

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS

EFFECTO DE LA LLUVIA ACIDA SIMULADA  
SOBRE PHASEOLUS VULGARIS

TESIS PRESENTADA A LA FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA  
DE BIOLOGIA, PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIADO EN BIOLOGIA

JOSE ANTONIO BARBOZA LOAICIGA

CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO

1986

Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias, Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de:

LICENCIADO EN BIOLOGIA

APROBADA

María Isabel Morales Z.

M.Sc. María Isabel Morales Z.

Representante del Director de  
la Escuela

Eugenia M. Flores V.

Ph.D. Eugenia M. Flores V.

Directora de Tesis

[Signature]

Dr. Luis Alberto Fournier

Miembro Tribunal

[Signature]

Lic. Bernardo Chacón

Miembro Tribunal

[Signature]

Lic. Alexis Rodríguez

Miembro Tribunal

[Signature]

José Antonio Barboza L.

Sustentante

DECLARACION

Yo, don Juan Manuel de los Angeles, de edad de treinta y tres años, natural de la ciudad de Madrid, España, con domicilio en esta ciudad, declaro que he sido el autor de la obra titulada "El libro de los nombres", que he escrito y publicado en esta ciudad, en el año de mil novecientos veinte y tres, y que he sido el autor de la obra titulada "El libro de los nombres", que he escrito y publicado en esta ciudad, en el año de mil novecientos veinte y tres, y que he sido el autor de la obra titulada "El libro de los nombres", que he escrito y publicado en esta ciudad, en el año de mil novecientos veinte y tres.

A los señores don Juan Manuel de los Angeles, de edad de treinta y tres años, natural de la ciudad de Madrid, España, con domicilio en esta ciudad, declaro que he sido el autor de la obra titulada "El libro de los nombres", que he escrito y publicado en esta ciudad, en el año de mil novecientos veinte y tres, y que he sido el autor de la obra titulada "El libro de los nombres", que he escrito y publicado en esta ciudad, en el año de mil novecientos veinte y tres, y que he sido el autor de la obra titulada "El libro de los nombres", que he escrito y publicado en esta ciudad, en el año de mil novecientos veinte y tres.

A mi madre  
A mi esposa

LIBRO DE CUENTA

AGRADECIMIENTO

Mi mayor agradecimiento a la doctora Eugenia María Flores,  
por su valiosa colaboración el haberme brindado la oportu-  
nidad de presentar esta tesis.

A todos los miembros del tribunal por su dedicada revisión  
del texto original.

LISTA DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1.- Principales componentes de las aguas empleadas para el riego de las plantas	6
2.- Area foliar de 36 plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia ácida simulada durante 7 días en Tres Ríos	11
3.- Area foliar de 36 plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia ácida simulada durante durante 14 días en Tres Ríos	12
4.- Area foliar de 36 plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia acida simulada durante 21 días en Tres Ríos	13
5.- Altura del tallo de 36 plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia ácida simulada durante 7 días en Tres Ríos	14
6.- Altura del tallo de 36 plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia ácida simulada durante 14 días en Tres Ríos	15
7.- Altura del tallo de 36 plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia ácida simulada durante 21 días en Tres Ríos	16
8.- Porcentaje de clorofila total (peso fresco) en hojas de plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia ácida simulada durante 7 días en Tres Ríos	17
9.- Porcentaje de clorofila total (peso fresco) en hojas de plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia ácida simulada durante 14 días en Tres Ríos	18
10.- Porcentaje de clorofila total (peso fresco) en hojas de plantas de <u>Phaseolus vulgaris</u> regadas con lluvia ácida simulada durante 21 días en Tres Ríos	19
11.- Promedio de las variables evaluadas en plantas de frijol regadas durante 7 días con lluvia ácida simulada en Tres Ríos	20

- 12.- Promedio de las variables evaluadas en plantas de frijol regadas durante 14 días con lluvia ácida simulada en Tres Ríos 21
- 13.- Promedio de las variables evaluadas en plantas de frijol regadas durante 21 días con lluvia ácida simulada en Tres Ríos 22
- 14.- Porcentaje de incremento en el área foliar de Phaseolus vulgaris en relación a las medidas obtenidas al séptimo día de riego 23

LISTA DE FIGURAS

INDICE DE CONTENIDO

FIGURA	PAGINA
I.- INTRODUCCION .....	
1.- Daño que producen los contaminantes atmosféricos en los árboles .....	5
II.- OBJETIVOS .....	
2.- Porcentaje de clorofila en plantas regadas con agua de pH 4 en relación al período de riego .....	25
III.- MATERIALES Y METODOS .....	
IV.- RESULTADOS .....	
V.- DISCUSION Y CONCLUSIONES .....	
VI.- BIBLIOGRAFIA .....	
VII.- LITERATURA CITADA .....	

## INDICE DE CONTENIDO

	PAG.
I.- INTRODUCCION .....	1
II.- REVISION DE LITERATURA .....	2
III.- MATERIALES Y METODOS .....	6
IV.- RESULTADOS .....	10
V.- DISCUSION Y CONCLUSION .....	26
VI.- RESUMEN .....	30
VII.- LITERATURA CITADA .....	31



## I INTRODUCCION

La contaminación ambiental es uno de los tópicos de más interés entre los ecólogos de hoy día (Fesquet, 1976). El hombre fue y es el artífice de muchos de los cambios que se dan en la naturaleza, - ya sea directa o indirectamente, como consecuencia de sus actividades diarias. Al dar inicio a la revolución industrial acrecentó el problema de la contaminación ambiental. Los productos de la combustión incompleta de los motores y los gases expelidos por las chimeneas de fábricas e industrias, pronto pasaron a ser componentes atmosféricos en las ciudades altamente industrializadas (Turk et al, 1983). De esta manera, el hombre ha influido en la circulación biogeoquímica de la tierra, añadiendo en forma progresiva grandes cantidades de diferentes sustancias que circulan en el aire.

En el presente estudio se evalúa el efecto de lluvia ácida simulada en un cultivo de Phaseolus vulgaris, una leguminosa de rápido desarrollo y de gran valor en la dieta de los costarricenses.

Son objetivos específicos de este trabajo el determinar el efecto de la lluvia ácida en la concentración de clorofila de Phaseolus vulgaris y en las características foliares y el crecimiento del tallo.

## II REVISION DE LITERATURA

Cowling (1982) hizo un resumen de los progresos de la precipitación ácida, e indicó que "desde mediados del siglo XVI, los investigadores notan la influencia de las emisiones industriales en la salud de plantas y animales y sugieren que las industrias se sitúen en las afueras de la ciudad". Este mismo autor señala que el término "lluvia ácida" fue propuesto en 1872 por Angus Smith, quién a su vez definió muchas de las características de este fenómeno.

Las emisiones antropogénicas de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  son al menos 10 veces más grandes que sus emisiones naturales, y gran porción de ellas regresa a la tierra en forma de sulfatos y nitratos ( $\text{SO}_4^{-2}$  y  $\text{NO}_3^-$ ), debido a deposiciones secas o húmedas. Mucho del  $\text{SO}_2$  que no es transformada en  $\text{SO}_4^{-2}$  en el aire, sufre transformaciones en el suelo en presencia de agua y otros agentes. Parte de los sulfatos en forma de aerosoles se deposita en forma seca cerca del lugar de origen. Por el contrario, los óxidos de azufre pueden ser transportados a miles de kilómetros de su fuente de origen y se depositan en forma húmeda como  $\text{SO}_3^{-2}$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  (Hileman, 1983).

Hay una gran correlación entre la concentración de sulfatos en la atmósfera y el pH de la lluvia; la precipitación ácida, que ocurre en los lugares remotos del planeta parece que se produce mediante el transporte de contaminantes naturales o producidos por el hombre, a través, de grandes distancias. En áreas como el

ártico, una pequeña cantidad de ácidos puede producir lluvia de pH bajo, debido a que también hay pocos cationes alcalinos capaces de neutralizarlos (Hileman, 1982). Gorham et al (1984) identifican estas partículas neutralizantes como iones de amonio y calcio que producen la conversión de  $SO_2$  y  $NO_x$  en sales que permanecen como aerosoles en la atmósfera.

Los contaminantes atmosféricos más comunes, como el  $SO_4^{-2}$ , tienen un período de vida atmosférico de pocos días, pero durante este tiempo pueden ser transportados por el viento, a miles de kilómetros de su lugar de origen. Como consecuencia de ello, el problema de la precipitación ácida afecta no sólo los centros donde se produce la contaminación ambiental, sino también los lugares donde ésta es llevada por el viento. Por esta razón, los países europeos han realizado reuniones con el fin de establecer convenios internacionales que tiendan a solucionar o disminuir el problema (Smith, 1984).

Munger y Eisenreich (1983) señalan que los principales componentes de la precipitación ácida son: a) iones: de hidrógeno, sulfato, nitrato y amonio; b) gases: óxidos de nitrógeno, trióxido de azufre y dióxido de azufre y c) partículas: aerosoles de sulfatos, nitratos y amonio.

Algunos de estos compuestos, tales como el ácido sulfúrico y el ácido nítrico, contribuyen directamente a la acidificación del medio en que caen. Otros, como el dióxido de azufre o el ión amonio, pueden causar un incremento en la acidez del medio a través de reacciones químicas o biológicas con sus receptores (Whelpale, 1983).

Galloway et al (1982) relacionan la lluvia ácida con las emisiones antropogénicas de óxidos de azufre y de nitrógeno, y sostienen que una vez que las contribuciones de la actividad humana sean re -

movidas, el límite inferior de las contribuciones naturales será probablemente de un pH mayor o igual a 5.

No existe un acuerdo general para la composición de la lluvia natural. Se sugiere un pH de 5,6 como un valor razonable, ya que a temperatura y presión natural la lluvia contiene ácido carbónico en forma diluida. Sin embargo, la lluvia en lugares remotos con frecuencia exhibe valores de pH diferentes a 5,6 debido a la emisión natural de gases y partículas de mar, volcanes y materia orgánica en descomposición (Jacobson y Troiano, 1983).

A pesar de que se observan efectos muy dramáticos en la vida acuática, la influencia de la lluvia ácida en bosques y cosechas es muy difícil de medir y, hasta ahora, no hay una evidencia concluyente al respecto. Esto podría deberse, en parte, al hecho de que el nitrógeno, incluso cuando es suministrado en forma moderadamente ácida, sirve como nutriente a ciertas plantas.

Experimentos de laboratorio, en los cuales las plantas crecen bajo condiciones de continua lluvia ácida simulada, producen resultados muy variados: a) algunos muestran una reducción en las cosechas; b) otros no muestran efectos; c) en otros casos se observan incrementos en las cosechas (La Bastilla, 1981).

O'Sullivan (1985) propone que los contaminantes atmosféricos, incluyendo la deposición ácida, pueden atacar los árboles de muchas formas; por lo tanto, pueden producirles diversos daños, incluyendo la muerte (ver figura N<sup>o</sup> 1.).

Clasificación de  
nutrientes

FIGURA N<sup>o</sup> 1

LA LLUVIA QUE PRODUCE LOS CONTAMINANTES  
ATMOSFÉRICOS EN LOS ÁRBOLES  
(Traducción del artículo de O'Sullivan, 1985)

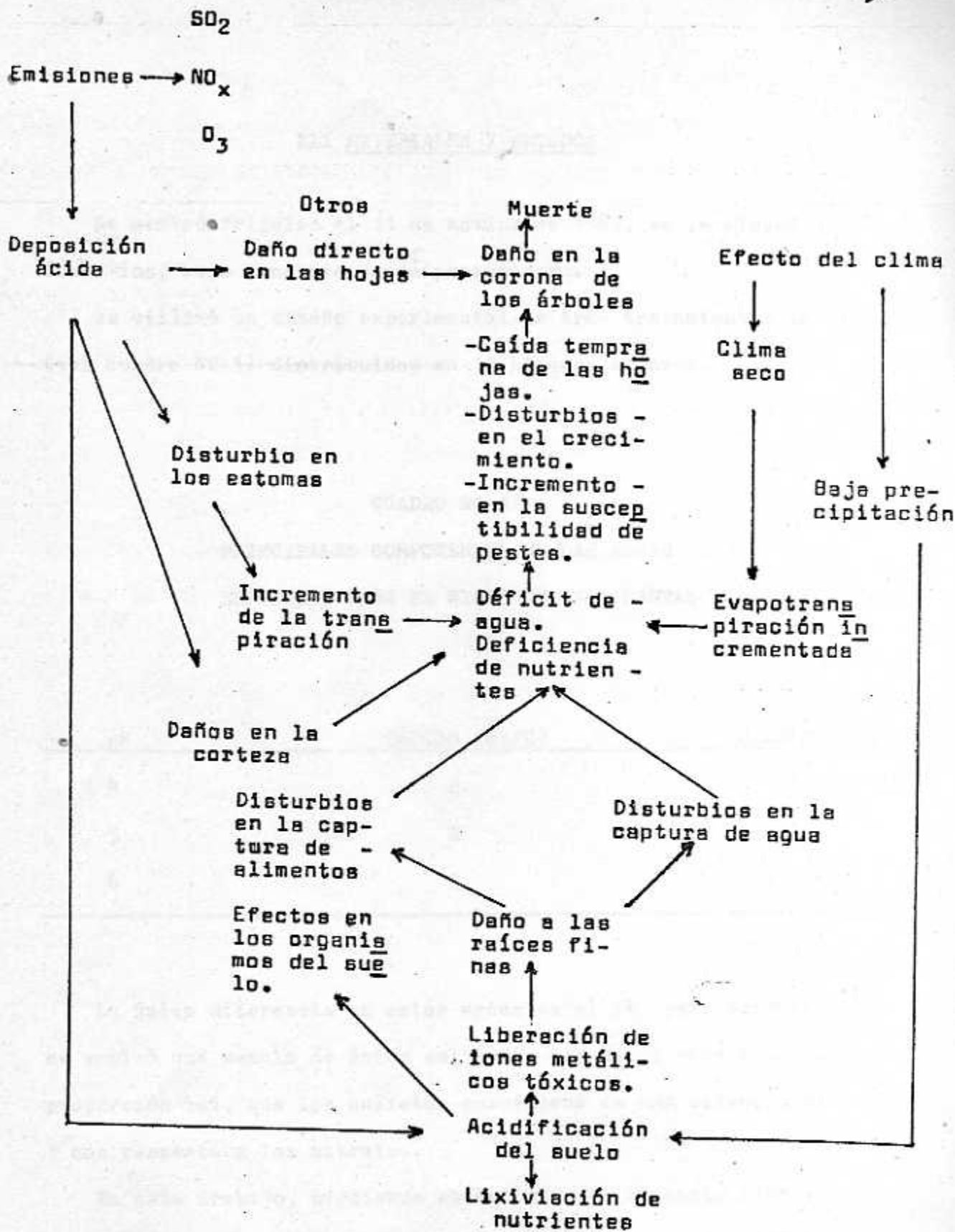


FIGURA Nº 1

DAÑO QUE PRODUCEN LOS CONTAMINANTES ATMOSFERICOS EN LOS ARBOLES (Traducido del artículo de O'Sullivan, 1985)

### III MATERIALES Y METODOS

Se sembró frijoles el 11 de noviembre 1985, en la ciudad de Tres Ríos, bajo condiciones de invernadero.

Se utilizó un diseño experimental de tres tratamientos de riego (ver cuadro N° 1) distribuidos en 12 bloques al azar.

CUADRO N° 1

PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS AGUAS  
EMPLEADAS PARA EL RIEGO DE LAS PLANTAS

pH	CALCIO (mg/L)	MAGNESIO (mg/L)
4	2	2
5	2	2
6	2	2

La única diferencia en estas aguas es el pH; para acidificarlas se empleó una mezcla de ácido sulfúrico con ácido nítrico, en una proporción tal, que los sulfatos estuvieron en una relación de 4 a 1 con respecto a los nitratos.

En este trabajo, siguiendo el criterio de Whelpale (1983), no se utilizó testigo, debido a que no existe una composición uniforme para la lluvia natural no contaminada; este autor sugiere que en su lugar se utilicen aguas que establezcan una gradiente de acidez.

La etapa experimental se inició con la siembra de 108 semillas - previamente germinadas en cajas de Petri y distribuidas equitativa - mente en 36 bolsas plásticas (3 en cada bolsa), de 30 cm de alto por 25 de ancho. •

Durante los primeros 10 días se regó todas las plantas por asper - sión, con 50 ml de agua potable de pH aproximado a 6,8 para lo cual se utilizó una bomba atomizadora.

Al undécimo día y con la aparición de las primeras hojas trifo - liadas se inició la diferenciación de tratamientos; se mantuvo en - mismo sistema de riego, pero se utilizaron los diferentes tipos de - agua acidificada anteriormente enumerados. A partir de este momento las plantas fueron regadas durante 21 días con lluvia ácida simulada.

A los 17 días de sembradas (séptimo día de riego con lluvia áci - da simulada), se hicieron las siguientes determinaciones:

1- Área foliar:

Se arrancó una planta de cada bolsa y se determinó el área de las hojas trifoliadas maduras; para ello se calcaron las hojas, luego se recortó el papel, se pesó y se comparó con el peso de otro papel de área conocida.

2- Altura del tallo:

A estas mismas plantas se les midió la longitud del tallo desde - la base hasta la primera hoja.

3- Porcentaje de clorofila:

Para obtener el porcentaje de clorofila se utilizó el método de - la Asociación Oficial de Químicos (1980) detallado a continuación:

a) REACTIVOS:

Se utiliza acetona 85 % en agua para extraer los pigmentos de -

las hojas. Luego se extrae la clorofila con éter etílico y el resto de los pigmentos queda en la capa acuosa. La capa etérea se filtra a través de un embudo con sulfato de sodio anhidro para eliminar la humedad.

b) INSTRUMENTOS:

Se emplea un espectrofotómetro Ultra Violeta-Visible para determinar la absorción de la muestra a 643 y 660 nm.

c) PROCEDIMIENTO:

(1) Extracción: Macerar los trifolios de 3 plantas y pesar 2 gramos de la muestra. Filtrar en un embudo Buchner y lavar con acetona (85 % en agua). Repetir la filtración y la homogenización hasta que el filtrado y los lavados estén incoloros. Transferir los filtrados y lavados combinados a un frasco volumétrico y diluir a 200 ml.

(2) Estado colorimétrico: Mezclar 25 ml del extracto y 50 ml de éter etílico en un embudo separador. Agitar bien y desechar la capa acuosa. Filtrar la capa etérea a través de un embudo con sulfato de sodio anhidro y recogerla en un balón de 250 ml. Aforar y medir la densidad óptica a 643 y 660 nm en células de 1 cm usando éter como referencia.

(3) Cálculos:

Si c: Clorofila total en la solución éter (mg/L)

$$c: (7,12 \times \text{densidad óptica a } 660\text{nm}) + (16,8 \times \text{densidad óptica a } 643 \text{ nm}).$$

$$\% \text{ Clorofila} = \frac{C \text{ (mg/L} \times \text{mL de éter} \times \text{Extracto de acetona (mL)}}{10000 \times \text{alícuota de acetona (mL)} \times \text{grs de muestra}}$$

A los 14 y 21 días de iniciado el riego con lluvia ácida simulada, se cortaron las otras dos plantas de cada bolsa y se les hicieron



las determinaciones anteriormente enumeradas. En todos los casos se trabajó con las hojas trifoliadas maduras y cada semana se escogió la planta que a simple vista presentaba un mayor desarrollo foliar; de tal forma, que de producirse una diferencia significativa en las áreas foliares, pudiéramos tener un mejor criterio para determinar una disminución en la tasa de crecimiento.

Como primer paso para la determinación de las áreas foliares, se evaluó a los 14 y 21 días de iniciado el riego con el agua de riego, se mantuvo esta relación (ver Cuadros 1 y 2).

Los resultados referentes a la longitud del tallo se describen en las fórmulas estadísticas que pueden ser atribuidas a la diferencia de tratamientos (ver cuadros 3, 4 y 5).

Con respecto al contenido de clorofila, los resultados de la evaluación a los 7 días muestran un porcentaje mayor para los tallos de riego con agua de pH 8 (ver cuadro No 6). Luego, a los 14 días de iniciado el periodo de riego, estos mismos tallos muestran un contenido de clorofila (ver cuadro No 7). Por último, a los 21 días de iniciado el riego se observó que a los 21 días de riego el porcentaje de clorofila bajo en los tallos tratados con agua de pH 8, que por su parte de los valores obtenidos a los 7 días de riego. En la figura No 8 se describen los resultados de la evaluación de clorofila, se observa el aumento inicial y del descenso posterior de la cantidad de esta pigmento.

En los cuadros 11, 12 y 13 se comparan los resultados de los tallos a los 7, 14 y 21 días de riego con el agua de riego.

#### IV RESULTADOS

Como se observa en el cuadro N<sup>o</sup> 2, a los 7 días de iniciado el tratamiento, las plantas regadas con agua de pH 6 desarrollan un área foliar estadísticamente más grande que sus similares tratadas con agua de pH 5 y pH 4; siendo éstas últimas las que desarrollan en menor grado sus láminas foliares. En los siguientes análisis, realizados a los 14 y 21 días de iniciado el riego con lluvia ácida simulada, se mantiene esta relación (ver cuadros 3 y 4).

Los resultados referentes a la longitud del tallo no muestran diferencias estadísticas que puedan ser atribuidas a la diferencia de tratamientos (ver cuadros 5, 6 y 7).

Con respecto al contenido de clorofila, los primeros análisis, realizados a los 7 días muestran un porcentaje mayor para las plantas regadas con agua de pH 4 (ver cuadro N<sup>o</sup> 8). Luego, a los 15 días de iniciado el período de riego, éstas plantas elevan aún más su contenido de clorofila (ver cuadro N<sup>o</sup> 9). Por último, en el cuadro N<sup>o</sup> 10 se observa que a los 21 días de riego el porcentaje de clorofila baja en las plantas tratadas con agua de pH 4, aún por debajo de los valores obtenidos a los 7 días de riego. En la figura N<sup>o</sup> 2 se describen las variaciones en el porcentaje de clorofila, se observa el aumento inicial y del descenso posterior en el contenido de este pigmento.

En los cuadros 11, 12 y 13 se comparan los promedios de las variables a los 7, 14 y 21 días de riego con lluvia ácida simulada.

CUADRO Nº 2

AREA FOLIAR DE 36 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS REGADAS  
CON LLUVIA ACIDA SIMULADA DURANTE 7 DIAS EN TRES RIOS

pH	AREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )												s <sup>2</sup>
	31,2	32,4	29,8	27,4	29,6	32,0	25,0	30,4	31,4	28,3	28,7	29,7	
4	31,2	32,4	29,8	27,4	29,6	32,0	25,0	30,4	31,4	28,3	28,7	29,7	29,7
5	35,3	36,7	34,8	30,5	31,6	30,4	34,4	38,2	33,5	32,8	30,4	29,6	33,2
6	35,0	31,3	38,7	37,3	36,2	32,4	32,5	37,9	38,5	36,4	33,2	30,6	35,3

CUADRO No 3  
AREA FOLIAR DE 36 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS REGADAS  
CON LLUVIA ACIDA SIMULADA DURANTE 14 DIAS EN TRES RIOS

pH	AREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )											S <sup>2</sup>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
4	38,6	37,2	35,3	33,4	37,8	36,7	32,7	31,9	37,6	35,3	34,8	33,9	35,4
5	40,2	39,7	38,8	37,4	36,9	39,9	41,3	42,2	37,4	41,3	37,2	40,7	39,4
6	40,2	42,8	44,5	45,3	47,6	41,9	44,4	39,9	40,4	46,3	47,2	46,4	43,9

CUADRO No 4  
AREA FOLIAR DE 36 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS REGADAS  
CON LLUVIA ACIDA SIMULADA DURANTE 21 DIAS EN TRES RIOS

pH	AREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )											s <sup>2</sup>	
	40,3	41,4	37,6	47,2	41,3	42,2	43,3	41,5	38,3	39,9	40,2		37,8
4	40,3	41,4	37,6	47,2	41,3	42,2	43,3	41,5	38,3	39,9	40,2	37,8	40,9
5	46,7	47,9	44,3	44,8	51,6	47,9	43,7	52,7	47,6	43,2	45,9	41,5	46,4
6	54,3	58,2	49,1	47,6	49,3	55,2	53,7	54,6	52,0	54,4	50	52,8	52,6

CUADRO Nº 6

ALTURA DEL TALLO DE 36 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS

REGADAS CON LJJVIA ACIDA SIMULADA DURANTE 14 DIAS

EN TRES RIOS

pH	ALTURA DEL TALLO (cm <sup>2</sup> )												s <sup>2</sup>
	18,0	15,8	15,7	13,5	15,4	13,9	17,0	17,7	12,6	19,9	13,4	15,2	
4	18,0	15,8	15,7	13,5	15,4	13,9	17,0	17,7	12,6	19,9	13,4	15,2	15,7
5	15,0	17,3	18,6	18,1	15,4	16,5	17,6	18,5	16,3	17,4	15,9	14,7	16,8
6	15,2	12,1	14,0	18,0	16,1	14,2	17,4	16,5	15,3	14,7	14,8	18,7	15,6

CUADRO Nº 5

ALTURA DEL TALLO DE 36 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS

REGADAS CON LLUVIA ACIDA SIMULADA DURANTE 7 DIAS

EN TRES RIOS

pH	ALTURA DEL TALLO (cm <sup>2</sup> )												S <sup>2</sup>
4	13,4	12,7	13,5	11,0	14,3	13,6	14,2	11,1	15,5	11,9	11,4	13,7	13,0
5	14,4	15,2	15,3	12,8	14,3	14,1	12,9	14,6	11,8	15,4	11,5	16,2	14,0
6	13,8	13,7	11,6	15,4	14,3	12,7	12,9	13,4	15,8	12,3	11,1	11,7	13,2

CUADRO Nº 7

ALTURA DEL TALLO DE 36 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS

REGADAS CON LLUVIA ACIDA SIMULADA DURANTE 21 DIAS

EN TRES RIOS

pH	ALTURA DEL TALLO (cm <sup>2</sup> )									S <sup>2</sup>			
4	22	18	18,6	15,8	14,7	15,9	17,0	26,1	17,1	20,6	17,5	19,7	18,6
5	22	15,7	19,1	21,3	21,1	23,3	15,7	18,3	17,0	19,3	20,0	19,2	19,3
6	18,4	10,0	22,2	17,2	18,1	19,1	19,9	19,7	19,1	14,2	17,5	18,5	18,7



CUADRO Nº 8  
 PORCENTAJE DE CLOROFILA TOTAL (peso fresco) EN HOJAS DE  
 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS REGADAS CON LLUVIA ACIDA  
 SIMULADA DURANTE 7 DIAS EN TRES RIOS

pH	% CLOROFILA				s <sup>2</sup>
4	0,185	0,187	0,191	0,187	0,187
5	0,147	0,144	0,149	0,141	0,147
6	0,147	0,154	0,145	0,143	0,147

## CUADRO Nº 9

PORCENTAJE DE CLOROFILA TOTAL (peso fresco) EN HOJAS DE  
 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS REGADAS CON LLUVIA ACIDA  
 SIMULADA DURANTE 14 DIAS EN TRES RIOS

pH	% CLOROFILA				s <sup>2</sup>
4	0,188	0,198	0,200	0,197	0,196
5	0,143	0,140	0,136	0,142	0,140
6	0,148	0,145	0,146	0,145	0,146

## CUADRO Nº 10

PORCENTAJE DE CLOROFILA TOTAL (peso fresco) EN HOJAS DE  
 PLANTAS DE PHASEOLUS VULGARIS REGADAS CON LLUVIA ACIDA  
 SIMULADA DURANTE 21 DIAS EN TRES RIOS

pH <sub>e</sub>	% CLOROFILA				S <sup>2</sup>
4	0,165	0,161	0,164	0,166	0,164
5	0,138	0,144	0,134	0,135	0,138
6	0,144	0,140	0,138	0,141	0,140

CUADRO Nº 11

PROMEDIO DE LAS VARIABLES EVALUADAS EN PLANTAS DE FRIJOL  
REGADAS DURANTE 7 DIAS CON LLUVIA ACIDA SIMULADA EN TRES RIOS

pH	VARIABLES		
	AREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )	ALTURA DEL TALLO (cm)	PORCENTAJE DE CLOROFILA
4	29,7	13,0	0,187
5	33,2	14,0	0,145
6	35,3	13,2	0,147

CUADRO Nº 12

PROMEDIO DE LAS VARIABLES EVALUADAS EN PLANTAS DE FRIJOL  
REGADAS DURANTE 14 DIAS CON LLUVIA ACIDA SIMULADA EN TRES RIOS

pH	VARIABLES		
	AREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )	ALTURA DEL TALLO (cm)	PORCENTAJE DE CLOROFILA
4	35,4	15,7	0,196
5	39,4	15,8	0,140
6	43,9	15,6	0,146

CUADRO Nº 13

PROMEDIO DE LAS VARIABLES EVALUADAS EN PLANTAS DE FRIJOL  
REGADAS DURANTE 21 DIAS CON LLUVIA ACIDA SIMULADA EN TRES RIOS

pH	VARIABLES		
	AREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )	ALTURA DEL TALLO (cm)	PORCENTAJE DE CLOROFILA
4	40,9	18,6	0,164
5	46,4	19,3	0,138
6	52,6	18,7	0,140

CUADRO N° 14

PORCENTAJE DE INCREMENTO EN EL AREA FOLIAR DE PHASEOLUS VULGARIS  
EN RELACION A LAS MEDIDAS OBTENIDAS AL SEPTIMO DIA DE RIEGO

pH	PORCENTAJE DE INCREMENTO	
	14 días	21 días
4	19,2	37,7
5	19,7	39,8
6	24,4	49,0

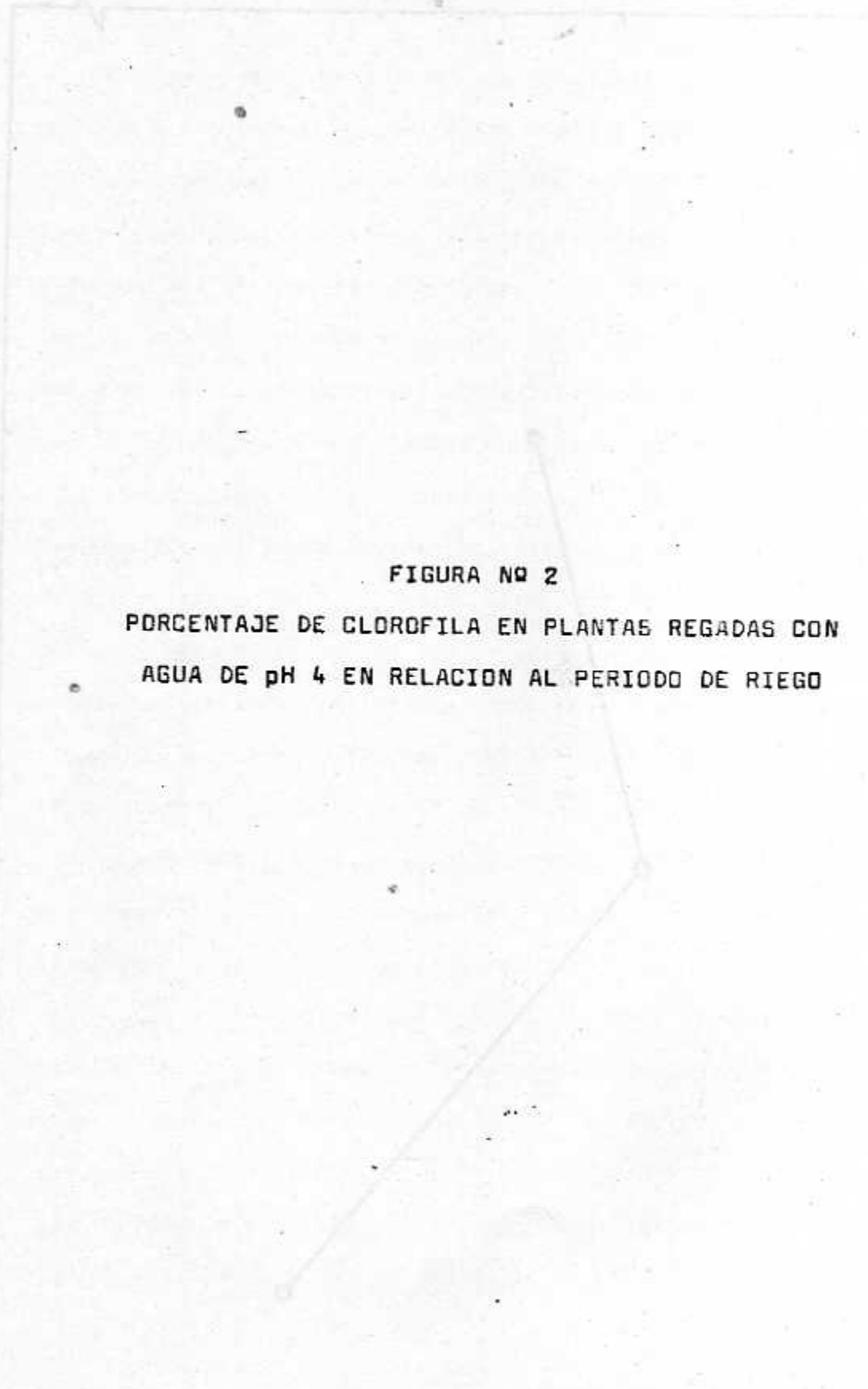


FIGURA Nº 2  
PORCENTAJE DE CLOROFILA EN PLANTAS REGADAS CON  
AGUA DE pH 4 EN RELACION AL PERIODO DE RIEGO

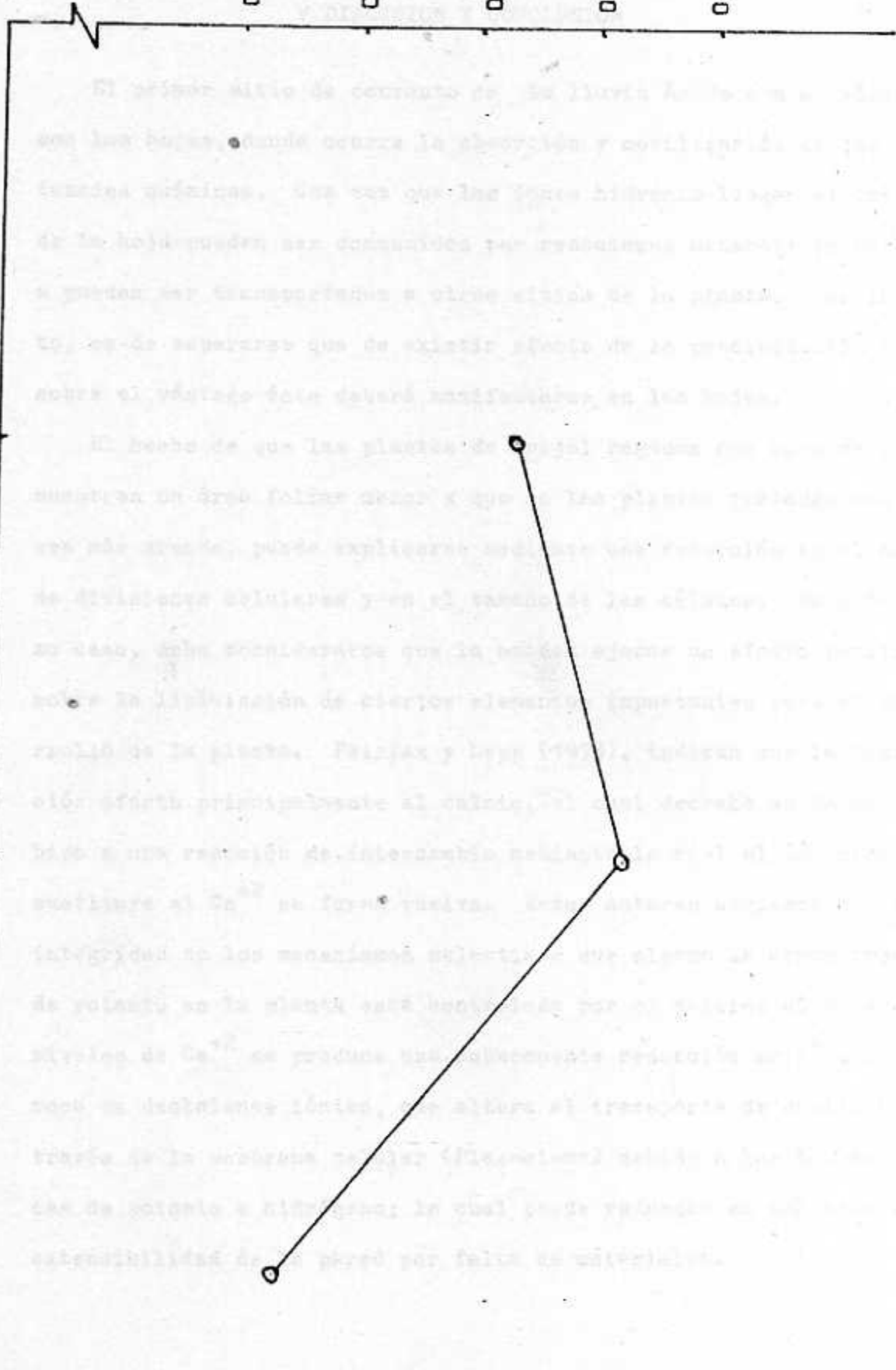


% CLOROFILA

0,160 0,170 0,180 0,190 0,200

7 14 21

TIEMPO DE RIEGO (DÍAS)



## V DISCUSION Y CONCLUSION

El primer sitio de contacto de la lluvia ácida con el vástago son las hojas, donde ocurre la absorción y movilización de las sustancias químicas. Una vez que los iones hidronio llegan al interior de la hoja pueden ser consumidos por reacciones metabólicas celulares o pueden ser transportados a otros sitios de la planta. Por lo tanto, es de esperarse que de existir efecto de la precipitación ácida sobre el vástago éste deberá manifestarse en las hojas.

El hecho de que las plantas de frijol regadas con agua de pH 4 muestren un área foliar menor y que en las plantas tratadas con pH 6 sea más grande, puede explicarse mediante una reducción en el número de divisiones celulares y en el tamaño de las células. En este último caso, debe considerarse que la acidez ejerce un efecto positivo sobre la lixiviación de ciertos elementos importantes para el desarrollo de la planta. Fairfax y Lepp (1975), indican que la lixiviación afecta principalmente al calcio, el cual decrece en la hoja debido a una reacción de intercambio mediante la cual el ión hidronio sustituye al  $\text{Ca}^{+2}$  en forma pasiva. Estos autores sugieren que la integridad de los mecanismos selectivos que elevan la concentración de potasio en la planta está controlada por el calcio; al bajar los niveles de  $\text{Ca}^{+2}$  se produce una subsecuente reducción de  $\text{K}^{+}$  que provoca un desbalance iónico, que altera el transporte de sustancias a través de la membrana celular (Plasmolema) debido a las bombas iónicas de potasio e hidrógeno; lo cual puede redundar en una menor extensibilidad de la pared por falta de materiales.

Coartney y Morr  (1980) informan que el metabolismo del calcio está intimamente relacionado con la extensibilidad de las paredes celulares y que la alteración de este elemento afecta el tamaño de las células. Según Jarvis et al (1984), cuando el contenido de calcio en las células alcanza valores inferiores a 3,5 % de su capacidad de intercambio, las paredes celulares alcanzan un mayor grado de elasticidad y extensibilidad; no obstante, cuando este elemento es eliminado en forma parcial y mantiene valores superiores a 3,5 % de su capacidad de intercambio, entonces no se observan efectos sobre la elasticidad y extensibilidad de la pared celular. Por lo tanto, es de esperar que el proceso de lixiviación del calcio no fue tan drástico como para que éste alcanzara el valor crítico de 3,5 % de su capacidad de intercambio; si ello hubiera ocurrido, las células de las hojas regadas con agua de pH 4 serían más grandes y por lo tanto hubiesen aumentado el área foliar.

Wood y Bormann (1974), trabajando con árboles jóvenes de gimnospermas, encontraron daños foliares sólo en arbustos que fueron regados con agua de pH inferior a 2,3. Este grado de acidez no es un valor muy frecuente en la precipitación natural y ésta es una de las razones por las cuales los investigadores han puesto poca atención en los efectos de la lluvia ácida sobre la vegetación.

Con respecto a la altura del tallo, los resultados obtenidos en las tres fechas que se realizaron mediciones, no reflejan una diferencia significativamente estadística que pueda ser atribuida a la diferencia de tratamientos (cuadros 5, 6 y 7).

Según Johnson y Siccana (1983), la precipitación ácida puede causar cambios en la vegetación mediante la lixiviación de nutrientes y la movilización de elementos fitotóxicos (aluminio inorgánico, plomo, etc.).

El tallo no recibe tanta agua por aspersión como la que reciben las hojas; éstas la retienen en su superficie durante mucho tiempo después de cada riego, hasta que se evapora, se absorbe o se desprende en forma mecánica. Por lo tanto, la mayoría de los estudios realizados sobre el efecto de la lluvia ácida en la altura del tallo de los árboles, enfocan su atención en los elementos fitotóxicos contenidos en la precipitación ácida. Como lo habíamos mencionado anteriormente, las aguas empleadas en esta investigación no contienen este tipo de elementos y probablemente esta sea la razón por la cual en ésta no se observó alguna variación en la altura del tallo.

Por último, los análisis concernientes al porcentaje de clorofila revelan resultados muy interesantes. Las plantas regadas con agua de pH 4 presentan un aumento inicial en el contenido de este pigmento, que luego es seguido de una reducción con valores más bajos que los obtenidos en los primeros análisis. Sin embargo, en todas las determinaciones realizadas, éstas plantas presentan un mayor porcentaje de clorofila que sus similares regadas con lluvia ácida simulada de pH 5 y pH 6; estas últimas no mostraron diferencias entre sí, en ninguna de las fechas en que se hicieron los análisis.

Es bien sabido que bajo ciertas condiciones adversas, las plantas elevan su porcentaje de clorofila. Kappel y Flore (1983), realizaron trabajos con plantas expuestas a diferentes grados de exposición solar y concluyen que aquellas que son sembrados en lugares sombreados, elevan su contenido de clorofila para compensar la escasez de luz disponible.

Un pH de 5,5 a 6,5 es el más deseable para el crecimiento de las plantas en general; no obstante, agua de pH que oscile entre 6,5 y -

7,5 son aceptables. Bajo estos ámbitos de pH, las plantas mantienen una buena relación en cuanto a la absorción de nutrientes; la acidez disminuye la competencia del calcio y permite una mayor absorción de magnesio (Joiner, 1981). Este incremento en la concentración de magnesio en las plantas tratadas con agua de pH 4, puede ser el responsable del aumento inicial en el porcentaje de clorofila observado en ellos.

Luego, es muy probable que las plantas expuestas a la acidez en forma prolongada, entren en un proceso de intoxicación producto de alteraciones en su metabolismo.

En consecuencia, a pesar de que éstas plantas siguen manteniendo un alto contenido de magnesio, la producción de clorofila se ve alterada por diferencia en el metabolismo. Es de esperarse que si el período de riego se hubiera prolongado por algún tiempo más, el contenido de clorofila de las plantas regadas con agua de pH 4 descendiera a valores inferiores a los que pudieran presentar las plantas tratadas con aguas de pH 5 y pH 6.

## VI RESUMEN

Se realizó un análisis estadístico del efecto de la lluvia ácida simulada sobre el contenido de clorofila, las características foliares y la longitud del tallo en 108 plantas de Phaseolus vulgaris, sembradas bajo condiciones de invernadero.

Las plantas fueron regadas con aguas de pH 4, 5 y 6. Para determinar el efecto de la acidez se realizaron análisis de varianza y se compararon los promedios de los resultados obtenidos en los tres tratamientos.

Las plantas tratadas con agua de pH 4, mostraron un área foliar más pequeño que sus similares tratadas con aguas de pH 5 y 6. No se observaron manchas foliares, necrosis en los tejidos o diferencias en la longitud del tallo que pudieran relacionarse con la diferencia de tratamientos.

El contenido de clorofila es mayor en las plantas regadas con agua de pH 4, pero conforme se prolonga el período de riego tiende a bajar drásticamente. Es de esperarse que si éstas plantas se hubieran regado por 15 días más, su contenido de este pigmento hubiera bajado a niveles inferiores de los que se observaron en las plantas regadas con aguas de pH 5 y 6.

## VII LITERATURA CITADA

- Coartney, J.S. y D.J. Morr . Studies on the role of wall extensibility in the control of cell expansion. Bot. Gaz., 141 (1): 56-62. 1980.
- Cowling, E.B. Acid precipitation in historical perspective. Environ. Sci. Technol., 16 (2): 110-123. 1982.
- Fairfax, J.A. y N.W. Lepp. Effect of simulated "acid rain" on cation loss from leaves. Nature, 225: 324-325. 1975.
- Fesquet, A. El aire, Mundo F sico y la Vida. Editorial Kapelusz, Buenos Aires. 1976.
- Galloway, J. y G.E. Likens. The composition of precipitation in remote areas of the world. J. Geophysical Res., 87 (11): 8771-8786. 1982.
- Gorham, R., F.B. Martin y J.T. Litzau. Acid rain: Ionic correlations in the eastern U.S., 1980-1981. Science, 225 (4660): 407-409. 1984.
- Hileman, B. Acid deposition. Environ. Sci. Technol., 16 (6): 323-327 A. 1982.
- Hileman, B. Acid rain: A rapidly shifting scene. Environ. Sci. Technol., 17 (3): 401-405 A. 1983.
- Jacobson, J.S. y J.J. Troiano. Dose-Response Functions for effect of acidic precipitation on vegetation. Wat. Qual. Bull., 8 (2): 67-71. 1983.
- Jarvis, M.C., A.S. Logan y H.J. Duncan. Tensile characteristics of collenchyma cell walls at different calcium contents. Physiol. Plant., 61: 81-86. 1984.

- Joiner, J.N. Ed. Foliage plant production. Prentice Hall Inc.,  
New Jersey. 1981.
- Johnson, A.H. y T.G. Siccana. Acid deposition and forest  
decline. Environ. Sci. Technol., 17 (7): 294 A-305 A. 1983.
- Kappel, F. y J.A. Flores. Effect of shade on Photosynthesis,  
Specific leaf weight, leaf Chlorophyll content, and  
Morphology of young Peach trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci.  
108 (4): 541-544. 1983.
- La Bastille, A. Acid rain. How great a menace? Nature. Geogr.,  
160 (5): 652-681. 1981.
- Munger, W. y S. Eisenreich. Continental scale variations in  
precipitation chemistry. Environ. Sci. Technol., 17 (1)  
32 A - 42 A. 1983.
- O'Sullivan, D.A. European Concern About Acid rain in growing  
Chem. and Eng. News, 12-16, enero, 1985.
- Smith, F.B. Long-range transports of air pollution. Meteorol.  
Magaz., 112 (1333): 237-244. 1984.
- Turk, A., J. Turk y J. Witter. Ecología y Contaminación del  
Medio Ambiente. Nueva Interamericana, México, 1983.
- Whelpale, D.M. Acid deposition: distribution and impact. Wat.  
Qual. Bull., 8 (2): 72-86. 1983.
- Howitz, W. Official Methods of Analysis of the Association of  
Official Analytical Chemists. George Banta Company Inc.,  
Menasha, Wisconsin, Ed. 30<sup>ava</sup>. 1980 pp 50.
- Wood, T. y F.H. Bormann. Effect of simulated acid rain on  
yellow birch seedling. Environ. Pollution, 7: 251-268. 1974.