

**EFECTO DEL EXCESO DE HUMEDAD EN EL SUELO
SOBRE EL POTENCIAL HÍDRICO Y RESISTENCIA
ESTOMATAL EN TOMATE**

**Soil waterlogged in soil effect on hydric potential
and stomatal resistance in tomato**

Raúl Rodríguez García¹, Diana Jasso Cantú², y Alberto González Jiménez³

¹Departamento de Riego y Drenaje, Div. de Ingeniería. UAAAN
Buenavista, Saltillo, Coahuila. CP 25315

²Departamento de Fitomejoramiento, Div. de Agronomía. UAAAN

³Tesista M.C. Depto. de Riego y Drenaje, Div. de Ingeniería. UAAAN

**EFECTO DEL EXCESO DE HUMEDAD EN EL SUELO
SOBRE EL POTENCIAL HÍDRICO Y RESISTENCIA
ESTOMATAL EN TOMATE**

**Soil waterlogged in soil effect on hydric potential
and stomatal resistance in tomato**

Raúl Rodríguez García¹, Diana Jasso Cantú², y Alberto González Jiménez³

¹Departamento de Riego y Drenaje, Div. de Ingeniería. UAAAN
Buenavista, Saltillo, Coahuila. CP 25315

²Departamento de Fitomejoramiento, Div. de Agronomía. UAAAN

³Tesista M.C. Depto. de Riego y Drenaje, Div. de Ingeniería. UAAAN

RESUMEN

Existen regiones en las que el desarrollo del cultivo del tomate se enfrenta a excesos de humedad que causan cambios fisiológicos y químicos en la planta.

La presente investigación evaluó 25 tratamientos de duración de exceso de humedad (estrés de saturación), en plantas de tomate en invernadero, durante la etapa de floración-fructificación, con el objetivo de cuantificar los cambios de potencial hídrico (Ψ_h) y resistencia estomatal (Γ_e).

Al incrementarse el período con exceso de humedad, el contenido de oxígeno en la solución del suelo disminuyó; a una duración de 24 horas el oxígeno se redujo en un 93.2%; el Ψ_h en la hoja disminuyó 0.11 Mpa y la Γ_e aumentó 12.6 s cm⁻¹ respecto a las plantas sin estrés de saturación. A las 72 horas con exceso de humedad el oxígeno se agotó, provocando el cierre estomatal ($\Gamma_e=80$ s cm⁻¹).

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill, exceso de humedad, deficiencia de oxígeno, potencial hídrico, resistencia estomatal.

ABSTRACT

There are regions in which tomato crop has waterlogging periods that cause physiological and chemical changes in the plant.

In the present research 25 waterlogging treatments were evaluated under greenhouse conditions. The objective of this experiment

was to quantify physiological changes in water potential (Ψ_h) and, stomatal resistance (Γ_e) in tomato plants under stress from flowering to fructification periods.

When waterlogged increased, the oxygen in the soil solution decreased, in a period of 24 hours the oxygen was reduced in 93.2%; the Ψ_h in the leaf decreased 0.11 Mpa and the Γ_e increased 12.6 s cm^{-1} in relation to non stressed plants. In 72 hours in waterlogged conditions the oxygen was consumed completely causing the stomatal closing.

Key words: *Lycopersicon esculentum* Mill. soil waterlogged, deficiency of oxygen, stomatal resistance, hydric potential.

INTRODUCCIÓN

En el oriente de San Luis Potosí y norte de Veracruz, se siembra una superficie de 1,500 a 2,000 hectáreas con el cultivo de tomate, durante el ciclo agrícola primavera-verano. En esta región el cultivo es sometido a condiciones de exceso de humedad en el suelo, debido a precipitaciones fuertes y frecuentes o que ocurren después de los riegos, ligadas con suelos arcillosos de baja conductividad hidráulica, causando daños al cultivo que en algunas ocasiones provoca pérdida total.

Cuando aumenta el contenido de agua en el suelo, ésta desplaza el aire de los poros. Si el espacio de poros es ocupado totalmente por agua, en pocas horas de iniciado el exceso de humedad el suelo queda prácticamente

libre de oxígeno (condición anaeróbica), debido a: la pérdida hacia la atmósfera; a que la difusión del oxígeno en el agua es muy lenta o casi nula (10,000 veces menor que en el aire); y, a que los microorganismos y raíces consumen el oxígeno presente en el agua. La condición anaeróbica del suelo ocasiona daño o muerte de raíces y consecuentemente de las plantas (Ponnamperuma, 1984; Trought y Drew, 1980).

La respuesta fisiológica de las plantas bajo exceso de humedad en el suelo, se considera similar al estrés que sufren las plantas debido a la sequía (Bradford y Hsiao, 1982). El daño en las raíces ocasiona que disminuya o se interrumpa la absorción de agua, las hojas se deshidratan por la transpiración ocasionando disminución del potencial hídrico y aumento de la resistencia estomatal. Las hojas presentan síntomas de marchitamiento durante el día y la noche, debido a que la planta tiene problemas para hidratarse por la disminución o interrupción del paso de agua (Singh et al., 1991; Lakitan *et al.*, 1992).

El etileno es un regulador de crecimiento en las plantas, el cual tiene como efecto característico, en interacción con otras hormonas, provocar la caída de hojas, flores y frutos (Rojas y Ramírez, 1987). La condición anaeróbica del suelo promueve la síntesis de etileno y por consecuencia la caída de hojas, flores y frutos (Bradford y Yang, 1981).

Este trabajo de investigación se estableció con la finalidad de conocer cómo influye la duración del exceso de humedad en el suelo en

algunos procesos fisiológicos del cultivo, para en un futuro establecer técnicas alternativas de solución.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), bajo condiciones de invernadero. El cultivo se desarrolló durante los meses de febrero a agosto de 1996.

Los tratamientos evaluados se formaron con dos factores; el factor A correspondió a dos niveles: con y sin exceso de humedad en el suelo (con y sin estrés de saturación); y el factor B, fue la duración en horas con y sin exceso de humedad. Se evaluaron 26 niveles que se presentan en el cuadro 1, los períodos coincidieron durante el día y correspondieron a 5 días de mediciones.

Cuadro 1. Niveles de los factores en estudio

Factor	Nivel	Descripción
A. humedad	A1	Con exceso
	A2	Sin exceso
B. duración	B1... B26	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24,
En horas		28, 30, 32, 34, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 72, 96, 98, 100, 102, 104,, 106, 120.

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial y tres repeticiones, la unidad experimental fue una planta. Las plantas de tomate (variedad Río Grande) utilizadas en este experimento fueron trasplantadas cuando tenían 40 días de edad (ocho de abril). Se colocó una planta por maceta, que contenía cinco kilogramos de suelo de la región, de textura de migajón y pH de 5.6. Posteriormente, durante 70 días, las plantas se fertilizaron vía foliar una vez por semana y regadas cuando los tensiómetros instalados en las macetas registraron entre 25 y 30 centibares.

Se aplicaron los tratamientos en la etapa fenológica de floración-fructificación. La saturación del suelo se logró aportando agua en las macetas hasta que se observó una lámina de 2 cm sobre la superficie, evitando su drenaje. Cuando se alcanzó el período preestablecido se tomaron muestras de agua de las macetas con exceso de humedad para medir el contenido de oxígeno; posteriormente, se drenaron. También se midió el potencial hídrico y la resistencia estomatal en los dos tratamientos de humedad.

Oxígeno disuelto en el agua del suelo durante el estrés (O_2DA)

Al final de cada período se tomó una muestra de agua en las macetas con exceso de humedad, la cual se llevó al laboratorio. La medición del contenido de oxígeno se realizó en un espectrofotómetro LAMBDA 3-B Perkin Elmer, utilizando el método de Indigo Carmín con un reactivo específico AccuVac.

Potencial hídrico (Ψ_h)

La medición del potencial hídrico en las hojas de las plantas de tomate, se realizó con la cámara de Scholander marca Soil Moisture Equipement Corp., para lo cual se muestrearon hojas ubicadas entre el tercero y cuarto nudos.

Resistencia estomatal (Γ_e)

Estas mediciones se realizaron utilizando un porómetro de estado estable marca Li-Cor, modelo LI-1600 y siempre se efectuaron en las hojas del tercero y cuarto nudos. Las lecturas se tomaron simultánea y alternadamente entre tratamientos con y sin exceso de humedad, en las hojas situadas en la misma posición. El tiempo de mediciones dentro del lote no superó los 15 minutos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Oxígeno disuelto en el agua del suelo durante el estrés

En la figura 1 se observa que en las primeras 24 horas existió una caída vertiginosa en el contenido de oxígeno, de $800 \mu\text{g L}^{-1}$ descendió hasta menos de $100 \mu\text{g L}^{-1}$, después de este tiempo la pendiente fue menor; a las 56 horas, la cantidad de oxígeno en el agua del suelo (O_2DA) fue de $4.17 \mu\text{g L}^{-1}$, y

al cumplir las 72 horas bajo condiciones de estrés ya no existe oxígeno en la solución del suelo (condición anaeróbica).

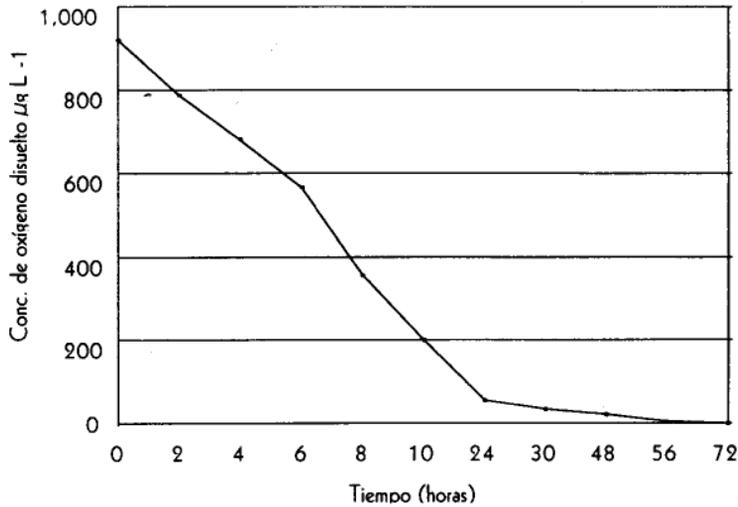


Figura 1. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua del suelo durante 72 horas

Potencial hídrico en las hojas de las plantas

Para las variables de potencial hídrico y resistencia estomatal, el análisis de varianza (Cuadro 2) reportó significancia (al nivel del 1%), para nivel de humedad en el suelo (factor A), y el período (factor B), así como para la interacción. Los coeficientes de variación oscilaron de 3.82 a 5.3%, por lo que se puede decir que los resultados son confiables.

Cuadro 2. Cuadrados medios de los análisis de varianza (ANVA) para las variables de resistencia estomatal y potencial hídrico.

Fuente	G.L.	Resistencia estomatal	Potencial hídrico
Modelo	51	74502.596**	31.878935**
Factor A	1	1242206.526**	245.333333**
Factor B	25	168049.623**	42.9632477**
A*B	25	166160.513**	16.8783333**
Error	104	25.96	0.04349
C.V.		5.3	3.82

*, ** significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente

El potencial hídrico en las hojas (Ψ_h) de las plantas bajo exceso de humedad, después de dos horas, fue inferior que las plantas sin exceso de agua o testigo (figura 2); durante 72 horas el Ψ_h de las plantas con estrés tuvieron en promedio un valor menor en 0.11 MPa que el testigo. Cuando las plantas duraron 98 y 104 horas bajo estrés, el Ψ_h se redujo 0.8 y 1.2 MPa respecto al testigo, la planta se encontraba totalmente flácida y las hojas comenzaron a secarse. Esto concuerda con los estudios de varios autores: Singh, *et al.* (1991); Lakitan, *et al.* (1992); Sánchez-Blanco, *et al.* (1994), pero difieren de los de Jackson y Kowalewska (1983) y Jackson, *et al.* (1978), que reportaron aumento del Ψ_h , y explicaron que se debe al cierre de los estomas.

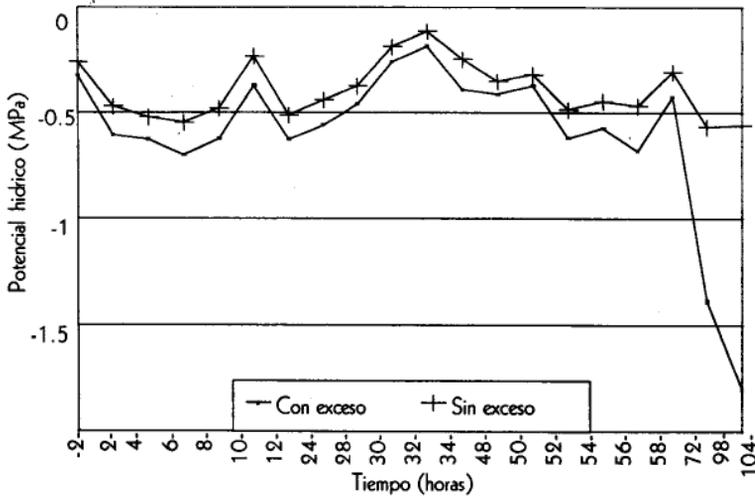


Figura 2. Comportamiento del potencial hídrico en la planta durante 104 horas de exceso de humedad

Entre las variables de concentración de oxígeno disuelto en el suelo y del potencial hídrico, existe una correlación positiva de 68 %. Por lo que se puede atribuir a que la disminución de O₂DA provocó asimismo la disminución del potencial hídrico. Con bajas concentraciones de oxígeno en el suelo se suspende el suministro de agua desde el medio edáfico a la planta, debido a que la raíz se vuelve impermeable al paso del agua como lo citan Singh, et al. (1991).

Resistencia estomatal

En la figura 3, se observa que la resistencia estomatal (Γ_e) de las hojas después de dos horas con exceso de humedad, fue ligeramente superior al testigo, a las 26 horas la diferencia se acentuó, las plantas con estrés alcanzaron 16.2 s cm^{-1} , mientras que el testigo presentó un valor de 3.62 s cm^{-1} como se puede apreciar, existió un aumento significativo de la Γ_e debido a que los estomas en las plantas bajo estrés estaban más cerrados.

Después de las 72 horas con exceso de humedad, la Γ_e alcanzó un valor de 82.83 s cm^{-1} demasiado elevado y a las 104 horas el estoma se cerró totalmente ya que el aparato registró un valor infinito (no se presenta en la figura 3). La respuesta de la planta bajo el estrés de exceso de humedad en el suelo, fue cerrar los estomas. Esta respuesta ha sido ampliamente investigada (Sojka, *et al.*, 1975; Kozłowski y Pallardy, 1979; Musgrave, 1994; Lakitan, *et al.*, 1992; Jackson y Kowalewska, 1983).

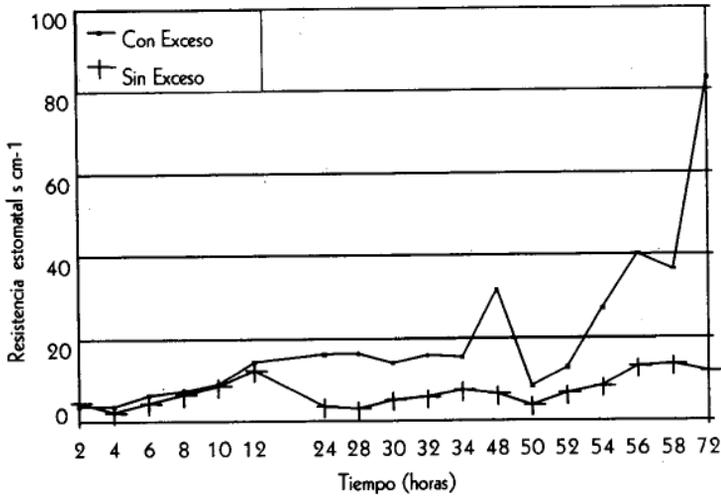


Figura 3. Comportamiento de la resistencia estómatal durante 72 horas con y sin exceso de humedad.

Al efectuar un análisis de correlación entre las variables de potencial hídrico y resistencia estómatal se presentó una correlación negativa del 91 %, lo que explica que mientras el Ψ_h disminuyó, la resistencia estómatal aumentó. Por lo que se puede señalar que la deficiencia de oxígeno en el suelo, después de someter las plantas al estrés por exceso de humedad, fue un factor para que el potencial hídrico disminuyera y este último provocara el cierre de los estomas. Estos cambios físicos en la planta debido al estrés, concuerdan con los reportados por varios investigadores (Jackson y Kowalewska, 1983; Huang, et al., 1994; Musgrave, 1994).

Las plantas sometidas a un período de 24 horas bajo las condiciones de exceso de humedad, lograron recuperarse ya que llegaron a cosecha; sin embargo, para períodos superiores el daño a la planta fue irreversible (las plantas murieron). El daño visual fue una marchitez debida a una deshidratación ocasionada por la disminución de la concentración de oxígeno, que provocó cesara la absorción de agua por las raíces.

CONCLUSIONES

1. El exceso de humedad en el suelo durante 24 horas provocó una disminución de 93.2 % del oxígeno presente en el agua del suelo, y con una duración de 72 horas no existe oxígeno en el agua del suelo.
2. El abatimiento de oxígeno en el agua del suelo causó disminución del potencial hídrico y este último provocó un aumento de la resistencia estomatal.
3. Las plantas con un período de estrés hasta por 24 horas lograron recuperarse, mientras que para períodos mayores sufren daños irreversibles.

LITERATURA CITADA

- Bradford, K. J. and Yang, S. F. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. Hort Sci. 16(1):3-8.
- Bradford, K. J. and T. C., Hsiao. 1982. Stomatal behavior and water relations of waterlogged tomato plants. Plant Physiol. 70:1508-1513.
- Huang, B., J. W., Johnson, D. S., NeSmithand and D. C., Bridges. 1994. Root and shoot growth of wheat genotypes in response to hypoxia and subsequent resumption of aereation. Crop Sci. 34:1538-1544.
- Jackson, M. B., K., Gales, D. J., Joan Campbell. 1978. Effect of waterlogged soil conditions on the production of ethylene and on water relationships in tomato plants. J. Exp. Botany. 34(142):493-506.
- Jackson, M. B. and A. K. B., Kowalewska. 1983. Positive and negative messages from roots induce foliar desiccation and stomatal closure in flooded pea plants. J. Exp. Botany. 34(142):493-506.
- Kozlowski, T. T. and S. G., Pallardy. 1979. Stomatal responses of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings during and after flooding. Physiol. Plants. 46:155-158.
- Lakitan, B., D. W., Wolfeand and R. W., Zobel. 1992. Flooding affects snap bean yield and genotypic variation in leaf gas exchange and root growth response. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117(5):711-716.
- Musgrave, M. E. 1994. Waterlogging effects on yield and photosynthesis in eight winter wheat cultivars. Crop Sci. 34:1314-1318.

- Ponnamperuma, F. N. 1984. Effects of flooding on soils. In Kozlowski, T. T. (Ed.) *Physiological Ecology, a Series of Monographs, Texts and Treatises*. Department of Forestry, University Wisconsin. Madison, Wisconsin. Academic Press.
- Rojas, G. M. y H., Ramírez. 1987. Control hormonal del desarrollo de las plantas, *Fisiología - Tecnología - Experimentación*. Ed. Limusa, México. pp-33-34.
- Sánchez-Blanco, M. J., J. J., Alarcón, J., Planes and A. Torrecillas. 1994. Differential flood stress resistance of two almond cultivars based on survival, growth and water relations as stress indicators. *J. of Hort. Sci.* 69(5):947-953.
- Singh, B. P., K. A, Tucker, J.D. Sutton and H.L. Bhardwaj. 1991. Flooding reduces gas exchange and growth in snap bean. *Hort. Sci.* 26(4):372-373.
- Sojka, R.E., L. H. Stolzyand and M. R. Kaufmann. 1975. Wheat growth related to rhizosphere temperature and oxygen levels. *Agron. J.* 67(5):591-596.
- Trought, M. C. T. and M. C. Drew. 1980. The development of waterlogging damage in wheat seedlings. (*Triticum aestivum* L.) I. Shoot and root growth in relation to changes in the concentrations of dissolved gases and solutes in the soil solution. *Plant and Soil*, 54:77-94.