

Universidad Nacional del Nordeste

Facultad de Ciencias Agrarias



Trabajo Final de Graduación

Modalidad Pasantía

**Tema: “Adiestramiento en mediciones fisiológicas en
ensayos de algodón sometidos a estrés hídrico”**

Tesista/Alumno: SASOVSKY VATOFF, Eliana Andrea

Director: Ing. Agr. (Dr.) José Ramón Tarragó

2020

Índice

Agradecimientos	3
Introducción.....	4
Objetivo general.....	6
Lugar de realización	6
Descripción de las tareas desarrolladas	6
Ensayo a campo.....	7
Siembra de ensayos a campo.....	7
Monitoreo de plantas de algodón.....	8
Ensayos conducidos en cámara de crecimiento.....	11
Siembra.....	12
Control de las condiciones ambientales en la cámara de crecimiento.....	13
Medida de potencial agua en planta.....	17
Curvas de vulnerabilidad a la cavitación (<i>Objetivo específico 2</i>).....	18
Medición de conductancia hidráulica.....	21
Comentarios finales.....	23
Bibliografía	24
Opinión del asesor	26

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia por el apoyo y esfuerzo que hicieron durante todos estos años de estudio para que pueda llegar a mi meta.

A mi director de pasantía Ing. Agr. José Ramón TARRAGÓ, por su incondicional tiempo dedicado, ayuda profesional y por trasmitir sus conocimientos.

Al Ing. Agr. Sergio COLLI quien me ayudó y acompañó durante mi trabajo de pasantía en el INTA.

A la E.E.A INTA Las Breñas y Director Méd. Vet. José F. RAFART ANTON por permitir desarrollar las actividades en esta institución.

A todo el personal del E.E.A INTA Las Breñas que tuvo predisposición para realizar las tareas planteadas, y al Agr. Nelson NADAL quien me ayudó en la siembra, y la aplicación de plaguicidas.

A todas aquellas personas que de una u otra forma han colaborado en la realización de este trabajo.

Agradezco a Dios por su protección.

Título: Adiestramiento en mediciones fisiológicas en ensayos de algodón sometidos a estrés hídrico.

Introducción

El algodón pertenece a la familia Malvaceae y se reconocen dos centros de origen, a saber: Indochina y África tropical - viejo mundo - para el algodón de 13 cromosomas y, América Central y del Sur - nuevo mundo - para las especies de 26 cromosomas. Entre las especies de algodón cultivadas actualmente en el mundo están los algodones tipo Upland o de tierras bajas que corresponden a *Gossypium hirsutum*, los tipos Pina, que corresponden a *G. barbadense* que poseen fibras largas y los algodones Asiáticos que están clasificados como *G. arboreum* y *G. herbaceum*. De todas las especies de algodón *G. hirsutum* es la más cultivada y provee el 95% de fibra que se produce a nivel mundial (Martin et al., 2006).

Si bien el principal uso del algodón es para la obtención de fibra, las semillas son una importante fuente de aceite a nivel mundial. El mercado del algodón (tanto fibra como aceite) involucra más de 100 países dando una magnitud de la importancia del cultivo. El algodón por sus características es la fibra vegetal más importante a nivel mundial representando el 39% del total de fibra utilizada en el mundo (Wakely y Chaudhry 2010).

La naturaleza perenne del algodón y la superposición entre los estados vegetativos y reproductivos confiere al cultivo una capacidad de compensación respecto a la ocurrencia de algún tipo de estrés. Además, la utilización de reguladores de crecimiento permite a los productores manipular el crecimiento y desarrollo del cultivo a fin de optimizar la producción de fibra y semilla (Robertson y Roberts 2010).

El déficit de agua es la mayor restricción que limita la producción agrícola en el mundo (Boyer, 1982). En este sentido el algodón posee una adaptación xerófítica que le confiere un carácter distintivo en las relaciones hídricas. A pesar de esto, una gran proporción del área de cultivo es bajo riego y, en regiones con períodos de lluvias durante el verano incluyendo gran parte del Sub-Sahara, África, América

Central y América del Sur, el algodón es más comúnmente cultivadas en condiciones de secano (Waddle 1984; Hearn, 1994).

El rendimiento del algodón en la Argentina está influenciado en un 76% por factores ambientales, en un 4% por la variedad utilizada y un 20% por la existencia de interacción genotipo-ambiente. Cuando el suministro de agua es abundante, el desarrollo fenológico se prolonga durante más tiempo, dando lugar a plantas más grandes y de mayor rendimiento, y cuando la oferta se limita y el agua útil del suelo cae por debajo del 50% la planta entra en déficit hídrico y ocurre lo contrario. La clave de adaptación de la planta de algodón se produce cuando el suministro de agua empieza a ser limitante, la planta responde deteniendo el desarrollo morfológico y centrándose en la maduración de las cápsulas ya establecidas (Hearn, 1994).

Unas de las estrategias para minimizar el impacto producido por el déficit hídrico es la selección de plantas agronómicamente más eficientes en la utilización del agua. En este sentido el mejoramiento genético podría aportar soluciones útiles a través del desarrollo de líneas tolerantes a estrés hídrico.

Existen antecedentes que demuestran la existencia de variabilidad genética para la tolerancia al estrés hídrico en algodón y que la misma se da principalmente por la respuesta durante el crecimiento vegetativo de la planta (Longenberger *et al.* 2006). Algunas de las características morfo-fisiológicas que se correlacionan con la tolerancia a sequía en algodón y que determinan en su conjunto una alta eficiencia del uso del agua incluyen cambios en la raíz y en la hoja. Entre ellos: un mayor enraizamiento, una mayor longitud de la raíz primaria, un alto número de raíces laterales (Pace *et al.*, 1999; Basal *et al.*, 2005), un aumento del potencial de agua en hoja (Quisenberry *et al.*, 1985), bajo índice estomático, menor tamaño de estoma (Quisenberry *et al.*, 1982; Basal *et al.*, 2005), y ajuste osmótico (Nepomuceno *et al.* 1998; Oosterhuis y Wullschleger, 1987). Un fenómeno que se da en muchas especies leñosas es el de cavitación (burbuja de aire en el xilema) que puede aparecer en el xilema de las plantas cuando hay un aumento la tensión (presión negativa) que el aire disuelto dentro del agua se expande hasta llenar la célula. La cavitación impediría el normal abastecimiento de agua en órganos en crecimiento/desarrollo. Sin embargo, dicho fenómeno no está suficientemente

estudiado ya que las circunstancias en las que ocurre y el impacto que tiene sobre en la pérdida de estructuras reproductivas de las plantas son solo parcialmente conocidos

En respuesta a la necesidad de generar información sobre el impacto de la cavitación en diferentes variedades de algodón, desde el INTA Las Breñas, a través de Programa Nacional de Cultivos Industriales, se viene trabajando en actividades que contemplan la evaluación de variedades contrastantes de algodón sometidas a estrés hídrico. Dichas líneas requieren de mediciones y seguimientos que constituyen una oportunidad de aprendizaje para alumnos interesados en adquirir conocimiento acerca de las mediciones fisiológicas en cultivos realizados bajo condiciones de estrés hídrico.

Objetivo general

Adquirir prácticas en la conducción y medición de distintas variables fisiológicas en ensayos de cultivos de algodón sometido a estrés hídrico.

Lugar de realización

Estación Experimental INTA Las Breñas. Ruta 89 Km 227 Las Breñas Chaco Argentina.

Descripción de las tareas desarrolladas

Las tareas desarrolladas estuvieron enmarcadas dentro de las actividades de investigación que se realizan en la Estación Experimental del INTA Las Breñas y específicamente en los ensayos de relaciones hídricas en el cultivo del algodón. Se trabajó con cinco variedades de algodón las cuales fueron: DP 1238, DP 50, BG SP 00750, BG SP 6635 y BG SP 507, de las que se conoce, por estudios previos, su comportamiento diferencial respecto a la eficiencia del uso del agua.

Se realizaron ensayos a campo y en cámara de crecimiento bajo condiciones controladas.

Ensayo a campo

El ensayo a campo fue determinar la influencia de la temperatura y humedad sobre la abscisión de pimpollos florales por cavitación

Siembra de ensayos a campo

La siembra de las distintas variedades a evaluar se realizó según un diseño en parcelas divididas. Además, se instalaron sitios de evaluación en parcelas comerciales de algodón de la EEA Las Breñas.

La siembra se realizó mediante la utilización de una sembradora marca PLA de 8 surcos distanciados a 0,52 m. El suelo correspondió a un *Durustol entico*, familia limosa fina mixta hipertérmica, Serie Las Breñas, el cual se maneja bajo sistema de labranza cero, en rotación sorgo-algodón. (Ledesma y Zurita 1994). La cantidad de semillas por metro fue de 13,5 para lograr una densidad de plantas de 10 por metro lineal (10,4 plantas m²). Las variedades empleadas fueron DP 50, DP 1238, SP 750, SP 6635, SP 507 y la fecha de siembra fue el 20/11/2019. El tamaño de la parcela fue 2,5 metros de ancho por 8 metros de largo. El ensayo fue regado a través de un sistema de riego por goteo con una frecuencia semanal. Una vez alcanzado el estadio correspondiente a 6 hojas, mitad de las plantas siguieron con el mismo régimen de riego mientras que para la otra mitad el riego fue suspendido hasta alcanzar el 50% de la capacidad de campo. El contenido de agua en suelo fue determinado mediante método gravimétrico y las muestras fueron extraídas con barreno llegando hasta 1,2 m de profundidad (Figura 1).

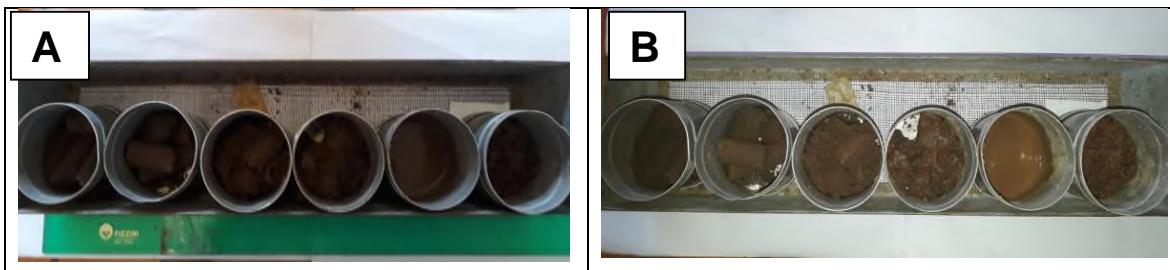


Figura 1. Muestras húmedas A) y secas B) tomadas a distintas profundidades para determinar el contenido gravimétrico de agua en suelo hasta los 120 cm.

A los 30 días de la siembra se realizó la medición de conductancia estomática en las distintas variedades. Para la determinación de la conductancia estomática se utilizó un Porómetro portátil (Decagon Devices Inc. Modelo SC-1). Las mediciones

se realizaron previa calibración del equipo en la cara abaxial de las hojas (cuarta hoja contando desde el ápice) ya que es donde la hoja de algodón posee mayor densidad de estomas (Figura 2).



Figura 2. Medición de conductancia estomática en hojas de algodón mediante la utilización de un porómetro.

Debido a las inclemencias climáticas (inundaciones prolongadas), ocurridas en la campaña 2018-2019, las evaluaciones, en este ensayo, no se pudieron continuar por quedar totalmente inundado y por lo que se decidió continuar con los mapeos de plantas instalando sitios observación en un lote de producción.

Monitoreo de plantas de algodón

El monitoreo de plantas se realizaron en un lote comercial de algodón sembrado con la variedad DP 1238 y para lo cual se eligieron cuatro sitios al azar de 15 plantas cada uno, y en el cual se determinó el número de flores abortadas. Las evaluaciones de pérdidas de estructuras reproductivas (abortos) se realizaron durante el pimpollado (Figura 3 A-B). Antes de iniciar las evaluaciones se procedió a la limpieza (eliminación de todas las estructuras abortadas que no hayan caído todavía). La frecuencia de monitoreo fue diaria en donde se registró el número total de pimpollos, número de pimpollos cavitados (coloración negra) y amarillos (desbalance hormonal) (Figura 3 A-B). También se midió el nivel de humedad

disponible en el perfil (utilizando método gravimétrico) y se recabaron los datos climáticos de la estación meteorológica de la E.E.A Las Breñas.

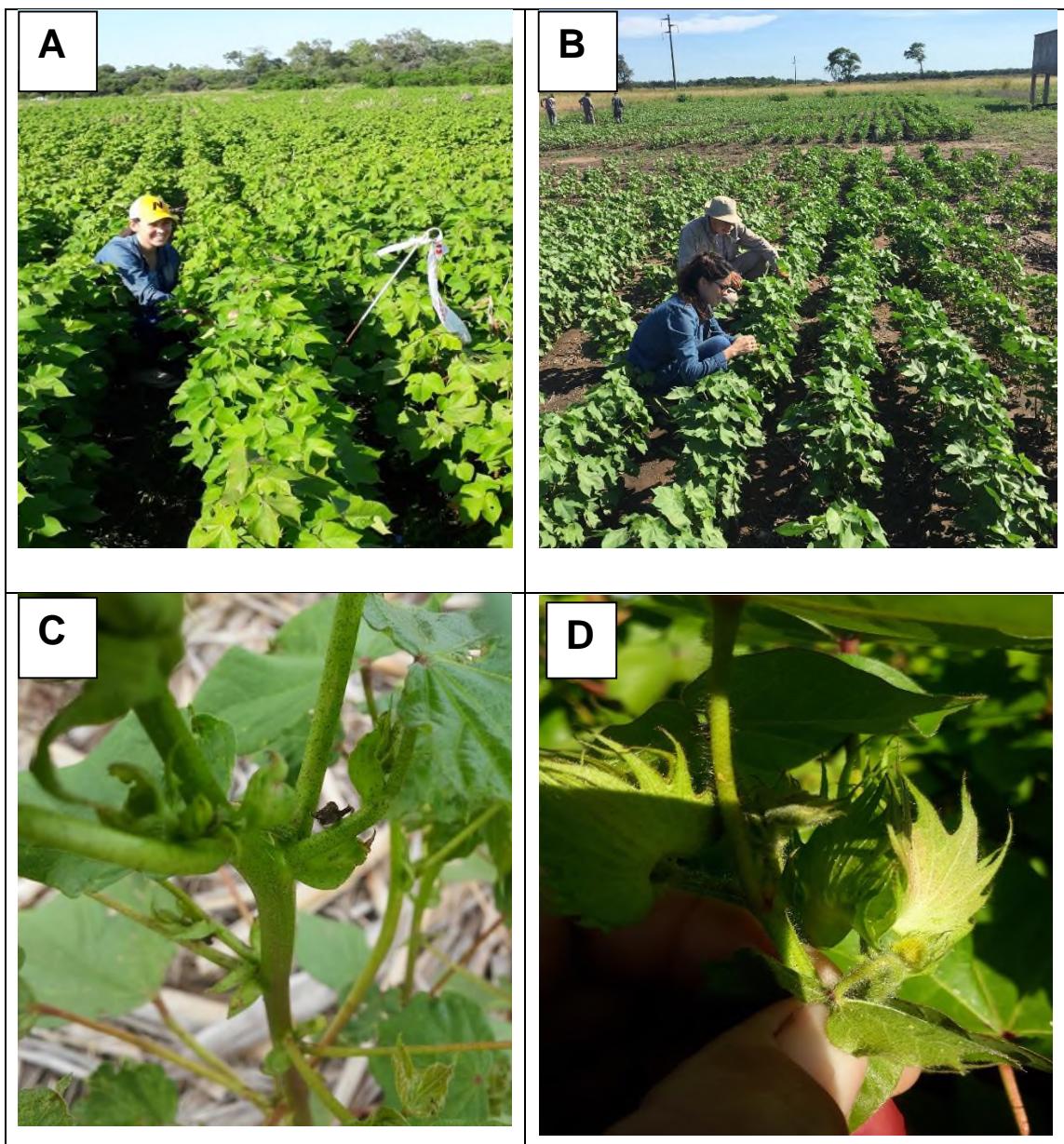


Figura 3. A-B) Monitoreo de plantas marcada en el campo; C) Aborto considerado por cavitación, D) Aborto por desbalance hormonal.

En la figura 4 se puede observar el número de abortos por planta (producidos por cavitación) en función de tiempo representado por días julianos (día juliano 1 es el primero de enero y día juliano 50 corresponde al 19 de febrero). El día juliano

25 corresponde al día de la limpieza, por lo cual se quitaron los abortos producidos en varios días posteriores a esa fecha. Del día 29 al 32 se puede ver en promedio 1 aborto producido cada dos plantas, lo que coincide con días de altas temperaturas y baja humedad. Estas condiciones ambientales podrían propiciar la ruptura de la columna de agua en el xilema, interrumpiendo, de esta forma, la provisión de agua al pimpollo en formación que pronto se vuelve negra quedando retenido a la planta (Figura 4). Esta necrosis de los pimpollos inducida por cavitación es muy rápida y se diferencia del proceso normal de abscisión donde los pimpollos antes de caerse por la muerte de las células de la capa de abscisión, se ponen de color amarillo y verde claro.

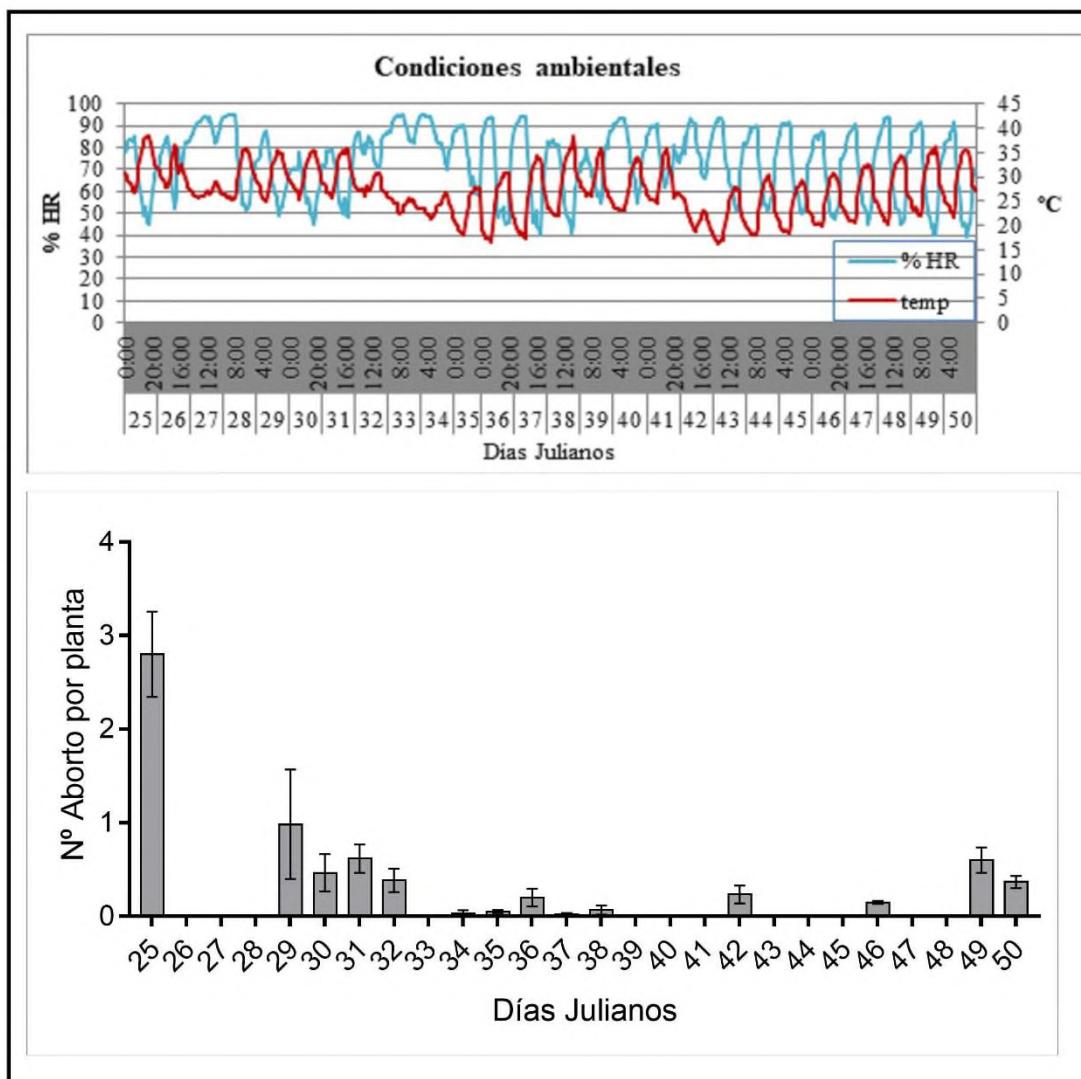


Figura 4. Condiciones ambientales y número de abortos por cavitación por planta desde el 25 de enero de 2019 al 19 de febrero del 2019.

En la figura 5 se puede ver la acumulación en valores porcentuales del número de pimpollos abortados por cavitación y por desbalance hormonal. Se puede observar que entre el 29 de enero (juliano 29) y 19 de febrero (juliano 50) se perdieron por cavitación alrededor del 15 por ciento e igual proporción por desbalance hormonal denotando la importancia del evento de cavitación. Cabe aclarar que las pérdidas de pimpollos por cavitación se da en estructuras de tamaño pequeño y que pedidas de pimpollos por desbalance hormonal se produce en pimpollos de mayor tamaño, con lo cual el período de perdida de pimpollos se prolonga cuando tenemos periodos con altas temperaturas y baja humedad durante el pimpollado del cultivo.

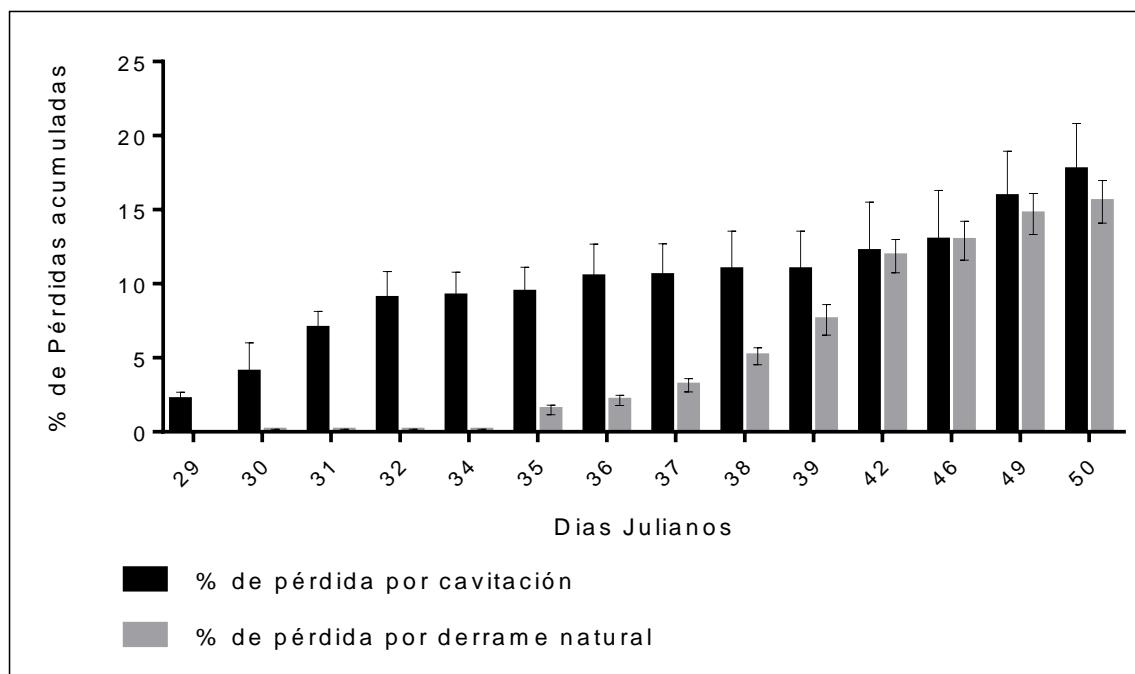


Figura 5. Pérdidas de estructuras reproductivas por cavitación (negro) y por derrame hormonal en gris acumulados desde el 29 de enero (juliano 29) hasta el 19 de febrero (juliano 50).

Ensayos conducidos en cámara de crecimiento

Un segundo ensayo se realizó en cámara de crecimiento en la cual se reprodujeron condiciones ambientales de alta temperatura, baja humedad y movimiento del aire para intentar reproducir el evento de cavitación.

Objetivos específicos de este ensayo:

- 1) Evaluar la susceptibilidad a la cavitación en distintos genotipos de algodón y bajo diferentes tratamientos de temperatura y viento.
- 2) Determinar la susceptibilidad a la cavitación en distintas variedades de algodón mediante curvas de presión volumen.

Siembra

La siembra se realizó en macetas de cuatro litros de volumen, usando suelo tamizado homogéneo en textura y contenido de humedad. Las macetas se llenaron con el suelo hasta un peso final 1.900 gr. Se utilizaron las siguientes variedades de algodón: DP 1238; SP 750 DP 50; SP507 y SP 6635. Se sembraron seis semillas por maceta y luego de transcurridos 10 días desde la emergencia, se realizó un raleo de plántulas dejando tres plantas de tamaño homogéneo por maceta (Figura 6 A-B). La disposición de las macetas en la cámara fue completamente aleatoria. Por cada variedad se realizaron 3 repeticiones (una maceta correspondía a una repetición).



Figura 6. Preparación de macetas. A y B) Rotulado; C) Siembra; D) Emergencia de plántulas de Algodón.

Las macetas fueron puestas inicialmente en condiciones de crecimiento al aire libre y cuando los plántulas tenían 8 nudos, se las introdujo en la cámara de crecimiento para iniciar el ensayo (Figura 7 A). Las condiciones ambientales en la cámara fueron de alta temperatura (mayor a 35°C), baja humedad (menor a 40

%) y movimiento de aire para facilitar el desplazamiento de la capa límite de aire sobre la superficie de las hojas.

Control de las condiciones ambientales en la cámara de crecimiento
(Responde al objetivo específico 1)

Temperatura: La temperatura se mantuvo elevada mediante estufas estilo caloventor, y aire acondicionado (aire caliente). Ambos dispositivos estaban conectados a un reloj temporizador al fin de mantener alta temperatura durante 12 hs por día. El registro de temperatura se realizó con un termómetro de mercurio y con una estación meteorológica de bolsillo (Kestrel 3000).

- **Humedad ambiental:** Al ser un ambiente cerrado, el aire se saturaba rápidamente y la misma debía ser eliminada usando el aire acondicionado en modalidad dry (seco). De esta forma fue posible bajar la humedad relativa de la cámara a niveles de 25 -30 %. Las mediciones de humedad se realizaron de forma manual en puntos y horarios fijos con la estación meteorológica de bolsillo como se explicado anteriormente.
- **Humedad del suelo:** El suelo se mantuvo a capacidad de campo (óptima humedad), mediante riegos periódicos. Las macetas fueron obturadas con papel de aluminio, en la parte superior, evitando que se perdiera agua por evaporación y que la misma aumentara el nivel de humedad del ambiente (Figura 7 B). De esta forma, el consumo del agua fue únicamente por transpiración.
- **Intensidad lumínica:** A través de un conjunto de tubos fluorescentes aptos para el cultivo de plantas fue posible proporcionar una intensidad lumínica de $400 \mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{min}$ (medida a la altura de las plantas). Las plantas fueron sometida a una alternancia de 12 horas de luz y 12 de oscuridad. Las horas de luz se hicieron coincidir con la alta temperatura.
- **Viento:** El movimiento de aire en la cámara se obtuvo empleando un ventilador tipo turbo a una velocidad de 30 km, simulando el viento norte.

El diseño experimental del ensayo fue en bloques con dos factores, siendo el primer factor el viento caliente para lo cual se confeccionaron los túneles y el segundo factor la variedad con lo cual en cada túnel estaban presentes todas las variedades ensayadas.

Dentro de la cámara de crecimiento se armaron 2 túneles (estructuras) formadas con barras de hierro y paredes de plásticos transparentes de 100 micras de espesor con dimensiones de 1 metro de ancho por 2 metros de longitud, en cuya parte superior dejaba pasar la radiación aportada por los tubos fluorescentes (Figura 7 C). En uno de ellos, y en el extremo, se instaló el caloventor y ventilador (simulando un día típico chaqueño de calor y viento norte seco) y en el otro tratamiento, únicamente la luz (sin viento, ni calor) (Figura 7 D). La disposición de las macetas fue al azar (5 variedades) con 3 repeticiones cada una. En cada túnel, se colocaron en total 15 unidades experimentales (5 variedades por 3 repeticiones), realizando una rotación diaria, para que todas tengan la misma intensidad de los factores ambientales (Figura 2 D).



Figura 7: Acondicionamiento de macetas. A) Medición de altura de planta, B) Forrado de macetas, C) Macetas puestas en cámaras, D) Túnel con caloventor.

Se suministró agua diariamente a cada maceta sin importar el tratamiento ya sea con viento/calor o sin viento/sin calor, para asegurarnos que los fenómenos de abortos se deba solo a condiciones atmosféricas y no por disponibilidad de agua de suelo.

Durante el tiempo que duro el ensayo (7 días) se fue realizando el mapeo diario de la totalidad de las plantas llevando a cabo el seguimiento minucioso de las estructuras reproductivas (pimpollos), registrando ubicación y cantidad total y

estado en el cual se encontraba, ya sea normal, cavitado (negro) o amarillo (desbalance hormonal). Los resultados obtenidos se volcaron en planillas de Excel y se comparó los resultados que tuvimos en el presente en relación con el día anterior.

Los datos obtenidos del ensayo fueron graficados con el programa GraphPad y se muestran en la figura 8. Los resultados obtenidos permitieron observar diferencias entre las variedades y en respuestas al tratamiento de viento caliente suministrado. La variedad DP 50 fue la más susceptible al aborto por cavitación como respuesta al tratamiento de viento y temperatura. El tratamiento con viento caliente incremento el número de abortos observados en tres de las cinco variedades ensayadas. La gran variabilidad en los abortos, evidenciado a través de error estándar, indicaría la necesidad de incrementar el número de plantas y repetición para la disminución de la variabilidad entre los tratamientos (Figura 8).

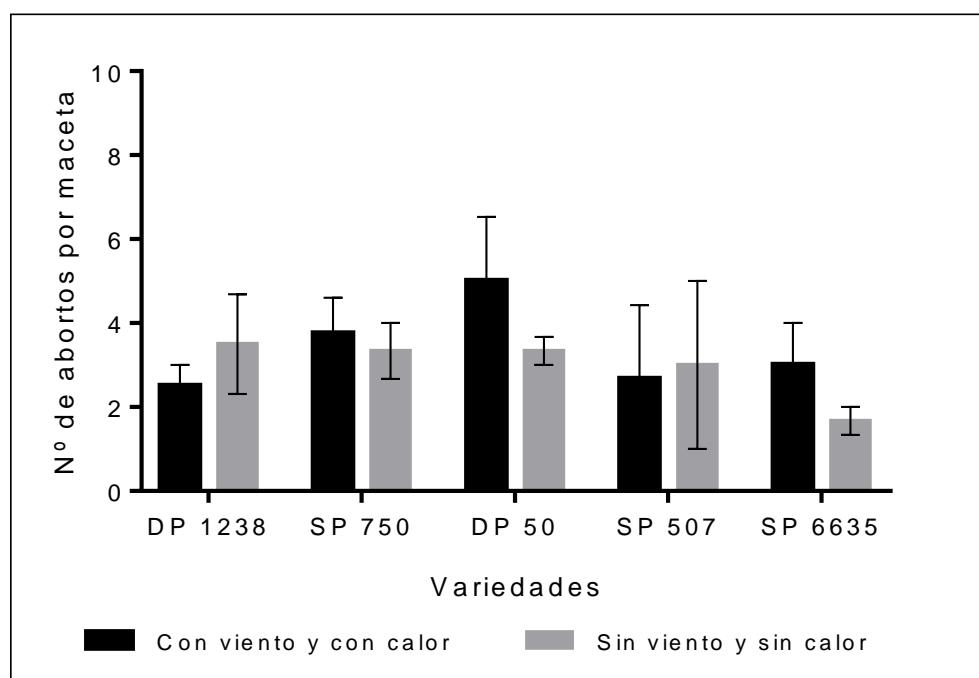


Figura 8. Cantidad de abortos totales en respuesta al tratamiento de viento y calor para las distintas variedades analizadas. Los datos se refieren al día siete desde el inicio del tratamiento. La barra indica la media de las 3 repeticiones \pm el error estándar de la media.

Medida de potencial agua en planta

Para la medida del potencial agua en planta se utilizó una bomba de presión tipo Scholander. La bomba de presión tipo Scholander es uno de los instrumentos más utilizados para medir de manera fácil el potencial hídrico de un tejido (Figura 9 A). El equipo consiste en una cámara cilíndrica de metal, construida de manera tal que soporte altas presiones, dentro de la cual se colocó una hoja de algodón, con el pecíolo saliendo hacia el exterior a través de un pequeño orificio en su tapa. Luego se dejó ingresar el gas en la cámara (nitrógeno gaseoso) elevando la presión y visualizando la salida de agua de los vasos de xilema expuestos en el exterior del pecíolo (Figura 9 B-C). La presión dentro de la cámara, que provoca la salida del agua hacia la superficie de corte, se denomina presión de equilibrio y tiene la misma magnitud, pero signo contrario, al potencial del tejido colocado dentro de la cámara. De esta manera se puede determinar el estado hídrico de dicho tejido y realizar estudios de estrés hídrico además de poder pronosticar un riego.

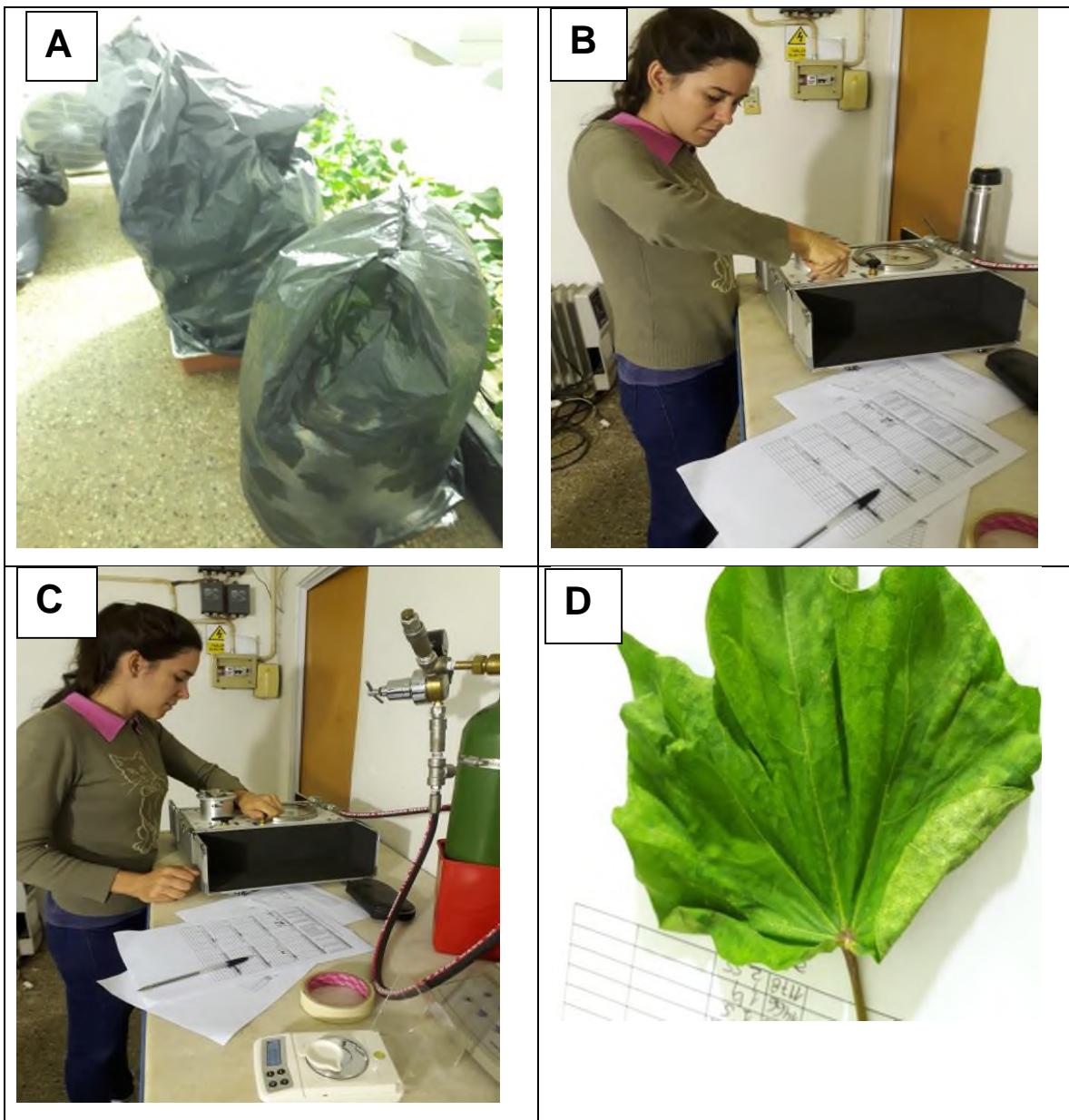


Figura 9: A) Acondicionamiento para medir el potencial agua; B y C) Medición en Cámara de Scholander; D) Hoja después de sufrir sucesivas mediciones.

Curvas de vulnerabilidad a la cavitación (*Objetivo específico 2*).

La vulnerabilidad del xilema a la cavitación se evaluó construyendo curvas en la cual se representó la relación entre la pérdida de potencial agua del tejido y el nivel de estrés hídrico evaluado en términos del contenido relativo de agua en la hoja. Las curvas de vulnerabilidad a la cavitación se realizaron mediante la utilización de la bomba Scholander y una balanza de precisión.

El primer paso fue regar las macetas y taparlas con bolsas, un día antes de realizar la curva, con el fin de evitar la transpiración y asegurarnos que se equilibre el potencial de agua de la panta con el del suelo, y permitir la máxima turgencia (Figura 10 A).

Para realizar dichas curvas primero se midió el peso de la hoja en su máximo estado de hidratación (turgencia) e inmediatamente se midió el valor de presión con la cámara Scholander correspondiente a la máxima hidratación de la hoja. Esta operación fue repetida varias veces registrando valores de peso y presión a medida que la hoja iba deshidratándose en el tiempo.

Una vez realizado todos los puntos posibles, la hoja se llevó a estufa a 80 °C para determinar su peso seco. El contenido relativo de agua (CRA) de la hoja se determinó de la siguiente manera: CRA = (PF-PS) / PT-PS) x 100 donde PF es el peso fresco, PS el peso seco y PT el peso de hoja turgente.

En la figura 10 se puede ver la prolongación de la recta (línea punteada) en el punto de inflexión de la curva presión/volumen lo que nos estaría indicando la presión osmótica de cada variedad en su máximo estado de hidratación (100 % de CRA). En este sentido la variedad SP 507 fue la que mostró un potencial osmótico mayor, lo que podría relacionarse con una menor susceptibilidad a la cavitación (Tabla 1). Ulteriores estudios complementarios serían necesarios para la confirmación respecto a la susceptibilidad a la cavitación en estas variedades de algodón.

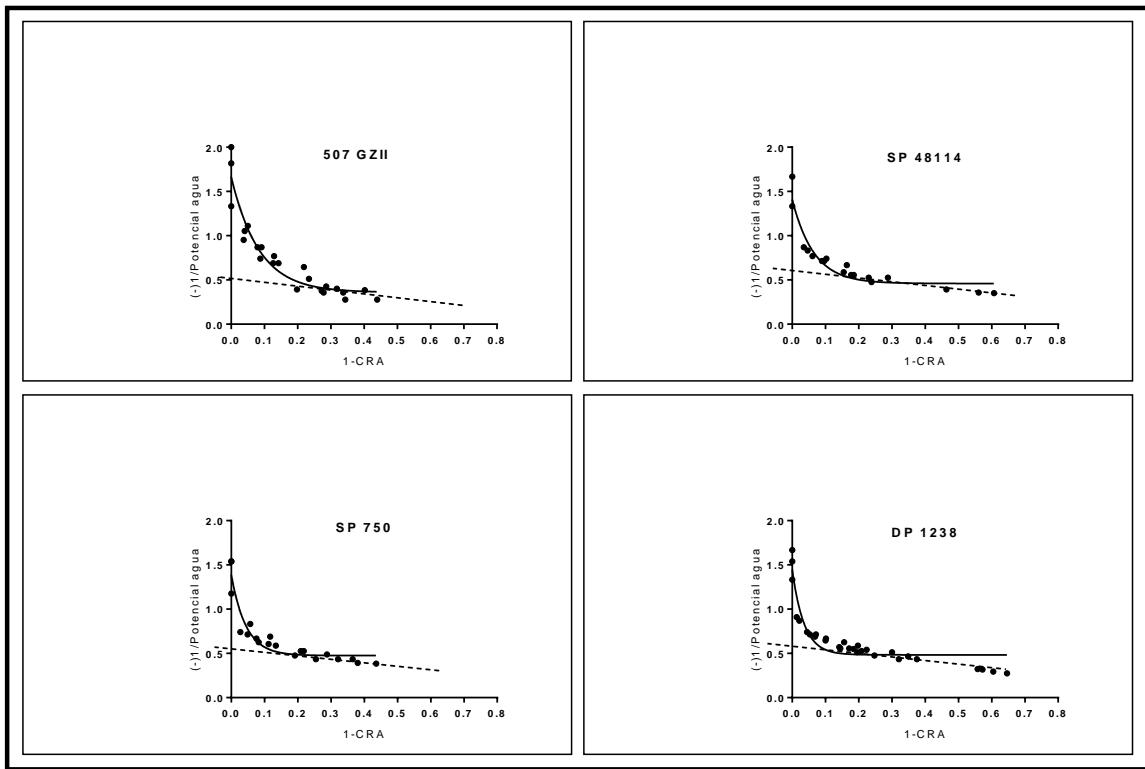


Figura 10. Curvas presión/volumen para la determinación de susceptibilidad a la cavitación para cuatro variedades de algodón.

Tabla 1. Potencial de máxima hidratación de cuatro variedades de algodón en mpascal.

	Variedades			
	507 GZ IV	SP 48114	SP 750	DP 1238
Potencia agua en mpascal	-0,5	-0,6	-0,65	-0,65

Medición de conductancia hidráulica

La medición de la conductancia hidráulica se realizó mediante el uso de un conductímetro que fue construido para este fin (Figura 11). Esta medición determina la capacidad de conducción de agua por el pecíolo de la hoja de algodón la cual se determina mediante el peso del agua que atraviesa una sección de pecíolo previa eliminación del aire del tejido. Esta medición se realizó de manera preliminar a fin de ajustar la técnica, logrando acumular 300 miligramos de agua en 30 minutos lo cual corresponde a valores normales para esta especie.

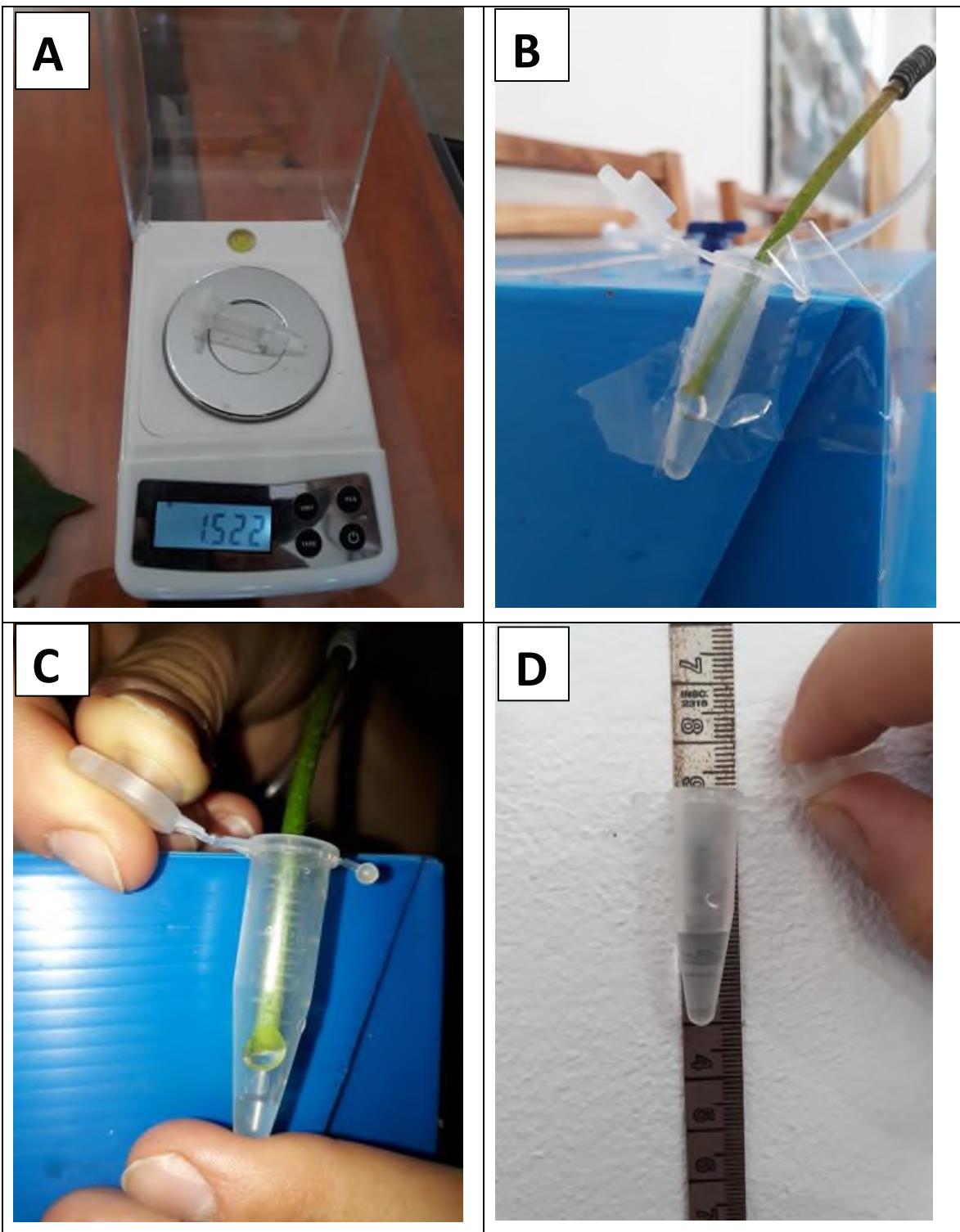


Figura 11. Medición de la conductancia hidráulica. A) Tara del tubo en el cual se colectará el líquido; B) Conductímetro; C D) Medición de agua eliminada por la hoja.

Comentarios finales

Esta pasantía me permitió aplicar los conocimientos adquiridos durante el cursado de la carrera e integrarlos en la realización de la evaluación de ensayos de estrés aplicados a distintas variedades de algodón. Pude adquirir práctica en la realización de mapeos de plantas de algodón, en la identificación de abortos florales. Asimismo adquirí experiencia con técnicas para la medición del contenido de agua en el suelo, del estado hídrico de planta, de la traspiración y de la conductividad hidráulica aplicándolas al estudio de las respuestas de variedades de algodón ante una situación de déficit hídrico.

Las condiciones climáticas durante el curso de esta pasantía no permitieron continuar con los ensayos a campo, aunque se pudo realizar ensayos en cámara y poder realizar esta pasantía.

Bibliografía

- Basal, H., Smith, C. W., Thaxton, P. M., and Hemphill J. K.. 2005. Seedling drought tolerance in upland cotton. *Crop Sci.* 45:766-771.
- Boyer, J S. 1982. Plant productivity and environment. *Science* 218:443-448.
- Hearn, A. B. 1994. The principles of cotton water relations and their application in management. *World Cotton Research Conference* 1:66-92.
- Ledesma, L.; Zurita, J. J. 1994. Carta de suelos de la República Argentina. Provincia del Chaco. Los suelos del departamento 9 de julio. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; Gobierno de la provincia del Chaco, Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Longenberger P.S., Smith, C. W., Thaxton, P. S., McMichael, B. L. 2006. Development of a screening method for drought tolerance in cotton seedlings. *Crop Sci.*, 46: 2104-2110.
- Martin, J. H., Waldren, R. P., Stamp, D. L. 2006. Cotton. En *Principles of Field Crop Production*. Pearson, Ohio 727-756.
- Nepomuceno, A. L., Oosterhuis, D. M., and Stewart, J. M. 1998. Physiological responses of cotton leaves and roots to water deficit induced by polyethylene glycol. *Env. Exp. Bot.* 40:29-41.
- Oosterhuis, D. M., and Wullschleger, S. D. 1987. Osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves and roots in response to water stress. *Plant Physiol.* 84:1154-1157.
- Pace, P.F., Cralle, H. T., El-Halawany, S. H. M., Cothren, J. T and Senseman S.A. 1999.
- Quisenberry, J. E., B. Roark, and McMichael, B. L.. 1982. Use of transpiration decline curves to identify drought-tolerant cotton germplasm. *Crop Sci.* 22:918-922.
- Quisenberry, J.E., Wendt, C. W., Berlin, J. D., and McMichael, B. L. 1985. Potential for using leaf turgidity to select drought tolerance in cotton. *Crop Sci.* 25:294-299.
- Robertson, W.C., Roberts, B. A. 2010. Integrated crop management for cotton production in 21 st century. En: *Cotton: Technology for the 21st Century*
- Waddle, B.A. 1984. *Crop Growing Practices*. Pp. 234-263. En Kohel, R.J. and Lewis, C.F. (Eds) *Cotton*. American Society of Agronomy, Madison, USA.
- Wakelyn, P. J., Chaudhry, M. R. 2010. *Cotton: Technology for the 21st Century*. 475 Pags.