

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**EFFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA Y DOS
SISTEMAS DE RIEGO, EN EL CULTIVO DE ALGODÓN, EN EL
VALLE DE MEXICALI, B.C.**

T E S I S

**COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRONOMO

PRESENTA

LUIS GUADALUPE ROQUE DIAZ

**DIRECTOR
DR. FIDEL NÚÑEZ RAMÍREZ**

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

MARZO DEL 2015

EFFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA Y DOS SISTEMAS DE RIEGO, EN EL CULTIVO DE ALGODÓN, EN EL VALLE DE MEXICALI, B.C.

TESIS

Sometida a la consideración del programa de Ingeniero Agrónomo

del

Instituto de Ciencias Agrícolas

Por

Luis Guadalupe Roque Díaz

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

MARZO DEL 2015

ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ TUTORIAL,
APROBADA Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR _____
DR. FIDEL NÚÑEZ RAMÍREZ

ASESOR _____
DR. LUIS FERNANDO ESCOBOZA GARCÍA

ASESOR _____
M.C. CARLOS CECEÑA DURÁN

ASESOR _____
DR. JESÚS SANTILLANO CÁZARES

AGRADECIMIENTOS:

-
-
-
-
-

DEDICATORIA:

Como un pequeño homenaje...a mis dos grandes amores...

*Uno más uno no son dos
uno más uno es el placer de ti
es cada canto de miradas sin fin
es contemplar juntos el siguiente minuto
uno más uno es lo contrario de estar sin ti
uno más uno es sumar, besar y amar.*

ÍNDICE

CONTENIDO	Página
INDICE DE CUADROS	X
INDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo particular	3
2.1.1 Objetivos específicos	3
III. PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS	4
3.1 Hipótesis nula	4
3.2 Hipótesis alterna	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Producción de algodón en el valle de Mexicali	5
4.2 Descripción botánica del cultivo de algodón	6
4.3 El nitrógeno en el suelo	6
4.4 Fertirrigación	8
4.5 Diagnóstico de la nutrición y fertilización en cultivos	9
4.6 Fertilización nitrogenada en el cultivo de algodón	10
V. MATERIALES Y MÉTODOS	13
5.1 Ubicación del estudio y condiciones ambientales	13
5.2 Siembra y topología del cultivo	13
5.3 Logística del experimento	14
5.4 Fertilización y riegos	15

5.6 Malezas y Plagas	18
5.7 Muestreo de SPAD y extracto celular del peciolo	18
5.8 Determinación del rendimiento	19
5.9 Análisis estadístico	20
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	21
6.1 Temperaturas y unidades calor acumuladas	21
6.2 Características del suelo y el agua de riego	23
6.3 Manejo del riego en el cultivo de algodón	24
6.4 Rendimiento y calidad en riego por goteo	27
6.5 Rendimiento en algodón bajo riego rodado	29
6.6 Riego goteo <i>versus</i> riego rodado	30
6.7 Índice SPAD en el cultivo de algodón.	31
6.8 Nitratos en el extracto celular de peciolo en el cultivo de algodón	33
VII. CONCLUSIONES	36
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Programa de riego y fertilización nitrogenada en el cultivo de algodón (<i>Gossypium hirsitium</i> .) bajo riego rodado.....	16
Cuadro 2. Programa de riego y fertilización nitrogenada en el cultivo de algodón (<i>Gossypium hirsitium</i> .) bajo riego por goteo.....	16
Cuadro 3. Características de fertilidad de los suelos utilizados en el estudio.	23
Cuadro 4. Características de la calidad del agua de riego.....	24
Cuadro 5. Rendimiento, lámina de riego y uso eficiente del agua del cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego.....	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los tratamientos en el experimento de riego por goteo; T1= 11, T2= 110, T3= 220 y T4= 440 Kg N ha ⁻¹	15
Figura 2. Distribución de los tratamientos en el experimento de riego rodado; T1= 11, T2= 220 Kg N ha ⁻¹	15
Figura 3. Criterios de humedad en suelo (kPa) y volúmenes de riego (mm) en el cultivo de algodón crecido bajo riego por goteo.	17
Figura 4. Evolución de las temperaturas ocurridas durante el experimento en el cultivo de algodón.	21
Figura 5. Acumulación de unidades calor ocurridas durante el experimento en el cultivo de algodón.	22
Figura 6. Acumulación de agua de riego aplicada al cultivo de algodón bajo riego por goteo.....	25
Figura 7. Acumulación de agua de riego aplicada al cultivo de algodón bajo riego rodado.....	26
Figura 8. Respuesta en rendimiento del cultivo de algodón a la fertilización nitrogenada bajo riego por goteo.	28
Figura 9. Respuesta en rendimiento del cultivo de algodón a la fertilización nitrogenada bajo riego rodado.	30
Figura 10. Relación entre el índice SPAD (83 DDS y 718 UCAs), y el rendimiento en el cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego.	32

Figura 11. Relación entre el índice SPAD (118 DDS y 1287 UCAs) y el rendimiento en el cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego	33
Figura 12. Relación entre el la concentración de nitratos en el extracto celular de pecíolo (83 DDS y 718 UCAs) y el rendimiento en el cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego.....	34
Figura 13. Relación entre el la concentración de nitratos en el extracto celular de pecíolo (118 DDS y 1287 UCAs) y el rendimiento en el cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego.....	35

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue identificar la dosis óptima de fertilización nitrogenada y el sistema de riego adecuado para obtener rendimientos óptimos en el cultivo de algodón, en el ciclo agrícola primavera-verano 2013, en el Campo Agrícola Experimental ICA-UABC del Valle de Mexicali. Se utilizó la variedad Deltapine 565 y se sembró a una hilera sobre surcos a 0.80 m de distancia, con una densidad de población de 16 plantas por m lineal. Para el sistema de riego rodado se usaron 2 tratamientos (T) de fertilización nitrogenada (11 y 220 Kg N ha⁻¹) con 5 repeticiones para cada tratamiento. Para el caso del sistema de riego rodado se usaron 4 tratamientos (T1; 11, T2; 110, T3; 220 y T4; 440 Kg N ha⁻¹), con 4 repeticiones cada uno.

Se determinó el contenido de clorofila en forma de unidades SPAD a los 83 y 118 días después de la siembra (DDS). Adicionalmente se cuantificó la concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo (ECP) a los 83 y 118 DDS. Para identificar diferencias entre los tratamientos, se utilizaron técnicas de regresión y análisis de varianza a los valores medios obtenidos con el paquete MINITAB. El rendimiento obtenido en el estudio conducido bajo riego por goteo, fluctuó entre los 4.0 Ton ha⁻¹ y los 2.2 Ton ha⁻¹. Obteniendo los menores rendimientos con la dosis mayor. Mientras que los rendimientos en el cultivo de algodón manejado bajo riego rodado estuvieron en el orden de los 1.9 y 2.0 Ton ha⁻¹, sin presentar diferencia entre los tratamientos evaluados. Por otro lado, los valores SPAD determinados a los 83 DDS, estuvieron relacionados cuadráticamente con el rendimiento ($R^2=0.99$), a diferencia de los encontrados a

los 118 DDS, los cuales no se les identificó asociación con el rendimiento. Para el caso de los nitratos en el ECP, a los 83 DDS, no se encontró relación entre la concentración de NO_3 y el rendimiento, mientras que a los 118 DDS, la relación fue estrecha ($R^2=0.99$). La falta de respuesta en rendimiento al cultivo en ambos experimentos se atribuyó a la fertilidad intrínseca del suelo, el cual contenía altos contenidos de materia orgánica (3.46%: riego goteo) y altas concentraciones de nitrógeno (38.6 y 30.2 mg Kg^{-1} N- NO_3 : goteo y rodado) en el perfil de los 30 cm de profundidad.

I. INTRODUCCIÓN

La planta del algodón se conoce históricamente desde hace aproximadamente 7.000 años. Se sabe que el algodón se cultivaba desde esa época por campesinos en Asia y América. En el siglo XVII y XVIII, fueron las ciudades italianas, y sobre todo Lyon (Francia) que impusieron sus técnicas y composiciones a toda Europa. El algodón fue una de las materias primas fundamentales que hicieron posible la Revolución Industrial europea a finales del siglo XVIII. La primera industria que se creó en Gran Bretaña fue la industria textil. Incluso hoy, la industria textil es el primer paso para la industrialización de muchos países. Los rendimientos promedios de este cultivo oscilan entre 1.6 y 2.8 toneladas por hectárea (7 y 12 pacas). En el valle de Mexicali ya tiene sembrándose casi un siglo, y la mayor producción de algodón se dio en los años 50 y la producción máxima se logró en los años 60, con un promedio de 120,150 toneladas por año (511,773 pacas), después la crisis que presento por las plagas, llevo a la baja os rendimientos y casi se desaparecía el cultivo de esta región, con la implementación de nuevas tecnologías y variedades transgénicas sea recuperado y los rendimientos y superficie sembrada han ido incrementando. Los altos rendimientos de los cultivos dependen principalmente del nivel de tecnología empleado, desarrollo de variedades, aplicación de fertilizantes, manejo de plagas y enfermedades y control y manejo del agua de riego (Malhi et al., 2001). En este sentido unos de los aspectos más importantes para obtener buenos rendimientos son en estas zonas del valle de Mexicali con suelos salinos son: la fertilización nitrogenada, el manejo del riego, monitoreo nutricional y la mejor época de

aplicación de fertilizantes, son uno de los más importantes puntos que se tiene que considerar en la producción del algodón.

Por otro lado, aplicación de altas dosis de fertilizantes a los cultivos se realiza con el fin de evitar reducción en los rendimientos (Zhao et al., 2005), sin embargo, repercute en la contaminación de mantos freáticos y al ambiente (Malhi et al., 2001). La implementación y utilización de sistemas de riego presurizado, tienen la ventaja de optimizar todos los recursos y ahorrar insumos como fertilizantes y agua que son los principales para su desarrollo, a la vez que incrementa los rendimientos y la calidad las cosechas. Con estos sistemas de riego es posible controlar las aplicaciones de fertilizantes, logrando un uso eficiente y preciso de las mismas. Sin afectar los rendimientos y los costos de producción.

Aunado a lo anterior, existen tecnologías que permiten monitorear la nutrición de cultivo principalmente la fertilización nitrogenada utilizando el medidor de clorofila SPAD (Huang et al., 2008) y midiendo la concentración de nitratos en el extracto celular de tallo relacionada a los rendimientos (Heckman et al., 2002). Con estas tecnologías es posible generar recomendaciones de fertilización al instante, mejorando su momento y dosis de aplicación haciendo un uso eficiente del recurso a la vez que se evita contaminación al ambiente.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo particular

Identificar el efecto del sistema de riego y la fertilización nitrogenada en el cultivo de algodón bajo condiciones del Valle de Mexicali, Baja California.

2.1.1 Objetivos específicos

2.1.1.1 Identificar el efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento del cultivo de algodón.

2.1.1.2 Identificar la relación existente entre la concentración de nitratos en el extracto celular de peciolas e índice SPAD en hojas, con el rendimiento del cultivo de algodón.

III. PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS

3.1 Hipótesis nula

La fertilización nitrogenada y sistema de riego tiene efecto sobre el rendimiento del cultivo de algodón en el Valle de Mexicali.

3.2 Hipótesis alterna

La fertilización nitrogenada y el sistema de riego tienen efecto sobre el rendimiento del cultivo de algodón en el Valle de Mexicali.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Producción de algodón en el valle de Mexicali

El cultivo del Algodonero ha sido explotado durante 90 años en el Valle de Mexicali y constituyó la principal actividad agrícola en el periodo comprendido entre 1955 y 1967, época en que más del 50% del total de la superficie del valle se destinaba a este cultivo. La producción máxima se alcanzó entre 1963 y 1966 con un promedio de 511,773 pacas por año equivalentes a 116,172 toneladas de algodón. Debido a la caída de los precios internacionales de algodón, a partir de 1967 la producción se redujo considerablemente y solo se obtuvieron 344,943 pacas. Esta tendencia continuó hasta 1971, cuando la producción llegó a su nivel más bajo que fueron 163,707 pacas, 37,161 toneladas.

A través de los años la superficie se redujo debido a la aparición de plagas, alto costo de producción, fluctuaciones en el precio de la fibra, y a la diversificación de cultivos en la región. De la producción local de fibra de excelente calidad que ha caracterizado al Valle de Mexicali, se exporta alrededor del 90%, lo que implica que este cultivo genere divisas para el país.

El cultivo de algodón en la región va encaminado al consumo de la fibra textil donde la industria del sector la divide en: producción de fibra, producción de hilatura y producción final textil. En el valle se producen granos, hortalizas, forrajes, pero el producto que diferencia a dicha región es el algodón.

En 2010 Baja California produjo 89 mil 630 toneladas de algodón hueso. La más alta cantidad desde el año 2000, fecha en que la cifra se colocó en 54 mil 75 toneladas. El rendimiento de cada hectárea cosechada genera una paca (donde

50 por ciento es semilla, 38 por ciento es fibra, el resto es basura) de 230 kilos que en el mercado tiene un valor promedio de 400 dólares.

4.2 Descripción botánica del cultivo de algodón

La planta del algodón es de la familia de las malváceas, las cuáles se cultivan con el objetivo de aprovechar las fibras que envuelven sus semillas. Hay distintas especies de algodón, las más importantes son: *hirsutum*, que crece en América, y la *herbaceum* y *arboreum*, que crecen en Asia. Es un arbusto pequeño, de flores amarillas y cuyo fruto capsular, dividido en un número de valvas que oscila entre tres y cinco, contiene una serie de semillas rodeadas por prolongaciones filiformes blancas y rizadas, que constituyen las fibras de algodón. Al madurar las semillas, la cápsula se abre y las fibras se proyectan al exterior.

4.3 El nitrógeno en el suelo

Generalmente el N está presente en formas no disponibles para la planta, el 98% se encuentra forma sólida y 2% en la atmosfera, en su mayoría gas N_2 y solo una fracción muy pequeña en materia orgánica (Borghí, 1999) sin embargo, es el nutriente que mayor frecuencia limita la producción vegetal, debido a las grandes cantidades requeridas por los cultivos y a la frecuencia con que se observan sus deficiencias en los suelos (Echeverría y Sainz, 2005). El nitrógeno, presente o añadido a la tierra, está sujeto a varias transformaciones que determinan la disponibilidad de éste a las plantas y la influencia del movimiento del potencial de nitratos para suministro de agua. (O'leary et al., 1994).

El nitrógeno (N) en las soluciones fertilizantes está disponible principalmente en tres formas:

- N-amoniaco: que tiene carga eléctrica positiva (catión).
- N- nitrato: que tiene carga eléctrica negativa (anión).
- N- urea: que es una molécula sin carga.

Estos compuestos nitrogenados encuentran un ambiente sumamente complejo cuando entran en contacto con el suelo.

El catión amonio se fija por adsorción a las partículas cargadas negativamente de la arcilla y es oxidado lentamente a N-nitrato por las bacterias del suelo. El N-nitrato entra en el suelo debajo del gotero en una zona saturada de agua, desprovista de oxígeno, que contiene bacterias del suelo que procuran activamente una fuente del oxígeno para cubrir sus demandas respiratorias. En consecuencia, antes de que pueda ser absorbida por la planta, una parte del nitrato oxidado presente en el suelo puede reducirse a óxido nitroso (N_2O) o a nitrógeno elemental (N_2), para volver en forma gaseosa a la atmósfera. Otra parte del nitrato se mueve con el agua y se acumula a una concentración muy alta en el límite entre las zonas mojadas y secas del suelo. La fracción más importante es la de N-nitrato proveniente del fertilizante nitrogenado aplicado que será absorbido por las plantas, un factor clave que determina el éxito de la fertirrigación económica. La urea, molécula sin carga eléctrica, puede viajar considerables distancias en el suelo con el agua móvil.

Una vez en contacto con la ureasa, enzima específica en el suelo, la molécula de urea se convierte rápidamente a dióxido de carbono (CO_2) y amoníaco, la que se disuelve en agua y da lugar por algunos días a un aumento localizado del pH del suelo (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

4.4 Fertirrigación

El riego localizado presenta numerosas ventajas respecto al sistema de riego tradicional en relación a la utilización de aguas salinas y al ahorro de agua. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que las mayores posibilidades de este sistema de riego se centran en su utilización como vehículo de una dosificación racional de fertilizantes. Es decir, que ofrece la posibilidad de realizar una fertilización día a día, en función del proceso fotosintético y exactamente a la medida de un cultivo, un sustrato y un agua de riego determinados y para unas condiciones ambientales definidas (Cadahía et al., 2000).

La práctica de aplicar fertilizantes a los cultivos por vía del agua de riego se llama fertirrigación o fertirriego (Bar-Yosef, 1992). La fertirrigación es una moderna técnica agrícola que provee la excelente oportunidad de maximizar los rendimientos y a la vez reducir la polución ambiental (Hagin et al., 2002), al incrementar la eficiencia de uso de los fertilizantes, minimizar la aplicación de éstos y aumentar los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes. En la fertirrigación, el momento, las cantidades y la concentración de los fertilizantes aplicados son fácilmente controlados.

La incorporación de los fertilizantes en el sistema de riego demanda los siguientes requerimientos básicos:

- Equipo:

- ◉ En sistemas de riego presurizados, la presión de inyección de la solución fertilizante debe ser mayor que la presión interna.

- ◉ Un filtro que prevenga el taponamiento de los emisores por partículas sólidas que puedan llegar al emisor.
- ◉ Una válvula que prevenga el retroflujo.
- Fertilizantes:
 - ◉ Solubilidad de los fertilizantes en el agua de riego, que contiene constituyentes químicos que pueden interactuar con los fertilizantes disueltos, provocando efectos indeseados.
 - ◉ El grado de acidez de los fertilizantes en la solución fertilizante debe considerarse en relación con su corrosividad a los componentes del sistema de riego.

4.5 Diagnóstico de la nutrición y fertilización en cultivos

La dosificación adecuada de fertilizantes requiere un control de los materiales que intervienen en cada cultivo. Tanto el suelo como el agua de riego nos indican la potencialidad nutritiva para un cultivo. Pero es el análisis de planta el que nos debe de informar sobre el efecto yuxtapuesto del suelo y el agua de riego y de la posible mejora con una fertilización adecuada. Una vez interpretado correctamente el nivel nutritivo en la planta, en la mayor parte de los casos, encontraremos en el suelo la causa de cada problema de nutrición. Es imprescindible realizar correctamente las determinaciones en la planta e interpretar los resultados de forma adecuada. De esta forma podemos conocer los factores limitantes del suelo para optimizar la nutrición del cultivo, o bien conocer la eficacia de una fertilización determinada (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

Un diagnóstico correcto de la nutrición de la planta es imprescindible para realizar una adecuada recomendación de fertilizantes. El diagnóstico basado en el análisis de planta se realiza tradicionalmente mediante el análisis foliar. A pesar de la indudable utilidad de dicho tipo de análisis se plantean numerosas limitaciones al emplearlo para una recomendación de abonado (Castellanos et al., 2000).

El sistema de fertirrigación es el método más avanzado disponible para hacer una fertilización racional, pero también, en este caso, es necesario afinar en la interpretación de los análisis de planta para lograr su máxima eficacia. Por lo tanto, las aportaciones del análisis de savia o extracto celular son factores fundamentales para la mejora de la metodología de fertirrigación (Cadahía et al., 2008; Castellanos et al., 2000).

Referente a lo anterior, actualmente existen tecnologías que permiten monitorear la nutrición de cultivo principalmente la fertilización nitrogenada utilizando el medidor de clorofila SPAD (Huang et al., 2008) y midiendo la concentración de nitratos en el extracto celular de tallo relacionada a los rendimientos (Heckman et al., 2002). Con estas tecnologías es posible generar recomendaciones de fertilización al instante, mejorando su momento y dosis de aplicación haciendo un uso eficiente del recurso a la vez que se evita contaminación al ambiente.

4.6 Fertilización nitrogenada en el cultivo de algodón

El rendimiento de cualquier cultivo está relacionado directamente con la demanda de nutrientes para obtener los resultados esperados, para el caso del nitrógeno en el cultivo del algodón (*Gossypium hirsutum*).

El Instituto Nacional de Investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias, recomienda que para las condiciones del valle de Mexicali, La fertilización es indispensable para obtener altos rendimientos en esta región, esta actividad implica fertilizar en la cantidad, calidad y oportunidad apropiada para cubrir las necesidades nutrimentales del cultivo. Para caso de nitrógeno (N) el cultivo requiere de 22 a 29 kilogramos de nitrógeno para producir una paca de fibra de 227 kilogramos (INIFAP, 2010).

Un estudio realizado en Sau Pablo Brasil en el año 2010, fueron dirigidos al cultivo del algodón (*Gossypium hirsutum*), y uno de sus objetivos fue detectar el rendimiento óptimo con fertilización nitrógenos y las dosis utilizadas fueron (0, 30, 60, 90 y 120 kg N ha⁻¹) en 5 tratamientos respectivamente, y se aplicó 40 kg N ha⁻¹ en pre-siembra para todos los tratamientos, los resultados obtenidos de este trabajo fue para el caso del N, que mientras más aplicación de nitrógeno el cultivo expresa más rendimiento por lo tanto esto indica que con estas concentraciones de N el cultivo de algodón sigue rindiendo más sin problemas (Rosolem y Van Mellis, 2010).

En estudios realizados en el río amarillo de China en el año de 2011, se realizaron trabajos donde uno de los objetivos fue investigar la fertilización nitrogenada aplicada a través del sistema de riego por goteo, sobre el rendimiento del cultivo del algodón, las dosis utilizadas fueron: 120, 229 y 300 kg N ha⁻¹. Las cuales fueron asignadas a sub-parcelas, los resultados indicaron que la dosis más alta fue la que presentó el mejor rendimiento de fibra de 1604 kg/ha (Dong et al.,

2012). Lo anterior indicaría la necesidad de realizar investigación con dosis de fertilización nitrogenada mayores a los 300 kg de N ha⁻¹.

Para los parámetros de SPAD y concentraciones de NO₃, en cultivo algodonero es muy importante tener una buena referencia de en qué época del cultivo y que rangos se tiene que estar para saber si está bien nutrido nuestro cultivo y si vamos para los rendimientos esperados con nuestra fertilización.

Estudios realizados en Sao Pablo Brasil, en algodón unos de los objetivos que se evaluaron fueron el monitoreo de SPAD y concentraciones de NO₃, en diferentes épocas del cultivo para saber si la dosis de fertilización estaban en las óptimas condiciones para el rendimiento esperado, para el caso de SPAD los resultados fueron que la época optima de monitorear estado de nutrición con relación al N, es la segunda semana de haber empezado la floración y tiene que andar en rangos mayores a 48, para la concentración de NO₃, la mejor época de monitoreo para saber si N esta en rangos óptimos de la nutrición para los rendimientos esperados, la época es la segunda semana de floración y los rangos tiene que ser mayores o iguales a (8,000 mg L⁻¹ NO₃) para tener una buena nutrición problemas (Rosolem y Van Mellis, 2010).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del estudio y condiciones ambientales

El experimento se estableció en terrenos del Campo Agrícola Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas ubicado en el Ejido Nuevo León, B. C., coordenadas 32° 24' latitud norte y 115° 11' longitud oeste. En ésta región agrícola prevalece clima desértico cálido, extremoso en demasía y régimen de lluvias en invierno (BW [h'] hs [x'] [e']; INIFAP, 1985), con temperaturas de 50 °C durante el verano y en invierno hasta de -7 °C, con una temperatura media anual de 22.3 °C y una precipitación media anual de 58 mm, mientras que la altitud varía de -2 hasta los 43 *msnm* con una topografía por lo general plana. Se tomaron variables de temperaturas máximas, mínimas y promedio a través de una estación meteorológica ubicada a 450 m del experimento. Adicionalmente, se identificaron las unidades calor acumuladas utilizando como temperatura base 15.5 °C (Kerby et al., 1987). Previo a la siembra se realizó un análisis físico-químico del suelo y químico del agua.

5.2 Siembra y topología del cultivo

La siembra se realizó el día 21 de marzo del 2013, en forma mecánica con sembradora rustica de algodón, en seco a una hilera sobre surcos a 0.80 m de distancia. Se depositaron 16 semillas por m lineal. Se utilizó la variedad Deltapine 1219 bajo dos tipos de riego en dos experimentos por separado: goteo y rodado. En el sistema de riego por goteo, la superficie del experimento fue de 944 m² dividido en dos partes: primera parte (20 m largo y 25.6 ancho) la segunda (18 m

largo y 24 ancho) la cual se dividió en 16 parcelas de 64 m² con 4 surcos cada una, orientados de norte a sur.

El sistema de riego rodado, la superficie del experimento fue de 432 m² (54 m largo y 8 m ancho; Figura 1 y 2), se dividió en 10 parcelas de 5 surcos y un metro entre ellas para usarlo como camino.

5.3 Logística del experimento

Los tratamientos evaluados bajo el sistema de riego por goteo fueron cuatro dosis crecientes de nitrógeno: 11, 110, 220 y 440 Kg N ha⁻¹, identificados como T1, T2, T3 y T4 respectivamente, las cuales se distribuyeron bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones (Figura 1). Como parcela útil se cosecharon dos surcos centrales de 4 metros, de cada tratamiento. Para el caso del experimento de riego rodado, se evaluaron solo dos dosis de nitrógeno (0 y 220 kg N ha⁻¹). El diseño utilizado fue completamente al azar con cinco repeticiones (Figura 2). Cuando los rendimientos de cada experimento se compararon entre sí, se tomaron los datos de los tratamientos de 220 kg N ha⁻¹. Al azar se tomaron cuatro repeticiones del experimento de riego rodado y se compararon con las cuatro del experimento de riego por goteo.

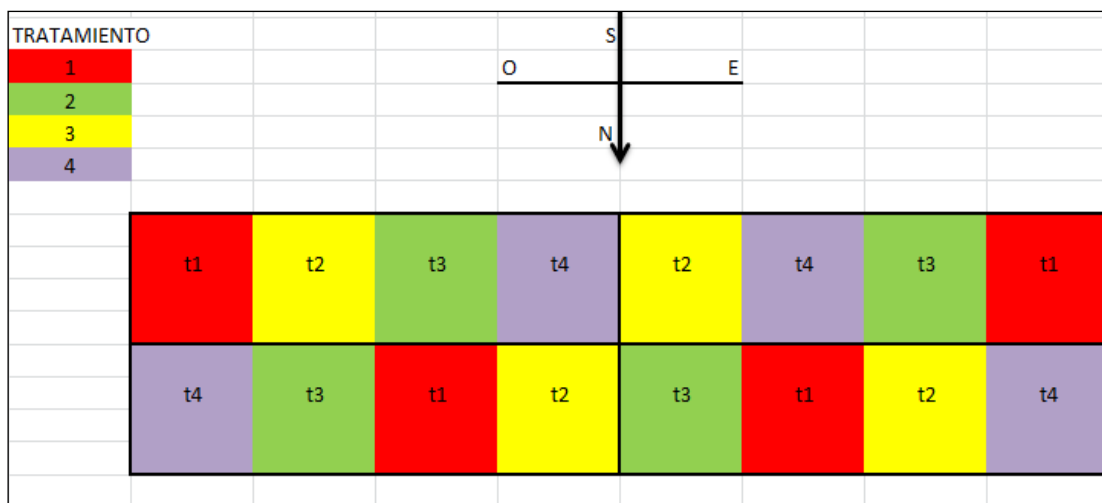


Figura 1. Distribución de los tratamientos en el experimento de riego por goteo; T1= 11, T2= 110, T3= 220 y T4= 440 Kg N ha⁻¹.

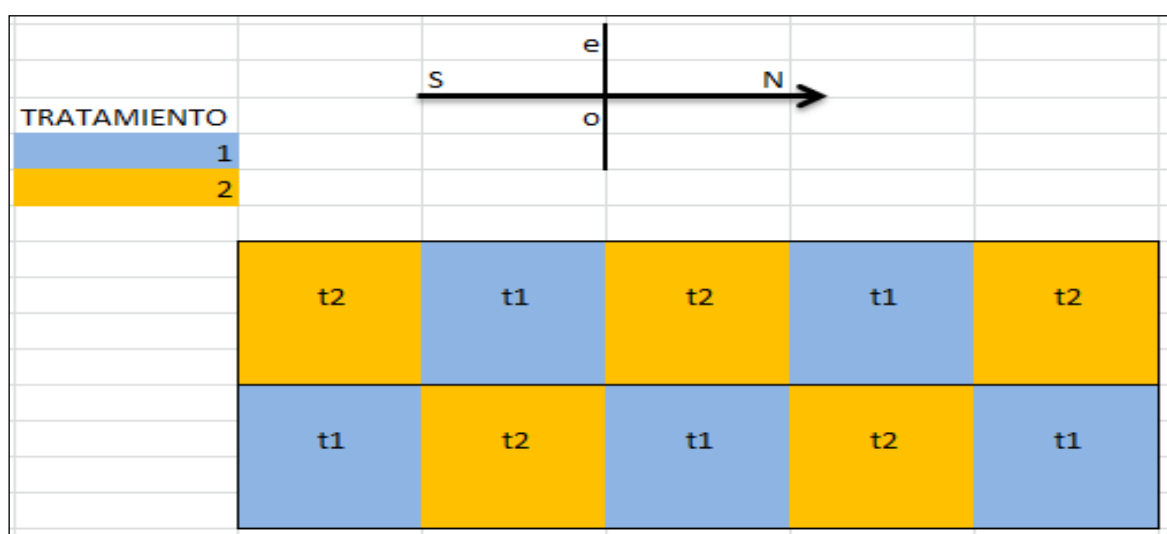


Figura 2. Distribución de los tratamientos en el experimento de riego rodado; T1= 11, T2= 220 Kg N ha⁻¹.

5.4 Fertilización y riegos

La fuente de fertilizante fue sulfato de amonio (21-00-00) fosfato monoamónico (11-52-00) UAN 32 (32-00-00) UREA (46-00-00). Para el caso del experimento de riego rodado, se utilizó la propuesta de INIFAP (2010; Cuadro 1). Mientras que para el experimento conducido con el sistema de riego por goteo, se

utilizó como guía de fertilización nitrogenada la curva de absorción nutrimental propuesta por Kafkafi y Tarchitzky (2012; Cuadro 2).

Cuadro 1. Programa de riego y fertilización nitrogenada en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*.) bajo riego rodado.

DDS	Riego	T1	T2
1	1er	11	22
30	2do		66
66	3ro		66
78	4to		66
Total		11 Kg N ha ⁻¹	220 Kg N ha ⁻¹

Cuadro 2. Programa de riego y fertilización nitrogenada en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*.) bajo riego por goteo.

DDS	T1	T2	T3	T4
1	11	11	22	44
7				
14		0.7	0.14	0.28
21		0.7	0.14	0.28
28		0.7	0.14	0.28
35		2.8	5.6	11.2
42		2.8	5.6	11.2
49		2.8	5.6	11.2
56		4.7	9.4	18.8
63		4.7	9.4	18.8
70		4.7	9.4	18.8
77		10.6	21.2	42.4
84		10.6	21.2	42.4
91		10.6	21.2	42.4
98		4.3	8.6	17.2
105		4.3	8.6	17.2
112		4.3	8.6	17.2

119		3.5	7	14
126		3.5	7	14
133		3.5	7	14
140		3.3	6.6	13.2
147		3.3	6.6	13.2
154		3.3	6.6	13.2
161		3.1	6.2	12.4
168		3.1	6.2	12.4
175		3.1	6.2	12.4
Total	11 Kg N ha ⁻¹	110 Kg N ha ⁻¹	220 Kg N ha ⁻¹	440 Kg N ha ⁻¹

Para el caso del riego por goteo se inició estableciendo un criterio basado en tensiómetros insertados a 30 cm en el lomo del surco además de utilizar parámetros de clima y etapa fenológica del cultivo. En general, el riego se inició con un riego pesado para germinar la semilla después dieron riegos frecuentes, según lecturas de 16, 25, 30 y 60 kPa (Figura, 1).

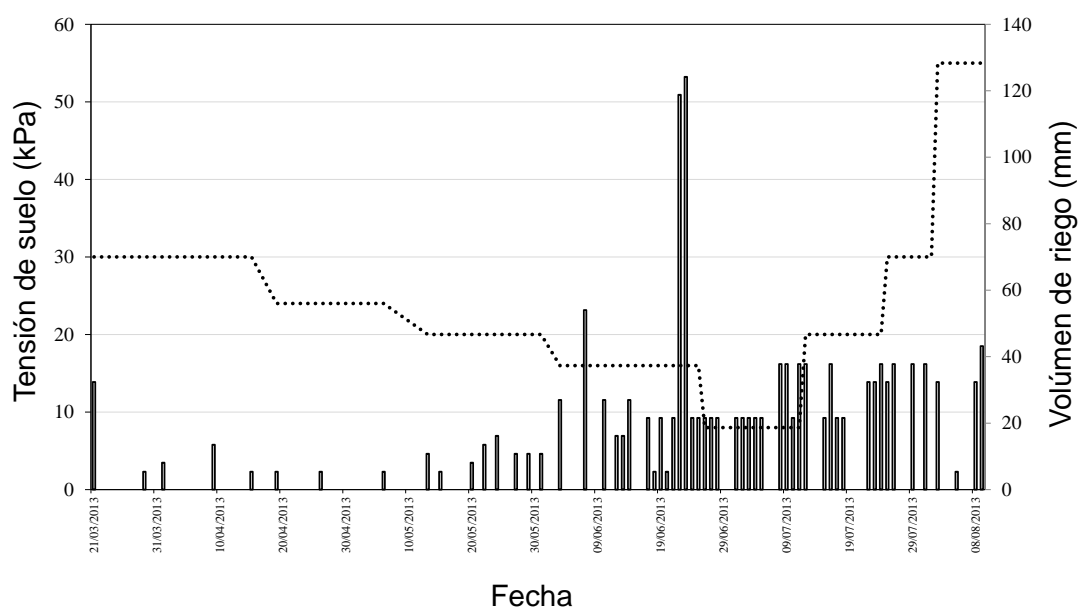


Figura 3. Criterios de humedad en suelo (kPa) y volúmenes de riego (mm) en el cultivo de algodón crecido bajo riego por goteo.

En el caso del riego rodado también se aplicó un riego de germinación, después se hicieron 3 riegos de auxilio para el desarrollo de la planta y aplicar en ellos la fertilización adecuada para su desarrollo (INIFAP, 2010).

5.6 Malezas y Plagas

Durante el primer mes de desarrollo del cultivo se presentó incidencia moderada de trips (*trips tabaci*), mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), el control fue Tamaron a dosis de 1 L ha⁻¹. También hubo presencia de gusano soldado pero no fue significativa debido a que era una variedad transgénica y traía el BT (*Bacillus turingensis*). Ya al final del cultivo se presentó un poco de chinche lygus (*Lygus gemellatus*) y no se hicieron aplicaciones. Para el caso de malezas, se presentó un complejo de hoja ancha y angosta, y fueron zacate de agua (*Cynodon dactylon* L. Pers) y qulite (*Amaranthus hybridus*) chual cenizo (*Chenopodium album*), oreja de ratón (*Sida hederasea*). Se erradicaron con limpias mediante control manual (con azadón) en los primeros días ya después como fue más grande la infestación se aplicó un dosis de glifosato ya que el algodón es tolerante a dicho herbicida. La dosis fue a razón de 4 L ha⁻¹, se realizaron dos aplicaciones con 15 días de diferencia.

5.7 Muestreo de SPAD y extracto celular del peciolo

La determinación del contenido de clorofila en las hojas se realizó, haciendo muestra compuesta tomando el dato de 5 plantas por repetición de cada tratamiento y haciendo un promedio, tomando en cuenta que al tomar la lectura se tiene que hacer entre 8 y 10 de la mañana, las fechas de muestreo fueron 11 de junio y 16 de junio. La lectura se tomó en la parte media, sin que las nervaduras

de la hoja obstruyan la lectura, la hoja muestreada fue la cuarta hoja debajo de la hoja más recientemente madura (HMRM). La cantidad de clorofila se midió con el aparato portátil SPAD 502 (Minolta Camera Co., Ltd., Japan^R).

Para el caso de la determinación de NO_3 en el extracto celular de peciolo, se realizó en las mismas fechas que la medición de la clorofila. Se cortaron 10 peciolos de cada tratamiento, tomándolos de la 4 HMRM, y de plantas diferentes, se clasificó en bolsas de plástico etiquetadas se guardaron en un recipiente hermético.

El muestreo se hizo en horario de 8:00 a 10:00 a. m. para evitar variaciones de nitratos durante el día (Hochmouth et al., 1988). Posteriormente en el laboratorio de agua y suelo UABC, el extracto celular se extrajo con una prensa manual para ajos y el análisis se hizo utilizando un medidor portátil de iones (Cardy Nitrate Ion Meter – Horiba, Inc^R).

5.8 Determinación del rendimiento

Cómo parcela útil para el caso de rodado se cosecharon 3 surcos de 4 m de cada tratamiento. En el goteo se cosecharon 2 surcos de 4 m de cada tratamiento. Se clasificaron en sacos y se llevaron a pesar a la báscula del área de las postas del ICA-UABC. Se pesó individualmente el rendimiento de cada parcela y para poder convertirlo a Ton ha^{-1} . Después se obtuvo una muestra de 100 gr de cada parcela y se separó la fibra y la semilla, se pesaron con la pesa electrónica (Mettler Toledo PB3001-S). Se hizo una conversión al rendimiento, además se obtuvo el índice de cosecha.

5.9 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las concentraciones de nitratos en ECP e índice SPAD, se relacionaron versus el rendimiento relativo (100%) de cada tratamiento aplicado en el experimento de riego por goteo. Para el caso de los resultados obtenidos de nitratos e índice SPAD del experimento de riego rodado, solo se incluyeron en el modelo gráfico obtenido, como referencia de lo que sucede en plantas cultivadas convencionalmente a plantas cultivadas bajo riego presurizado.

Para las variables de rendimiento, crecimiento y biomasa obtenidos en el experimento de riego presurizado, se realizaron análisis de regresión y se ajustó al mejor modelo obtenido (lineal o cuadrático). Para las variables obtenidas en el experimento de riego rodado, se realizó una prueba T-Student. La misma prueba se corrió al comparar las variables entre la dosis de 220 kg N ha^{-2} aplicada en ambos sistemas de riego. En todos los análisis estadísticos realizados se utilizó el programa MINITAB.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados que se obtuvieron en el presente experimento bajo las condiciones climatológicas del valle de Mexicali, fueron las siguientes:

6.1 Temperaturas y unidades calor acumuladas

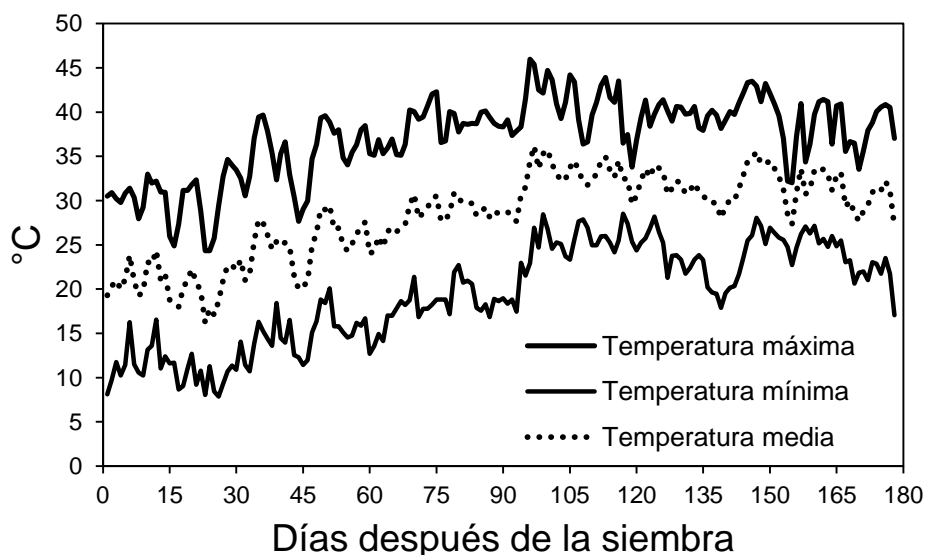


Figura 4. Evolución de las temperaturas ocurridas durante el experimento en el cultivo de algodón.

La figura 4 y 5, muestran la evolución de las temperaturas ocurridas durante el experimento y las unidades calor acumuladas (UCAs). En la etapa de germinación se tuvieron temperaturas promedio de 20 °C, en general se tuvo un promedio de germinación del 90% para los dos tipos de riego (rodado y goteo; dato no mostrado), durante el desarrollo vegetativo hasta formación de cuadros a flores (75 dds; 635 UCAs) se registraron temperaturas promedio de 31 °C, lo que dificultó la retención de cuadros por estrés al calor y menos disponibilidad de agua en el cultivo crecido bajo riego rodado, a diferencia del algodón crecido bajo el riego por goteo, resultados similares fueron encontrados por Rajak et al. (2006) cuando evaluó diferentes cantidades de agua aplicada al cultivo y bajo dos

diferentes sistemas de riego (goteo y rodado). Al final del estudio, durante la formación de bolas (frutos; 100 días en adelante; 1004 UCAs) las temperaturas oscilaron en un promedio los 35 °C.

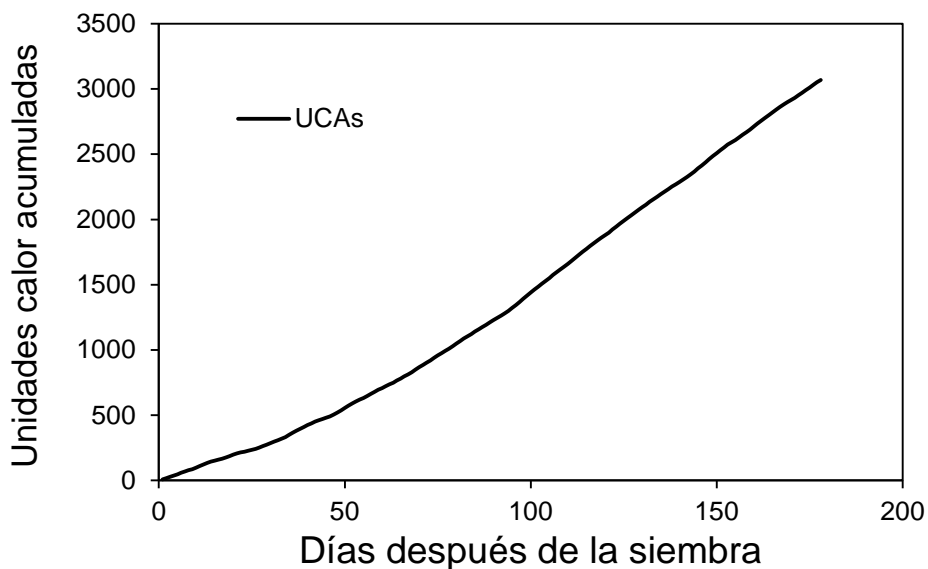


Figura 5. Acumulación de unidades calor ocurridas durante el experimento en el cultivo de algodón.

Reddy et al. (1997) describen que las temperaturas óptimas para tres diferente etapas de fenología del algodón son diferentes a fin de obtener un óptimo desarrollo dela planta. Mencionan que para la etapa de germinación las temperaturas deseadas deben oscilar entre los 23 °C, en la etapa de cuadros a floración las temperaturas óptimas fluctúan los 32 °C. En este experimento durante germinación se tuvieron temperaturas promedio de 20 °C, lo que favoreció la germinación de las plantas. La siguiente etapa vegetativa, los valores de temperaturas media fueron 30-35 °C favoreciendo también la apertura y retención de flores. Durante la última etapa denominada flores-frutos (bolas abiertas), Reddy et al. (1997) describen que temperaturas por encima de los 35 °C, favorecen el

desarrollo de esta tapa, esta situación ocurrió durante este experimento incluso se sostuvieron hasta el final del estudio (100 a 180 DDS, días después de la siembra; 1004 a 2284 UCAs).

6.2 Características del suelo y el agua de riego

Las características del suelo y del agua de riego se presentan en el cuadro 1 y 2. En ellos se aprecia que las cantidades de todos los macronutrientes se encuentran en forma moderadamente alta, lo que significa que la aplicación de cualquier nutriente a la planta responderá en forma mínima (Castellanos et al., 2000). Con respecto a los micronutrientes se encuentran sucedió lo mismo, al identificar niveles en forma moderadamente alta lo que repercutió en la obtención de óptimas condiciones para el funcionamiento de las plantas (Cadahía et al., 2008). Por otro lado, el análisis de agua también da una apreciación de la calidad de agua que se usó para el experimento.

Cuadro 3. Características de fertilidad de los suelos utilizados en el estudio.

Parámetro	Goteo	Rodado
	Unidades	Unidades
Materia orgánica (%)	3.46	1.36
Fósforo (Olsen) (mg Kg ⁻¹)	152	25.2
Potasio (mg Kg ⁻¹)	1286	286
Calcio (mg Kg ⁻¹)	5427	3935
Magnesio (mg Kg ⁻¹)	1179	662
N-NO ₃ (mg Kg ⁻¹)	38.6	30.2
pH (1:2 agua)	7.97	7.27
Carbonatos totales (%)	15.5	10.2
Salinidad (CE extracto dS/m)	11.9	5.44
Textura	Arcilla	Franco
Conductividad hidráulica (cm/hr)	0.18	2.10
Densidad aparente (g/cm ³)	1.09	0.93
Porcentaje de sodio intercambiable	15.7	9.4

Cuadro 4. Características de la calidad del agua de riego.

Parámetro	Unidad
pH (1:2 agua)	8.01
Bicarbonatos totales	152 ppm
Conductividad eléctrica	1.34 dS/m
Potasio	0.12 meq/L
Sodio	5.65 meq/L
Calcio	5.9 meq/L
Magnesio	1.79 meq/L
Cloro	7.04 meq/L
Sulfatos	3.83 meq/L
Bicarbonatos	2.49 meq/L

6.3 Manejo del riego en el cultivo de algodón

En la Figura 6, se muestra la evolución de la aplicación de la lámina de riego aplicada al cultivo de algodón bajo riego por goteo, durante sus días de desarrollo. En ella se aprecian tres etapas de demanda del cultivo, la primera fue desde el establecimiento del cultivo y hasta los 60 DDS la cantidad de lámina aplicada fue baja (alrededor de 100 mm), lo anterior debido a las condiciones climáticas prevalecientes (20 °C promedio). INIFAP (2010), recomienda que durante los primeros 60 DDS se aplique una lámina de riego de 121 mm. Se aprecia una segunda etapa de demanda de agua de riego desde los 60 y hasta los 100 DDS. Conforme las temperaturas se incrementaron (27 °C promedio) también el

crecimiento del cultivo se incrementó (Yang et al., 2011), en este caso, se aplicó un total de 435 mm. INIFAP, (2010) por su parte recomienda una lámina de aplicación 290 mm.

La tercera y última etapa se refiere a los 100 DDS en adelante y hasta que el cultivo de cosechó. La cantidad de agua aplicada llegó a los 510 mm para finalizar con un total de 1045 mm en todo el ciclo del cultivo. En esta etapa, las temperaturas promedio los 31 °C, y el ciclo reproductivo del cultivo se encontraba en su máxima expresión. Por su parte INIFAP, (2010) menciona esta etapa como la de mayor demanda en algodón, y refieren una lámina de riego a aplicar de 642 mm.

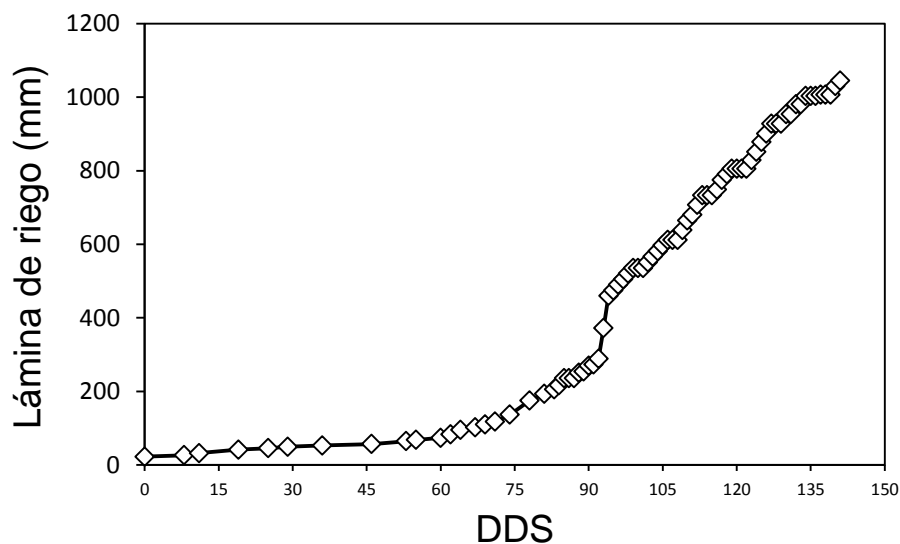


Figura 6. Acumulación de agua de riego aplicada al cultivo de algodón bajo riego por goteo.

En la Figura 7. Se muestra la dinámica de aplicación de la lámina riego durante el experimento del algodón bajo condiciones de riego rodado. En total se realizaron 4 riegos. El primero fue justo después de la siembra y representó el

riego de germinación, los siguientes fueron a los 30, 66 y 78 DDS. Las láminas aplicadas fueron de 172, 99, 172 y 172 respectivamente. La lámina total aplicada para este sistema de riego fue de 615 mm. Con la humedad residual, el cultivo alcanzó la etapa de madurez de las frutas (bolas) y se llegó a cosecha.

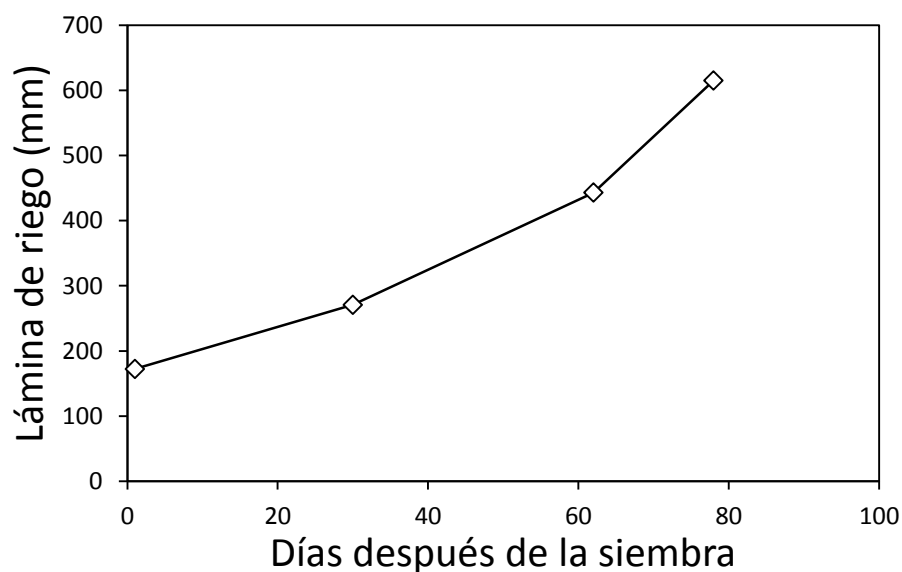


Figura 7. Acumulación de agua de riego aplicada al cultivo de algodón bajo riego rodado.

En el cultivo de algodón regado bajo riego rodado, INIFAP (2010), recomienda una lámina de 1053 mm para un óptimo desarrollo y rendimientos de 1.15 Ton ha⁻¹, para el caso del riego por goteo la lámina fue similar con 1045 mm aplicados de agua total. El sistema de riego por goteo permite manejar óptimamente el régimen de humedad del suelo y permite tener menor estrés hídrico por lo tanto repercute en el rendimiento de los cultivos (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

Para el caso de riego rodado la lámina fue mucho menor debido que en el valle de Mexicali, usualmente se recomienda sembrar el cultivo en tierra húmeda

(venida) como una práctica de manejo cultural de control de malezas, lo que significa un riego adicional. Enciso et al. (2002) describe que una óptima lámina de riego aplicada al algodón para su buen desarrollo bajo condiciones de Texas U.S.A. es de 1193 mm. Lo anterior describe que el cultivo bajo riego goteo en este experimento estuvo en rangos óptimos de humedad con una menor lámina de riego aplicada. Por otra parte, al cultivo de algodón crecido bajo condiciones de riego rodado se le realizó control de malezas en forma manual y química, lo que representó omitir un riego adicional (riego muerto o de pre-siembra) y a su vez tener una lámina de riego menor a lo comúnmente aplicado (INIFAP, 2010).

6.4 Rendimiento y calidad en riego por goteo

En la Figura 8, se ilustran los rendimientos obtenidos en el algodón bajo riego por goteo y se observa que los tratamientos 11, 110 y 220 kg N ha⁻¹ resultaron estadísticamente iguales, con un rendimiento promedio de 3.7 a 4.0 Ton ha⁻¹ y el tratamiento de 440 kg N ha⁻¹ resultó estadísticamente diferente y menor a los demás con un rendimiento promedio de 2.2 Ton ha⁻¹.

Los altos rendimientos de tratamiento de 11 kg N ha⁻¹, pudieron deberse al alto contenido de materia orgánica (MO; 3.46 %) y de N-NO₃ (38.6 mg kg⁻¹) presente en el suelo. Al respecto, Hartz et al., (2000) realizó estudios en suelos tipo vertisol, similares a los del valle de Mexicali, y propuso una fórmula que indica que dichos suelos poseen una alta tasa de mineralización de N mineral (NH₄ y NO₃) por parte de la MO. En este caso, utilizando dicha fórmula: tasa de mineralización de la MO mg día kg de suelo = 0.08 + 0.013 x MO, se calculó que en el suelo del estudio se mineralizó una cantidad de 1.7 kg N ha⁻¹ día.

De igual manera, tomando en cuenta la densidad aparente del suelo (1.09 g cm^3) así como una profundidad de 30 cm en una hectárea, y al convertir los 38.6 mg Kg^{-1} de N-NO_3 del suelo a kg presentes en una hectárea, se tendría en teoría una cantidad de 127 kg ha^{-1} al inicio del experimento. Por lo tanto y tomando en cuenta que el cultivo de algodón tiene una demanda de $2.15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ día}$ (Halevy et al., 1987), es posible que la cantidad de MO y N-NO_3 presente en el suelo hayan cubierto las necesidades del cultivo durante su crecimiento.

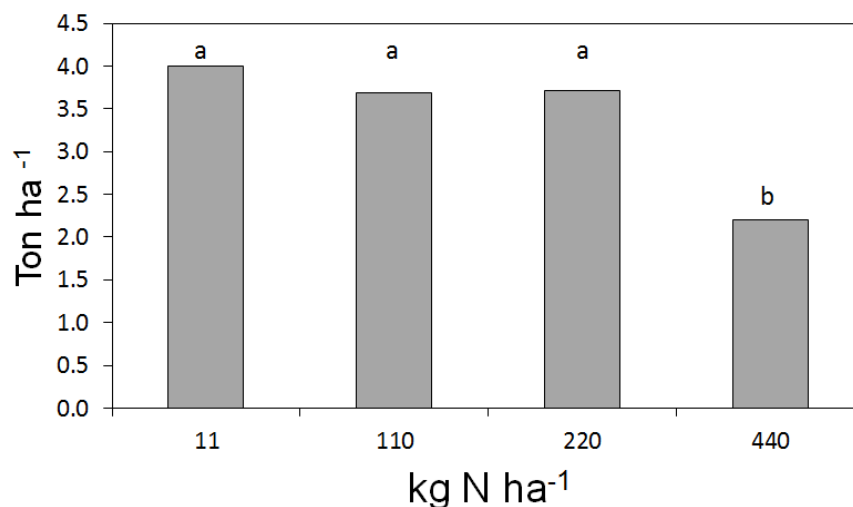


Figura 8. Respuesta en rendimiento del cultivo de algodón a la fertilización nitrogenada bajo riego por goteo.

Por su parte Castellanos et al, (2000) menciona que la respuesta de los cultivos a la aplicación de algún nutriente depende de la cantidad mínima presente en el suelo. Por lo tanto a mayor cantidad de nutriente en el suelo, menor es la respuesta por parte del cultivo a la aplicación de dosis adicionales de dicho nutriente, esto explicaría los resultados obtenidos para los tratamientos de 110 y 220 kg N ha^{-1} . También menciona que aplicar altas dosis de un nutriente en un suelo con grandes concentraciones de dicho nutriente, los rendimientos pueden

resultar afectados. Tal podría haber sido el caso lo que sucedió con el tratamiento de 440 kg N ha⁻¹.

Los rendimientos obtenidos en este experimento resultan ser superiores a los comúnmente encontrados en Mexicali en el cultivo de algodón manejado bajo riego rodado (INIFAP, 2010), y superaron a los obtenidos por Rajak et al. (2006) quienes obtuvieron rendimientos con riegos por goteo de 1.8 ton ha⁻¹ al igual que los obtenidos por Oweis et al., (2011) quienes encontraron rendimientos de 3.2 y 3.5 ton ha⁻¹.

6.5 Rendimiento en algodón bajo riego rodado

En la figura 9, se muestran los resultados obtenidos en el sistema de riego rodado y se aprecia que los rendimientos de los tratamientos 11 y 220 kg N ha⁻¹ fueron estadísticamente iguales. Los rendimientos promedio oscilaron entre 1.4 a 2.5 Ton ha⁻¹. Los bajos rendimientos obtenidos en riego rodado, en comparación al sistema de riego por goteo, posiblemente se debieron a la moderada concentración de M.O. (1.36%), y a las condiciones físicas y químicas del suelo, las cuales no eran tan desfavorables para su desarrollo (Cuadro 3), así como a los altibajos de humedad que presentan los cultivos entre cada riego, a diferencia de humedad constante que experimentan los cultivos manejados bajo riego por goteo. En comparación con estudios realizados en condiciones similares de clima, en un experimento realizado en Arizona por Enciso et al. (2002), en el cultivo del algodón bajo riego rodado, se tuvieron rendimientos de 1 a 1.3 Ton ha⁻¹.

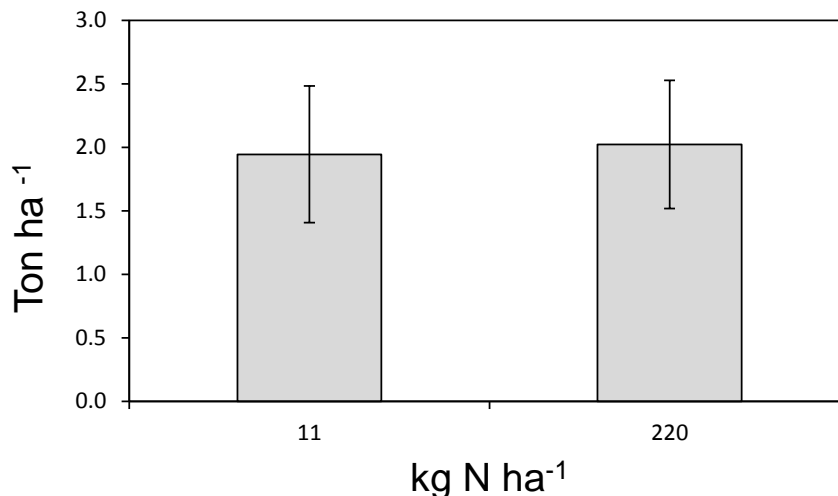


Figura 9. Respuesta en rendimiento del cultivo de algodón a la fertilización nitrogenada bajo riego rodado.

6.6 Riego goteo *versus* riego rodado

El cuadro 5 muestra la comparación de los dos sistemas de riego. Se tomó como referencia la fertilización de 220 kg N ha⁻¹ y lo recomendado por INIFAP (2010; 1.58 Ton ha⁻¹). El sistema riego rodado rindió 27% más que lo recomendado INIFAP (2010), mientras que el sistema de goteo tuvo un incremento de 134 % con respecto a lo recomendado por INIFAP (2010).

En lo referente a la aplicación de la lámina de riego, el sistema de riego rodado utilizó el 42 % menos agua que lo recomendado por INIFAP (2010; 1053 mm). Una situación que se debe tomar en cuenta fue que en este estudio, no se aplicó un riego en pre-siembra, lo cual es característico realizado por los productores. Por lo anterior, por eso pudo haber reducido la lámina de riego utilizada en el riego rodado. Por otro lado, el cultivo regado con el sistema de riego por goteo utilizó solamente el 1% menos que lo recomendado por INIFAP (2010).

Cuadro 5. Rendimiento, lámina de riego y uso eficiente del agua del cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego.

Sistemas de riego	Rendimiento (Ton ha ⁻¹)	Lámina de riego (mm)	UEA (kg/mm)
Riego goteo	3.70	1045	3.54
Riego rodado	2.02	615	3.28
Recomendado [†]	1.58	1053	1.50
Significancia	**		**

*: Significancia al $P \leq 0.01$. †: INIFAP, 2010.

Analizando el uso eficiente del agua, el sistema de rodado fue un 118 % más eficiente que lo recomendó por INIFAP, (2010) produciendo 3.28 kg de fibra por mm de agua aplicado, mientras que el sistema de riego por goteo fue altamente eficiente con un 136 % más que lo recomendado por INIFAP, (2010) produciendo 3.54 kg por mm de agua aplicada.

6.7 Índice SPAD en el cultivo de algodón.

En la figura 10, se muestran los valores promedio SPAD obtenidos tanto el sistema de riego rodado como en el de goteo a los 83 DDS/ 718 UCAs. Se encontró una relación cuadrática entre el rendimiento y el índice SPAD en los valores obtenidos de plantas crecidas bajo riego por goteo. Los valores fluctuaron entre las 46 y las 48 unidades SPAD y después decrecieron junto con los rendimientos. Lo que significaría que un mayor verdor de la planta no incrementa los rendimientos. Wei-Qun et al. (2007) realizaron mediciones en plantas de algodón bajo diferentes dosis de nitrógeno (0-480 kg ha⁻¹). Ellos encontraron que el índice SPAD incrementó conforme la dosis de fertilizante nitrogenado incrementaba. Por su parte, Rosolem y van Mellis (2010) indican que el monitoreo de índice SPAD tiene relación lineal con el rendimiento solo en etapas cercanas a floración, justo después de los 65 DDS.

Sin embargo, al ingresar los valores obtenidos de plantas crecidas bajo riego rodado, no se encontró relación alguna con los valores y la ecuación desarrollada de los datos de plantas crecidas bajo riego goteo.

En la figura 11 se ilustra el segundo muestreo del índice SPAD realizado a los 118 DDS/ 1287 UCAs, de los dos sistemas de riego goteo y rodado, en esta fecha se indica que entre el índice SPAD y el rendimiento no hubo relación en ninguno de los dos experimentos de riego realizados. Lo anterior indica que en esta fecha no resultó ser representativa para evaluar el rendimiento en relación al verdor de la planta y saber si el cultivo del algodón está en condiciones óptimas para su crecimiento y desarrollo.

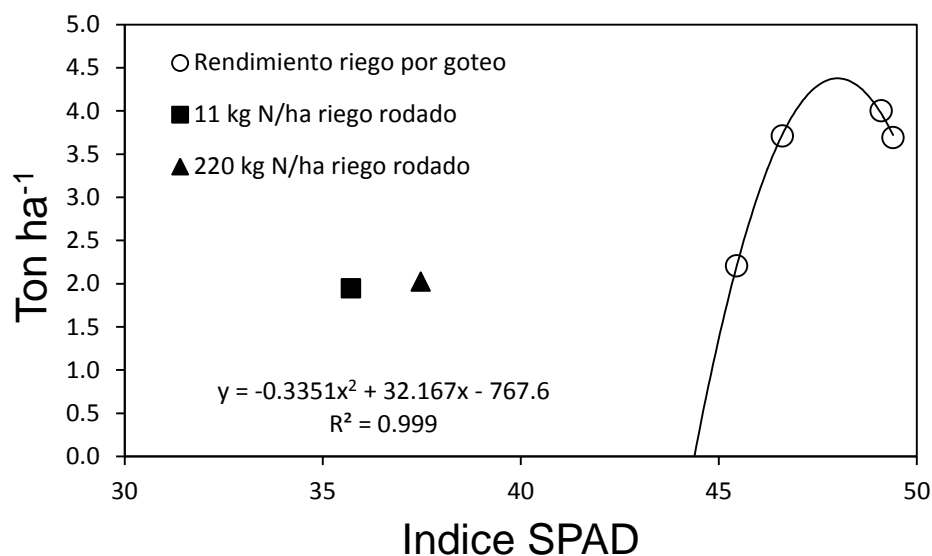


Figura 10. Relación entre el índice SPAD (83 DDS y 718 UCAs), y el rendimiento en el cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego.

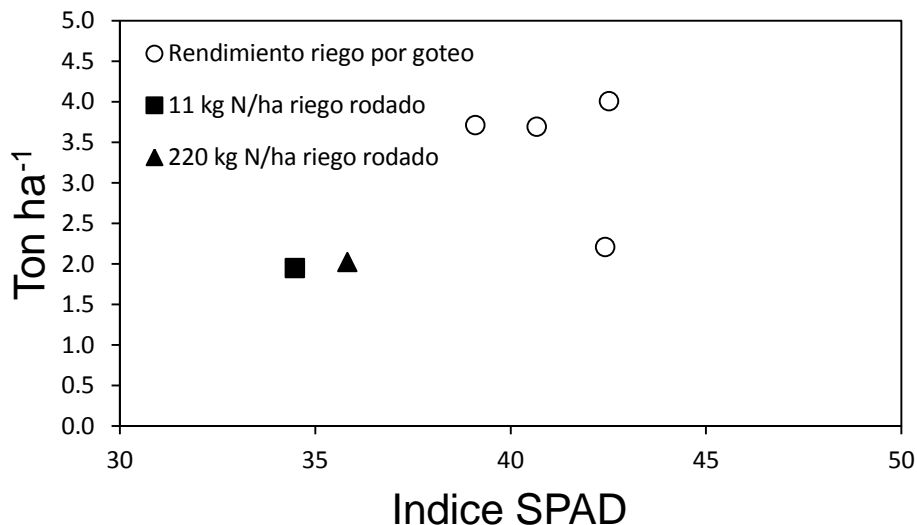


Figura 11. Relación entre el índice SPAD (118 DDS y 1287 UCAs) y el rendimiento en el cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego

Éstos resultados son contrarios a los encontrados por Wei-Qun et al. (2007) y por Rosolem y van Mellis (2010). Es recomendable continuar estudiando este comportamiento de índice SPAD en relación al rendimiento en futuros estudios, sobretodo en variedades que presentan diferente verdor entre ellas (Wei-Qun et al., 2007).

6.8 Nitratos en el extracto celular de pecíolo en el cultivo de algodón

El análisis de nutrientes en los pecíolos del cultivo de algodón ayuda en la fertilización del cultivo y proporciona una manera de identificar deficiencias o excesos de nutrientes (López et al., 2010). Las figuras 12 y 13 muestran la concentración de nitratos en el extracto celular de pecíolo en el cultivo de algodón durante los 83 y 118 DDS (718 y 1287 UCAs). En la primera fecha las concentraciones fueron mayores a las encontradas en la segunda fecha, presentando valores de 1300 a 2700 y 550 a 1450 mg L⁻¹ de NO₃,

respectivamente. A los 83 DDS no se encontró relación entre las concentraciones de NO_3 , y el rendimiento del cultivo para las plantas cultivadas en los dos tipos de riego (goteo y rodado). Mientras que a los 118 DDS, la respuesta encontrada fue cuadrática ($Y = -1\text{E-}05x^2 + 0.0273x - 10.065$ $R^2 = 0.9999$). El modelo mostró que el mayor rendimiento puede ser alcanzado a una concentración de 1000 mg L^{-1} de NO_3 .

Es importante notar que a los 83 DDS, se incluyeron los valores de NO_3 procedentes de plantas manejadas bajo riego rodado, mientras que a los 118, no se incluyeron, debido a muestras no fueron analizadas. López et al. (2010), hizo estudios en España sobre concentraciones de nitratos en algodón con relación al rendimiento y encontró los mayores rendimientos con concentraciones de $4,140 \text{ NO}_3 \text{ mg L}^{-1}$.

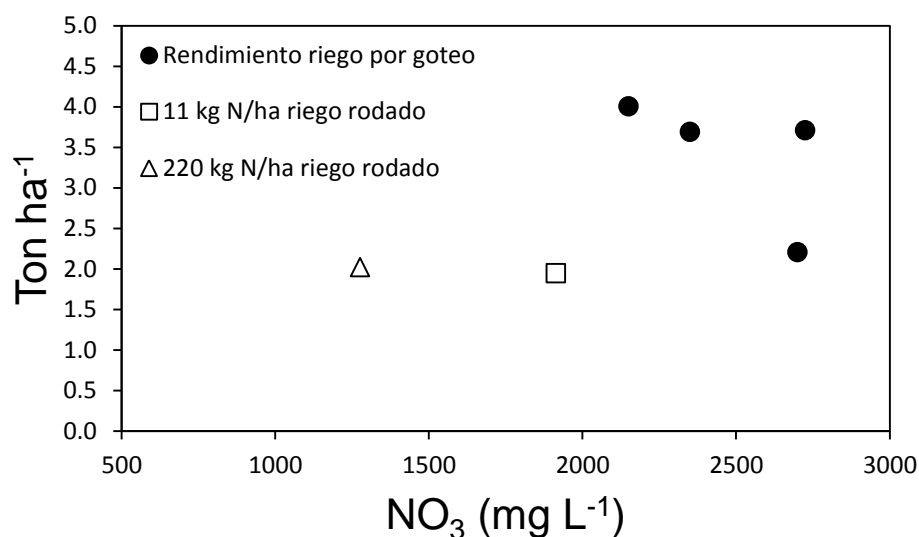


Figura 12. Relación entre la concentración de nitratos en el extracto celular de pecíolo (83 DDS y 718 UCAs) y el rendimiento en el cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego.

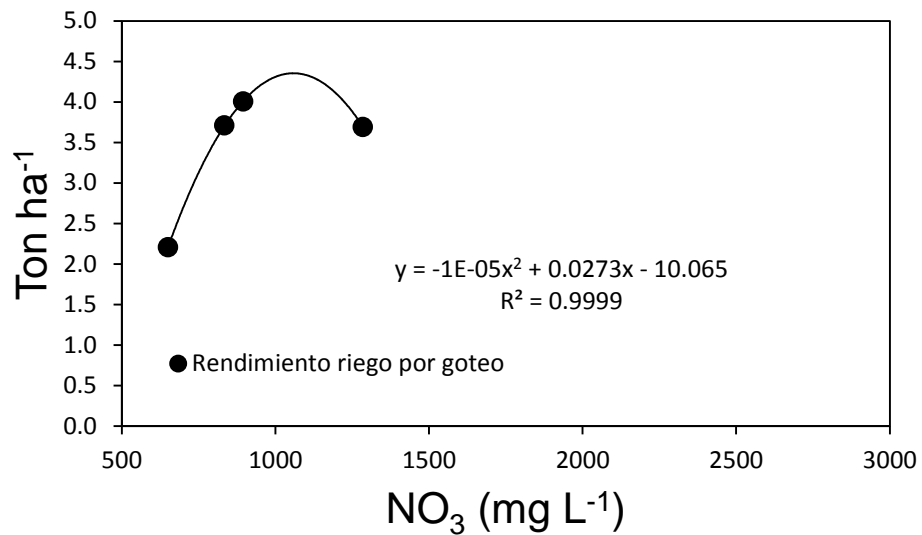


Figura 13. Relación entre la concentración de nitratos en el extracto celular de pecíolo (118 DDS y 1287 UCAs) y el rendimiento en el cultivo de algodón bajo dos sistemas de riego.

VII. CONCLUSIONES

- En el cultivo de algodón bajo riego por goteo, el tratamiento de 440 kg N ha⁻¹, tuvo el menor rendimiento de fibra.
- En ambos sistemas de riego, la falta de respuesta de rendimiento a dosis altas de nitrógeno en el cultivo de algodón, pudieron deberse a las cantidades de materia orgánica (3.46 %) y altas concentraciones de nitrógeno en el suelo (38.6 mg Kg⁻¹ de N-NO₃).
- En el cultivo de algodón bajo riego rodado, no se encontró respuesta en rendimiento de fibra a la aplicación de nitrógeno.
- El cultivo de algodón manejado con sistema de riego por goteo, tuvo una mayor eficiencia de utilización de agua por kg de algodón producido.
- En plantas cultivadas bajo riego por goteo, se encontró una relación entre el rendimiento y el índice SPAD a los 83 DDS.
- Los mayores rendimientos se relacionaron a valores de 46 y las 48 unidades SPAD a los 83 DDS.
- No se encontró relación entre el rendimiento y los valores SPAD a los 118 DDS.
- No se encontró relación entre el rendimiento y los valores NO₃ a los 83 DDS.
- Se encontró relación entre el rendimiento y los valores NO₃ a los 118 DDS.
- Los mayores rendimientos se relacionaron a valores de 1000 mg L⁻¹ de NO₃, a los 118 DDS.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bar-Yosef, B. 1992. "Fertilization under drip irrigation". En Fluid Fertilizer. Science and Technology. Ed.: D. A. Palgrave. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 285-329.
- Borghi, 1999. Nitrogen As determinant of wheat growth and yield. Wheat ecology and physiology of yield determination satorre E.H y slarre GA. Editors. 503 pg.
- Cadahia, C., E Eymar, J Lucena, T Montalvo, M Luz. 2000. Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales Ed: Mundi-Prensa, Pg. 23 25.
- Cadahia, C., F Yañes., C. de la cueva. 2008. La savia como índice de fertilización : cultivos agroenergéticos, hortícolas, ornamentales y frutales Ed. Mundi-Prensa pg: 65.
- Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Colección INCAPA, 2a Ed. 226 p.
- Dong , H., Li, W., Eneji, A., y Zhang, D. 2012. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field. Fiel crops research. 126: 137-144.
- Echeverria, HE y H Sainz Rosas, 2005. Nitrógeno, Pg. 69 – 95. En: HE. Echeverria y Fo. Garcia (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilidad de Cultivos. Ditorial INTA. Buenos aires, argentina.
- Enciso, J., W, Multer. y P, Colaizzi. 2002. Irrigating cotton with salty water and Subsurface Drip Irrigation. The society for engineering in agricultural, food, and biological systems 3: 1 – 6.
- Hagin, J., M. Sneh y A. Lowengart-Aycicegi. 2002. "Fertigation – Fertilization through irrigation". IPI Research Topics N° 23. Ed.: A. E. Johnston. International Potash Institute, Basilea (Suiza).
- Heckman, J.R., R. Samulis, P. Nltzsche. 2002. Sweet Corn Crop Nitrogen Status Evaluation by Stalk Testing. Hortscience 37(5):783-786. Heckman, J.R., R. Samulis, P. Nltzsche. 2002. Sweet Corn Crop Nitrogen Status Evaluation by Stalk Testing. Hortscience 37(5):783-786.
- Huang, J., F. He, K. Cui a, R.J. Buresh, B. Xu, W. Gong, S. Peng . 2008. Determination of Optimal Nitrogen Rate for Rice Varieties Using a Chlorophyll Meter. Field Crops Research 105:70–80.
- Halevy, J., A. Marani y T. Markovitz. 1987. Growth and NPK uptake of high yielding cotton grown at different nitrogen levels in a permanent-plot experiment. Plant and Soil 103: 39 – 44.

- Hartz, T.K W.E. Bendixen. y L. Wierdsma. 2000. The Value of Presidedress Soil Nitrate Testing as a Nitrogen Management Tool in Irrigated Vegetable Production. *Hort Science* 35(4): 651–656.
- Hochmuth, G. J., P. R. Gilreath, E. A. Hanlon, G. A. Clark, D. N. Maynard, C. D. Stanley, and D. Z. Hamon. 1988. Evaluating plant N status with plant sap quick-test kits. *Proc. Tomato Institute. Fla. Coop. Ext. Serv. Spec. Series. SS-VEC 801:6-14.*
- Kafkafi U., y J. Tarchitzky. 2012. Fertirrigación una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. *International Potash Institute.* 138 p.
- Kerby, T. A., M. Keeley, and S. Johnson. 1987. Growth and Development of Acala Cotton. *Bulletin 1921. Agricultural Experimental Station, University of California. Oakland, CA.*
- López, M., A. de Castro, J.C. Gutiérrez y E.O. Leidi. 2010. Nitrate and potassium concentrations in cotton petiole extracts as influenced by nitrogen fertilization, sampling date and cultivar. *Spanish Journal of Agricultural Research.* 8(1): 202-209.
- Malhi, S.S., C.A. Grantb, A.M. Johnstona, K.S. Gill. 2001. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. *Soil & Tillage Research* 60:101–122.
- Oweis, T.Y., H.J. Farahanib. y A.Y. Hachumc. 2011. Evapotranspiration and water use of full and deficit irrigated cotton in the Mediterranean environment in northern Syri. *Agricultural Water Management* 98: 1239–1248.
- O'lery Mike, Rehm George and Shmitt Michael 1994. Understanding Nitrogen in soils. University of Minesota Extension. (Consultado el 10 abril del 2014) <http://www.etencion.umn.edu/distribution/cropsvistemas/dc3770.html>
- Rajak, D., M.V. Manjunatha., G.R. Rajkumar., M. Hebbara y P.S. Minhas. 2006. Comparative effects of drip and furrow irrigation on the yield and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in a saline and waterlogged vertisol. *Agricultural Water Management* 8 3: 30 – 3 6.
- Rosolem, C.A., y van Mellis, V. 2010. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. *R. Bras. Ci. Solo.* 34: 1601-1607.
- Reddy, K, R., H, F, Horges y J, M, Mckiniom. 1997. Crop modeling and alications a cotton example. *Advances in Agronomy.* 225-290.

- Wei-qun, qu., W, Shao-hua., CH, Bing-lin, chen., W, You-hua., y Z Zhi-guo., 2007. SPAD value of cotton leaves on main stem and nitrogen diagnostic for cotton growth. *Acta agronomica sinica*. 33(6): 1010-1017.
- Yang, G., Y. Nie y X. Zhang. 2011. Responses of cotton growth, yield, and biomass to nitrogen split application ratio. *European Journal of Agronomy*. 34:164-170.
- Zhao, D., K. Raja-Reddy, V. Gopal-Kakania, V.R. Reddyb. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *Europ. J. Agronomy* 22:391–403.