

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN - MODALIDAD TESINA

“Efecto de diferentes formas de provisión de agua sobre variables ecofisiológicas y morfoanatómicas de plantas de ananá (*Ananas comosus* L.) cultivadas bajo cobertura plástica en Corrientes.”

Autora: DEMARCO, Paula Andrea.

Directora: Ing. Agr. (Dra.) ALAYÓN LUACES, Paula.

Tribunal evaluador:

Ing. Agr. (Dra.) FERNÁNDEZ LÓPEZ, Carolina

Ing. Agr. (Dr.) MEDINA, Ricardo Daniel.

Ing. Agr. (Mgter.) SLUKWA, Mario Antonio.

ÍNDICE

Resumen	2
Introducción	4
Objetivos e hipótesis	5
Materiales y métodos	6
Lugar del ensayo	6
Mediciones y determinaciones	7
Resultados y discusión	8
Contenido relativo de agua	8
Contenido relativo de clorofila	9
Índice de vegetación de diferencia normalizada	9
Estabilidad de membranas	10
Área foliar y Biomasa y partición de asimilados	11
Estructura anatómica	13
Conclusiones	14
Bibliografía	15

Resumen

Las principales limitantes para el cultivo de *Ananas comosus* (L.) Merr. var. *comosus* (conocida comúnmente como ananá o piña) en la región norte de nuestro país, son las bajas temperaturas, siendo una posibilidad para contrarrestar esta dificultad su producción bajo coberturas plásticas (invernaderos). Sin embargo este sistema de cultivo requiere del desarrollo de un paquete tecnológico apropiado y acorde a la región. En estudios previos en Corrientes se encontró plasticidad fenotípica en la estructura anatómica de las hojas asociadas al sistema de cultivo en el cual se desarrollaron las plantas, lo cual incide directamente en la acumulación de materia seca, probablemente asociado a la elevada humedad relativa ambiente que favorece este sistema. Uno de los aspectos relevantes para optimizar el manejo del ambiente en el invernadero, es la provisión de agua y su incidencia en el crecimiento de las plantas. Las hojas suculentas del ananá recogen y almacenan agua en las axilas de las hojas, donde es absorbida por el tejido circundante o por raíces aéreas. El objetivo de este trabajo fue evaluar y analizar el efecto de diferentes formas de provisión de agua sobre variables ecofisiológicas y morfoanatómicas de plantas de ananá en condiciones de cultivo bajo cobertura plástica. El material vegetal con el que se llevaron a cabo las evaluaciones fueron plantas de ananá (*Ananas comosus*) del cv. Cayena lisa cultivadas en macetas en invernadero. Se evaluaron tres parcelas experimentales, con tres tratamientos: 1 (R): riego convencional a las macetas manteniendo capacidad de campo; 2 (A): pulverización de las hojas de las plantas sin suministro de agua al suelo y 3 (S): sin aporte de agua más que el proveniente de la humedad relativa ambiente. El diseño experimental establecido, fue completamente al azar con 3 repeticiones en cada momento de muestreo, siendo la unidad de análisis la planta. Cada 15 días desde inicio de deshidratación se tomaron 3 plantas enteras y se evaluó: Contenido relativo de agua (CRA); Contenido relativo de clorofila (SPAD); Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI); Estabilidad de Membranas (EM) y Análisis morfoanatómico. Al inicio del experimento y al final del mismo se midió: Área foliar total (AF) (cm^2); Biomasa y partición de asimilados (PA) de hojas, tallos y raíces. El CRA indica que a los 15 días de restricción hubo diferencias significativas entre R y los tratamientos S y A. Se observó que recién luego de 45 días del inicio de la restricción, el tratamiento R se diferenció de S y A que presentaron en ese momento daño a nivel membrana celular. La variable

más sensible a las condiciones de estrés de este ensayo fue el NDVI que reveló diferencias a los 15 días y por el contrario el contenido relativo de clorofila mostró poca variación en el periodo evaluado. Respecto a la acumulación biomasa se detectó que solo el tratamiento regado se diferenció de las plantas iniciales, denotando la incidencia de la restricción en la acumulación de materia seca. De igual forma únicamente aquellas plantas que fueron regadas, presentaron mayor área foliar que las iniciales. Las reservas de agua en el parénquima acuífero de las plantas se encontraron en buen estado durante 30 días de aplicados los tratamientos, cuando comenzaron a agotarse y continuaron consumiéndose hasta los 45 días que duró la experiencia. Se concluye que en condiciones de restricción hídrica el aporte de agua por hojas no presenta diferencias con aquellas en condiciones de sequía. Que en las condiciones de estudio, el contenido de agua en las hojas fue apropiado para la planta hasta 15 días sin riego. Si la restricción de agua permanece, a los 45 días se presenta daño a nivel celular en iguales condiciones entre plantas sin ningún aporte de agua y asperjadas. Por lo cual las plantas de ananá en condiciones de estrés hídrico resisten un periodo de 30 días en los cuales si bien el contenido de agua no es óptimo, el mismo no incide a nivel daño de membrana.

Introducción

Ananas comosus (L.) Merr. var. *comosus*, conocida comúnmente como ananá o piña; es una planta herbácea Liliopsida perenne tropical, de la familia de las Bromeliáceas. Desde el punto de vista económico, es la especie más importante de esta familia, por lo que se la cultiva en muchos países tropicales y subtropicales (Botella & Smith, 2008). El clima afecta la productividad y la calidad de la fruta de ananá, por ello el desarrollo óptimo del cultivo, se presenta en aquellas zonas con temperaturas medias entre 18 a 45°C, siendo el óptimo entre 21-27°C. El crecimiento del ananá se retrasa, incluso se detiene, entre los 10 y 16°C (Carvalho *et al.*, 2005), siendo las bajas temperaturas la principal limitante para el desarrollo de este cultivo. Una posibilidad concreta para contrarrestar el problema de las bajas temperaturas, es producir ananá bajo coberturas plásticas (invernaderos) lo cual viene acompañado del desarrollo de un paquete tecnológico apropiado y acorde a la región. El Grupo Frutales NEA inició sus actividades con experimentación adaptativa del comportamiento de frutales tropicales en el subtrópico en el año 2012. Allí se instalaron los primeros ensayos y recopilación de datos científicos del cultivo de ananá en Corrientes. Entre los avances que se lograron de los trabajos del grupo se estableció que el cultivo bajo cobertura plástica permite la obtención de fruta en períodos más cortos de tiempos en relación a aquella obtenidas de sistemas productivos de campo (González Leguizamón, 2013). Sin embargo, el tamaño de los frutos en este sistema sigue siendo menor al esperado para la variedad (Levin, 2014) por lo que es necesario ajustar técnicas de cultivo para favorecer el desarrollo vegetativo bajo cobertura, ya que existe una relación directa entre tamaño de planta al momento de inducción floral y tamaño del fruto (Py, 1969). También se encontró plasticidad fenotípica en la estructura anatómica de las hojas asociadas al sistema de cultivo en el cual se desarrollaron las plantas, lo cual incide directamente en la acumulación de materia seca en el sistema de cultivo bajo cobertura plástica, probablemente asociado a las condiciones ambientales de este sistema, como ser la elevada humedad relativa ambiente (Ebel *et al.*, 2016). La particularidad de esta especie de cerrar los estomas durante el día y abrirlos durante la noche se refleja en bajos valores de evapotranspiración del cultivo (Bartholomew & Kenneth, 2002). Las hojas de ananá poseen un mesófilo

compuesto por dos zonas claramente diferenciadas: una zona oscura formada por parénquima clorofílico donde se alojan los haces vasculares y casquetes fibrosos (esclerénquima) 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 del ananá recogen y almacenan agua en las axilas de las mismas, donde es absorbida por el tejido circundante o por raíces aéreas. Hay poca información publicada sobre los efectos del déficit hídrico sobre el crecimiento vegetativo, la floración o fructificación de esta especie (Carr, 2012). En las especies de la familia Bromeliaceae, los tricomas tienen forma de escama. En las especies terrestres, que tienen raíces funcionales, es decir, capaces de absorber agua y minerales, los tricomas son estructuralmente más sencillos y a menudo, repelen el agua manteniendo así las hojas secas (Benzing, 2000). Sin embargo, en las especies epífitas son la estructura responsable de la obtención de agua y nutrientes.

Es necesario generar información específica que permita ajustar técnicas del cultivo de ananá bajo cobertura plástica, y uno de los aspectos relevantes en este tipo de sistemas es la provisión de agua. Los resultados observados por el grupo Frutales NEA del desarrollo vegetativo de la planta de ananá bajo cobertura plástica, probablemente asociado a la humedad ambiente del sistema de cultivo, la presencia de parénquima acuífero y los aspectos fisiológicos propios de las especies en relación a apertura estomática nos plantea la incógnita de cómo afectan los diferentes sistemas de provisión de agua al desarrollo y crecimiento de plantas de ananá.

Objetivos e hipótesis

El objetivo general:

- Determinar cómo afectan diferentes formas de provisión de agua en el comportamiento de plantas de ananá, en cultivo bajo invernadero en Corrientes.

Objetivos específicos:

- Evaluar y analizar variables ecofisiológicas de plantas de ananá cultivadas bajo cobertura plástica en respuesta a los diferentes sistemas de provisión de agua.

- Analizar si existe relación entre los diferentes sistemas de provisión de agua y las características morfoanatómicas de las hojas de ananá cultivadas bajo cobertura.
- Generar información para optimizar el manejo del ambiente en invernadero.

Hipótesis:

- Se plantea la hipótesis de que la forma de provisión de agua afectará de forma diferente el comportamiento de plantas de ananá, en cultivo bajo invernadero en Corrientes.

Materiales y métodos

El material vegetal con el que se llevaron a cabo las evaluaciones, fueron plantas de ananá (*Ananas comosus* L.) del cv. Cayena lisa, implantadas en el Campo Experimental Didáctico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), (Latitud Sur: 27° 28' 27", Longitud Oeste: 58° 47' 00"; 56 m.s.n.m.) Provincia de Corrientes, Argentina.

Se evaluaron tres parcelas experimentales, cada una formada por 23 plantas en contenedores plásticos de 5 L todas ubicadas bajo cobertura plástica (invernadero). Los tratamientos fueron tres:

Tratamiento 1: aporte de agua directamente a las macetas (Regado: en adelante R);

Tratamiento 2: pulverización de las hojas de las plantas sin suministro de agua a las macetas (Aspersión: en adelante A);

Tratamiento 3: sin aporte de agua más que el proveniente de la humedad relativa ambiente (Seco: en adelante S).

En el tratamiento 1 se realizó el suministro de agua en cantidades adecuadas utilizando Tester TFA 48.100®, el cual se colocó a vuelo de copa distanciado 5 cm del tallo y a una profundidad de 10 cm en el sustrato. Las pulverizaciones del tratamiento 2 se realizaron por planta individualmente utilizando aspersor manual hasta punto de goteo.

Todas las macetas se encontraban en invernadero 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 µm. La ventilación natural fue

manejada abriendo la misma cuando la temperatura del aire era mayor que 23°C para mantener una temperatura mínima por encima de 0°C.

El diseño experimental establecido, fue completamente al azar con 3 repeticiones en cada momento de muestreo; los cuales se realizaban cada 15 días desde inicio de deshidratación, siendo la unidad de análisis, la planta.

En cada uno de los muestreos, se tomaron cuatro hojas "D" (Py, 1969) de cada tratamiento y se evaluaron las siguientes características ecofisiológicas:

Contenido relativo de agua (CRA): Se tomaron porciones de 2cm² de la parte media de las hojas "D". Se determinó el peso fresco (PF) de la porción las cuales serán posteriormente sumergidas en agua durante 8 horas, para obtener peso turgente (PT). Se secaron a 70°C hasta peso constante para determinar el peso seco (PS). Los resultados fueron expresados en porcentajes (%). CRA (%) = (PF – PS) / (PT – PS) x 100.

Contenido relativo de clorofila (SPAD): Utilizando el medidor MCL502 Minolta SPAD 502® plus modelo estándar.

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI): Utilizando Trimble® GreenSeeker handheld.

Estabilidad de membranas: Las mediciones fueron realizadas en soluciones obtenidas a partir de las muestras de las hojas, a las cuales se les midió su conductividad eléctrica de acuerdo a la metodología propuesta por Sullivan (1972).

Al inicio y al final del experimento se determinó:

Área foliar total (AF): El área foliar total se evaluó utilizando la fórmula propuesta por Rebolledo *et al.* (2005). El área foliar total por planta se estimó partiendo del peso fresco (PF) total de las hojas: Área foliar (cm²) = 34.6087 + 5.65202 x PF total de las hojas.

Biomasa y partición de asimilados (PA): Las plantas fueron seccionadas en hojas, tallos y raíces. Los órganos individuales de cada planta fueron pesados para la obtención de peso fresco (PF) y posteriormente secados en estufa a 70° C hasta peso constante para ser luego pesados separadamente (PS) y obtener los datos de PA. Los resultados se expresaron en g MS particionada planta⁻¹.

Análisis morfoanatómico: al inicio del experimento y luego a los 15; 30 y 45 días se trató la porción media de la lámina foliar con fijador histológico para estudios anatómicos (FAA: alcohol 70°, Formol y Ac. Acético, 90:5:5), y se realizaron cortes transversales a mano libre, de 15-25 µm de espesor, los cuales

fueron posteriormente coloreados con safranina y Astra blue. En los transcortes, se midió el espesor medio de la lámina y del parénquima clorofílico y acuífero. Los análisis histológicos se realizaron con microscopios óptico y estereoscópico, ambos provistos de sistema digital de fotografía. Para realizar las mediciones se utilizó el programa ImageJ®.

Análisis estadístico: Para el análisis de las variables fueron comprobados los supuestos de normalidad y se realizó análisis de la varianza y prueba de Tukey ($p<0,05$). Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software InfoStat® (Di Rienzo *et al.*, 2012).

Durante todo el experimento se tomaron medidas de temperatura y humedad ambiente utilizando un datalogger Schwyz DAT-20 ® con registros cada 30 minutos.

Resultados y discusión

Contenido relativo de agua

En la Tabla 1 se presentan los valores de CRA, al inicio del experimento los valores de esta variable se encontraban entre 77,5% y 79,8%. La aplicación de los tratamientos impactó rápidamente en los tratamientos A y S los cuales ya a los 15 días de restricción presentaron diferencias significativas con R. La disminución alcanzó un 17,56% y 21,26% respectivamente respecto al tratamiento regado. Esta diferencia se mantuvo hasta los treinta días y luego de 45 días de aplicación de los tratamientos las diferencias también se presentaron entre A y S las cuales fueron 18,97% y 32,00% menores que R. Los valores de CRA en las plantas regadas, durante el periodo del experimento, fueron los esperados para esta especie (Ebel *et al.*, 2016). Py (1969) señala que los tricomas en la base de las hojas del ananá pueden representar un papel importante en la absorción del agua sin embargo en este ensayo se observó que a través de las hojas no se incorporó el aporte de agua directo para reponer el CRA, sin diferencias con las S hasta los 45 días. Según George *et al.* (1986) los valores de CRA podrían ser utilizados como un indicador del potencial hídrico, quienes obtuvieron una alta y positiva correlación entre esas dos variables en condiciones de sequía. El cultivo del ananá responde eficientemente al riego, lo cual se refleja tanto en el desarrollo vegetativo como en la producción (Bonet Pérez y Guerrero, 2012).

Contenido relativo de clorofila

Según Pereira Leonardo *et al.* (2013) existe una correlación positiva entre el índice SPAD y el contenido foliar de N fortaleciendo el uso del clorofilómetro como forma para analizar el estado nutricional de N en hojas de ananá.

En el contenido relativo de clorofila SPAD se midió cada 15 días en las hojas "D" de las plantas tratadas. Esta variable no presentó diferencias entre tratamientos hasta avanzado el ensayo, 45 días donde se registraron diferencias significativas del tratamiento R respecto del A sin diferencia con el tratamiento S (Tabla 1). Rebolledo *et al.* (2002) tampoco encontraron diferencias en esta variable, la cual no fue afectada en tres variedades entre sistemas de cultivo con y sin cobertura plástica, durante 180 días de ensayo. Se observó que los niveles de SPAD en el tratamiento R aumentaron a lo largo del experimento coincidiendo con lo encontrado por Ebel *et al.* (2016), sin embargo, en los tratamientos A y S no siguieron este patrón, probablemente debido a la restricción hídrica.

Índice de vegetación de diferencia normalizada

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés (Normalized Difference Vegetation Index), es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Una forma ampliamente aceptada para monitorear el crecimiento y desarrollo de las plantas de forma no destructiva ha sido comparar la cantidad de energía reflejada en rojo e infrarrojo cercano desde el canopeo de los cultivos. El crecimiento vegetativo, incremento de tejido fotosintético activo, aumentará la cantidad de radiación absorbida en el espectro rojo y la energía reflejada en el infrarrojo cercano (Federer y Tanner, 1996). La cantidad de luz incidente absorbida y reflejada en diferentes longitudes de onda se ha utilizado para desarrollar varias relaciones, conocidas como índices vegetativos, que son sensibles a diferentes parámetros ambientales y fisiológicos (Hatfield *et al.*, 2008).

En plantas de ananá expuestas a diferentes sistemas de provisión de agua, a los 15 días de iniciado el experimento este índice disminuyó un 15% y 30% en los tratamientos S y A respectivamente respecto a R con diferencias significativas

entre el tratamiento R y el tratamiento A (Tabla 1). A los 30 días la diferencia alcanzó al tratamiento S, manteniéndose así hasta los 45 días de duración de la experiencia (Tabla 1).

Penuelas *et al.* (1994) establecieron que el NDVI puede usarse como indicador del estado de la planta bajo diferentes tipos de estrés, por lo que la disminución del NDVI estaría indicando que las plantas de ananá presentaron estrés desde los 15 días del suministro de agua por aspersión. Esta técnica ha sido utilizada exitosamente en ananá como predictor confiable de porcentaje de severidad de la enfermedad de la punta roja de la piña (Balasundram *et al.*, 2013). La aplicación de esta técnica sería muy valiosa en fitomejoramiento para selección de plantas tolerantes a la sequía (Inoue *et al.*, 1993; Winterhalter *et al.*, 2011).

Estabilidad de membranas

La rotura y daño de la membrana celular ocasiona la pérdida de electrolitos (aminoácidos, ácidos orgánicos, proteínas y otros solutos). Esta pérdida es una medida del daño ocasionado a la membrana celular, y por lo tanto es un factor importante en la tolerancia de las plantas ante situaciones de estrés. Tanto la sequía como el estrés térmico tienen efectos similares sobre la célula de la planta, dañando la permeabilidad selectiva de la membrana plasmática. Por lo tanto, la célula no puede mantener su composición interna (Barnabás *et al.*, 2007). Sullivan (1972) desarrolló una prueba para medir la tolerancia al calor, la cual determina la termoestabilidad de la membrana celular a través de la medición de la cantidad de electrolitos perdidos en discos de hojas, después de una exposición a un tratamiento de calor ($>40^{\circ}\text{C}$). La medición de la fuga de soluto del tejido de la planta se utilizó para estimar el daño a la membrana celular causado por diferentes condiciones de estrés en cereales en condiciones de campo (Suzuki *et al.*, 2014; Jamali *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016).

Este parámetro se mantuvo sin diferencia entre tratamientos los primeros 30 días y luego de 45 días de restricción, el tratamiento R se diferenció de S y A que presentaron en ese momento daño a nivel membrana celular (Tabla 1). Estos resultados estarían indicando una alta tolerancia de las membranas celulares de las hojas de ananá ante situaciones de estrés hídrico. No se encontraron antecedentes de esta variable para esta especie por lo cual serían necesarios más estudios para determinar si esta respuesta se debe a la composición química

de la membrana o a la influencia del parénquima acuífero de las hojas que podría estar obrando de protector retrasando el daño a nivel membrana.

Tabla 1: Variables ecofisiológicas analizadas: Contenido relativo de clorofila (SPAD), índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), contenido relativo de agua (CRA), porcentaje de daño celular relativo (DCR) y estabilidad de membrana celular (EM) en los tratamientos de R (regado), A (aspersión) y S (seco), en plantas de ananá cultivadas bajo cobertura. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0,05$).

Tiempo en días	Trat.	Día 0		15días		30 días		45 días	
		Media± DE	Media± DE	Media± DE	Media± DE	Media± DE	Media± DE	Media± DE	Media± DE
SPAD	S	48,8 ± 6,3	a	39,7 ± 4,1	a	43 ± 7,8	a	57 ± 6,2	ab
	A	48,8 ± 7,4	a	50,6 ± 3,7	a	42,5 ± 4,5	a	50,4 ± 0,5	a
	R	52,6 ± 6,5	a	51,4 ± 9,1	a	58,4 ± 7,2	a	64,9 ± 5,7	b
NDVI	S	0,62 ± 0,01	a	0,51 ± 0,03	ab	0,46 ± 0,02	a	0,44 ± 0,02	a
	A	0,62 ± 0,01	a	0,43 ± 0,07	a	0,46 ± 0,02	a	0,42 ± 0,01	a
	R	0,62 ± 0,01	a	0,62 ± 0,03	b	0,62 ± 0,03	b	0,59 ± 0,02	b
CRA	S	79,4 ± 5,6	a	72,2 ± 5,27	a	76,4 ± 2,57	a	59,5 ± 2,7	a
	A	77,5 ± 2,55	a	75,6 ± 2,95	a	71,8 ± 6,3	a	70,9 ± 2,4	b
	R	79,8 ± 1,2	a	91,7 ± 2,21	b	97,8 ± 2,3	b	87,5 ± 1,9	c
DCR	S	-48,4 ± 10,6	a	-61,5 ± 11,3	a	-54,3 ± 7,1	a	-87,1 ± 10	b
	A	-42,1 ± 3,9	a	-62,3 ± 9,29	a	-64,4 ± 7,4	a	-75,9 ± 21,1	b
	R	-45,8 ± 3,7	a	-55,3 ± 6,6	a	-53,9 ± 6,3	a	-44,7 ± 6,8	a
EM	S	49,1 ± 10,4	a	62,5 ± 11,3	a	55,1 ± 7,2	a	88,1 ± 10	b
	A	43,1 ± 3,9	a	63,3 ± 2,29	a	65,4 ± 7,4	a	76,9 ± 21,1	b
	R	46,8 ± 3,7	a	56,6 ± 6,59	a	54,9 ± 6,3	a	45,7 ± 6,8	a

Área Foliar Total y Biomasa y partición de asimilados (PA):

El área foliar es una variable que involucra procesos como el crecimiento vegetal, captación de luz, eficiencia fotosintética, respiración, transpiración, respuesta al riego y a la fertilización, es un parámetro altamente utilizado en ecofisiología ya que existe una relación bastante estrecha con la producción de fruta (Casierra-Posada *et al.*, 2017). El cultivo de ananá, puede resistir períodos de sequía, sin embargo, el déficit se refleja en el desarrollo y producción, pues en la medida en que se garantiza un mayor nivel de humedad en el suelo los resultados productivos son superiores (Bonet Pérez y Guerrero, 2012). El Área foliar de las plantas regadas en este ensayo aumentó en 45 días, 2,45 veces respecto al área medida al inicio del ensayo, lo cual difiere de los tratamientos A y S sin riego los

cuales mantuvieron igual área foliar durante el periodo en estudio (Figura 1). Estos resultados ratifican lo citado por Bonnet Pérez y Ferrero (2012) en relación a la respuesta del cultivo e importancia del aporte de agua por medio del riego.

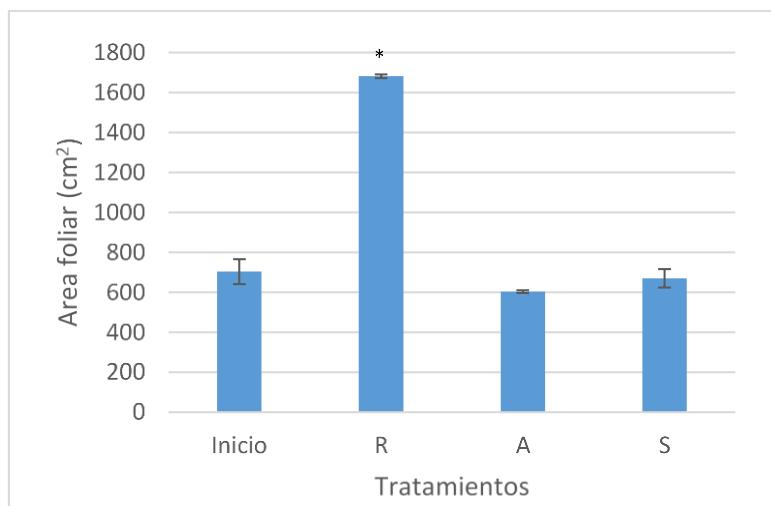


Figura 1: Área foliar al inicio y luego de 45 días de aplicados los tratamientos de R (regado), A (aspersión) y S (seco) en plantas de ananá bajo cobertura. Asterisco (*) indica diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0,05$).

A los 45 días del ensayo, la acumulación de materia seca inicial se diferenció de los tres tratamientos sin diferencias entre ellos (Figura 2 A), este mismo comportamiento se observa en la partición de asimilados (Figura 2 B). Los resultados estarían indicando que en este periodo, la hidratación de las hojas en el tratamiento R sería la responsable del aumento del área foliar (Figura 1, Figura 3).

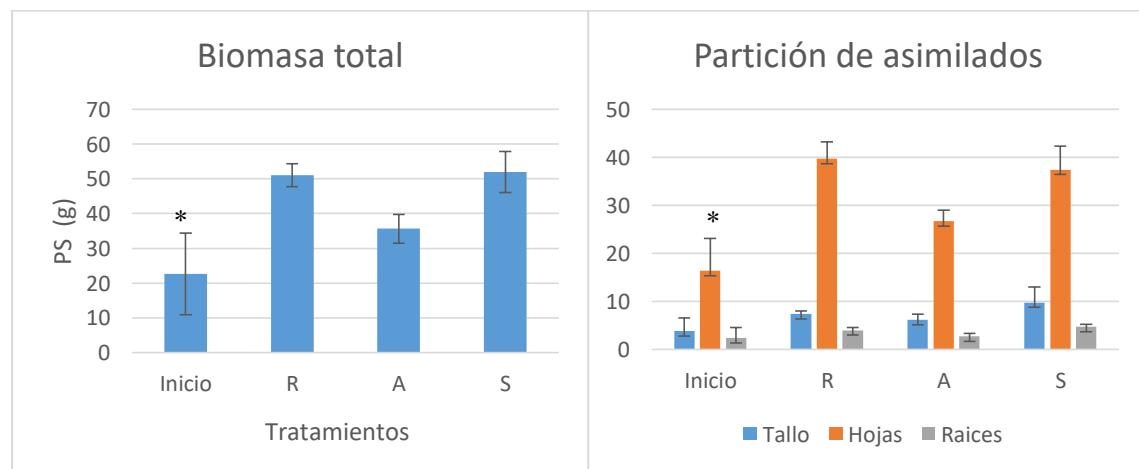


Figura 2: Biomasa total (A) y partición de asimilados (B) al inicio y luego de 45 días de aplicados los tratamientos de R (regado), A (aspersión) y S (seco) en plantas de ananá bajo cobertura. Asterisco (*) indica diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0,05$).

Estructura anatómica

La estructura anatómica de esta especie se conoce desde Krauss (1949) las hojas "D" de ananá se caracterizan por poseer un contorno curvado donde la cara adaxial es de superficie lisa mientras que la abaxial posee crestas. Ambas superficies están cubiertas por escamas peltadas, más abundantes en el envés. En transcorте, ambas epidermis son uniestratadas, ubicándose por debajo de ambas epidermis la hipodermis formada por células de paredes fuertemente esclerificadas encontrándose los estomas restringidos a la epidermis abaxial. El mesófilo es dorsiventral, con dos zonas claramente diferenciadas: hacia la cara adaxial presenta un área clara compuesta por parénquima acuífero y hacia la cara abaxial una zona formada por parénquima clorofiliano compacto. El parénquima acuífero es heterogéneo: posee células redondeadas y pequeñas en contacto con la hipodermis y alargadas hacia el interior del mesófilo. En la zona clorofiliiana se distribuyen los haces vasculares, los cuales son colaterales, de dos tamaños que se ubican alternadamente; los haces grandes poseen casquetes fibrosos perifloemáticos y perixilemáticos, éstos últimos están ausentes en los haces pequeños. Alternando con los haces, ligeramente desplazados hacia el envés se presentan cámaras aeríferas, formadas por células estrelladas de brazos cortos. En el límite entre parénquima acuífero y clorofiliano se encuentran paquetes de fibras extraxilares, no asociados a los tejidos vasculares, formados por fibras de paredes lignificadas y lumen totalmente ocluido. Entre los haces vasculares y la epidermis abaxial puede existir una o dos hileras de estos mismos paquetes fibrosos (Figura 3).

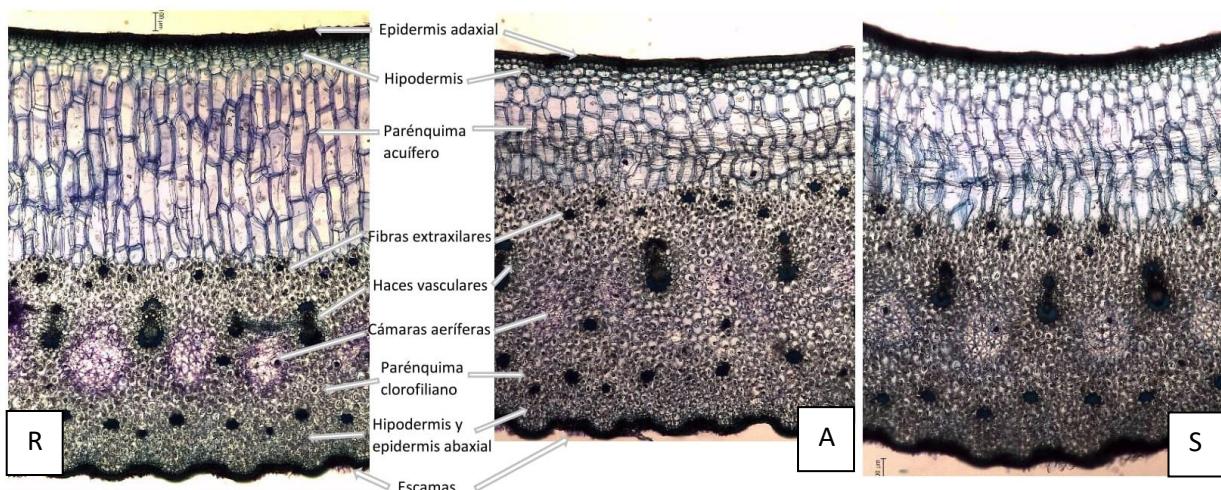


Figura 3: Cortes trasversales de hoja "D" de Ananá tomadas bajo microscopio óptico a los 45 días de aplicados los tratamientos Regado (R), Aspersión (A) y Seco (S).

Según Bartholomew *et al.* (2000) cuando las plantas de ananá se acercan al punto de marchitez, sólo pueden seguir viviendo gracias a sus reservas de agua constituidas por los tejidos acuíferos de las hojas, agotándose estas, comienzan a manifestarse los primeros síntomas foliares de marchitez.

Los análisis morfoanatómicos realizados a las plantas de ananá bajo estudio mostraron que el porcentaje de PA (parénquima acuífero) recién a los 30 días de aplicados los tratamientos presentaron diferencias, observándose que el tratamiento de A disminuyó un 6,66% respecto del R; luego de los 45 días el tratamiento A disminuyó un 29,41% y el S un 17,64% respecto del tratamiento R presentando diferencias significativas, respectivamente (Tabla 2, Figura 3). Con esto puede corroborarse que las reservas de agua en el parénquima acuífero de la planta se encontraron en buen estado durante 30 días de aplicados los tratamientos, cuando comenzaron a agotarse y continuaron consumiéndose hasta los 45 días que duró la experiencia. En la Figura 3 R se observa claramente el estado hidratado del parénquima acuífero en contraste con la Figura 3 A y 3 S correspondientes a los tratamientos A y S con claros indicios de deshidratación de las células del parénquima acuífero.

Tabla 2: Porcentaje de parénquima acuífero (PA) en los tratamientos de R (regado), A (aspersión) y S (seco) a lo largo del ensayo, en plantas de ananá bajo cobertura. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0,05$).

Tiempo en días	Día 0		15días		30 días		45 días	
	Trat.	Media ± DE						
%PA	S	44 ± 1	a	47 ± 1	a	44 ± 1	a b	42 ± 1
	A	44 ± 1	a	45 ± 2	a	42 ± 2	a	36 ± 2
	R	44 ± 1	a	46 ± 1	a	45 ± 1	b	51 ± 1

Conclusiones

El desarrollo de este trabajo permitió determinar que diferentes formas de provisión de agua, afectan algunas variables ecofisiológicas y morfoanatómicas de las hojas de ananá, en cultivo bajo invernadero en Corrientes.

Se corroboró la alta capacidad de retención de agua que tienen los tejidos especializados de las hojas de ananá para esta función. Las mismas no presentaron modificaciones en el contenido relativo de agua hasta después de 30

días sin riego; lo cual fue perceptible en la estructura morfoanatómica. En el ambiente del ensayo las plantas de ananá resisten un periodo de 30 días en condiciones de estrés hídrico sin incidencia a nivel de daño de membrana. Si la restricción de agua permanece, a los 45 días se presentan daños a nivel celular, en iguales condiciones entre plantas sin ningún aporte de agua y asperjadas.

La variable más sensible a las condiciones de estrés de este ensayo fue el NDVI que reveló diferencias a los 15 días y por el contrario el contenido relativo de clorofila mostró poca variación en el periodo evaluado.

El aporte de agua por hojas no presentó diferencias con aquellas en condiciones de sequía en la mayoría de las variables ecofisiológicas y morfoanatómicas evaluadas, ratificando la ineficiencia de las hojas de bromeliáceas terrestres para absorber agua.

Los resultados de este trabajo podrían utilizarse como base para ajustar el manejo de riego en plantas de ananá cultivadas bajo coberturas en la provincia de Corrientes.

Bibliografía

Balasundram, S.K.; Kassim, F.A.; Vadmalai, G. & Hanif, A.H.M. (2013). Estimation of red tip disease severity in pineapple using a non-contact sensor approach. Agricultural Sciences 4: 206-208.

Barnabás, B.; Jäger, K. & Fehér, A (2007). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant Cell Environ. 31: 11–38.

Bartholomew, C.P.; Paul, R.E. & Rohrbach, K.G. (2000). The pineapple: Botany, Production and Uses, Commonwealth Agricultural Bureau, USA, 320pp.

Bartholomew D.P. & Kenneth R. (2002). Pineapple cultivation in Hawaii, Fruits and Nuts, 8(1): 5–10.

Benzing, D.H. (2000). Bromeliaceae: Profile of an adaptative radiation. Cambridge University Press, Cambridge. 655 Pp.

Bonet Pérez, C.; Guerrero Posada, P. A. (2012). Evapotranspiración de la piña (*Ananas comosus* L. Merr). Revista Ingeniería Agrícola: 2 (2):36-41.

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.

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.

Carvalho, S.L.C.; De Neves, C.S.V.J.; Bürkle, R. & Marur C. J. (2005). Épocas de indução floral e soma térmica do período do florescimento à colheita de abacaxi Smooth cayenne. Rev Bras Frutic, 27(3), 430-433.

Casierra-Posada, F.; Zapata-Casierra, V. & Cutler, J. (2017). Comparación de métodos directos e indirectos para la estimación del Área Foliar en durazno (*Prunus persica*) y ciruelo (*Prunus salicina*) Revista Colombiana de las Ciencias Hortícolas 11(1): 30-38.

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. (2012). InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.06.03.2015.

Ebel, A. I.; Gonzalez, A.M. & Alayón Luaces, P. (2016). Evaluación morfoanatómica de hojas "D" de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. var. *comosus*) en respuesta a la implantación de dos sistemas de cultivo en Corrientes, Argentina. Acta Agronómica 65 (4): 390-397.

Federer, C. A., and Tanner, C. B. (1966). Spectral distribution of light in the forest. Ecology 47:555-560.

George, A. P.; Nissen, R. J.; Chapman, K. R. & Kerslake R. G. (1984). Measurement of plant water status in pineapple [*Ananas comosus* (L) Merr. Cv. Queensland Cayenne (Clone 13)]. Queensland Journal of Agriculture and Animals Sciences 41: 57-64.

González Leguizamón, R.; Chabbal, M.; Domínguez J.F.; Mazza, S. & Alayón Luaces, P. (2013). Ciclo vegetativo de plantas de ananá (*Ananas comosus* L., Merr.) bajo dos sistemas de cultivo en Corrientes. Rev. FACENA 29: 11-22.

Hatfield, J. L.; Gitelson, A. A. & Schepers, J. S. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. Agron. J. 100 S3:S117-131.

Inoue, Y.; Morinaga, S. & Shibayama, M. (1993). Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance measurements. Jpn. J. Crop. Sci. 62:462-469.

Jamali, S.S.; Borzouei, A.; Aghamirzaei, M.; Khosronejad, H.R. & Fathi, M. Cell membrane stability and biochemical response of seven wheat cultivars under salinity stress. Braz. J. Bot. 2015, 38:63-69.

Krauss, B.H. (1949). Anatomy of the Vegetative Organs of the Pineapple, *Ananas comosus* (L.) Merr. (Continued) II. The Leaf. Botanical Gazette, 110 (3):333-404

Levin, S.A. (2014). Estudio de la floración y la fructificación del ananá (*Ananas comosus* L. Merr.) en dos sistemas de cultivo en Corrientes. Trabajo Final de Graduación. Modalidad: Tesina. FCA UNNE. 21 pp.

Penuelas, J.; Gamon, J.; Fredeen, A.; Merino, J. & Field, C. (1994). Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. Remote Sens. Environ. 48:135-146.

Pereira Leonardo, F.A; Pereira, W.E.; de Melo Silva, S. & Pereira Da Costa, J. (2013). Teor de clorofila e Índice Spad no Abacaxizeiro cv. Vitória em função da adubação nitrogenada. Rev Bras Frutic, 35 (2): 377-383.

Py, C. (1969). La piña tropical. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Editorial Blume. Primera edición. 278 pp.

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. M.; Ruiz-Posadas, L.; Becerril-Román, A. E.; Mosqueda-Vázquez, R.; Castillo-Morales, A.; Rebolledo-Martínez, L. & Uriza-Ávila, D. (2002). Algunas características fisiológicas de tres cultivares de piña en dos sistemas de producción. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 8(2): 235-249.

Sullivan, C.Y. (1972). Mechanism of heat and drought resistance in grain Sorghum and methods of measurement. En: *Sorghum in the Seventies*, Rao, N. G. P. & House, L. R., (Eds); New Delhi, India: Oxford and IBH Publ. Co. pp, 247-264.

Suzuki, N.; Rivero, R.M.; Shulaev, V.; Blumwald, E. & Mittler, R. (2014). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytol.* 203: 32-43.

Wang, X.; Zhang, M.M.; Wang, Y.J.; Gao, Y.T.; Li, R.; Wang, G.F.; Li, W.Q.; Liu, W.T. & Chen, K.-M. (2016). The plasma membrane NADPH oxidase OsRbohA plays a crucial role in developmental regulation and drought-stress response in rice. *Physiol. Plant.* 156: 421-443.

Winterhalter, L.; Mistele, B.; Jampatong, S. & Schmidhalter, U. (2011). High-Throughput Sensing of Aerial Biomass and Above-Ground Nitrogen Uptake in the Vegetative Stage of Well-Watered and Drought Stressed Tropical Maize Hybrids *Crop Science* 51:479-489.