenida con base en altos grados de aplicación fue:  $20,0 \times 1,44 = 28,8\%$  y para bajos grados de aplicación fue:  $20,0 \times 1,23 = 24,6\%$ ; restando estos dos valores de la porosidad final se obtiene la macroporosidad o sea  $45,6 - 28,8 = 16,8\%$  y  $53,5 - 24,6 = 28,9\%$  de macroporos después de un grado de aplicación alto y bajo respectivamente.

## DISCUSION

Casi todos los investigadores consultados han encontrado que la estabilidad de los agregados es una función del grado de humedecimiento y del contenido de humedad inicial. El incremento en el contenido de humedad causa una disminución en la tensión de humedad del suelo y si la caída es muy baja la estructura del suelo no puede soportar el peso del que está por encima y entonces ocurre el asentamiento.

Para el método de riego por aspersión, el grado de aplicación y el tamaño de la gota están relacionados con el aumento o disminución del tamaño de la boquilla, lo cual a su vez modifica la energía de impacto de las gotas sobre la superficie del suelo, la cual tiene influencia en la agregación de las partículas en el suelo.

Los aumentos en densidad aparente que tienen lugar por los cambios que ocurren en la macroporosidad están asociados con una disminución en la capacidad de infiltración, aireación y productividad de las plantas. (La macroporosidad está asociada con los espacios porosos, los cuales están llenos de aire. Los microporos proveen el espacio para almacenar la humedad del suelo).

La relación de permeabilidad expresa en un número no dimensional simple el efecto de muchos factores y procesos que influyen en la estabilidad de la estructura del suelo y es una medida integrada del efecto de hinchamiento, distorsión y otros procesos que ocurren al cambiar la estructura del suelo como un resultado de su humedecimiento.

## CONCLUSION

En los estudios agronómicos y de ingeniería de riego, es muy importante el conocimiento del asentamiento del suelo, debido a los cambios de humedad. El grado de aplicación del agua de riego tiene diferentes efectos sobre la estructura total del suelo, especialmente sobre el contenido de humedad y el asentamiento que se presenta en el humedecimiento. El asentamiento máximo parece presentarse cuando la tensión de humedad del suelo en la capa superficial se aproxima a cero. El asentamiento es seguido por un aumento en densidad, cuando el suelo empieza a drenar y se presenta el encogimiento del mismo. La resistencia del suelo muestra ser muy sensible al contenido de humedad, el cual a su vez es función del grado y cantidad de aplicación del riego.

Los espacios entre los agregados del suelo forman la macroporosidad, cuando un suelo en buenas condiciones de laboreo es comprimido o asentado, la macroporosidad se reduce y la densidad aparente aumenta.

## BIBLIOGRAFIA

1. Doneen, L. D. and D. W. Henderson. 1953. Compaction of irrigated soils by tractors. *Agr. Eng.* 34: 94 - 95.
2. Finkel, H. J. and N. Nir. 1959. Gravity vs. sprinkling methods of irrigation. A comparative study. *Soil Sci.* 88: 16 - 24.
3. Fireman, M. 1944. Permeability measurements on disturbed soil samples. *Soil Sci.* 58: 337 - 353.
4. Gray, A. S. 1959. The very slow sprinkler application rate. *Irrig. Eng. and Maintenance.* 9 (8): 7 - 17.
5. Keller, J. 1966. The effect of application rate on moisture content and settlement of a loam soil during watering. Ph D Dissertation. Utah State University. Logan. Utah, U.S.A. 220 p.
6. Krynine, D. D. 1951. Some comments on earth compaction. *North Res. Council Highways Res. Bd. Bul.* 42: 14 - 20.
7. Kinpers, H. 1958. Confined compression tests on soil aggregates samples. *Proceeding of the International Symposium on Soil Structure.* Ghent. pp. 90 - 98.
8. Lull, H. W. 1959. Soil compaction on forest and range land. *U.S. Agric. Misc. Pub.* 768: 1 - 33.
9. Michurin, B. N. 1965. Theory of soil structure. *Soviet Soil Science* 11: 1283 - 1287.
10. Russel, M. B.; A. Klute, and W. C. Jacob. 1952. Further studies on the effect on long time organic matter additions on the physical properties of sassafras silt loam. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 16: 156 - 159.
11. Stalzy, L. H.; T. E. Szuszkiewicz; M. J. Garber, and R. B. Harding. 1960. Effect of soil management practices on infiltration rate. *Soil Sci.* 89: 338 - 339.

TABLA 1 Asentamiento, cambio de altura en la columna de suelo, densidad final y porosidad final.

Prb. Nº	Características finales Asentamiento de la columna de suelo			Grado de aplicación	
	Altura	Densidad	Porosidad		
	porcent.	cm.	porcent.		
25	2,02	9,80	1,23	53,5	0,10
24	5,0	9,50	1,26	52,5	0,20
23	8,0	9,20	1,30	50,9	0,40
22	9,0	9,10	1,32	50,3	0,60
21	10,5	8,95	1,34	49,5	0,70
10	12,0	8,80	1,36	48,7	0,94
8	14,0	8,60	1,39	47,5	1,06
2	14,0	8,60	1,39	47,5	1,53
11	14,0	8,60	1,39	47,5	1,79
19	12,0	8,80	1,36	48,7	1,95
14	13,0	8,70	1,38	47,9	2,06
1	14,0	8,60	1,39	47,5	2,81
5	16,0	8,40	1,43	46,0	3,15
20	14,0	8,60	1,39	47,5	3,40
7	16,0	8,40	1,43	46,0	3,70
17	15,0	8,50	1,41	46,8	3,95
9	15,0	8,50	1,41	46,8	4,40
12	15,0	8,50	1,41	46,8	4,85
4	16,0	8,40	1,43	46,0	5,25
15	16,0	8,40	1,43	46,0	5,50
13	16,0	8,40	1,43	46,0	5,95
3	16,0	8,40	1,43	46,0	6,50
18	16,5	8,35	1,44	45,6	7,40
16	16,5	8,35	1,44	45,6	7,75
6	16,5	8,35	1,44	45,6	8,00

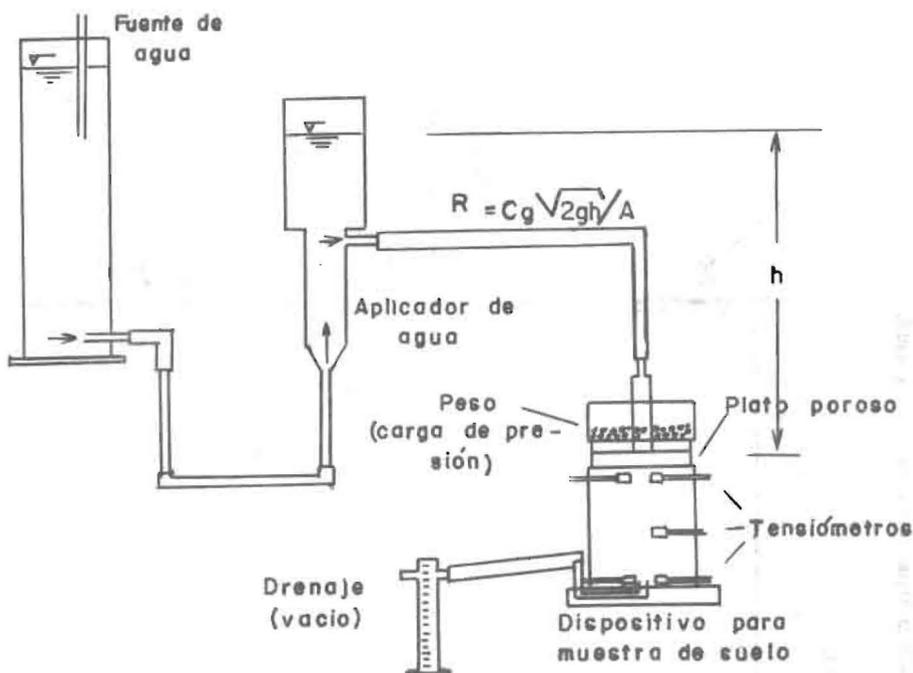


Figura 1.— Disposición del equipo para simulación del sistema de inundación.

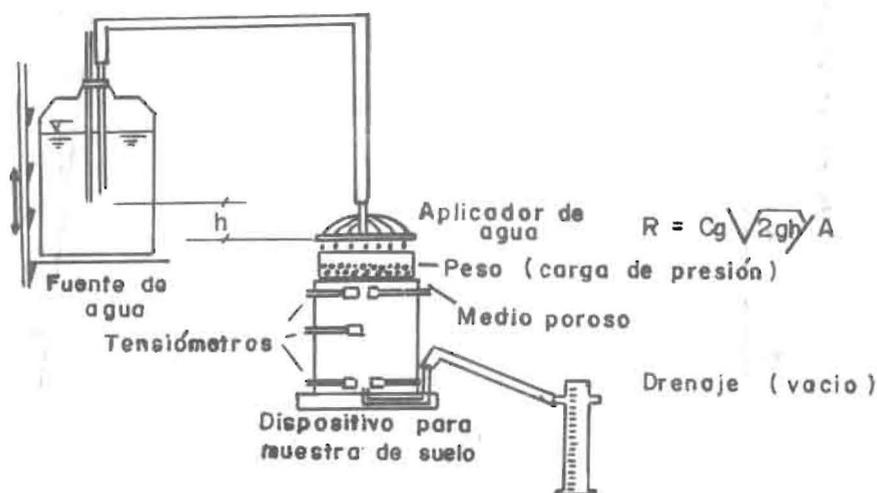


Figura 2.— Disposición del equipo para simulación del sistema de aspersión.

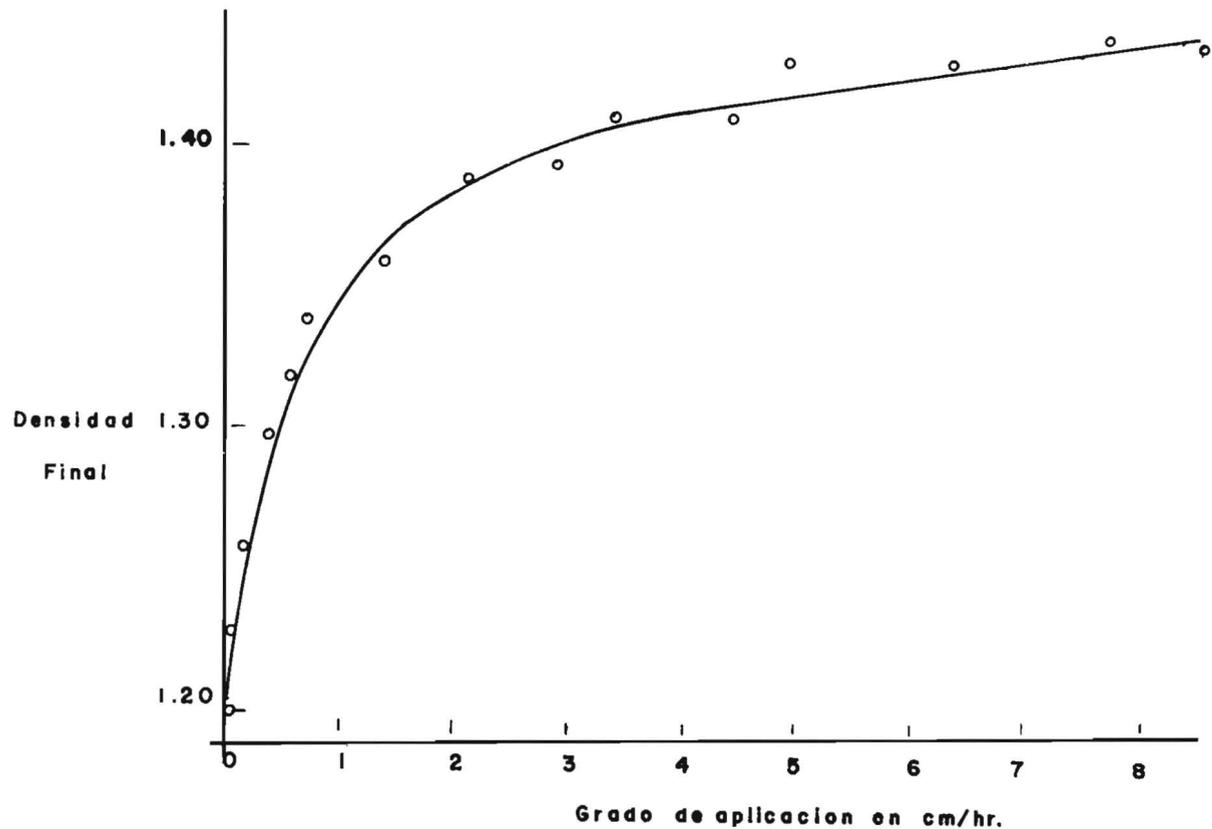


Figura 3.— Relación entre el grado de aplicación y la densidad final.

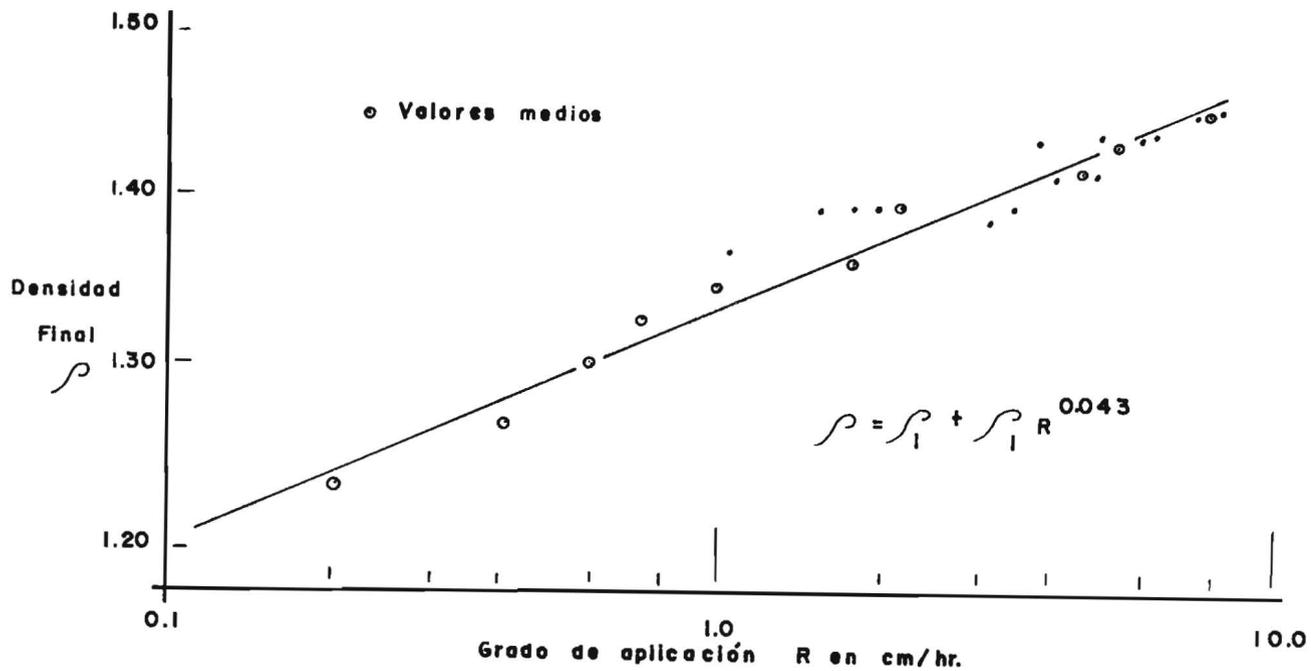


Figura 4.— Relación entre el grado de aplicación y la densidad final.