

# Respuesta del ajo a un gradiente de humedad

---

**El presente trabajo consistió en conocer la respuesta en el rendimiento del ajo (*Allium Sativum* L.) a diferentes niveles de humedad, utilizando para ello la metodología del riego por gradiente, con un diseño experimental de bloques completos al azar. Con la aplicación de tratamientos de agotamiento de humedad en el suelo (stress) en tres etapas del ciclo vegetativo se estableció el período más crítico del cultivo al déficit de humedad.**

---

**GERMAN MENDOZA RONCANCIO**  
Ingeniero agrícola  
Profesor asistente  
Universidad Nacional de Colombia

**LUIS ALEJANDRO RAMIREZ**  
**MANUEL RINCON**  
Ingenieros agrícolas

## INTRODUCCION

Uno de los factores limitantes de la producción agrícola en Colombia es la escasez de agua para el riego de los cultivos, debido a los prolongados veranos, a la dificultad de obtención en ciertas regiones y en ocasiones a los altos costos de explotación, conducción y aplicación del agua para riego, lo cual disminuye o limita la producción y los rendimientos de los cultivos.

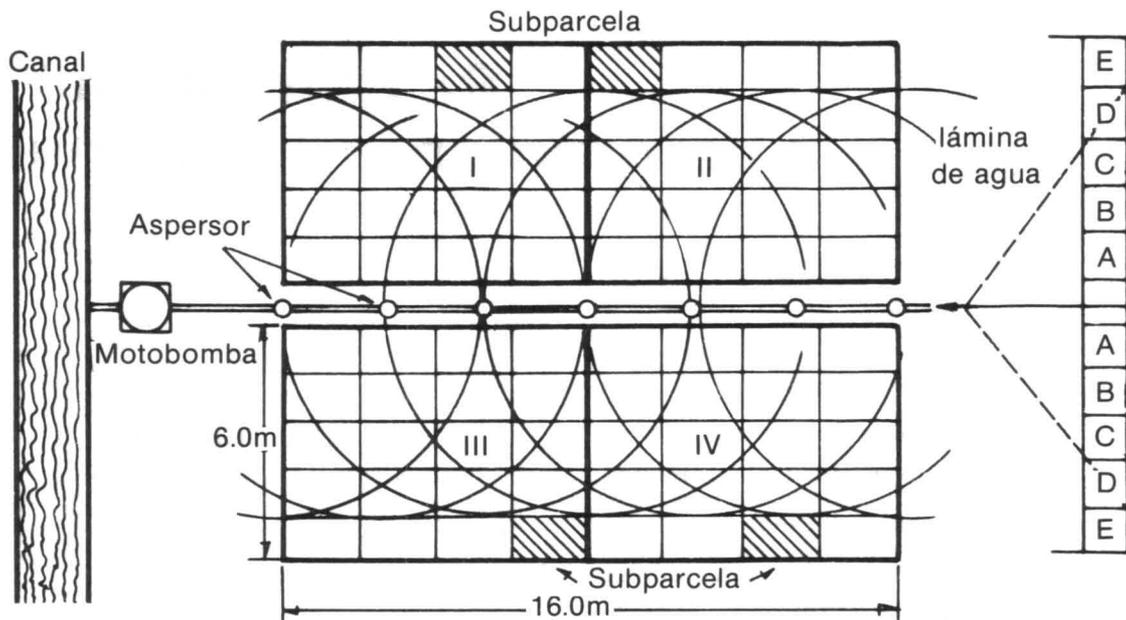
En Colombia ha sido tradicional la creencia generalizada de que la actividad del riego no es una práctica necesaria, puesto que la precipitación total anual, en la mayor parte de las regiones agrícolas del país, es suficiente en cantidad para cubrir las necesidades de agua de los cultivos y que solamente en ciertos cultivos intensivos (flores en la Sabana de Bogotá, caña de azúcar en el Valle del Cauca, etc.) justifican la aplicación sistematizada de riego.

El exceso o déficit de agua en el suelo disponible para las plantas, tienen un proceso aleatorio por cuanto dependen de la cantidad y distribución de la precipitación, siendo ésta, variable en el tiempo y en el espacio, y en contadas ocasiones cumple con los requisitos del riego como tal, es decir, en cantidad, frecuencia y época específica que demandan los cultivos.

## METODO DE RIEGO POR GRADIENTE

Consiste en la utilización de una línea de aspersión (lateral) extendida por el centro de una parcela, con aspersores espaciados más cerca que las distancias diseñadas para el riego por aspersión convencional, con lo cual se obtiene: una aplicación continua y uniforme paralela a la línea de aspersión y una aplicación variable en dirección normal a medida que aumenta la distancia de la línea de aspersión (Nivel A a Nivel E).

El resultado es una aplicación de láminas de agua con un patrón de distribución triangular (muy aproximado), el cual forma el gradiente de humedad, que tiene su máxima aplicación en el nivel más aproximado a la línea de aspersores



(Nivel A) y decrece continuamente hasta un nivel cero para una distancia mayor al radio húmedo del aspersor (Nivel E).

Según Hanks (1974) este método es el utilizado para obtener los datos de las funciones de producción de un cultivo cualesquiera para diferentes niveles de humedad; además es un método económico, simple de instalar y operar, requiere un área experimental y un suministro de agua relativamente pequeños.

Walts, et al (1980) propone que deben realizarse previamente combinaciones de tipo de boquillas, presiones de operación y espaciamiento entre aspersores, con el fin de obtener patrones de humedecimiento triangulares en la aplicación de agua, señalando que estos arreglos son algo contradictorios a los procedimientos de diseño en riego por aspersión, pero que resultan convenientes para estudios de investigación (objeto del presente trabajo).

**PROCEDIMIENTO**

**Características climatológicas**

El ensayo se realizó en el lote N° 5 del Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional, municipio de Mosquera (C/marca). Las características climatológicas se obtuvieron de los registros de la Estación meteorológica del Centro Nacional de Investigación, Tibaitatá, del I.C.A., para un período promedio de 30 años, cuyos resultados son:

Altura, 2550 m.s.n.m.; temperatura promedio, 13,1°C; precipitación anual media, 647,2 mm; evaporación anual promedio, 1071 mm; humedad relativa promedio, 76%.

**Características edafológicas**

En la Tabla N° 1 se resumen los resultados principales de las muestras analizadas para caracterizar el suelo desde los puntos de vista químico y físico en los primeros 30 centímetros de profundidad (máxima profundidad radicular).

**TABLA 1**  
**Características químicas**

pH	M.O. %	Miliequivalentes/100 g de suelo					C.I.C.	C.E mmhos/cm.
		Ca	Mg	Na	K	Al		
5.5.	12.1	10.0	4.0	0.8	0.95	15.7	0.78	
<b>Características físicas</b>								
densidad aparente g/cc	textura	porosidad n %	retencion de humedad					
			Bares	1/10	1/3	1	15	
1.23	F-Ar-L	42.43	θ <sub>w</sub> %	49.94	43.66	36.73	30.20	

### Pruebas preliminares

Previo a la instalación del equipo se realizaron las siguientes pruebas:

**Nivel freático.** Se barrenó a una profundidad de 1,5 metros y el nivel freático se mantuvo constante a una profundidad de 70 centímetros durante el tiempo de ensayo, lo cual no aporta humedad al cultivo cuya profundidad radicular máxima es de 30 centímetros.

**Velocidad de infiltración.** Se obtuvo a partir de anillos infiltrómetros utilizándose la fórmula de Kostiakov; las ecuaciones obtenidas fueron

$$d = 0.811 t^{0.553} \text{ (cm).}$$

$$i = 26.907 t - 0.447 \text{ (cm/hr)}$$

$$ib = 22.1 \text{ mm/hr.}$$

Para efectos prácticos de diseño se asumió como tasa máxima de aplicación de riego el 80% de la infiltración básica (ib).

**Evaluación del equipo.** Se realizaron tres evaluaciones con duración de dos horas y los datos fueron:

— Caudal medio del aspersor:	106,4	litros/hora
— Presión media del aspersor:	27,6	p.s.i.
— Presión media de la bomba:	28,5	p.s.i.
— Capacidad media del sistema:	957,6	litros/hora
— Velocidad de aplicación:	8,21	mm/hr

Para determinar la separación entre microaspersores se efectuaron ensayos para diferentes distancias, obteniéndose el mejor patrón de distribución triangular de láminas de agua para

2,7 metros entre microaspersores, tal como se aprecia en la Figura 2.

### Cultivo

La siembra se realizó con semilla de ajo rosado peruano, previamente tratado según recomendación del ICA. Se construyeron las eras de 0,9 metros de ancho y longitud de 18,0 metros, dejando calles de 0,3 metros con el fin de facilitar las labores culturales y establecer los diferentes niveles de humedad.

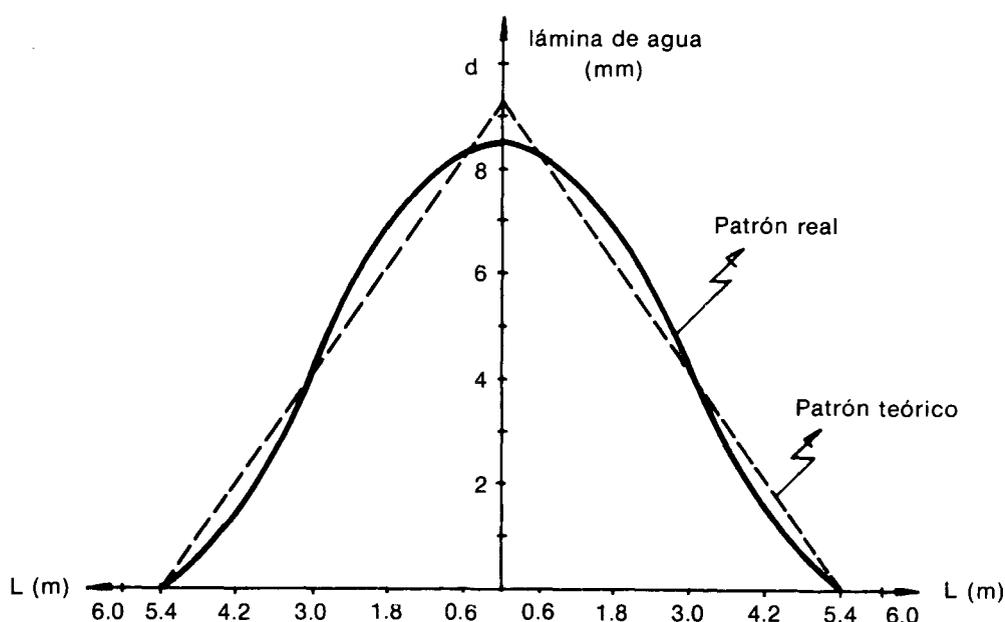
A cada era le correspondió un nivel de aplicación de agua y en ésta se sembraron hileras de plantas a través, separadas entre sí 20 centímetros, obteniéndose una población aproximada de 1150 plantas por cada era.

La germinación se desarrolló normalmente en 8 días, período en el cual se realizaron dos riegos intensos uniformemente en toda la parcela. Se efectuaron dos aplicaciones de fertilizante (10-30-10) a los 15 y 75 días después de la siembra con dosis de 300 Kg/ha, aplicadas entre hileras de plantas y de acuerdo con el resultado del análisis de fertilidad del suelo.

El control de malezas se realizó efectuando dos aplicaciones de Afalón y Goal con dosis de 2,5 Kg/ha y 1,5 Lt./ha. respectivamente. Para controlar el kikuyo se realizaron frecuentes deshierbes manuales, dado que este no se puede erradicar químicamente en este cultivo.

El ciclo vegetativo del cultivo se dividió en tres etapas para la ejecución del **stress** en cada una de ellas.

1. Etapa de establecimiento, desde la siembra hasta los 45 días.
2. Etapa de formación de tallos, desde los 45 hasta los 90 días.



3. Etapa de formación de bulbos, desde los 90 hasta los 130 días, cuando se suspende el riego.

**Aplicación del riego**

La cantidad de agua aplicada en milímetros (mm) por cada subparcela se indica en la Tabla 2.

**TABLA 2**  
Cantidad de agua aplicada, en milímetros

Tratamiento	1	3	2	4	2	1	3	4
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	73	57	65	97	65	73	57	97
C	244	189	216	325	216	244	189	325
B	383	298	341	511	341	383	298	511
A	454	353	404	606	404	454	353	606
A	363	415	623	467	623	363	467	415
B	304	348	521	391	521	304	391	348
C	199	228	341	256	341	199	256	228
D	60	69	104	78	104	60	78	69
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tratamiento	3	2	4	1	4	3	1	1

El total de horas de riego aplicado a cada uno de los cuatro tratamientos fue de 54, 48, 42 y 72 horas, respectivamente.

Los tratamientos de riego fueron:

1. Aplicación de **stress** durante los primeros 45 días del ciclo vegetativo.
2. Aplicación de **stress** durante los días 45 al 90.
3. Aplicación de **stress** durante los días 90 al 135.
4. Aplicación de riego durante todo el ciclo vegetativo, como tratamiento de control.

**Cosecha**

La recolección se realizó en forma normal y la producción de cada subparcela se amarró en atados y se pesó el mismo día de la cosecha. Los datos de producción de bulbo expresados en libras (Lb) se presentan en la Tabla 3.

Los porcentajes promedios de producción de bulbos con respecto a los datos de producción total (tallos y bulbos) obtenidos por cada nivel de humedad fueron:

Nivel	A	B	C	D	E
Prod. bulbos (%)	40	45	48	52	54

**Análisis estadístico**

Se realizó utilizando el diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cuatro bloques o repeticiones. La ubicación de los tratamientos en cada bloque o repetición se hizo al azar, como se observa en las Tablas 2 y 3.

**TABLA 3**  
Producción de bulbo en cada subparcela (Lb)

Tratamiento	1	3	2	4	2	1	3	4
E	0.4	0.8	0.5	1.9	2.4	1.1	2.2	2.1
D	2.2	5.5	2.6	6.2	3.9	1.5	4.2	4.5
C	2.4	7.0	4.3	5.1	4.4	4.0	4.6	5.4
B	3.6	8.2	7.0	6.8	6.3	5.9	6.8	6.8
A	3.0	6.2	5.4	6.2	6.8	5.0	6.2	5.4
A	6.9	4.6	5.6	3.0	5.2	6.3	5.9	6.6
B	4.6	5.2	5.8	3.5	5.7	5.3	4.2	4.5
C	3.7	2.8	3.7	1.2	5.5	4.5	2.1	2.4
D	3.2	2.6	3.8	0.7	3.4	3.0	0.9	1.8
E	2.1	0.8	2.9	0.1	0.8	0.4	0.2	0.3
Tratamiento	3	2	4	1	4	3	1	2

**Análisis de varianza**

Para conocer la variación entre tratamientos durante el experimento se utilizó el método propuesto por Little y Hills (5).

Factor de varianza Fischer (F). La prueba F se utiliza para verificar la desigualdad entre medias de tratamientos; si la probabilidad de que la variación observada entre medias, que pudiera ocurrir por casualidad es de un 5% o menor, se dice que las medias son significativamente diferentes.

Si la probabilidad observada entre medias, la cual pudiese esperarse que ocurriera por casualidad, es de 1% o menor, se dice que las diferencias son altamente significativas. (Ver Tabla 4).

**TABLA 4**  
Factor de varianza de Fischer (F)

Nivel	calculado %		tabulado %	
	F (b)	F (t)	F (5%)	F (1%)
A	1.12	4.25	3.86	6.99
B	4.70	4.86	3.86	6.99
C	4.43	8.57	3.86	6.99
D	7.67	23.67	3.86	6.99
E	6.0	5.0	3.86	6.99

- F = Factor de varianza de Fischer
- F (b) = Factor de varianza del bloque (calculado)
- F (t) = Factor de varianza de tratamiento (calculado)
- F (5%) = Factor de varianza (tabulado)
- F (1%) = Factor de varianza (tabulado).

**Prueba de rango múltiple de Duncan**

Esta prueba es la más ampliamente conocida y utilizada para comparar las diferencias estadísticas existentes entre los tratamientos de un experimento e incluye el cálculo de Diferencias Significativas Mínimas (DSMn) para todas las

posiciones relativas posible entre las medias de los tratamientos.

La significancia o existencia de diferencias significativas mínimas al 5% para la producción de bulbos por niveles se muestran en la Tabla 5.

**TABLA 5**  
**Diferencias significativas entre medias de tratamiento**

Nivel	Diferencia entre tratamientos (Lb)					
	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
A	1.5*	2.1*	1.3	0.6	0.2	0.8
B	1.5*	1.9*	2.0*	0.4	0.5	0.1
C	1.1	2.6*	2.5*	1.5*	1.4*	0.1
D	1.4*	2.7*	2.9*	1.3*	1.5*	0.2
E	0.5	0.9	1.4*	0.4	0.9	0.5

\* La diferencia entre estos tratamientos es altamente significativa.

### Funciones de producción

La curva que presenta mejor ajuste a los datos obtenidos en el campo, es de tipo polinómico de segundo grado. Como el objeto del cultivo del ajo es obtener peso en los bulbos y no en tallos y bulbos, se tomaron los datos de producción de bulbos y de lámina de agua total aplicada.

Las ecuaciones de función de producción para cada tratamiento son:

Trat.	Ecuación	Correl. *	Error Est.
1.	$Y = -0.0016X^2 + 0.299X + 3.070$	0.854	2.58
2.	$Y = -0.0055X^2 + 0.457X + 4.607$	0.900	2.10
3.	$Y = -0.0079X^2 + 0.593X + 3.420$	0.757	4.09
4.	$Y = -0.0015X^2 + 0.248X + 3.680$	0.683	4.35

\* Factor de correlación curvilínea

La significación para los valores de correlación en todos los tratamientos fue superior al 0.1% de probabilidad de obtener un valor mayor mientras que el error estándar fue menor para el tratamiento 2.

## ANALISIS DE RESULTADOS

### Aplicación del riego

Los tiempos de riego y las láminas aplicadas se calcularon en función de las necesidades del cultivo en cada una de las etapas en que se dividió el período vegetativo, teniendo en cuenta la profundidad radicular y la velocidad media de aplicación de cada nivel de humedad.

### Rendimientos

La producción de bulbo obtenida en cada subparcela consignada en la Tabla 3, muestra claramente cómo ésta decrece al disminuir el contenido de humedad entre los niveles por efecto del gradiente.

La Tabla 6 muestra el rendimiento total y de bulbos promedios de cada nivel de humedad, donde el rendimiento promedio del bulbo del nivel E más alejado de la línea de microaspersores equivale al 21.0% del obtenido en los niveles de mayor contenido de humedad (A y B).

**TABLA 6**  
**Rendimientos promedio por niveles de humedad**

Nivel	rendimiento total (ton/ha)	rendimiento bulbo (ton/ha)	porcentaje (%)
A	34.25	13.75	98.0
B	31.25	14.00	100.0
C	20.00	9.75	70.0
D	7.75	7.75	55.0
E	5.50	3.00	21.0

En cuanto a la calidad de los bulbos, los niveles B y C presentaron mejor tamaño debido a que el exceso de humedad del nivel A más próximo a los microaspersores ocasionó pudriciones y exagerado crecimiento en tallo y hojas de las plantas (encebollamiento).

La Tabla 5 consigna la Diferencia Significativa Mínima obtenida entre cada una de las medias de los tratamientos con el 5% de probabilidad de error o casualidad, es decir, que el 95% de variación se obtuvo por diferencias experimentales.

Se estableció que los niveles de humedad que presentaron mayores diferencias altamente significativas de producción entre cada tratamiento, fueron los niveles C y D confirmándose en campo dicha aseveración.

### Funciones de producción

Tratándose de datos biológicos, la relación entre dos o más variables es compleja. Los datos de rendimiento y lámina de agua total aplicada se ajustan a una ecuación polinómica de segundo grado.

Las ecuaciones obtenidas de los tratamientos 2 y 3 presentan comportamientos similares, con coeficientes de correlación de 0.900 y 0.757. El rendimiento óptimo se presenta en estas curvas para un rango entre 350 y 450 milímetros de lámina de agua total para un consumo de 2.7 a 3.5 milímetros de agua por día, valores que concuerdan con los recomendados en los trabajos desarrollados en el programa de hortalizas del ICA (4).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La distribución del patrón de humedad obtenido con la línea de microaspersión permitió un

- buen control del agua para obtener el gradiente.
2. El mayor rendimiento en cuanto a cantidad y calidad de bulbo correspondió al obtenido en el nivel B, con una producción de 14.0 toneladas/hectárea.
  3. Los porcentajes de rendimiento en bulbo para los niveles más bajos de humedad C, D, y E con respecto al nivel B (100%) fueron respectivamente 70%, 55% y 21%.
  4. Las épocas críticas del cultivo del ajo a la sequía correspondieron al período de establecimiento (desde la siembra hasta los 45 días), seguida del período de formación del bulbo (entre 90 y 130 días del ciclo vegetativo).
  5. Los niveles de humedad C y D con rendimientos de bulbo de 9.75 y 7.75 ton/ha, fueron los que presentaron mayores diferencias significativas entre tratamiento de stress.
  6. Los valores de significancia (F) comprendidos entre el 5% y el 1% para todos los niveles de humedad, indican que existieron diferencias experimentales reales entre los diferentes tratamientos y que éstas no ocurrieron por casualidad.
  7. La relación entre el rendimiento y el insumo (agua aplicada) para la variedad de ajo estudiada es descrita por una ecuación cuadrática de retornos decrecientes. La ecuación de mejor ajuste y menor error estándar fue la obtenida con los datos del tratamiento 2.
 
$$Y = -0.0055X^2 + 0.475 X + 4.607$$

Y = Rendimiento en ton/ha.  
X = Lámina de agua aplicada, en centímetros.
  8. Las demandas óptimas de agua obtenidas de la función respuesta para la variedad de ajo estudiado (Rosado peruano) en las condiciones de la Sabana de Bogotá, son del orden de 400 a 450 milímetros, equivalentes a un uso consuntivo diario de 3.0 a 3.5 milímetros para un ciclo vegetativo de 130 días.
  - 9 Se recomienda la realización de este tipo de ensayos en otros cultivos de alto consumo, buscando que los incrementos obtenidos con la optimización del recurso hídrico permitan satisfacer la demanda interna y obtener excedentes de exportación.

---

### BIBLIOGRAFIA

1. ASAE - Design Operation of Farm Irrigation System Water requirements. Cap. 9-18. 1980.
2. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Programa de Desarrollo y Diversificación. El cultivo del ajo. 1985.
3. GRASSI, C.J. Estimación de usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. CIDAT. Venezuela. 1967.
4. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA) Hortalizas. Manual de asistencia técnica.
5. LITTLE T., HILL F.J. Métodos estadísticos para la investigación en agricultura. Trillas - México 1985.
6. ROJAS P.H. Riego gradiente en algodón. Mecanografiado. Medellín, Colombia. 1980.
7. STELL R., TORRIE J. Bioestadística, principios y procedimientos McGraw-Hill. 1980.