

**BUAP**Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

Artículo: COMEII-22013

**VII CONGRESO NACIONAL DE RIEGO,
DRENAJE Y BIOSISTEMAS***Teziutlán, Puebla., del 23 al 26 de noviembre de 2022***COMPORTAMIENTO DEL CULTIVO DE VAINILLA EN ESTRÉS
HÍDRICO****Delfino Reyes López¹; Fermín Pascual Ramírez²; Omar González Lara¹; Fabiel Vázquez Cruz¹; Luis Antonio Domínguez Perales¹; Carmela Hernández Domínguez¹**¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. Universidad S/N. San Juan Acateno, 73965, Teziutlán Puebla, México.

delfino.reyes@correo.buap.mx – 2313122933 (*Autor de correspondencia)

²Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. Universidad Nacional Autónoma de México**Resumen**

La sequía causa estrés hídrico en los cultivos provocando daños a nivel fisiológico que afectan significativamente el rendimiento. En el cultivo de vainilla hay poca información con relación al uso y manejo del agua en los sistemas de producción. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del estrés hídrico para encontrar los niveles de humedad permisibles en el cultivo de vainilla. El experimento se realizó en un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en el número de riegos aplicados. Se registraron los valores de humedad en el suelo y se observó el efecto en la planta a través del crecimiento de brotes vegetativos, color de hojas y tallos. Los resultados indicaron que el valor del déficit de humedad permisible fue del 45%. Cuando el sustrato alcanzó el 41% de humedad, el crecimiento de los brotes se detuvo, las hojas perdieron brillo y turgencia, el ápice de las hojas presentó enrollamiento y tallos con acanaladuras, el color cambió del grupo Yellow Green 146 A al grupo Yellow Green 148 A con base en tablas de colores de la Royal Horticultural Society. Los resultados sugieren que la vainilla tiene alta resistencia al estrés hídrico, provocando daño fisiológico, pero sin llegar al deceso. Se encontró alta resiliencia de la vainilla ante periodos largos de estrés hídrico al observar que las variables fisiológicas se recuperaron después de normalizar el suministro de agua posterior a la fase experimental.

Palabras claves: Vainilla, humedad, sustrato, riegos

Introducción

Dentro de los fenómenos climáticos extremos se encuentra la sequía que afectan vidas humanas en términos de escases de agua y producción de cultivos (Mishra and Singh, 2010; Dai, 2013). En la última década, la sequía ha ocurrido con mayor frecuencia en muchas partes del mundo y en gran medida se ha traducido en una mayor demanda de agua (Montaseri and Amirataee, 2017).

El estrés hídrico como efecto de la sequía en los cultivos es el más grave y la principal causa de pérdida significativa en el crecimiento, la productividad y, finalmente, sus rendimientos (Dimerevska *et al.*, 2008). Debido a que afecta los procesos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares en las plantas, lo que produce inhibición del crecimiento, cierre estomático con reducción consecutiva de la transpiración, disminución del contenido de clorofila e inhibición de la fotosíntesis y cambios de proteínas (Lawlor and Cornic 2002; Zhu 2002).

Vainilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson) es una orquídea terrestre ramificada y trepadora que crece en árboles y arbustos de bosques cálidos y húmedos en los trópicos y subtrópicos. La vainillina es uno de los aromatizantes más importantes del mundo y se deriva de las vainas curadas de vainilla (Puthur and Krishnakumar, 2006).

Las áreas de cultivos de vainilla se encuentran con una temporada de seca en la estación de verano, específicamente antes de la floración y fructificación, esto puede afectar severamente en el crecimiento de la vaina debido a que esta se fija justo antes del verano, esta situación de sequía llega más severa debido a insuficientes instalaciones de riego en las áreas de cultivo de vainilla de los países productores (Shal Chandran and Putur., 2009; Hernández, 2014). En el cultivo de vainilla, son pocos los estudios referentes a los sustratos y estimación de sus necesidades hídricas. Kelso (2012), menciona que la mayoría de los trabajos realizados al respecto, han sido generados de forma empírica por los propios productores.

Algunos autores como Curti (1995) y Damirón (2004), reconocen la importancia de contar con un sistema de riego en el establecimiento del cultivo en cualquier época del año, para evitar estrés hídrico en las plantas, ya que su impacto causa pérdidas económicas (Pereira, 2007). Algunos métodos para monitorear el estrés hídrico del cultivo dependen de mediciones *in situ* de humedad del suelo y variables meteorológicas para estimar la cantidad de agua perdida del sistema planta-suelo durante un período determinado (González-Dugo *et al.*, 2006).

En la actualidad no se cuentan con trabajos sobre estrés hídrico y umbrales de humedad en los sustratos utilizados para el cultivo de vainilla en México, sobre todo en la época de sequía, conocimientos que son importantes para calcular la programación y diseño en los sistemas de riego en vainilla

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló en el banco de germoplasma de vainilla de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ubicado en la localidad de Caracoles, municipio de Tenampulco, localizado en región nororiental del estado de Puebla, situado a 236 msnm. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 10° 08' 30" y 20° 14' 54" de latitud norte y los meridianos 97° 20' 00" y 97° 30' 00" de longitud occidental, predomina un suelo tipo regosol, su clima predominante es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, un rango de temperatura de 22-26 °C con un rango de precipitación de 1900 -2100 mm (INEGI, 2009).

Se instaló un módulo tipo capilla; el techado cubierto al interior por malla sombra al 50% y al exterior con una cubierta plástica color blanca calibre 720, la estructura del techo de PTR y los postes de acero, con dimensiones de 5.5 m de ancho, 6.0 m de largo, 2.3 m de altura hasta el inicio de la capilla y 3.3 m de altura total obteniendo una superficie aprovechable de 33 m².

Se sembraron cuatro tutores vivos de cocuite (*Gliricidia sepium* Jacq Steud) con un grosor del tallo de 10 cm, con una separación de 1.5 m entre tutores. En cada tutor se sembraron tres esquejes maduros de vainilla con longitud de 1.5 y 2.5 m, para un total de 12 esquejes.

Para obtener el sustrato se elaboró composta tipo bocashi con la técnica recomendada por la FAO (2011) a partir de la mezcla de estiércol de ganado bovino, tierra de monte, hojarasca, y levadura (microorganismos). Al sustrato se le realizaron análisis fisicoquímicos.

A cada tutor se le adicionaron 10 kg de sustrato, que se extendieron de manera homogénea en un área de 100 cm de diámetro (0.79 m²) y profundidad de 10 cm sobre la superficie del suelo natural, para cada tutor. Para la determinación de la curva característica de humedad del sustrato se empleó una termobalanza de la marca OHAUS modelo MB120, se determinó el contenido de humedad inicial en cada uno de los tratamientos; para ello se tomaron muestras de suelo de cada tratamiento de 10 gramos aproximadamente.

Se instaló un sistema de riego por microaspersión con carga total de dos metros y medio de altura, el cual trabajó a una presión de 0.25 Bar (± 0.25 kg/cm²). En cada tratamiento se instaló un emisor Toro ® modelo 360, este operó proporcionando un caudal de 0.31 litros por minuto (L/min) y un diámetro de mojado de 60 cm.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar considerando cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno, teniendo un total de doce unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en aplicar distintas láminas e intervalos de riego, para ello se establecieron 4 tratamientos distribuidos al azar. T1 nueve Riegos a CC, con lámina de riego total de 587.44 mm, T2 tres riegos a CC, con lámina de riego total de 235 mm, T3 dos Riegos a CC, con lámina de riego total de 212.05 mm T4 un riego inicial a CC, con lámina de riego total de 120.94 mm.

La información fue analizada en tres etapas, de 0-30 días, de 31-60 días y 61-100 días; para monitorear la humedad en el sustrato, se utilizó un sistema de monitoreo con un equipo de cuatro sensores de humedad porcentual que funciona por el principio de permitividad dieléctrica, con resolución temporal a cada 5 minutos, este funcionó las 24 horas del día durante el experimento, obteniendo una lectura diaria a las 12:20 pm, cada semana se descargaron los datos en una hoja de cálculo con la que se conformó una base de datos. Para ello se colocó un sensor en el sustrato de cada tratamiento, de manera horizontal cubriendo con el mismo sustrato, de manera que un sensor midió la humedad en las 3 repeticiones.

Se empleó un calendario para la aplicación de riegos, para obtener la lámina aplicada se multiplico el gasto del emisor de 0.31 L/min por el tiempo de riego. Para la determinación del déficit permisible de humedad para el cultivo de vainilla se realizó un monitoreo el contenido de humedad en el sustrato, que al mantener niveles menores el color de la hoja se mantiene, así como su turgencia, y crecimiento de brotes vegetativos normales. De la misma forma para determinar el punto de marchitez permanente, se redujo la humedad por valores mínimos, considerando los cambios morfológicos de la planta ocasionados por el estrés hídrico.

Durante el experimento se tomaron variables climatológicas como temperatura en grados Celsius (°C) del área de estudio con una estación meteorológica comercial de la marca Davis está mando los datos a un data logger la cual almacenó la información, estableciendo la relación con el experimento. Con una bitácora de campo se registraron los cambios fisiológicos observados, realizándose mediciones cada semana.

La coloración de hoja se obtuvo con ayuda de la tabla de colores Royal Horticultural Society. Al iniciar en cada repetición de tratamiento se identificó un brote vegetativo en el extremo del tallo primarias (brotes terminales), para medir el crecimiento se utilizó un flexómetro de la marca Pretul medido en centímetros (cm). El análisis estadístico se elaboró a partir de los datos de crecimiento de brotes, mediante un diseño bloques completamente al azar y se realizó un análisis de varianza de prueba de medias de Tukey $P \leq 0.05$, con el paquete estadístico SAS versión 9.0 para Windows

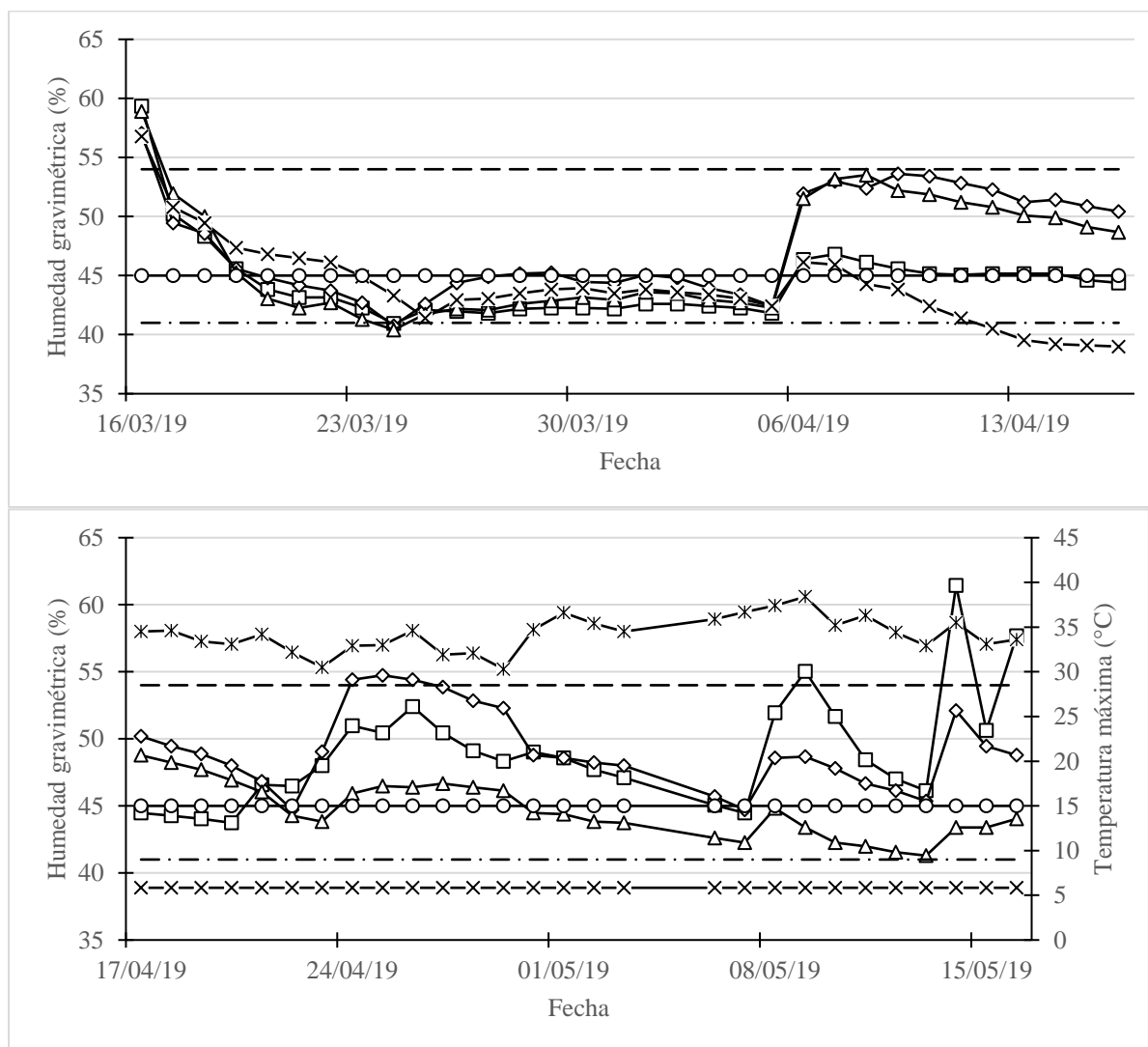
Resultados y discusión

Humedad en el sustrato

Se encontró que la saturación de humedad en el sustrato utilizado fue de 59.34%, y al transcurrir 24 horas disminuyó a 54% por lo que dicho porcentaje fue determinado como CC y 41% como PMP. Así mismo considerando el comportamiento de la humedad de los tratamientos y el comportamiento morfológico de las plantas cuando fueron sometidos a diferentes periodos de estrés por sequía, se determinó el déficit permisible de humedad (DPH) a 45% de humedad gravimétrica en el sustrato utilizado.

La figura 1, muestra en porcentaje del contenido de humedad gravimétrica del sustrato en los 4 tratamientos, durante los tres periodos (30 días del desarrollo del experimento por periodo). Al inicio del experimento se aplicó un riego durante dos horas y media (47.12 litros) que proporcionó contenidos de humedad mayores al 55% (59, 57, 59, 57 para T1, T2, T3, T4, respectivamente), transcurrido el segundo día el contenido disminuyó a 50%, 49%, 52%, 51% para T1, T2, T3, T4, respectivamente comportamiento descendente que siguió hasta los 20 días.

El día 6 de abril de 2019 a las seis de la mañana se realizó un riego (1, 2.5, 2.5, 1 horas para T1, T2, T3 y T4, respectivamente), con un valor superior en T2 (52%) y T3(51%) en tanto que para T1 (46%) y T4 (46%) con un valor inferior. La pérdida de humedad fue más intensa en T1 y T4. El 12 de abril, T4 alcanzó el punto de humedad correspondiente a PMP, en tanto que el 15 de abril, alcanzó el mínimo posible a registrar por parte del sensor de humedad instalado; a partir de allí, se perdió sensibilidad en el sensor y solo se tuvieron registros de la constante mínima de funcionamiento del sensor. En estas condiciones, se vio afectada la planta de vainilla presentando síntomas de estrés hídrico



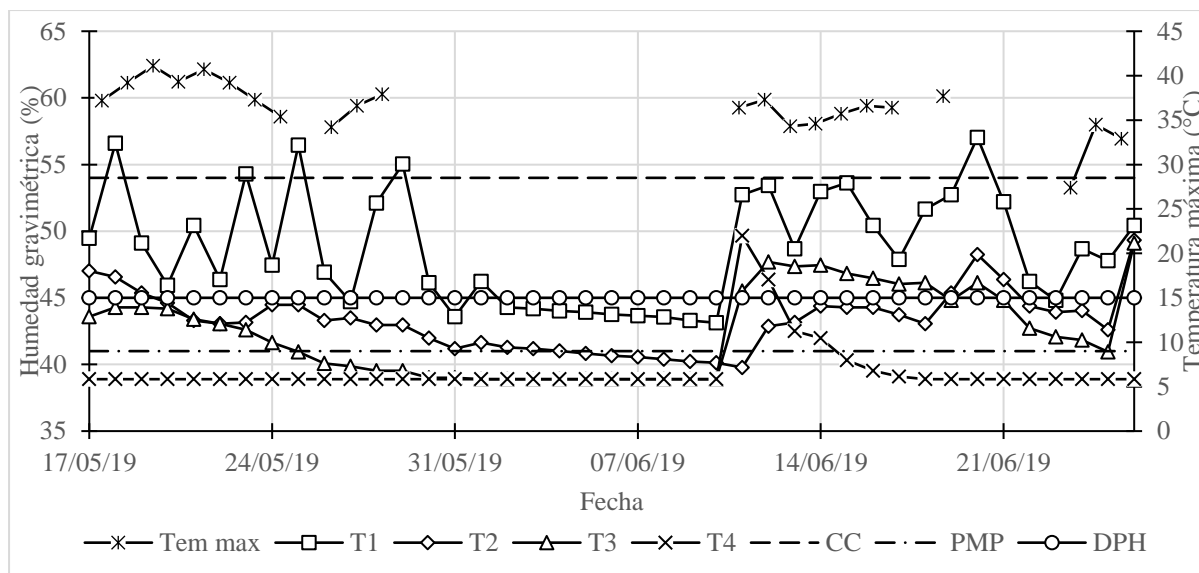


Figura 1. Contenido de humedad gravimétrica del sustrato durante tres periodos

Para el caso de T1, del 17 al 20 de abril se dejó consumir el agua del suelo hasta el valor mínimo de todo el periodo (44 %) que se alcanzó el día 20; con posterioridad en vista del estrés hídrico observado en las hojas por las altas temperaturas y el consumo de agua en el suelo, se aplicaron riegos entre el 21 y el 30 de abril con tiempo de riego variable buscando mantener el vigor de las plantas observando para ello las variables fisiológicas.

Del 01 al 07 de mayo se suspendieron los riegos y se observó el comportamiento de las plantas al dejar consumir el agua acumulada y los registros altos de temperatura que estuvieron por encima de los 35 °C con excepción del día 03 de mayo (34.5 °C).

Los riegos se reanudaron a partir del día 08 de mayo y hasta finalizar el periodo de análisis, la fecha de riego se determinó con base en observaciones del estrés en las plantas buscando alcanzar la humedad a capacidad de campo y, en un caso, se aplicó un riego por 3.75 horas (14 de mayo) para recuperar la humedad perdida, dejarla por encima de CC y observar el tiempo de consumo del agua.

Para el caso de T2, el mínimo fue de 45% el día 22 de abril y se aplicaron dos riegos consecutivos los días 23 y 24 de abril para dejarlo por encima de CC; se dejó consumir el agua hasta el día 08 de mayo, fecha en que alcanza nuevamente el mínimo de 45%. Con posterioridad, se aplicó riego el día 08 de mayo, que se dejó consumir hasta el día 14 por la mañana, fecha en que se aplicó un riego y se dejó consumir.

Para T3, se dejó consumir el agua hasta el día 23 de abril, cuando se aplicó un riego posterior a la lectura de datos de humedad en el suelo. Los riegos fueron el día 24 (1.25 horas) y 25 (0.25 horas) de abril, los tiempos de riego fueron determinados para mantener la humedad y vitalidad de las plantas, posteriormente se dejó consumir el agua hasta el día 07 de mayo, y con aplicación de riego (0.75 horas) el día 08 de mayo al mismo tiempo de inicio que en T1 y T2.

Como se puede observar, del 27 al 29 de abril no se aplicó riego en ningún tratamiento para dejar consumir el agua almacenada en el suelo observando las variables fisiológicas y, por ello, la tendencia del contenido de humedad fue a la baja en todos los casos

Crecimiento vegetativo y contenido de humedad en el sustrato

T1 presentó crecimiento de brotes vegetativos de manera sostenida durante el periodo experimental y con valores estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en comparación a los demás tratamientos, esto debido a los riegos aplicados de manera constante lo cual evitó los efectos del estrés hídrico en las plantas (cuadro 1). T2, presentó un crecimiento gradual hasta los 63 días después de haber proporcionado riegos a CC, con lo cual alcanzó un crecimiento de brotes vegetativos de 37 cm, sin embargo, dicho crecimiento disminuyó al dejar de proporcionar los riegos.

T2, mantuvo su crecimiento hasta los 63 días después de haber proporcionado riegos a CC, alcanzando 37cm de longitud posteriormente detuvo dicho crecimiento cuando se dejó de regar. T3, su crecimiento fue constante hasta los 42 días, el cual llegó a 24 cm, posteriormente se observó una disminución de su crecimiento y la presencia de entrenudos cortos en los tallos. T4, fue el tratamiento donde sólo se realizó un riego a CC. Su crecimiento vegetativo alcanzó 13.2 cm, a los 35 días después del primer riego a CC. Posteriormente se observaron cambios morfológicos del estrés hídrico, como el color y turgencia en hojas y tallos.

Las diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) se notaron a partir de la tercera fecha de medición (09/04), siendo más notables a partir de la quinta fecha de medición (23/19).

En general se observó que el contenido de humedad determinó el crecimiento de los brotes, ya que, en los tratamientos con humedad suficiente en el sustrato, dicho crecimiento fue gradual y se mantuvo cuando dicha humedad alcanzó los niveles por debajo de déficit permisible de humedad (DPH).

Cuadro 1. Promedios de longitud (cm) de brotes en vainilla a diferentes niveles de humedad

Trat	26/03	02/04	09/04	16/04	23/04	30/04	07/05	14/05	21/05	28/05	26/06
T1	3.8 a	8.5 a	14.2 a	19.5 a	24.2 a	29.0 a	33.8 a	38.7 a	43.7 a	49.2 a	54.3 a
T2	3.7 a	8.2 a	13.7 a	18.3 a	22.7 b	27.0 b	30.8 b	34.5 b	36.5 b	37.0 b	37.0 b
T3	3.5 a	7.7 a	13.2 a	17.3 a	21.5 c	23.0 c	24.0 c	24.0 c	24.0 c	24.0 c	24.0 c
T4	3.3 a	7.3 a	10.5 b	11.8 b	12.8 d	13.2 d	13.2 d	13.2 d	13.2 d	13.2 d	13.2 d
DMS	1.4	2.3	1.1	2.3	2.2	1.6	1.9	1.9	2.8	3.5	3.6

Trat: Tratamiento; DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

Apariencia física en hojas en vainilla a diferentes niveles de humedad

El 16 de marzo, para T1, el color en las hojas de las plantas fue amarillo verdoso del grupo Yellow Green 146 A (Figura 2, a) y permaneció durante todo el periodo experimental (Figura 2, b y d) al aplicar riegos de recuperación con humedad del 45%. Aunque se observó un cambio de color en hojas según la edad, por lo que en hojas jóvenes el color fue del grupo Yellow Green 146 B (Figura 2, c).

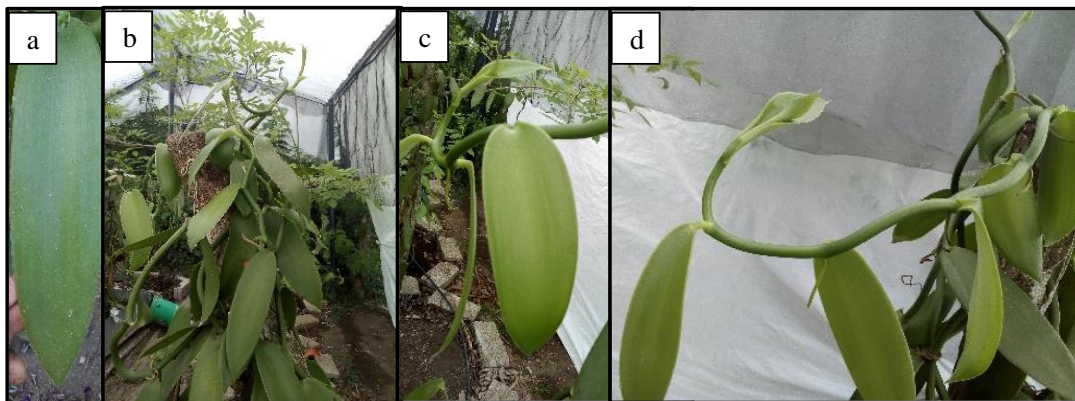


Figura 2. Color de hojas de *V. planifolia* a diferentes contenidos de humedad en el sustrato para T1; a) 45%, b) planta sin estrés hídrico c) hoja joven, d) brote vegetativo.

El color de hoja en T2, fue del grupo Yellow Green 146 A, con un 48% de humedad en el sustrato y fue superior a T1 (Figura 3, a). Al finalizar el primer periodo el contenido de humedad en el sustrato fue del 45% manteniendo el color de hoja (Figura 3, b). Por otra parte, al registrarse el 42% de humedad en el sustrato, las plantas presentaron características de estrés hídrico en las hojas al tornarse opacas, flácidas y con un enrollamiento del ápice, con un contorno amarillento, cambiando el color de hoja al grupo Yellow Green 147 B (Figura 3, c y d), esta descripción se mantuvo al finalizar el experimento, no logrando recuperar el color y su turgencia

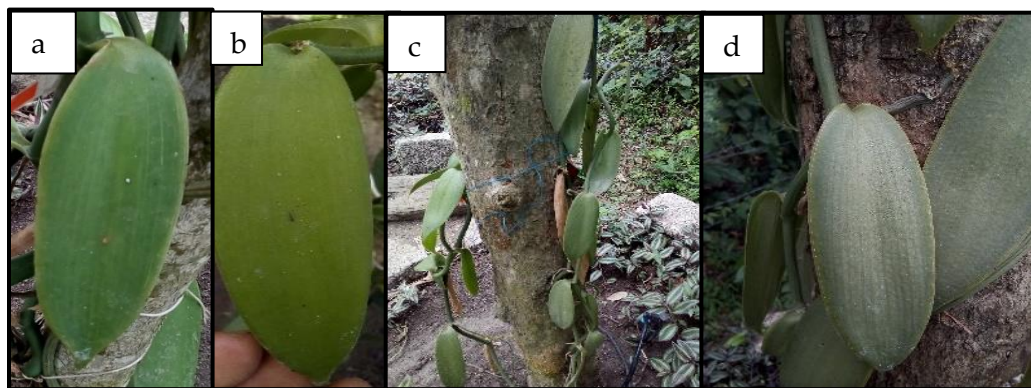


Figura 3. Color de hojas de *V. planifolia* a diferentes contenidos de humedad en el sustrato para T2; a) 48% b) 45%, c y d) 42%

En T3, con un 48% en la humedad del sustrato la apariencia física en hojas fueron verdes brillantes, succulentas, con un color clasificado dentro del grupo Yellow Green 146 A (Figura 4, a). Para el 7 de mayo el color y apariencia de las hojas cambio negativamente al provocar un nivel de estrés hídrico aunado a las altas temperaturas, cuando la humedad del sustrato bajo a un 42%, la coloración cambio al grupo Yellow Green 148 A (Figura 4, b), al 25 de mayo se alcanzó el PMP con humedad del 41% tornándose opacas y flácidas con un enrollamiento longitudinal en el ápice de la hoja, alcanzó valores de humedad por debajo del 40% (Figura 4, c y d), esta apariencia física de la planta de vainilla se considera como un estado bajo máximo estrés hídrico.



Figura 4. Color de hojas de *V. planifolia* a diferentes contenidos de humedad en el sustrato para T3; a) 48%, b) 42% c) 41%

En T4, la apariencia física en hojas se describió como verdes brillantes, succulentas con una humedad del 48%, y presentó un color en las hojas dentro del grupo Yellow Green 146 A (figura 5, a). Para el 11 de abril se registró el PMP, y para el 15 de abril el contenido de humedad bajo al 39% y su color cambio al grupo de Yellow Green 148 A (figura 5, b), se observó la reducción del crecimiento de hojas y tallos (figura 5, c) y en hojas jóvenes y en hojas maduras la flacidez aumentó, disminuyó el brillo y presentaron acanaladuras en tallos, características típicas en un estado crítico de estrés hídrico.

En este sentido Brestic and Zivcak (2013) mencionan que estas respuestas se deben a un cierre estomático en respuesta a una disminución en la turgencia de las hojas, relacionada al contenido de humedad del suelo. El estrés por sequía reduce el tamaño de la hoja, la extensión del tallo y la proliferación de las raíces perturba las relaciones hídricas de las plantas y reduce la eficiencia del uso del agua. Las plantas muestran una variedad de mecanismos para resistir el estrés por sequía. Los mecanismos principales incluyen la reducción de la pérdida de agua por una mayor resistencia difusiva, una mayor absorción de agua con sistemas de raíces profundas y prolíficos y su uso eficiente, y hojas más pequeñas y succulentas para reducir la pérdida de la transpiración (Farooq *et al.*, 2009).

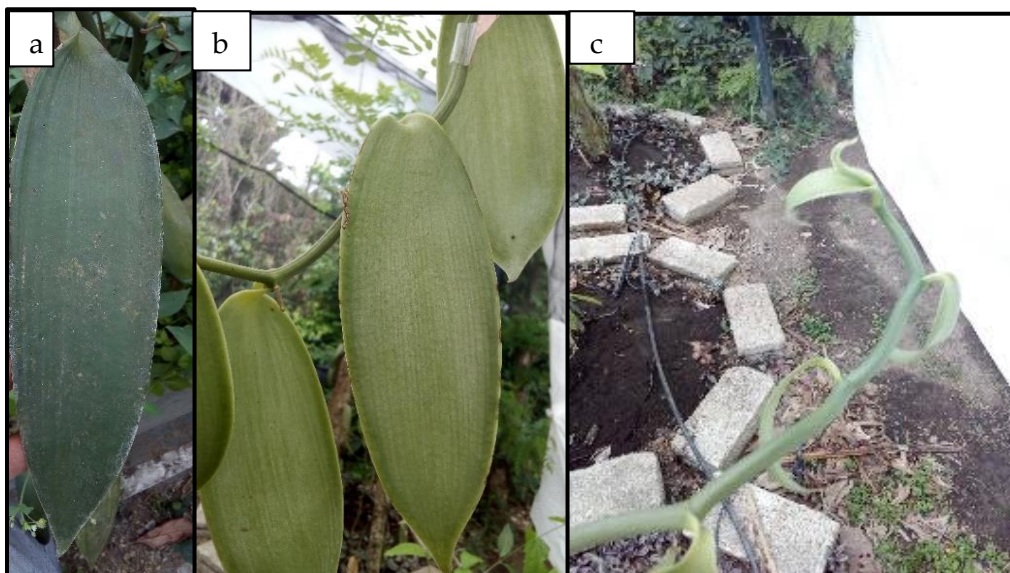


Figura 5. Color de hojas de *V. planifolia* a diferentes contenidos de humedad en el sustrato para T4; a) 48%, b) 38%, c) brotes bajo estrés hídrico.

Se registró en T1 y T4 floración en la última semana de marzo, en estos tratamientos del 12 al 28 de mayo se presentó aborto de frutos. Este aborto prematuro de frutos fue consecuencia del aumento drástico de temperatura a partir del mes de mayo, ya que se registraron temperaturas máximas de 40°C. Barrera-Rodríguez *et al.*, (2009), menciona, que en módulos de malla sombra la temperatura puede llegar a 40°C o más, constituyendo el fenómeno abortivo de los frutos de vainilla.

Al evaluar variaciones en diferentes rasgos fisiológicos bajo estrés por altas temperaturas en genotipos de maíz, fueron perjudiciales para la fertilización y llenado de granos. El estrés a alta temperatura aumentó el peso de la planta de cultivo debido a la fotosíntesis aumentada junto con el rendimiento cuántico máximo de la fotoquímica PSII que puede mejorar el crecimiento total de la planta, pero afectó la viabilidad del polen y la fuente para hundir el suministro de fotosintatos, lo que redujo el rendimiento de grano (13%) en todos los genotipos (Yadav *et al.*, 2016).

La humedad en el sustrato en T1 registró el 45%, al comparar el crecimiento de brotes vegetativos, T1 fue quien presentó mayor crecimiento final de 12.7 cm, y logró mantener el color de la hoja en el grupo Yellow Green 146 A, sin presentar cambios, con brotes fuertes, hojas turgentes e hidratadas, considerando estas características morfológicas se determinó como déficit permisible de humedad el 45% para el cultivo de vainilla. Morfológicamente las hojas de *V. planifolia* son de color verde oscuro, acuminadas, dorsiventrales, ligeramente conduplicadas en su extremo adaxial, gruesas, carnosas, lisas, con vena media poco diferenciada (Martínez-Quezada *et al.*, 2016).

Bajo condiciones naturales, la vainilla enfrenta progresivamente mayor escasez en el suministro de agua, puesto que al desarrollarse trepa por el árbol tutor hasta el dosel, donde está expuesta a altas temperaturas diurnas y grandes variaciones de humedad del aire; además, su sistema de raíces crece en la superficie del suelo del bosque, un ambiente con alto potencial de pérdida de humedad (Hernández and Lubinsky, 2011).

Li *et al.* (2009) reporta que en plántulas de *Shofoa davidii* con un suministro de agua menor al 80% fue el umbral de los efectos negativos provocados por sequía en el crecimiento de las plántulas, el rendimiento y los procesos fisiológicos; afectando la altura, el diámetro basal, número de rama, número de hoja y área foliar, reducido severamente al 20%.

Kumar *et al.*, (2017), menciona que en una situación de restricción de agua el nivel de riego más apropiado en cebolla es de 0.80 a la evaporación acumulada de la bandeja, teniendo un efecto en los parámetros de crecimiento, con un sistema de riego por microaspersión.

El color de la hoja y su apariencia física es uno de los aspectos, que pueden ser utilizados como indicador de cierto grado de estrés hídrico en las plantas. Santa (1992), menciona que el déficit hídrico afecta al número de hojas, su crecimiento, su disposición en el espacio y su senescencia. Así mismo Begg and Turner (1976) mencionan que cuando la turgencia se aproxima a cero, el tejido pierde su solidez mecánica, la lámina foliar se pliega y el peciolo se dobla. Jordan (1983), Santa (1992) confirman que el enrollamiento foliar es originado por cambios de volumen de células acuíferas y transparentes durante el estrés hídrico, así como pérdida de turgencia que tiene como consecuencia la inhibición del crecimiento, el cierre de las estomas, la disminución del espacio intercelular y cambios en las propiedades de la membrana que son respuestas de la planta para reducir la transpiración y desecación.

Polón *et al.* (1995) reporta que, en plantas de arroz sometidas a estrés hídrico, las hojas se enrollaron, manifestando una deficiencia hídrica, en las hojas antes de llegar al punto de marchitez. Pólon *et al.* (2013) reporta que, en plantas de frijol sometidas a diferentes intensidades de estrés hídrico, se observó un enrollamiento de las hojas hasta su amarillamiento con afectaciones del área foliar. Pérez-Pérez *et al.* (2009) menciona que el déficit hídrico afecta la conductancia estomática, la asimilación de CO₂ y la conductividad hidráulica de la raíz.

Conclusiones

En el cultivo de vainilla el porcentaje de humedad en el sustrato a punto de marchitez permanente fue del 41%, la capacidad de campo del 54% y el déficit permisible de humedad se ubicó en el 45%.

El contenido de humedad en el suelo tuvo efectos directos sobre el crecimiento de brotes, puesto que se notaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos bajo estrés y los que estuvieron libre de ello. El crecimiento fue gradual al mantener el nivel de humedad aceptable y retardada en condiciones de estrés, propiciando brotes pequeños con entrenudos cortos y llegando a detener el crecimiento cuando la humedad alcanzó el nivel mínimo (PMP).

Los indicadores de un severo estrés hídrico en las plantas de vainilla se observaron por debajo del punto de marchitez permanente, siendo la pérdida de turgencia y brillantez de las hojas con acanaladuras en tallos, el color de hojas cambió a una tonalidad verde del grupo Yellow Green 146 A al Grupo Yellow Green 148 A según las tablas de colores de la Royal Horticultural Society.

Las plantas de vainilla aun con los indicativos de un severo estrés hídrico lograron su recuperación gradual de hidratación cuando se aplicaron riegos, generando nuevos brotes laterales.

Referencias bibliográficas

- Barrera-Rodríguez, A. I.; Herrera-Cabrera, B. E.; Jaramillo-Villanueva J. L.; Escobedo-Garrido J. S.; Bustamante-González A. 2009. Caracterización de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* A.) bajo naranjo y en malla sombra en el Totonacapan. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10 (2), 199-212.
- Brestic, M.; Zivcak M. 2013. PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plant: protocols and applications. In: Rout GR, Das, AB. (eds). *Molecular Stress Physiology of Plants*, (pp.87-131).
- Begg, J. E.; Turner, N. C. 1776. Crop water deficits. *Adv. Agron.* 28, 161-217.
- Curti, E. D. 1995. Cultivo y beneficiado de vainilla en México. Organización Nacional de Vainilleros Indígenas de México.
- Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Clim. Change* 3 (1), 52-58.
- Damirón, R. V. 2004. El cultivo de la vainilla. Veracruz agrícola, Dirección General de Agricultura y Fitosanitaria. Gobierno del estado de Veracruz, México.
- Dimerevska. K.; Simova-Stoilova, L.; Vassileava, V.; Vaseva I.; Grigorova, B.; Feller, U. 2008. Drought induced leaf protein alteration in sensitive and tolerant wheat variants. *Gen. Appli. Plant Physiol* 34 (1-2), 79-102.
- FAO. 2011. Elaboración y uso del bocashi. Centro nacional de Tecnología agropecuaria y forestal, Ministerio de agricultura y ganadería. El Salvador.
- Farooq, M.; A. Wahid; N. Kobayashi; D, Fujita; S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29, 185-212.

- González-Dugo, M.; Moran, M.; Mateos, L.; Bryant, R. 2006. Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity. *Irrigation Sci.* 24, 233-240.
- Hernández, H. J. 2014. Técnicas implementadas para el cultivo de vainilla en México. In: I Seminario internacional de vainilla. Araya Fernández Carlos, Roberto Cordero Solórzano, Amelia Paniagua Vásquez y José Bernal Azofeifa Bolaños. Ed. Promoviendo la investigación, la extensión y la producción de vainilla en Mesoamérica.
- Hernández, J.; P. Lubinsky. 2011. Cultivation systems. In: Odoux E and M. Grisoni (ed.). *Vanilla* (Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles). CRC Press, Boca Raton, Florida. 75-95.
- INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tenampulco, Puebla.
- Jordan, W. R. 1983. Whole plant response to water deficit: an overview. In: Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. H. M. Taylor and T. R. Joran and T. R. Sinclair (eds.). ASA, CSSA and SSSA, Inc. Madison, WI. 289-317.
- Kelso, B. H. A. 2012. Estimación de coeficientes de desarrollo para *Vanilla* spp. y calibración regional de ETo en México. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Interamericano de Recursos del Agua. Toluca, México.
- Kumar, A.; Nayak A. K.; Sah R. P.; Sanghamitra P.; Das B. S. 2017. Effects of elevated CO₂ concentration on water productivity and antioxidant enzyme activities of rice (*Oryza sativa* L.) under water deficit stress. *Field Crops Research*, 212, 61-72.
- Lawlor, DW, Cornic G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25, 275-294.
- Li, F. L.; W. K. Bao; N. Wu. 2009. Effects of water stress on growth, dry matter allocation and water-use efficiency of a leguminous species, *Sophora davidii*. *Agroforest Syst.* 77, 193-201.
- Martínez-Quezada, D.M.1; Sandoval-Zapotitla, E.; Solís-De la Cruz, J.; Velázquez-Vázquez, D.E.1 y Herrera-Cabrera, E.B. 2016. Caracterización anatómica y análisis de variación de epidermis foliar y caulinar entre dos genotipos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad*, 9 (1), 26-33.
- Mishra, A. K.; Singh VP. 2010. A review of drought concepts. *J. Hydrol.* 391, 202-216.
- Montaseri, M.; Amirataee B. 2017. Comprehensive stochastic assessment of meteorological drought indices. *International Journal of Climatology*, 37 (2), 998-1013.
- Pereira, L. S. 2007. Drought impacts in agriculture: Water conservation and water saving practices and management. In: Rossi, G., T. Vega, and B. Bonaccorso (eds). *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. Springer, Netherlands.



- Pérez-Pérez, J. G.; Robles, J. M.; Botía, P. 2009. Influence of deficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in 'lane late' sweet orange. *Agricultural Water Management*, 96, 969-974.
- Polón, Pérez R.; A. Miranda Caballero, L. A. Maqueria López; M. A. Ramírez A. 2013. Efecto de diferentes intensidades de estrés hídrico en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 22 (4), 60-64.
- Polón, R.; S. Mesa; E. López; R. Castro. 1995. La aplicación de estrés hídrico como alternativa para incrementar el rendimiento en el cultivo de arroz. *Cultivos Tropicales*, 16 (2), 8-20.
- Puthur, J. T.; Krishnakumar V. 2006. Studies on the role of metabolites and nutrients on flowering in *Vanilla planifolia* Andr. *J Plant Crops*, 34 (2), 90-93.
- Santa, Olalla M. F. M. 1992. *Agronomía del riego*. Ediciones Mundi-prensa.
- Shal, Chandran; J. T. Puthur. 2009. Assorted response of mutated variants of vanilla *planifolia* Andr. towards drought. *Act. Physiol Plant*, (31) 1023-1029.
- Yadav, S. K.; Yogesh Kumar Tiwari; D. Pavan Kumar; Arun Kumar Shanker; N. Jyothi Lakshmi; M. Vanaja; M. Maheswari. 2016. Genotypic Variation in Physiological Traits Under High Temperature Stress in Maize. *Agricultural Research*, 5, (2), 119-126.
- Zhu, JK. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu Rev Plant Biol*. 53, 243-273.