



Universidad Nacional del Nordeste



Facultad de Ciencias Agrarias

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESINA

*“Evaluación de indicadores para ponderar el estado hídrico de plantas de ananá (*Ananas comosus* L. Merr.)”*

Autor: RIOS, Virginia Maite.

Docente Asesor: Ing. Agr. (Dra.) ALAYÓN LUACES, Paula.

Lugar de trabajo: Campo Didáctico y Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.

Tribunal evaluador:

- Ing. Agr. (Dra.) ESPASANDIN, Fabiana D.
- Ing. Agr. (Dra.) PEREZ, M. Laura.
- Lic. (Dra.) SOLIS, Stella Maris.

Año: 2020

ÍNDICE:

| | |
|----------------------------------|----|
| RESUMEN..... | 2 |
| INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES..... | 4 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 6 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 7 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 7 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 11 |
| CONCLUSIONES..... | 26 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 27 |

RESUMEN

Las plantas de ananá (*Ananas comosus* L. Merr.) se caracterizan por tener un parénquima acuífero en sus hojas altamente especializado para almacenar agua y desde el punto de vista fisiológico, poseen metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), por lo que estas plantas tienen los estomas abiertos durante la noche, con apertura máxima al amanecer, seguido por el cierre de los mismos hasta la tarde. Este mecanismo incide en la cesación casi completa de la transpiración y explica la alta eficiencia en el uso del agua en estas plantas. En trabajos anteriores llevados a cabo en Corrientes se realizaron mediciones de variables no destructivas para caracterizar el comportamiento de las plantas de ananá en diferentes condiciones del cultivo con buenos resultados, sin embargo no estaban directamente relacionados al riego de las plantas. El objetivo de este trabajo fue evaluar indicadores para ponderar el estado hídrico de plantas de ananá, para ello se realizaron tres experimentos: el primero consistió en el ajuste del protocolo para determinar en qué porción de las hojas “D” (basal, media o apical) se tomarían las muestras para determinar el Contenido Relativo de Agua (CRA); el segundo experimento utilizando los datos del experimento 1 se determinó CRA, Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) y Stress Degree Day (SDD) en dos tratamientos: R (regado) y S (sin aporte de agua) en dos estaciones del año: fría y cálida; y el tercer ensayo realizado fue para determinar el comportamiento del CRA y NDVI ante la rehidratación del sustrato durante la estación cálida luego de dar por finalizado el experimento 2. Desde el punto de vista metodológico, la determinación del CRA implica la extracción de tejido de las hojas. Una forma ampliamente aceptada para monitorear el crecimiento y desarrollo de las plantas de forma no destructiva es la utilización del NDVI. Otro método no destructivo es el SDD como indicador del estado hídrico de las plantas siendo el mismo la diferencia entre la temperatura del canopeo y el ambiente. El diseño experimental fue completamente al azar y la unidad experimental la planta, los resultados se analizaron estadísticamente utilizando el programa Infostat 2018. Como resultado del experimento 1 se observó que a los 45 días se encontraron diferencias estadísticas entre la parte basal y apical de las hojas, siendo la porción media la representativa. En el experimento 2, los tres parámetros fueron indicadores de los cambios en el contenido de agua de las hojas. Los resultados permitieron establecer que en los meses fríos la disminución del CRA (hasta peso constante de la maceta) demoró 60 días mientras que en los meses cálidos igual estado se alcanzó en solo 7 días donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. El NDVI,

disminuyó en ambas estaciones a medida que aumentó el estrés al que estaban sometidas las plantas por la restricción hídrica (variaciones en el contenido de agua en sus hojas (CRA) y disponibilidad de agua del sustrato). De igual manera se observó un aumento del SDD en ambas estaciones, siendo este parámetro exploratorio en plantas CAM. Los índices no destructivos, NDVI y SDD, manifestaron diferencias entre tratamientos en tiempos similares a los del CRA con diferente duración según fuera en la estación fría o cálida. Como resultado del experimento 3 se observó que la rehidratación del tejido de las hojas luego de una sequía conocida se alcanzó luego de 12 horas cuando se encontraron diferencias significativas. Los indicadores evaluados permitieron ponderar modificaciones del estado hídrico de plantas de ananá (*Ananas comosus* L. Merr.). Se normalizó el protocolo de muestreo de hojas de ananá para la determinación del CRA (porción media de la hoja “D”). Los indicadores NDVI y SDD son muy prometedores para determinaciones no destructivas del estado hídrico de hojas de ananá.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES:

Ananas comosus L. Merr., conocido comúnmente como ananá o piña, es una planta herbácea monocotiledónea perenne, de la familia de las Bromeliáceas. Desde el punto de vista económico, es la especie más importante perteneciente a esta familia, cultivada en más de 60 países tropicales y subtropicales y se ubica en tercer lugar en la producción mundial de frutas tropicales, después de la banana y los cítricos (Botella & Smith, 2008).

En nuestro país el área cultivada de ananá es de alrededor de 180 hectáreas con una producción promedio de 18,33 Tn por hectárea (FAOSTAT, 2018), similar a lo citado por Galiano *et al.* (2012) quienes manifiestan que para satisfacer los requerimientos del mercado interno de fruta de ananá en la Argentina en el 2011, fue necesaria la importación proveniente principalmente de Ecuador, Paraguay, Bolivia y Brasil, la cual representó un 79% de dicho mercado, mientras que la producción nacional de ananá cubrió solamente un 21% de la demanda, dejando en este sentido una brecha comercial insatisfecha por el mercado interno.

El clima afecta la productividad y la calidad de la fruta de ananá, el óptimo para el desarrollo del cultivo son aquellos climas con temperaturas entre los 18°C y los 45°C, en regiones en las que no ocurren heladas (Paull, 1997). El principal factor limitante para el cultivo es la temperatura, con un óptimo de 21-27°C y si bien la planta resiste heladas suaves y cortas de hasta -3°C, su crecimiento se retrasa en relación directa con las bajas temperaturas, deteniéndose (según cultivares) entre los 10 y 16°C con la característica de que las bajas temperaturas y los días cortos inducen la floración en dicha época (Galán Sauco, 2007).

Los centros de investigación más importantes a nivel mundial del cultivo de ananá se encuentran en los países y zonas productoras, todas ellas tropicales (Matosa & Reinhardt, 2009; Rebolledo Martínez *et al.*, 2005; 2006), mientras que en países en zonas subtropicales y templadas estudios de producción de ananá bajo cobertura en invernáculos en Portugal (Tavares, 1997), España (Galán Sauco, 2007) e Israel (Krayn, 2006) sin embargo, debido a diferencias en tipo de suelo y características asociadas a condiciones geográficas propias como heliofanía, distancia y altitud sobre el nivel del mar, los resultados deben ser evaluados en nuestra zona.

Las hojas de ananá poseen un mesófilo compuesto por dos zonas claramente diferenciadas una zona oscura formada por parénquima clorofiliano donde se alojan los haces vasculares y casquetes fibrosos (esclerenquima) y un área clara que está compuesta por parénquima acuífero, que es un reservorio natural de agua en las hojas (Derwidueé & González, 2010). Las hojas

suculentas de esta planta recogen y almacenan agua en las axilas de las mismas, donde es absorbida por el tejido circundante. Hay poca información publicada sobre los efectos del déficit hídrico sobre el crecimiento vegetativo, la floración o fructificación de esta especie (Carr, 2012).

Entre los tipos de hojas se conoce como hoja “D” a la más joven entre las hojas adultas y la que fisiológicamente se encuentra más activa. No obstante, es ampliamente difundido el efecto que tiene el ambiente en las características morfológicas de las plantas e inclusive genera modificaciones fisiológicas, situación que también se presenta en las bromeliáceas (Martin, 1994). El desarrollo del tejido acuífero que determina la formación de hojas de anatomía suculenta y la aparición de epidermis con superficies impermeables (cutinización) son caracteres de especial importancia para la evolución de la familia en hábitats secos (Medina *et al.*, 1989).

Debido a que el ananá es una planta con metabolismo ácido de las crasuláceas (estructura o sistema CAM,) es un ejemplo de adaptación al estrés ambiental y se presenta en plantas de sitios con períodos de escasa disponibilidad de agua o de CO₂ (Andrade *et al.*, 2007). Este tipo de fotosíntesis es uno de los tres encontrados en los tejidos de las plantas vasculares para la asimilación de CO₂ de la atmósfera (Taiz & Zeiger, 2002; Larcher, 2003). Estas plantas se caracterizan por tener los estomas abiertos durante la noche, con apertura máxima al amanecer, seguido por el cierre de los mismos hasta la tarde. Este mecanismo incide en la cesación casi completa de la transpiración durante el día y explica la alta eficiencia en el uso del agua en estas plantas. Es un proceso caracterizado por la acumulación de ácidos orgánicos libres, esencialmente ácido málico y bajo ciertas condiciones ácido cítrico en las vacuolas de tejidos fotosintéticamente activos, como producto de la fijación nocturna de CO₂ mediada por la enzima fosfo-enol-piruvato carboxilasa (PEPC) (Osmond, 1978; Winter, 1985). El ácido málico acumulado durante la noche en las vacuolas de células fotosintéticas pasa al citoplasma al día siguiente, donde es descarboxilado y el CO₂ resultante es fijado en los cloroplastos por la enzima ribulosa-difosfato carboxilasa (RUBISCO) e incorporado a carbohidratos en el ciclo de Calvin.

Una tecnología altamente recomendada para la producción de plantas tropicales en el subtrópico es el uso de invernaderos, sin embargo, este sistema de cultivo requiere ajustar la provisión de agua de las plantas por medio del riego de las mismas, para lo cual es imprescindible contar con variables que permitan caracterizar el estado hídrico del cultivo.

Entre los principales indicadores que se utilizan para evaluar el estado hídrico de las plantas se encuentra el Contenido Relativo de Agua (CRA) que se define como la relación del contenido de agua del tejido con el máximo que este pueda almacenar (Bars & Weatherley, 1962; Ortiz, 2003).

Sin embargo, si bien es una determinación sencilla, requiere un mínimo de instrumental y tiempo para procesamiento de las muestras, que además dañan las hojas.

El Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación, también conocido como NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), es un índice que se utiliza para estimar el estado de la vegetación por medio de la cantidad de luz incidente absorbida y reflejada en diferentes longitudes de onda, que son sensibles a diferentes parámetros ambientales y fisiológicos (Hatfield *et al.*, 2008). El crecimiento vegetativo, incremento de tejido fotosintético activo, aumentarán la cantidad de radiación absorbida en el espectro rojo y la energía reflejada en el infrarrojo cercano (Federer & Tanner, 1996). En trabajos anteriores se realizaron mediciones del NDVI para caracterizar el efecto de diferentes formas de provisión de agua sobre variables ecofisiológicas y morfoanatómicas de las plantas de ananá bajo cubierta plástica (Demarco *et al.*, 2020) con buenos resultados, siendo el indicador más sensible a las condiciones de estrés que reveló diferencias a los 15 días, sin embargo, el objetivo de este trabajo no estaba directamente relacionado al riego de las plantas.

Otro es el SDD (Stress Degree Day) es un indicador del estado hídrico de las plantas que se basa en la diferencia de temperatura del canopeo y del ambiente, basado en que las plantas ante condiciones de estrés hídrico cierran los estomas y disminuyen la transpiración con un consecuente aumento de temperatura de las hojas respecto a la temperatura ambiente (Kirkham, 2005).

La ventaja más interesante que tienen el NDVI y el SDD es la facilidad para su determinación y que son variables no destructivas por lo que se permiten realizar el seguimiento en la misma planta.

Si bien estos indicadores son ampliamente utilizados en plantas, no se han encontrado antecedentes de su utilidad para evaluar el estado hídrico de plantas de ananá con metabolismo CAM.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar indicadores para ponderar el estado hídrico de plantas de ananá (*Ananas comosus* L. Merr.).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a) Analizar el CRA en diferentes porciones de la hoja “D” en planta de ananá.
- b) Realizar curvas de CRA, NDVI y SDD en condiciones de deshidratación conocida del sustrato.
- c) Determinar la capacidad de recuperación hídrica en las hojas de ananá.
- d) Evaluar si existe correlación entre las variables medidas y el contenido de agua del sustrato.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en el Campo Didáctico y Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), ubicado sobre ruta Nacional 12 Km 1.031, en la provincia de Corrientes, Argentina. La duración de la misma fue de 12 meses.

El material vegetal utilizado, fueron plantas enteras *Ananas comosus* L. Merr.cv. Cayena lisa de 6 meses de edad, que se implantaron en macetas de 3 litros. Las mismas estaban ubicadas en un invernáculo tipo multicapilla de techo curvo con paredes laterales de 3,5 m y una altura total de 5,5 m, longitud de 25 m y 8 m de ancho y cobertura plástica de 100 μ . La ventilación natural se manejó abriendo los laterales cuando la temperatura del aire era mayor que 23°C para mantener una temperatura mínima por encima de 0°C.

El sustrato utilizado estaba conformado por 50% de tierra de monte, 30% de sustrato comercial Growmix multipro y 20% de cascarilla de arroz.

Para medir temperatura y humedad se utilizó un termohigrómetro Schwyz DAF-10 con datalogger.

Experimento 1: *Ajuste de protocolo para determinación del Contenido Relativo de Agua (CRA).*

Con el fin de establecer que porción de la hoja es representativa para el muestreo de CRA, se evaluaron diferentes porciones (apical, media, basal) de hojas “D” (hoja totalmente desplegada y fisiológicamente madura más joven de la planta).

Las determinaciones se realizaron en un lote de 10 plantas que se encontraban en condiciones de capacidad de campo (CC) al inicio de las mediciones utilizando un Tester TFA (Qualitäts-Erzeugnis By TFA/Germany). El muestreo se realizó en las mismas plantas durante 45 días cada 15 días, sin reposición de agua al sustrato (Figura 1).

Se extrajeron discos de 1 cm de diámetro en la parte apical, media y basal de las hojas “D”, para obtención del peso fresco (PF), los cuales posteriormente fueron sumergidos en agua durante 8 horas para obtener el peso turgente (PT). Se secaron a 70°C hasta peso constante para la determinación del peso seco (PS). Los resultados del CRA expresados en porcentaje (%) se obtuvieron aplicando la fórmula:

$$CRA (\%) = \frac{PF - PS}{PT - PS} \times 100$$



Figura 1: Extracción de muestras en hojas “D” de plantas de ananá.

Se realizó con un diseño experimental completamente al azar y la unidad experimental fue la planta. Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el software InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018). Previo a realizar las comparaciones de las variables medidas se probaron los supuestos de normalidad de los datos. Posteriormente se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) y comparación de medias utilizando test de Duncan ($p < 0,05$).

Experimento 2: Condiciones de restricción hídrica.

Los tratamientos consistieron en dos lotes, uno de ellos mantenido a capacidad de campo (Tratamiento R) y el otro sin ningún aporte de agua hasta peso constante de las macetas

(Tratamiento S). Este ensayo se repitió dos veces: estación fría (durante 75 días, tomando datos cada 15 días) y estación cálida (durante 28 días, tomando datos cada 7 días). Se consideró la finalización de los ensayos en cada estación cuando el peso de las macetas en el tratamiento S fue constante, en estación fría ese estado se alcanzó a los 75 días y en estación cálida se alcanzó en 28 días.

Las determinaciones realizadas fueron:

1. Contenido Relativo de Agua (CRA)

Basado en los resultados del experimento 1, los muestreos fueron en la porción media de la hoja “D”.

2. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)

Se midió individualmente en cada planta utilizando un GreenSeeker® Handheld Crop Sensor (Trimble Ag Field Solutions, Sunnyvale, CA, USA) a las 8 a.m. y 12 a.m. (Figura 2).



Figura 2: Medición de NDVI con el equipo Trimble® GreenSeeker Handheld Crop Sensor.

3. Stress Degree Day (SDD)

Se tomaron datos de temperatura del canopeo (T_c) utilizando un termómetro infrarrojo marca TES-1322 a las 12 a.m. en cada planta individualmente y temperatura ambiente (T_a) con termómetro de mercurio. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$SDD = \sum_{i=0}^n T_c - T_a$$

4. Biomasa y partición de asimilados (PA)

Al final del experimento, 10 plantas por tratamiento fueron seccionadas en hojas, tallos y raíces. Los órganos individuales de cada planta se pesaron para la obtención de peso fresco (PF) y posteriormente se llevaron a estufa a 70°C hasta peso constante (PS). Con los datos de PS de cada órgano se obtuvieron los datos de PA. Los resultados se expresaron en g MS particionada planta⁻¹.

5. Contenido de agua del sustrato

Para la determinación gravimétrica del contenido de agua, se determinaron los pesos individuales de cada maceta en gramos con balanza (precisión de 25 g) en cada momento de muestreo. Se consideró que la diferencia de peso en las macetas durante el ensayo se debió a la pérdida de agua por evapotranspiración, por lo que descontando el agua perdida ($PM_{n-1} - PM_n$) al agua disponible (AD) al inicio del ensayo ($AS_{inicial}$) se pudo realizar el seguimiento del agua del sustrato (AS) (Prause, 2006). Los cálculos se realizaron con las siguientes fórmulas:

$$AD = \frac{CC - PMP}{100} \times DA \times Altura$$

$$AS_{inicial} = AD$$

$$AS_n = AS_{inicial} - \frac{((PM_{n-1} - PM_n) \times DA)}{AM}$$

AD: Agua disponible en mm

CC: Capacidad del contenedor en %

PMP: Punto de marchitez permanente en %

DA: Densidad aparente en g cm⁻³

Altura: Altura de la maceta en mm

AS_n : Agua en el sustrato en el momento n en mm

AM: Área de la maceta en m².

PM_n : Peso de la maceta en gramos, en el tiempo n

PM_{n-1} : Peso de la maceta en gramos, en el tiempo n-1

Para una mejor interpretación de los resultados se procedió a la conversión de los milímetros de AS_n a porcentaje (%) representando la disminución del agua respecto al contenido inicial en cada período de medición. El peso de las plantas se consideró constante a lo largo del desarrollo del experimento.

También se estimó el consumo de agua diario de la siguiente manera:

$$CD = \frac{(AS_n - AS_{n-1})}{(T_n - T_{n-1})}$$

CD: consumo por día en mm.
 T_n : tiempo en el momento n.
 T_{n-1} : tiempo en el momento n-1.

Experimento 3: Rehidratación

Una vez finalizado el experimento 2, a fin de evaluar la capacidad de recuperación del estado hídrico de las hojas, se procedió a la rehidratación de 20 plantas procedentes del tratamiento con restricción hídrica (Tratamiento S) de la estación cálida. En las mismas se midieron NDVI y CRA a las 12, 24, 36 y 60 horas post rehidratación.

Se realizó en un diseño experimental completamente al azar y la unidad experimental fue la planta. Los resultados se analizaron estadísticamente utilizando test de T Student para muestras independientes como prueba univariada de cada una de las variables utilizando el programa Infostat 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para estandarizar el protocolo de determinación del Contenido Relativo de Agua (CRA) se realizó un experimento previo teniendo como variable las porciones de las hojas a muestrear.

En la Figura 3 se presenta el comportamiento de los valores de CRA a los días 0, 15, 30 y 45 del experimento. Al inicio de las mediciones, las hojas presentaron valores de 88%, 89% y 91% y finalizando con 85%, 87% y 89% en las porciones apicales, medias y basales respectivamente. Como es de esperar, e independientemente de la porción de la hoja, el CRA disminuyó a lo largo de los 45 días de restricción hídrica, encontrándose a los 30 días diferencias estadísticas significativas entre la porción basal respecto a las porciones media y apical y a los 45 entre la basal y la apical.

Brito *et al.* (2016) estudiaron morfológica y anatómicamente las hojas de dos ecotipos de *A. comosus* (cultivares Amarilla y Yärä känä) y observaron que la baja presencia de estomas ubicados en la base de la misma podría estar relacionado a la baja o nula presencia de clorénquima, donde solo existe parénquima acuífero, por consiguiente, la fotosíntesis no se lleva a cabo y la presencia de estomas no es indispensable para el intercambio gaseoso.

En este estudio se encontró que los valores de CRA obtenidos de la parte basal en todos los muestreos tuvieron valores mayores que la parte media y apical, por lo que el muestreo para determinación de CRA en esta zona de la hoja sobreestimaría los resultados. Los valores de CRA de la porción media de la hoja se ubicó en todos los muestreos en valores medios entre la zona apical y basal.

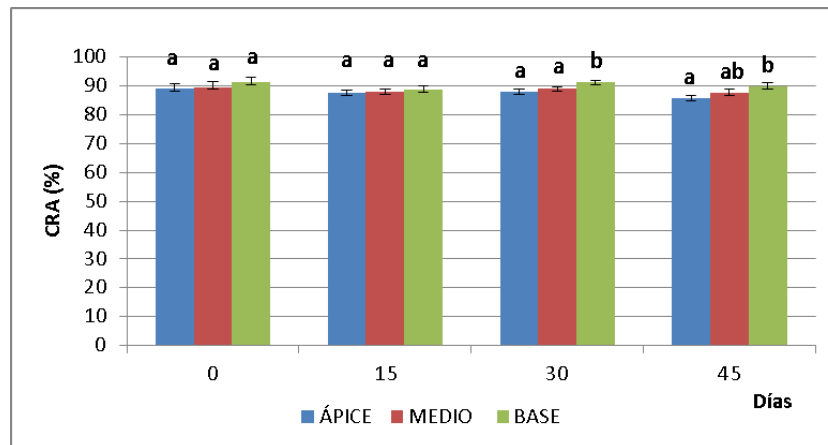


Figura 3: Contenido Relativo de Agua (CRA) en las porciones apicales, medias y basales de las hojas “D” de plantas de ananá. Letras distintas indican que hay diferencia significativa según Duncan ($p \leq 0,05$).

Condiciones de restricción hídrica.

Los datos ambientales a partir de mediciones realizadas en estación fría (mayo, junio y julio) se observan en el climograma (Figura 4). La humedad relativa ambiente se mantuvo por encima del 80% y la temperatura media en el mes de mayo fue de 23°C descendiendo a 15°C transcurrido el tiempo del experimento.

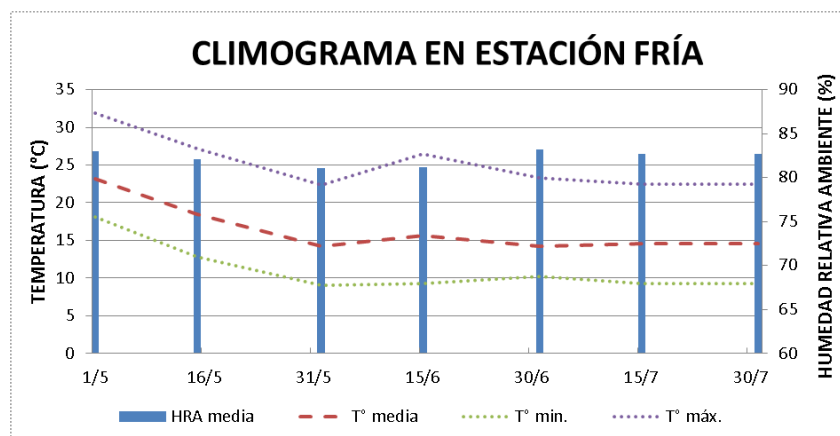


Figura 4: Climograma de la estación fría registrado utilizando un termohigrómetro Schwyz DAF-10 con datalogger.

1. Contenido Relativo de Agua

En la Figura 5 se presentan los resultados de CRA obtenidos en la estación fría. Se observa que al inicio del experimento ambos tratamientos comenzaron con 85% de CRA y pasados los 75 días el Tratamiento R se mantuvo por encima de este valor. Por su parte el Tratamiento S se permaneció estable hasta los 45 días en los cuales no hubo variación en el contenido de agua manteniéndose por encima del 80%, recién a los 60 y 75 días se manifestaron diferencias significativas respecto al tratamiento R con una diferencia del 13%, finalizando el experimento con 73% de CRA.

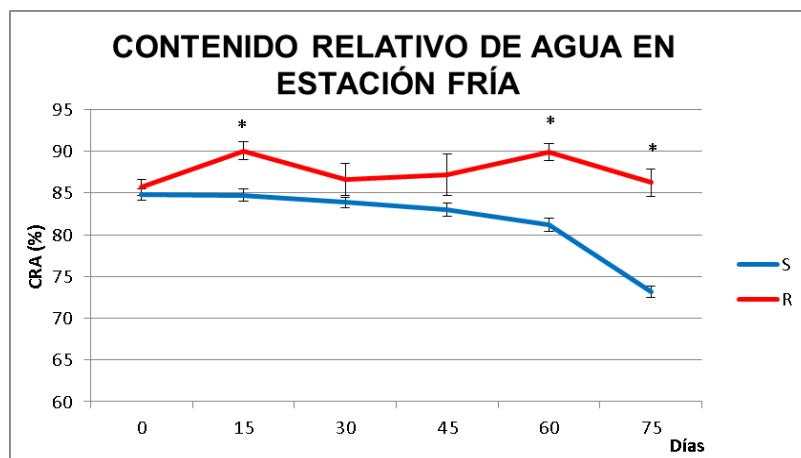


Figura 5: Contenido Relativo de Agua (CRA) de las hojas “D” de plantas de ananá en la estación fría en los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua). Asterisco (*) indica que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

Las condiciones ambientales de temperatura y humedad en este período permitieron que las hojas de ananá conserven niveles de CRA cercanos a 85% por más de 45 días, probablemente debido a la baja actividad por las bajas temperaturas, este resultado coincide con lo encontrado por Demarco *et al.* (2020) para esta variedad. La resistencia a la deshidratación de las plantas en las primeras semanas del experimento sometidas a un estrés por sequía puede atribuirse a la presencia del tejido acuífero, denominados “caracteres anatómicos xeromórficos” que implican adaptaciones tendientes a preservar el contenido de agua en el cuerpo de la planta (Fahn & Cutler, 1992).

2. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)

En las Figuras 6 A y 6 B se presentan los valores de NDVI tomados en dos horarios de la mañana (8 y 12 a.m.). Las determinaciones de NDVI son actualmente un sistema ampliamente

aceptado para monitorear las plantas de forma no destructiva y para estimar condiciones de estrés en diferentes especies (Balasundram *et al.*, 2013; Mazzetto, 2009; Neiff *et al.*, 2015), se entiende que a medida que este valor se aleja de 1, la planta está en condiciones de mayor estrés.

Se observó que al inicio de los tratamientos el valor inicial de NDVI fue de 0,72. Tanto en el Tratamiento S como R este valor descendía hasta los 30 días en ambos horarios medidos, esto puede deberse a las bajas temperaturas registradas en ese periodo. Luego de 45 días se encontraron diferencias significativas entre Tratamiento R y S para las 8 y 12 a.m., en ambos horarios en el Tratamiento R los valores de NDVI subieron y se acercaron a 1 mientras que en S estos valores siguieron descendiendo. Es probable que estos resultados recién luego de 45 días estén relacionados al estrés hídrico al cual fueron sometidas las plantas (Tratamiento S), ya que coincide que luego de 45 días el CRA también presentó valores significativos entre tratamientos.

A los 75 días se dio por finalizado el ensayo, donde los valores de NDVI para el tratamiento R fueron de 0,67 en ambos horarios, mientras que para el tratamiento S fueron de 0,56 y 0,59 por la mañana temprano y mediodía respectivamente con diferencias significativas en ambos casos con R.

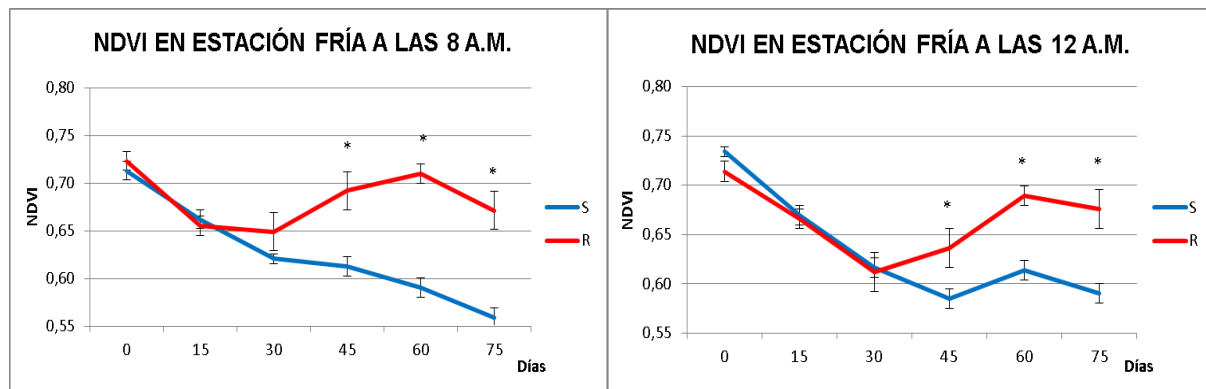


Figura 6 A: Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación tomado a las 8 a.m. en la estación fría en los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua). Asterisco (*) indica que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

Figura 6 B: Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación tomado a las 12 a.m. en la estación fría en los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua). Asterisco (*) indica que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

3. Stress Degree Day (SDD)

Se presenta en la Figura 7 el SDD calculado de los registros de temperatura tomados a las 12 a.m. En el mismo se observa que a medida que pasaron los días en condiciones de restricción hídrica la sumatoria de grados fue en aumento constantemente, por lo que la curva en el

Tratamiento S fue creciente desde 1,9°C al inicio de la experiencia hasta 20,9 °C con una acumulación efectiva en este tiempo (75 días) de 19°C.

Por su parte el Tratamiento R, no presentó acumulación de grados, por el contrario a lo largo del experimento en esta estación presentó en algunos casos valores negativos que demuestran que al mantenerse el sistema a capacidad de campo y al estar hidratada la planta tiene la capacidad de refrigerarse y así no elevar su temperatura con respecto al ambiente. Como se indicó anteriormente las plantas de ananá tienen metabolismo CAM y por lo tanto los estomas deberían estar cerrados durante el día. Si bien este indicador está relacionado a la capacidad de la planta de refrigerarse, los resultados obtenidos en este ensayo demuestran que también hay respuesta en plantas CAM. Hay antecedentes de que muchas de las plantas CAM han sido caracterizadas como intermedias C3-CAM, ya que tienen la habilidad de fotosintetizar en ciclo C3 ante la disponibilidad de agua, temperatura del aire, cantidad y calidad de luz, así como en el fotoperíodo (Lee & Griffiths, 1987; Borland & Griffiths, 1992; Aragon, 2012). Una posibilidad que escapa a las evaluaciones de este trabajo, es que en las condiciones de temperatura de este ensayo las plantas hayan tenido abiertos los estomas durante el día lo cual permitió la refrigeración de aquellas en condiciones de capacidad de campo (Tratamiento R) mientras que aquellas con deficiencia entraron en estrés con el consecuente cierre de estomas y aumento de SDD.

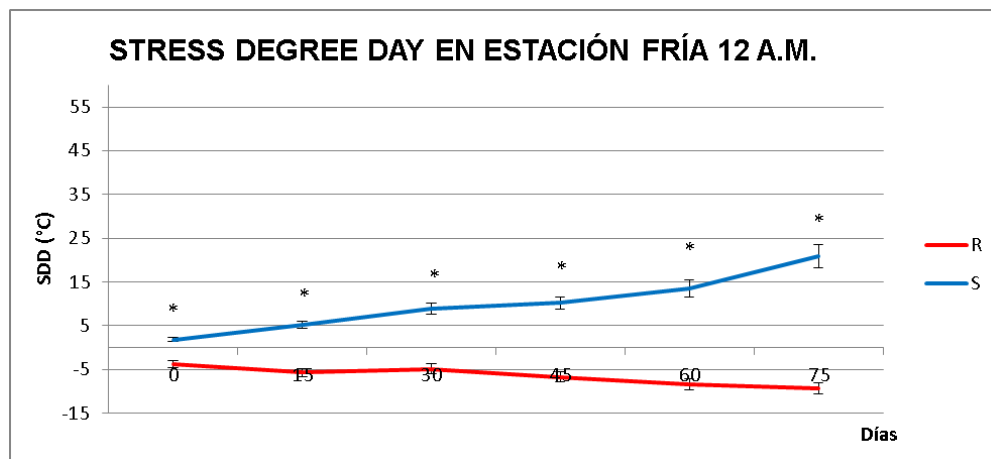


Figura 7: Stress Degree Day en los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua) en la estación fría tomado a las 12 a.m. Asteriscos (*) indican que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

4. Biomasa y partición de asimilados (PA)

En las Figuras 8 A y 8 B se presentan la biomasa y partición de asimilados de los tratamientos R y S obtenidos en la estación fría.

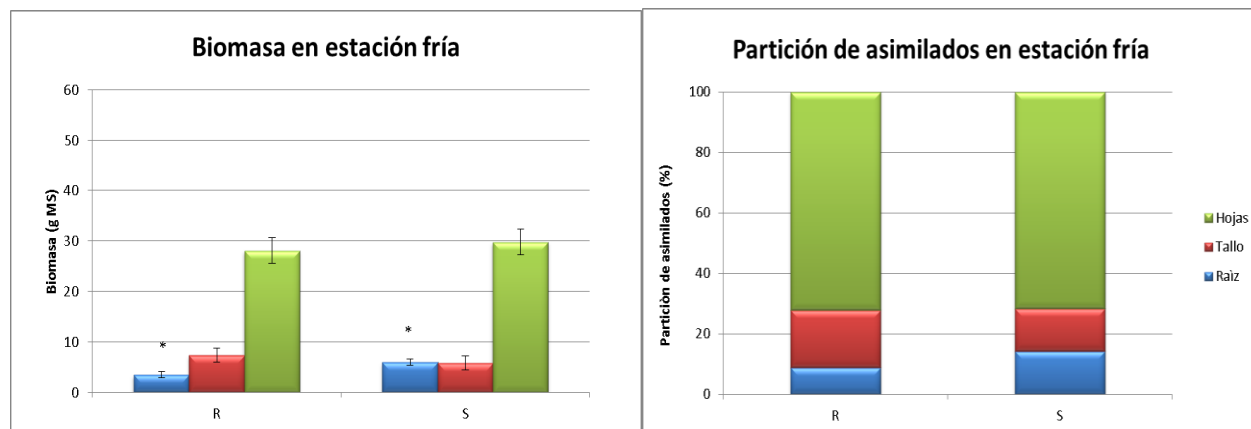


Figura 8 A: Biomasa de los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua) en la estación fría expresados en gramos de materia seca de hojas, tallo y raíz. Asterisco (*) indica que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).
Figura 8 B: Partición de asimilados para los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua) en la estación fría expresados en porcentaje (%) del total de la biomasa.

El Tratamiento R finalizó el experimento a con 39 g de biomasa total mientras que el Tratamiento S en este período alcanzó 41,5 g, superando al R en 2,5 g, aunque sin diferencias estadísticas. Del análisis de partición de asimilados surge que no hubo diferencias significativas entre tratamientos en hojas y tallos, sin embargo, las raíces del tratamiento S fueron estadísticamente superiores en un 5,4% respecto a R. Esta diferencia en el crecimiento de raíces por parte del Tratamiento S puede deberse a que las plantas poseen distintos mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta al estrés hídrico (Nilsen & Orcutt, 1996), uno de los procesos que se modifica es el crecimiento radicular. La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea con respecto a la raíz; la raíz continua su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. De esta manera, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de las raíces en busca de agua en el suelo (Potters *et al.*, 2007; Shao *et al.*, 2008). Cabe destacar que si bien no se establecieron diferencias significativas entre tratamientos en relación a la PA de los tallos, en este experimento se observó que el peso seco de los tallos del tratamiento S tubo 5% menos de peso que en el tratamiento R, esto puede estar asociado a que en condiciones de estrés se desarrollaron más raíces las cuales probablemente tomaron parte de los carbohidratos para su desarrollo y crecimiento de las reservas del tallo, estos resultados coinciden con los encontrados por González Leguizamón *et al.* (2013).

5. Contenido de agua del sustrato

En la Figura 9 se muestra cómo fue la dinámica de la disminución del agua del sustrato cada 15 días y el comportamiento del CRA de las hojas del tratamiento S ante esta pérdida de agua, ambos expresados en porcentaje (%) del contenido inicial.

Durante los primeros 15 días de ensayo la pérdida de agua del sustrato fue de 27,5% llegando a los 45 días a una pérdida de 54%. En este período la disminución del CRA sólo fue de 2,18%, evidenciando la alta capacidad de retención hídrica de esta especie por parte del parénquima acuífero (Demarco *et al.*, 2020). El máximo descenso en este ensayo fue a los 75 días, donde la merma total del AS fue de 69% y del CRA de 14%.

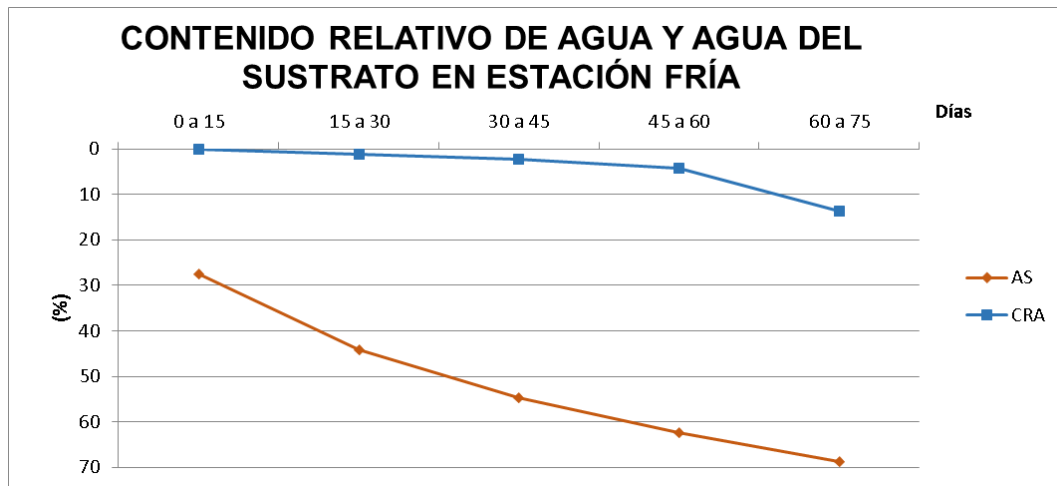


Figura 9: Disminución del Contenido Relativo de Agua (CRA) y Agua del Sustrato (AS) durante la estación fría en plantas del tratamiento S (sin aporte de agua), expresados en porcentaje de pérdida.

Por su parte, en relación al consumo de agua en los meses fríos (Tabla 1), se observa que hubo una disminución de los milímetros de agua por día, comenzando con 0,78 en los primeros 15 días y finalizando con 0,18 desde el día 60 al 75. Probablemente las condiciones durante los primeros 15 días permitieron que la planta consumiera agua activamente, mientras que luego de este período la actividad metabólica haya disminuido y su consecuente consumo de agua debido al estrés hídrico al cual estaban sometidas.

Tabla 1: Consumo diario de agua en estación fría en plantas del tratamiento S (sin aporte de agua).

| Periodo (días) | Consumo de agua (mm/día) |
|----------------|--------------------------|
| 0 a 15 | 0,78 |
| 15 a 30 | 0,48 |
| 30 a 45 | 0,30 |
| 45 a 60 | 0,22 |
| 60 a 75 | 0,18 |

En cuanto a la estación cálida (febrero y marzo), los datos del climograma se presentan en la Figura 10. En estos meses la humedad relativa ambiente osciló entre 66-76%, la temperatura media entre 24-27°C.

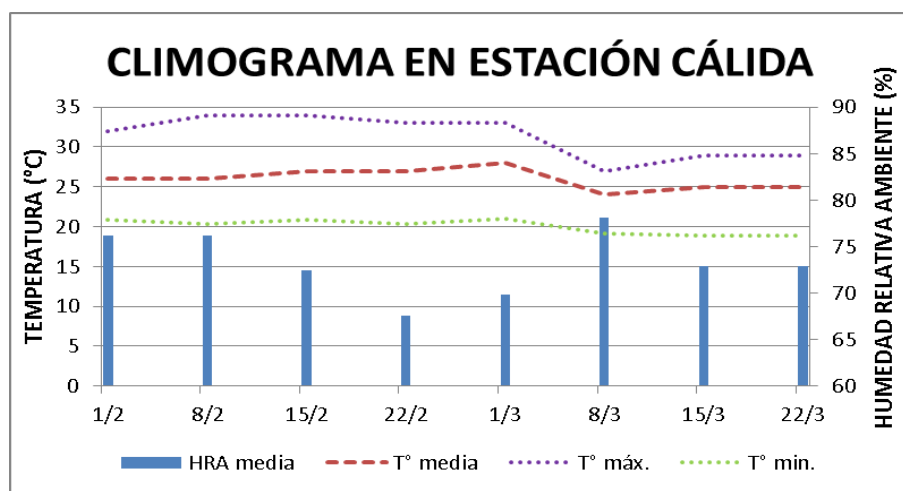


Figura 10: Climograma de la estación cálida registrado utilizando un termohigrómetro Schwyz DAF-10 con datalogger.

1. Contenido Relativo de Agua

El contenido relativo de agua de las hojas “D” (Figura 11) en ambos tratamientos comenzó con aproximadamente 76%. Al cabo de 7 días de restricción se encontraron diferencias significativas entre R y S. En el caso del Tratamiento R, pasados los 28 días de la experiencia las plantas se hidrataron aumentando su CRA a 85%, en cambio el Tratamiento S descendió hasta un 65% dando por finalizado el ensayo.

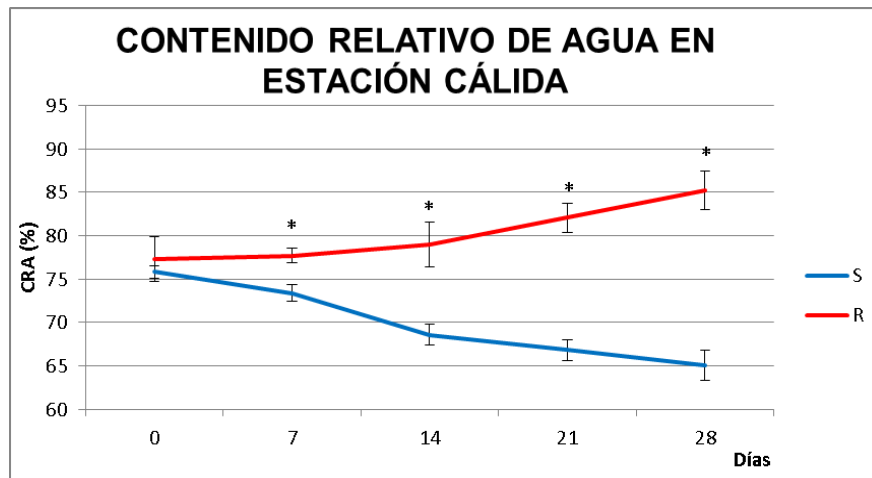


Figura 11: Contenido Relativo de Agua (CRA) de las hojas “D” de plantas de ananá en la estación cálida en los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua). Asterisco (*) indica que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

Si comparamos el CRA de las dos estaciones, en la estación fría se encontraron diferencias entre tratamientos R y S recién a los 60 días de restricción, mientras que en la estación cálida con temperaturas superiores y una evaporación de contenido de agua en la maceta más rápida, las diferencias ya se encontraron a la semana de iniciada la experiencia. Esto demuestra la incidencia del clima en la pérdida de agua por parte de las plantas y la importancia del riego en un sistema de secano.

2. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)

Para los dos horarios en estudio (8 y 12 a.m.), las diferencias significativas se encontraron a los 14 días del experimento, manteniéndose hasta el final del ensayo a los 28 días (Figura 12A y 12B).

El comportamiento del NDVI fue similar a las 8 y 12 a.m. llegando a 0,63 y 0,62 en el tratamiento S y 0,75 y 0,74 para el tratamiento R, respectivamente.

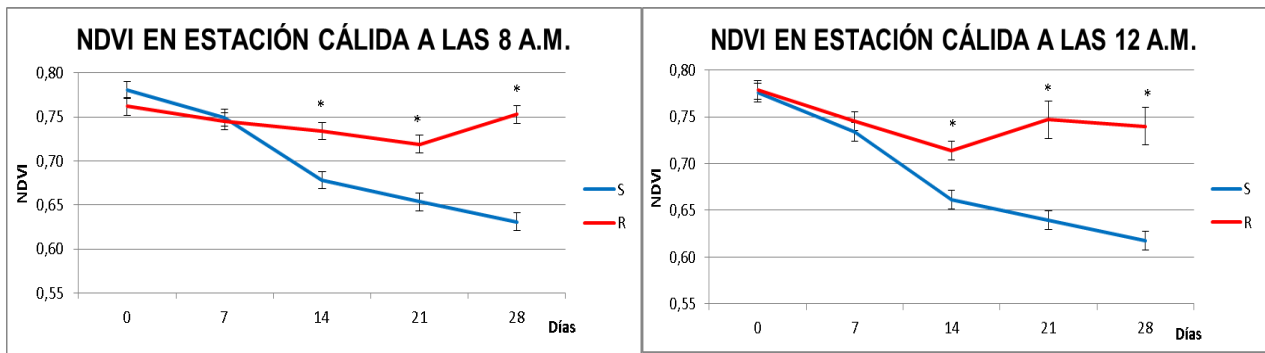


Figura 12A: Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación tomado a las 8 a.m. en la estación cálida en los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua). Asterisco (*) indica que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

Figura 12B: Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación tomado a las 12 a.m. en la estación cálida en los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua). Asterisco (*) indica que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

Comparativamente, el NDVI de la estación fría a los 45 días se encontraron diferencias significativas, en cambio, en la estación cálida esta diferencia se encontró a la tercera parte del tiempo, es decir, a los 14 días para ambos horarios, denotando que las plantas manifiestan el estrés al que están sometidos por medio de este parámetro en ambas estaciones.

3. Stress Degree Day (SDD)

En la Figura 13 se presenta el comportamiento del SDD. Como se observa ambos tratamientos tuvieron un ascenso en este índice. El Tratamiento R a pesar de estar hidratada la planta presentó una acumulación de grados centígrado a lo largo de los 28 días llegando a acumular al mediodía 19°C en dicho período. Por su parte en el tratamiento con restricción hídrica, se observó que la acumulación de SDD en igual tiempo alcanzó los 50°C. Probablemente esta acumulación se deba no solo a la restricción sino también a las altas temperaturas de la estación.

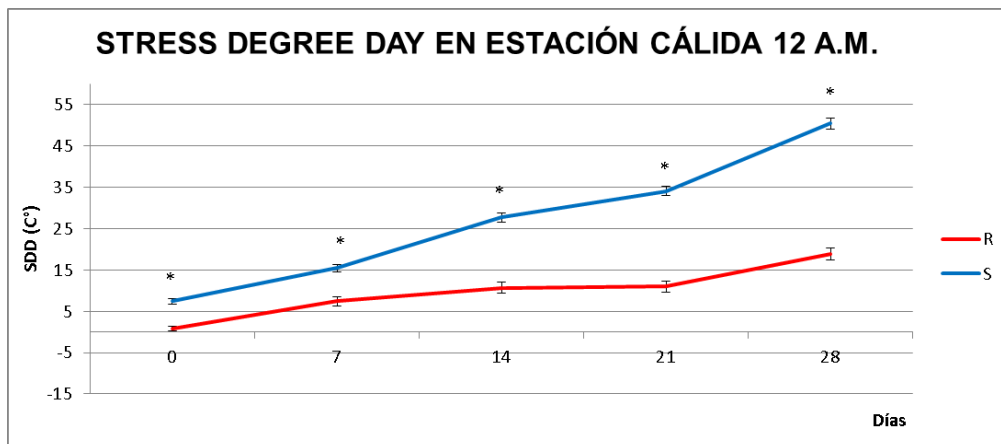


Figura 13: Stress Degree Day (SDD) en los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua) en la estación cálida tomado a las 12 a.m. Asteriscos (*) indican que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

Estudios realizados en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero, mostraron resultados similares a los encontrados en la estación fría de este estudio. Las plantas tratadas con menor aporte de riego son las que estuvieron en condiciones de estrés (acumularon grados día) al tener T_c mayor que T_a y los tratamientos con mayor aporte de agua mantuvieron T_c menor que T_a (con valores negativos) en condiciones hídricas adecuadas para su desarrollo (Vázquez Lee, 2012). Asimismo, un estudio realizado en trigo (*Triticum aestivum* L. var. RR-21), consistió de tres tratamientos con riego diferencial (bien regado, medio regar y sin riego). Los resultados mostraron que, los valores de SDD disminuyeron rápidamente en presencia de riego (Kumar & Tripathi, 1990).

4. Biomasa y partición de asimilados (PA)

La biomasa final y la partición de asimilados se representa en la Figura 14 A y B, respectivamente. Se observa que en el Tratamiento R los gramos de materia seca seccionados de raíz, tallo y hojas son superiores a las del Tratamiento S, siendo en las hojas donde se encontraron las diferencias estadísticas. Este mayor crecimiento por parte de las hojas del Tratamiento R puede deberse a la buena provisión de agua y las temperaturas óptimas para el crecimiento del cultivo durante este período.

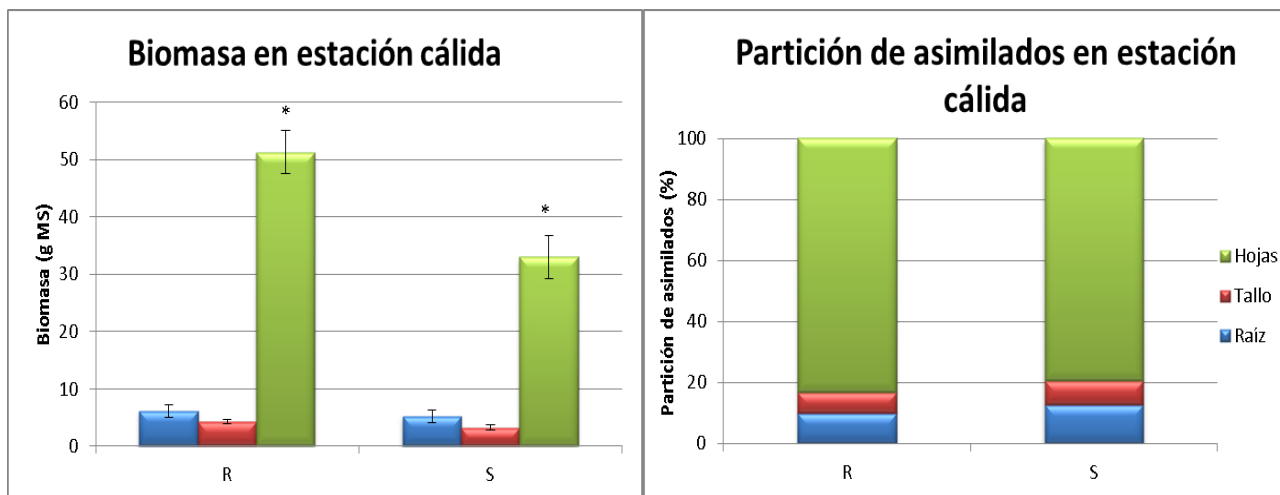


Figura 14 A: Biomasa de los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua) en la estación cálida expresados en gramos de materia seca de hojas, tallo y raíz. Asterisco (*) indica que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

Figura 14 B: Partición de asimilados para los tratamientos R (regado) y S (sin aporte de agua) en la estación cálida expresados en porcentaje (%) del total de la biomasa.

La diferencia en el tamaño final de las plantas para el tratamiento R en ambas estaciones fue notable en ambos experimentos, ya que en el caso de la estación cálida fue de 61,7 g y en la estación fría fue de 39 g. La principal diferencia en relación a la acumulación de MS fueron las temperaturas ya que en ambos experimentos las plantas de ananá tuvieron un aporte de agua adecuado para mantener al sustrato en capacidad de campo por lo cual se puede atribuir esta diferencia a la influencia de la temperatura sobre el crecimiento de la misma. El ananá al estar sometido a temperaturas inferiores a 16° detiene el crecimiento, por lo cual se refleja la relación directa del mismo con las bajas temperaturas (Galán Sauco, 2007), sin dejar de mencionar que para la estación fría hubo diferencias significativas en el crecimiento de raíces entre los tratamientos R y S.

Por el contrario, en el caso de las plantas con restricción, se observó que en los dos ensayos el peso promedio final de biomasa fue de 41,5 g de materia seca, denotando que la limitante principal en estos tratamientos fue la restricción hídrica, ya que, aunque las temperaturas del ensayo de la estación cálida fueron adecuadas para el crecimiento, las plantas no siguieron su crecimiento por falta de agua.

5. Contenido de agua del sustrato

Como se muestra en la Figura 15 se puede observar que, a diferencia de la estación fría, el descenso del CRA acompañó al descenso de AS de los meses más cálidos. En los primeros 7 días, el contenido de agua de las hojas disminuyó un 3%, valor que en la época fría recién se encontró pasados los 45 días de restricción hídrica.

El agua del sustrato disminuyó un 20% en los primeros 7 días y al cabo de los 28 días este descenso alcanzó el 50% del contenido inicial.

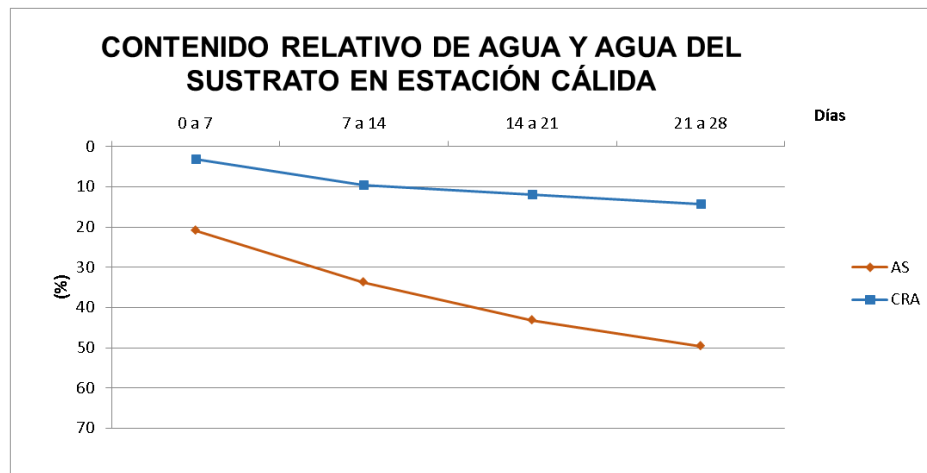


Figura 15: Disminución del Contenido Relativo de Agua (CRA) y Agua del Sustrato (AS) durante la estación cálida en plantas del tratamiento S (sin aporte de agua), expresados en porcentaje de pérdida.

El consumo diario de agua (Tabla 2) para la estación cálida inició con 1,32 mm/día y concluyó al cabo de 28 días con 0,41 mm/día. Comparando las estaciones, claramente se nota la diferencia de los meses con mayores temperaturas el aumento de la evapotranspiración del agua de las macetas, principalmente en los primeros días.

Tabla 2: Consumo diario de agua en estación cálida en plantas del tratamiento S (sin aporte de agua).

| Periodo (días) | Consumo de agua (mm/día) |
|----------------|--------------------------|
| 0 a 7 | 1,32 |
| 7 a 14 | 0,81 |
| 14 a 21 | 0,61 |
| 21 a 28 | 0,41 |

Rehidratación

1. Contenido relativo de agua (CRA)

En la Figura 16 se presenta la respuesta del CRA en función a las horas post rehidratación del sustrato, tomándose como tiempo inicial (hora 0) los últimos datos del día 28 del experimento en la estación cálida. Como se puede observar en el gráfico, hubo diferencia significativa a las 12 horas después del riego con respecto al tiempo cero, ya que las hojas pasaron en esas horas de tener un 65% a un 84% de CRA. Este contenido de agua se mantuvo sin modificaciones significativas durante las siguientes 60 horas.

Este comportamiento denota la gran capacidad de rehidratación que tiene el parénquima acuífero de las hojas de ananá en respuesta al aporte de agua al sustrato, coincidiendo con lo citado por Bonet *et al.* (2010) quienes manifiestan que los efectos de la sequía en esta especie son reversibles y cuando el agua está nuevamente disponible, las hojas se rehidratan y reinician el crecimiento normal.

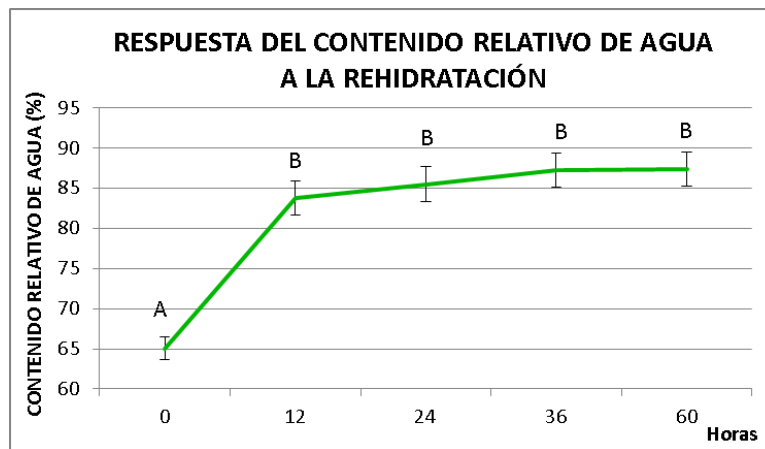


Figura 16: Respuesta del Contenido Relativo de Agua de las hojas “D” a la rehidratación del sustrato luego de 12, 24, 36 y 60 horas. Letras distintas indican que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

2. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)

En la Figura 17 se representa la respuesta del NDVI a la rehidratación del sustrato tomando como tiempo inicial el último dato de los 28 días del ensayo de la estación cálida al mediodía (12 a.m.). Se puede ver que al igual que el CRA, este indicador también respondió rápidamente al aumento en el contenido de agua del sustrato, encontrándose diferencias estadísticas luego de 12

horas (0,68) respecto al inicio (0,62). Este índice se mantuvo post rehidratación sin diferencias durante 60 horas alcanzando valores de 0,70.

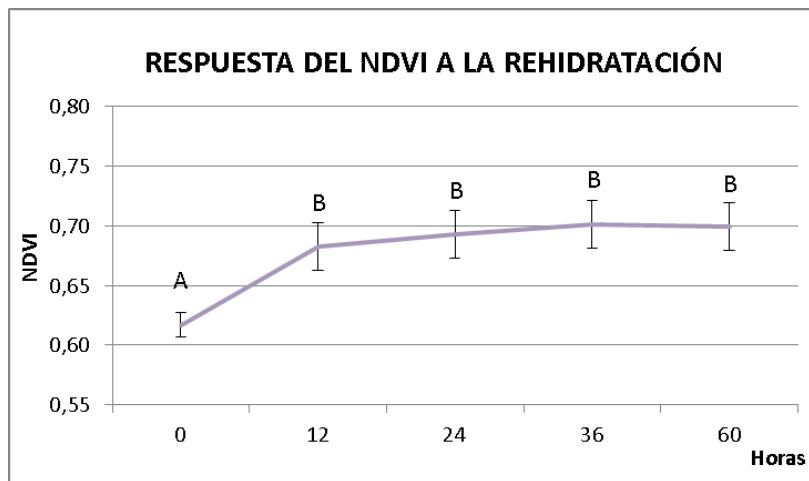


Figura 17: Respuesta del NDVI a la rehidratación del sustrato a las 12, 24, 36 y 60 horas. Letras distintas indican que hay diferencia significativa según T Student ($p \leq 0,05$).

Comparativamente, en relación a las mediciones realizadas se observaron diferencias según variable, el CRA en la estación fría entre los tratamientos R y S recién a los 60 días de restricción, mientras que en la estación cálida las diferencias ya se encontraron a la semana de iniciada la experiencia.

En cuanto al NDVI de la estación fría, a los 45 días se encontraron diferencias significativas, en cambio, en la estación cálida a los 14 días para ambos horarios.

La diferencia en el SDD es la acumulación de grados centígrados entre estaciones, se observó que en los meses fríos el tratamiento S acumuló 19° y en los meses cálidos llegó a los 50° , denotando claramente condiciones estresantes en el periodo cálido. También podemos observar un comportamiento distinto en la curva del tratamiento R, ya que en presencia de bajas temperaturas el SDD se mantuvo en valores negativos, en cambio, en altas temperaturas las plantas con buen aporte de agua presentaron acumulación de grados centígrados pero en todas las mediciones por debajo del tratamiento S.

El tamaño final de las plantas para el tratamiento R en ambas estaciones fue notable en ambos experimentos, ya que en el caso de la estación cálida fue de 61,7 g y en la estación fría fue de 39 g. Por el contrario, en el caso de las plantas con restricción, se observó que en los dos ensayos el peso promedio final de biomasa fue de 41,5 g de materia seca. En cuanto a partición

de asimilados, en los meses fríos las diferencias estadísticas entre tratamientos se encontraron en raíces, en cambio, en los meses cálidos se obtuvo en las hojas.

En la estación fría el máximo descenso de agua del sustrato fue a los 75 días, donde la merma total fue de 69%. Para la estación cálida, el agua del sustrato disminuyó un 20% en los primeros 7 días y al cabo de los 28 días este descenso alcanzó el 50% del contenido inicial.

En cuanto al consumo de agua en los meses fríos hubo una disminución de los milímetros de agua por día, comenzando con 0,78 en los primeros 15 días y finalizando con 0,18 desde el día 60 al 75. La estación cálida inició con 1,32 mm/día y concluyó al cabo de 28 días con 0,41 mm/día.

CONCLUSIONES:

Se normalizó el protocolo de muestreo de hojas de ananá para la determinación del contenido relativo de agua estableciendo la porción media de la hoja “D” como porción para realizar los análisis.

La disminución del CRA en hojas de ananá en la estación fría fue mucho más lenta que en meses cálidos, encontrándose diferencias estadísticas a los 60 días respecto a los 7 días en la estación cálida.

El NDVI como indicador no destructivo fue altamente sensible a las condiciones del ensayo. Su valor disminuyó tanto en la estación fría como en la cálida para las 8 y 12 a.m., con diferencias entre tratamientos en ambas estaciones, evidenciando con éste parámetro el estrés al que están sometidas las plantas (variaciones en el contenido de agua en sus hojas y disponibilidad de agua del sustrato).

El aumento del SDD se detectó en ambas estaciones para el Tratamiento S, con diferencias entre estaciones acumulando 50°C en la cálida y 19°C en la estación fría. Este indicador del estado hídrico de las plantas es exploratorio en plantas CAM.

Se observó una rápida respuesta del CRA y NDVI luego de 12 horas de re provisión de agua en el sustrato (rehidratación de las hojas) debido a la presencia de parénquima acuífero.

De las observaciones realizadas en este trabajo se concluye que los indicadores no destructivos evaluados permitieron detectar modificaciones del estado hídrico de las plantas de ananá con potencial uso agronómico para la práctica de riego en el cultivo.

BIBLIOGRAFIA:

- Andrade, J. L.; De La Barrera, E.; Reyes García, C.; Ricalde, M. F.; Vargas Soto, G.; Cervera, J. C. (2007). El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81: 37-50.
- Aragón, C.; Carvalho, L.; González, J.; Escalona, M.; Amancio, S. (2012). The physiology of ex vitro pineapple (*Ananas comosus* L. Merr. var MD-2) as CAM or C3 is regulated by environmental conditions: proteomic and transcriptomic profiles. *Plant Cell Rep* 31: 757-769. doi: 10.1007/s00299-013-1493-3.
- Balasundram, S. K.; Kassim, F. A.; Vadamalai, G.; Hanif, A. H. M. (2013). Estimation of red tip disease severity in pineapple using a non-contact sensor approach. *Agricultural Sciences* 4(04): 206-208.
- Bars, H.D.; Weatherley, P.E. (1962). A reexamination of the relative turgidity techniques for estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences* 15: 413-428.
- Bonet, P.C.; Acea, L.I.; Brown, M.O.; Hernandez, V.M.; Duarte, D.C. (2010). Coeficiente de cultivo para la programación de riego en el cultivo de piña. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 19(3): 23-27.
- Borland, A.M.; Griffiths H. (1992). Propiedades of phosphoenolpyruvate carboxylase and carbohydrate accumulation in the C3-CAM intermediate *Sedum telephium* L. Grown under different light and watering regimes. *Journal of Experimental Botany* 43:342-351.
- Botella, J.R.; Smith, M. (2008). Genomics of pineapple, crowning the king of tropical fruits. In: Moore PH, Ming R (Eds.) *Plant genetics/genomics: genomics of tropical crop plants*. Springer, USA, pp 441-451.
- Brito, A.; Blanco, H.; Escala, M.; Vargas, E.; Garcia, E. (2016). Morfoanatomía foliar de dos ecotipos de *Ananas comosus* (L.) Merr. del Amazonas Venezolano: Amarilla y Yärä känä. *Acta Botánica Venezolana* 39 (2): 158-179.
- Carr, M.K.V. (2012). The water relations and irrigation requirements of pineapple (*Ananas comosus* var. *comosus*): A Review *Experimental Agriculture* 48 (4): 488-501.
- Demarco, P.A.; Gómez Herrera, M.D.; González, A.M.; Alayón Luaces, P. (2020). Effects of different forms of water supply on ecophysiological and morphoanatomical variables of pineapple plants grown inside greenhouse. *Fruits* 75 (1): 44-51.
- Derwidueé, F.S.; González, A.M. (2010). Anatomía foliar en Bromeliaceae del Nordeste Argentino y Paraguay. *Bonplandia* 19 (2): 153-173.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Fahn, A.; Curler, D. (1992). *Xerophytes, Handbuch der Pflanzenanatomie* XIII, 3. Gebrüder Borntraeger, Berlín.
- FAOSTAT (2018). Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es>
- Federer, C.A.; Tanner, C.B. (1966). Spectral distribution of light in the forest. *Ecology* 47: 555-560.

- Galán Saúco, V. (2007). Adaptación y desarrollo de frutales tropicales y subtropicales menores en España XI Congreso SECH. Albacete Sociedad Española de Ciencias Hortícolas Actas de Horticultura 48: 360- 369.
- Galiano, M.C.; Stuarts, M.V.; Zicis, A.; Da Costa Ríos, J.F. (2012). Oportunidades comerciales para las frutas tropicales en la Argentina CFI XXXV Congreso Nacional Hortícola de ASAO. Corrientes.
- González Leguizamón, R.; Chabbal, M.; Domínguez, J.F.; Mazza, S.M.; Alayón Luaces, Paula. (2013). Ciclo vegetativo de plantas de ananá (*Ananas comosus* L. Merr.) bajo dos sistemas de cultivo en Corrientes. Revista FACENA 19: 11-22.
- Hatfield, J.L.; Gitelson, A.A.; Schepers, J.S. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. Agron. J. 100 3:117-131.
- Kirkham, M.B. (2005). Principles of Soil and Plant Water Relations. Elsevier Academic Press. Boston. 500pp.
- Krayn, Y. (2006). News from Israel. Pineapple Production in Israel. Pineapples News 13: 32.
- Kumar, A; Tripathi, R. P. (1990). Thermal Infrared Radiation for Assessing Crop Water Stress in Wheat. Paul Parey Scientific Publishers, Berlin and Hamburg. J. Agronomy iS: Grop Science 165, 268-272.
- Larcher, W. (2003). Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Springer, Berlín. 517pp.
- Lee H.S.J.; Griffiths H. (1987). Induction and repression of CAM in *Sedum telephium* L. in response to photoperiod and water stress. Journal of Experimental Botany 38: 834-841.
- Martin, C.E. (1994). Physiological Ecology of the Bromeliaceae. Botanical Review 6 (1): 1-82
- Matosa, A.P.; Reinhardt, D.H. (2009). Pineapple in Brazil: Characteristics, Research and Perspectives Proc. VIth IS on Pineapple. Reinhardt, D.H. (Ed.) Acta Hort. 822, ISHS.
- Mazzetto, F.; Calcante, A.; Mena, A. (2009). Comparing commercial optical sensors for crop monitoring tasks in precision viticulture. J. of Ag. Eng. - Riv. di Ing. Agr. 1; 11-18.
- Medina, E.; Olivares, E.; Diaz, M.; Van Der Merwe, N. (1989). Metabolismo ácido de crasulaceas en bosques húmedos tropicales. Monographs in Systematic Botany (Missouri Botanical Garden) 27: 56-67.
- Neiff, N.; Dhliwayo, T.; Suarez, E. A.; Burgueno, J.; Trachsel, S. (2015). Using an airborne platform to measure canopy temperature and NDVI under heat stress in maize. J. Crop Improvement 29(6): 669-690.
- Nilsen, E.T.; Orcutt, D.M. (1996). Physiology of plants under stress. Abiotic factors. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Ortiz, M.; Silva, H.; Silva, P.; Acevedo, E. (2003). Estudio de parámetros hídricos foliares en trigo (*Triticum aestivum* L.) y su uso en selección de genotipos resistentes a sequía. Revista Chilena de Historia Natural 76: 219-233.
- Osmond, C.B. (1978). Crassulacean acid metabolism. A curiosity in context. Ann. Rev. Plant Physiology 29: 379-414.
- Paull, R.E. (1997). Pineapple. In: Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. S.K. Mitra (Ed.) CAB International, UK.

- Potters, G.; Pasternak, T.P.; Guisez, Y.; Palme, K.J.; Jansen, M.A.K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble. *Trends Plant Sci.* 12(3): 99-105.
- Prause, J. (2006). Análisis de suelos: técnicas de muestreo de suelos, aguas y plantas. Bases prácticas para la fertilización. (1a ed).
- Rebolledo Martínez, A.; Ángel-Pérez, A.; Becerril-Román, A.E. (2005). Growth analysis for three pineapple cultivars grown on plastic mulch and bare soil. *Interciencia* 30 (12): 758-763.
- Rebolledo Martínez, A.; Ángel Pérez, A.; Rebolledo Martínez, L.; Becerril Román, E.; Uriza-Ávila D. (2006). Rendimiento y calidad de fruto de cultivares de piña en densidades de plantación *Rev. Fitotec. Mex.* 29 (1): 55- 62.
- Shao, H.B.; Chu L.Y.; Jaleel C.A.; Zhao C.X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C.R. Biol.* 331: 215-225.
- Taiz L.; Zeiger E. (2002). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts. 690pp.
- Tavares, J.P.; Silva, M.T. (1997). Greenhouse-Produced Pineapple in the Azores (Portugal). *Acta Hort. (ISHS)* 425:97-108 <http://www.actahort.org/books/425/425>
- Vazquez Lee, J. (2012). Análisis del índice grado día y del índice de estrés hídrico en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero e hidroponía. Tesina de maestría. Disponible en:
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/223/1/Jairo%20Vazquez%20Lee%20maestria.pdf>
- Winter, K. (1985). Crassulacean Acid Metabolism. In: *Photosynthetic Mechanisms and the Environment*. Ed. Barber, J. and Baker, N.R. Elsevier Science Publ. B.V. (Biomedical Division). The Hague. pp. 329-387.