



UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

EFFECTO DE 3 VOLUMENES DE AGUA Y 3 DOSIS DE NITROGENO
EN EL CULTIVO DE LA COLIFLOR (*Brassica oleraceae* var. *botrytis* L.)
BAJO RIEGO POR GOTEIO

TESIS DE MAESTRIA EN CIENCIAS

VICTOR MANUEL BURQUEZ DELGADO

1998

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

**EFFECTO DE 3 VOLUMENES DE AGUA Y 3 DOSIS DE NITROGENO
EN EL CULTIVO DE LA COLIFLOR (*Brassica oleraceae* var. *botrytis* L.)
BAJO RIEGO POR GOTEIO**

SOMETIDA A LA CONSIDERACION DEL
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SONORA

POR

VICTOR MANUEL BURQUEZ DELGADO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN
HORTICULTURA

Esta tesis se realizó bajo la dirección del Consejo

Particular y aceptada como requisito para

la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN

HORTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR:



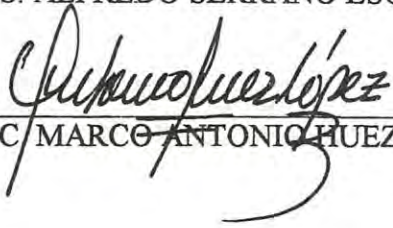
DR. JULIO RODRÍGUEZ CASAS

ASESOR:



M.S. ALFREDO SERRANO ESQUER

ASESOR:



M.C. MARCO ANTONIO HUEZ LOPEZ

Hermosillo, Sonora, Junio de 1998

DEDICATORIA

Dedico la presente Tesis a aquellas personas que colaboraron en su elaboración, especialmente:

Mis Padres: Víctor Manuel Búrquez Cano
Josefina Delgado de Búrquez

A mis Hermanas: Brenda
Claudia
Violeta

A mis Asesores: Julio Rodríguez Casas
Alfredo Serrano Esquer
Marco A. Huez López

A mis Amigos: Varios

AGRADECIMIENTOS

Con Amor, Respeto y Gratitude

A Dios:

Por su eterno amor, al otorgarme lo más valioso; la vida y su protección durante el trayecto de mis estudios y futuros éxitos.

A mis Padres y Hermanas:

Con todo mi amor para ustedes, porque nunca han sido ni ancla, ni vela, sino luz que ilumina mi camino.

Dios los bendiga

A mi Alma Mater:

Por permitirme ser parte de su historia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología:

Por el apoyo económico brindado para fomentar la investigación.

A mis Maestros y Asesores:

Por transmitirme sus conocimientos, porque aportando su mejor esfuerzo, impulsaron mi ser para formar un espíritu firme, honesto y tenaz.

Mil gracias

A mis Compañeros y Amigos:

Porque cada experiencia compartida, construyó nuestro pasado, formó nuestro presente y labrará nuestro futuro..... nuevas vivencias estarán siempre en nuestro presente, como la satisfacción de ganarle hoy un reto más a la vida.

CONTENIDO

| | Pag. |
|--|------|
| CARTA DE APROBACION | iii |
| INDICE DE CUADROS | vii |
| INDICE DE FIGURAS | ix |
| RESUMEN | x |
| ABSTRACT | xii |
| I INTRODUCCION | 1 |
| II LITERATURA REVISADA | 3 |
| 2.1 Importancia económica | 3 |
| 2.2 Problemática del agua | 4 |
| 2.3 Necesidades de agua | 5 |
| 2.4 Necesidades de N | 7 |
| 2.5 Métodos de Análisis | 9 |
| 2.6 Cultivo | 11 |
| III MATERIALES Y METODOS | 13 |
| 3.1 Tratamientos | 13 |
| 3.2 Volúmenes de agua | 15 |
| 3.3 Niveles de N | 19 |
| 3.4 Manejo agronómico | 21 |
| 3.5 Cosecha | 22 |
| IV RESULTADOS Y DISCUSION | 23 |
| 4.1 Concentración de NO_3^- | 23 |
| 4.2 Rendimiento por corte | 25 |
| 4.3 Peso de cabeza | 28 |
| 4.4 Rendimiento total | 30 |
| 4.5 Diámetro de cabeza | 31 |
| 4.6 Láminas de agua aplicada | 32 |
| 4.7 Superficie de respuesta | 33 |
| CONCLUSIONES | 35 |
| BIBLIOGRAFIA | 37 |
| APENDICE A: ANALISIS ESTADISTICOS | 39 |
| APENDICE B: CUADRO DE DATOS | 43 |

INDICE DE CUADROS

| | | Pag. |
|------------|---|------|
| Cuadro 1. | Cálculo hidráulico de la red de riego | 18 |
| Cuadro 2. | Etapas de aplicación de nitrógeno durante el experimento | 19 |
| Cuadro 3. | Diámetro promedio de cabezas de coliflor para cada corte según los diferentes Kc evaluados | 32 |
| Cuadro 4. | Láminas aplicadas en cada una de las etapas del cultivo..... | 33 |
| Cuadro 5. | Análisis de varianza para la variable NO ₃ ⁻ en savia para los diferentes factores en estudio e interacciones..... | 40 |
| Cuadro 6. | Análisis de varianza para la variable NO ₃ ⁻ en savia en la primera y segunda etapa de muestreo para los factores volumen de agua, dosis de N e interacción | 40 |
| Cuadro 7. | Análisis de varianza para la variable NO ₃ ⁻ en savia en la tercera y cuarta etapa de muestreo para los factores volumen de agua, dosis de N e interacción..... | 40 |
| Cuadro 8. | Análisis de varianza para la variable rendimiento por corte, porcentaje de cosecha y peso de cabeza | 41 |
| Cuadro 9. | Análisis de varianza para la variable rendimiento y peso de cabeza en el primer, segundo y tercer corte para los factores volumen de agua, dosis N e interacción | 41 |
| Cuadro 10. | Análisis de varianza para la variable biomasa fresca, rendimiento total y rendimiento relativo | 42 |
| Cuadro 11. | Análisis de varianza para la variable diámetro de cabeza en el primer y segundo corte | 42 |
| Cuadro 12. | Tiempo y presión de aplicación de las dosis de N durante el experimento | 44 |
| Cuadro 13. | Tiempos de riego promedio y evaporaciones promedio durante las etapas de aplicación del tratamiento Kc=1.00 | 44 |

| | Pag. |
|--|------|
| Cuadro 14. Tiempos de riego promedio y evaporaciones promedio durante las etapas de aplicación del tratamiento $K_c=0.50$ | 44 |
| Cuadro 15. Tiempos de riego promedio y evaporaciones promedio durante las etapas de aplicación del tratamiento $K_c=0.25$ | 45 |
| Cuadro 16. Litros de fertilizante líquido UAN-32 para cada uno de los tratamientos y para cada una de las etapas del experimento | 45 |



INDICE DE FIGURAS

| | | Pag. |
|------------|---|------|
| Figura 1. | Distribución de los tratamientos en el sitio experimental, D.A.G-UNI-SON, Hermosillo, Son. Mex., 1995-96 | 14 |
| Figura 2. | Distribución de las tuberías de riego en el sistema para el experimento de coliflor ciclo 1995-96 | 17 |
| Figura 3. | Concentración promedio de NO_3^- en savia para las cuatro etapas de muestreo | 23 |
| Figura 4. | Concentración promedio de NO_3^- en savia para cada etapa de muestreo y dosis de N aplicado | 24 |
| Figura 5. | Concentración promedio de NO_3^- en savia para cada etapa de muestreo y Kc evaluado | 24 |
| Figura 6. | Rendimiento promedio de coliflor por corte para cada dosis de N aplicadas | 26 |
| Figura 7. | Rendimiento de coliflor por corte para cada corte y para Kc de riego | 26 |
| Figura 8. | Porcentaje de rendimiento de coliflor correspondiente a cada corte efectuado | 27 |
| Figura 9. | Peso de cabeza promedio para cada corte y para Kc de riego | 29 |
| Figura 10. | Peso de cabeza promedio para cada corte y dosis de N aplicados | 29 |
| Figura 11. | Rendimiento promedio de coliflor para la interacción de Kc y dosis N | 31 |
| Figura 12. | Superficie de respuesta del rendimiento de coliflor para las dosis de N y los volúmenes de agua evaluados | 34 |

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el Campo Experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, durante el invierno de 1995, donde se evaluó la producción comercial de coliflor (*Brassica oleracea* var *botrytis* L.) variedad Snow Crown sobre la aplicación de 3 volúmenes de agua basándose en la reposición del 100% ($K_c=1.0$), 50% ($K_c=0.50$) y 25% ($K_c=0.25$) de la evaporación ocurrida en el tanque de evaporación tipo "A" conjuntamente sobre la aplicación de 3 dosis de nitrógeno con 100, 200 y 400 kg ha⁻¹; llevándose a cabo durante el desarrollo del cultivo un monitoreo del contenido de nitratos (NO₃⁻) en la planta, basándose en la medición de laboratorio, savia del peciolo de la hoja y el contenido de clorofila en la hoja de acuerdo a cuatro etapas de muestreo durante el ciclo.

Los mayores rendimientos ocurrieron a $K_c=1.0$ con 79.37 cm de lámina y a aplicaciones de nitrógeno de 400 kg ha⁻¹, con rendimientos promedios de 50 ton ha⁻¹, resultando de un total de tres cortes durante la cosecha, siendo el segundo y tercer corte los más importantes con rendimientos promedio de 10 y 12 ton ha⁻¹ representando el 35 y 40 % del rendimiento total.

De los métodos utilizados en este experimento para estimar el contenido de nitratos (NO₃⁻), el de savia se vió afectado por los factores evaluados y también por la etapa de muestreo.

La ecuación que predijo el rendimiento fue la siguiente:

$$R = 13294.78118 + 0.01738808 (LR)^3 + 0.000262187 (N)^3$$

Obteniéndose una $r^2 = 0.52$

Donde:

R = Rendimiento (kg ha^{-1})

LR = Lámina de riego (cm)

N = Dosis de N aplicada (kg ha^{-1})

ABSTRACT

This study was carried out at the Field Station of the Departamento de Agricultura y Ganadería of the Universidad de Sonora, during the winter of 1995-96, where the marketing yield of cauliflower var. Snow Crown, was evaluated with the application of 3 amounts of irrigation water according with 100% ($K_c=1.0$), 50% ($K_c=0.50$), and 25% ($K_c=0.25$) of the evaporation occurred in a pan evaporation type "A" and with 3 levels of nitrogen (N) with 100, 200 and 400 kg ha⁻¹. The content of nitrates (NO₃⁻) in the midrib and the sap was monitoring during the development of the crop, and the content of chlorophyll in the leaf was determined through the growing season.

The highest yield was obtained at $K_c=1.0$ with 79.37 cm of water and 400 kg N ha⁻¹. The average yield were 50 ton ha⁻¹, resulting in 3 harvests, being the second and three the most important, representing a 35 and 40% of the total yield.

The sap method to estimate the content of NO₃⁻ was affected by the evaluated factors, and also by the sampling stage.

The equation which predicted the yield was the following:

$$Y = 13294.78118 + 0.01738808 (W)^3 + 0.000262187 (N)^3$$

Obtaining an $r^2 = 0.52$

Where:

Y = Yield (kg ha^{-1}).

W = Water (cm).

N = Nitrogen (kg ha^{-1}).

INTRODUCCION

La incorporación de México al bloque comercial con Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, exigirá al sector agrícola una mayor competitividad para obtener más utilidad por unidad de superficie. Esto puede ser factible eficientizando los recursos agua-suelo-planta mediante una modificación en el patrón de cultivos y mayor producción por unidad de volumen de agua y nutrientes aplicados.

Por su dinámica de producción y diversidad de especies factibles de cultivarse, la horticultura ha cobrado mucha importancia en la región, ya que en 1993 el estado de Sonora contribuyó con el 18 % (248,814 ton) de las exportaciones hortofrutícolas en el ámbito nacional, dentro de las cuales se encuentran las hortalizas de invierno como es la coliflor (*Brassica oleraceae* L. var. *Botrytis*) aportando a este mercado cerca de 3,500 ton de producto fresco (Gándara R. F., 1995).

Actualmente, los costos de producción de las hortalizas frescas son muy elevados, dado que el costo de la energía eléctrica (zonas de bombeo) y los fertilizantes representan un 34 % de los costos de producción primarios, por lo que el agricultor a adoptado nuevas técnicas agrícolas para disminuirlos, como es la fertigación en microirrigación (riego por goteo), con la cual se han logrados ahorros hasta de un 45 % de agua y fertilizante con respecto a los sistemas tradicionales (Fuentes, 1990; Pizarro, 1990).

Los objetivos planteados en el presente estudio fueron:

Evaluar el efecto de 3 volúmenes de aplicación de agua y 3 niveles de fertilización nitrogenada sobre la producción comercial de coliflor, con el fin de establecer un nivel óptimo de fertilización y riego redituable al agricultor.

Obtener los niveles de nitrógeno (N) mediante la determinación de nitratos (NO_3^-) durante el desarrollo del cultivo utilizando tres metodologías: 1) análisis de pecíolo de la hoja y 2) análisis de la savia de la planta 3) el contenido de clorofila en la hoja.

La hipótesis planteada en el presente trabajo es que el cultivo de la coliflor responde a aplicaciones de agua y N, realizadas de acuerdo a las necesidades del cultivo durante su desarrollo, a través de un sistema de riego por goteo.

La meta a lograr fue que el agricultor tenga las bases de manejo de agua y N en el cultivo de coliflor, para que su producción se incremente sin decremento en la calidad (Búrquez, 1995).

LITERATURA REVISADA

Importancia económica

La producción de hortalizas en el ámbito mundial es de 700 millones de ton, de las cuales México aporta únicamente el 1% de la misma, ocupando un duodécimo lugar a escala internacional. Aún así, el país tiene una importante participación económica tanto nacional como internacional, ya que ocupa el cuarto lugar en exportación de productos hortícolas (después de Holanda, España y Francia) a escala mundial y representan 3.1 % del valor de las exportaciones y el 50 % del valor de las ventas que se realizan dentro del sector agrícola nacional, aportando 855 millones de dólares (Schwentesius y Gómez, 1994).

De las 550,000 ha que tiene México de superficie sembrada de hortalizas, Sonora cuenta con 30,000 has (5.45%) representando el 4% de la superficie total de la siembra del Estado. Sin embargo, la importancia no radica en la superficie cultivada anualmente, sino en el aumento por especie, lo que específicamente para coliflor el aumento se ha dado en un 24% anual durante el período 1989-1993 comparativamente con la reducción anual por especies como sandía, pepino y repollo (Gándara, 1995; Schwentesius y Gómez, 1994).

El volumen de producción de hortalizas en el estado de Sonora ha aumentado en promedio un 17 % anual a partir de 1991 (69,000 ton) hasta 1993 (313,000 ton). Este aumento ha obedecido principalmente a los volúmenes de producción de las especies

sembradas en invierno, por lo que podemos decir que existe un aumento en la demanda de las hortalizas de invierno. La producción del cultivo de coliflor se encuentra a un nivel de explotación intermedia (el cual abarca áreas de siembra de 100 a 1,000 ha), ya que a nivel estatal la superficie de siembra promedio de 1989 a 1993 fue de 700 ha, con un rendimiento promedio de aproximadamente 2,500 ton, las cuales complementan al 18 % (204,755 ton) de producción exportable de hortalizas que aporta Sonora a nivel nacional (Gándara, 1995).

Problemática del agua

En el ámbito estatal la utilización del recurso agua en la agricultura se divide en dos renglones: 1) distritos de riego por gravedad y 2) distritos de riego por bombeo, incluyendo dentro de estos últimos a los distritos de Hermosillo, Caborca y Guaymas; los cuales extrajeron en 1990 un 32 % del agua subterránea, recargándose al acuífero solamente un 30 %. El Distrito de Riego N°51 de la Costa de Hermosillo extrajo en 1991 alrededor de 420 millones de m³ (Mm³), teniéndose una recarga de únicamente 350 Mm³, por lo que se tuvo un 20 % de sobre explotación de los 498 pozos profundos que riegan una superficie un poco mayor a las 60,000 ha.

Esta sobre utilización de los mantos acuíferos ha originado un abatimiento promedio anual de 0.38 m, viéndose actualmente afectados por intrusión salina 105 pozos. La disminución de los abatimientos promedio que va desde 1.5 m anuales en 1960 a 0.8 m en 1980 (50 %) no es debido al aumento en la eficiencia en el uso del recurso, sino a una disminución drástica en la superficie de siembra de un 50% (1975-1990). El volumen de agua utilizado por hectárea no ha variado significativamente, fluctuando de 6.8 a 6.2 millares de m³ durante este período (láminas promedio de 70

cm). Esto hace que la eficiencia del agua en la Costa de Hermosillo sea de un 60 % únicamente.

Si analizamos la derrama económica que origina una pérdida del 30% sobre los 422 mm³ de agua que se extrajeron en 1991, nos da una pérdida de 18 millones de pesos, lo que es igual a tener una pérdida de dinero un poco mayor al valor total de la producción de frijol en la Costa de Hermosillo durante el ciclo 1990-1991; obteniendo volumétricamente la cantidad de agua perdida, que equivale a 1.2 veces la demanda del líquido en la Ciudad de Hermosillo durante el año 1993 (Moreno, 1994).

Necesidades de agua

Ya que la evapotranspiración (ET) es la cantidad de agua que pasa hacia la atmósfera en forma de vapor originada por la evaporación del suelo y por la transpiración a través de los estomas de la planta, es un proceso necesario para que la planta realice sus principales funciones vitales como control de temperatura, transporte de solutos, formación de biomasa, etc.; su consumo puede ser determinado mediante los principios básicos de la tasa evapotranspirativa durante el ciclo de desarrollo de la planta.

Existen dos metodologías para determinar la ET de un cultivo, las cuales son: a) los métodos directos (lisimetría y gravimetría) y b) los métodos indirectos (físicos y empíricos). El uso de estos métodos dependerá de la facilidad para determinar las necesidades de agua en riegos de alta frecuencia como es el riego por goteo.

Los métodos indirectos se basan en el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_p) y se referencian con la tasa evapotranspirativa de un cultivo

leguminoso verde, el cual cubre totalmente la superficie del suelo y sin falta de humedad que lo limite. Estos métodos varían de acuerdo a las variables climáticas que involucran sus fórmulas y a la frecuencia en que proporciona sus datos (tiempo), por ejemplo, la mayoría de las fórmulas proporcionan datos mensuales y quincenales, pero si queremos obtener información a menor rango de tiempo, tenemos que recurrir a metodologías indirectas físicas, las cuales pueden proporcionar datos diarios y menores (tanque de evaporación, atmómetros, etc.), limitándose a metodologías indirectas físicas para riegos en donde sus aplicaciones se realizan con muy alta frecuencia (diariamente ó varias veces al día), como es el caso del riego por goteo.

La obtención de la ET del cultivo mediante la metodología indirecta física del tanque de evaporación tipo "A", consiste en la multiplicación de evaporación del tanque por un coeficiente empíricamente determinado llamado coeficiente del cultivo (K_c), el cual presupone que el factor suelo-agua no es limitante; éste coeficiente puede ser tomado como valor único durante todo el ciclo de la planta o variar de acuerdo a etapas de crecimiento del cultivo, siendo este último el más real y representativo (Pizarro, 1990; Zazueta, 1992; Fuentes, 1994; Moya, 1994).

El uso del agua por la coliflor depende ampliamente de la ET, consecuentemente dependerá mucho de la región y la etapa de desarrollo. La coliflor produce de 6.35 a 10.4 kg de materia seca por cada centímetro de agua consumido (Stivers et al; 1993).

La investigación con el cultivo de repollo (*Brassica oleracea* L. var. capitata) en Apodaca N.L., llevado a cabo el año de 1986, en donde se probaron cuatro tratamientos de riego en base a la evaporación del tanque evaporímetro tipo "A" con coeficientes del

cultivo (K_c) de 0.30, 0.50, 0.70 y 0.90, concluyó que el tratamiento con mayor producción ($55,058 \text{ kg ha}^{-1}$) fue aquel donde su $K_c = 0.70$, consumiendo una lámina de agua de 30.7 cm. (Valdez G., 1989).

Necesidades de N

De los 92 elementos naturales, únicamente 60 han sido encontrados en diversas plantas, pero solamente 17 elementos son considerados esenciales o específicamente llamados “nutrientes vegetales”. El nitrógeno (N) es un elemento esencial y está clasificado como macronutriente primario por ser uno de los elementos más requeridos por las plantas (Benton, 1985; Doerge et al; 1994).

Aún cuando el N se encuentra en un 80 % en la atmósfera, éste no es utilizable por las plantas, excepto en las formas presentes en el suelo (nitratos, amonio y otras formas solubles nitrogenadas), pero sus pocas cantidades presentes en ciertos suelos hace necesaria su aplicación, sobre todo cuando el manejo del suelo es muy intensivo, como es el caso de las hortalizas. La aplicación de N al suelo hace que sea inmediatamente disponible para la planta, como es el caso de los nitratos (NO_3^-), ó que sea lentamente liberado por la descomposición de los microorganismos del suelo, como es el caso de la urea (Burgueño, 1995).

El N posee un alto “umbral de toxicidad” debido a la característica de poder absorberse en grandes cantidades por la planta sin tener efectos nocivos, esto hace que sus aplicaciones sean cuidadosamente estudiadas, de acuerdo a niveles óptimos contenidos en la planta (Benton, 1985).

La aplicación de N al cultivo de coliflor varía ampliamente dependiendo de varios factores como son: duración del ciclo, variedad, número de cortes, etc. Por lo general, un corte de coliflor remueve de 38 a 125 kg ha⁻¹ de N (14-20% del N total aplicado). La porción aérea remueve de 40 a 263 kg ha⁻¹ del mismo elemento. La absorción de N por la coliflor es relativamente lenta durante los primeros 40 días, incrementándose a partir del inicio de formación de cabeza (90 días). La tasa de aplicación de N para la coliflor varía para diferentes regiones desde 90 a 340 kg ha⁻¹ (Doerge et al., 1994; Stivers et al., 1993).

Para llevar un control estricto de la fertilización nitrogenada, es necesario llevar a cabo un análisis de tejido de planta y determinar los niveles óptimos de acuerdo a la región, variedad, producción, ciclo del cultivo, etc., utilizándose para ello distintas metodologías, como las llevadas a cabo directamente en el campo (kits analizadores) o indirectamente en laboratorios, variando cada una en precisión, rapidez y facilidad de obtención de resultados.

El análisis del tejido de la planta, ofrece una medida del estatus nutricional durante el desarrollo del cultivo, sirviendo como una guía de aplicación de nutrientes, convirtiéndose así en una herramienta muy importante para tener mejores prácticas de manejo en cultivos irrigados, donde cada vez que se riega, representa una oportunidad de aplicar los nutrientes requeridos de una manera más eficiente (Doerge et al., 1991).

Kubota (1996) concluye que el test rápido de savia usando el medidor portátil de NO₃⁻, es una técnica muy recomendada para monitorear el estatus de N en coliflor. Gardner and Roth (1990) resumen que las muestras por tejido seco llevado a cabo por

un método convencional de laboratorio, presenta limitaciones, ya que tarda de dos a tres días desde la toma de las muestras hasta la obtención de los resultados.

Estudios de campo fueron llevados a cabo durante tres años (1981-1984) conducidos a desarrollar modelos de superficies de repuesta para la combinación óptima de agua y N para los cultivos de brócoli y coliflor en el desierto del sudoeste de los Estados Unidos, concluyendo que las producciones comerciales máximas para coliflor resultó con 65 cm de agua y 338 kg N ha⁻¹ (Sanchez et al., 1996).

Métodos de análisis

Hochmuth (1994 a) en Florida evaluó durante 10 años la savia de pecíolos de plantas de coliflor con relación al análisis de la hoja en laboratorio, encontrando una alta correlación entre ambas. Hartz et al., (1993) encontró en Davis, California una muy buena correlación en las concentraciones de NO₃⁻ medidos en relación a la savia del pecíolo de la hojas de coliflor con un medidor portátil y la concentración de NO₃⁻ analizados en base al tejido seco de la planta, teniéndose una relación lineal para un amplio rango de valores, siendo generalmente inafectado por variables como cultivo, cultivar o sitio de muestreo.

En el Sureste de Arizona se evaluó durante dos años (1993-1995) para coliflor, la relación que existe entre la concentración NO₃⁻ en savia del pecíolo fresco de la hoja usando el medidor portátil de NO₃⁻ y muestras del tejido seco, para tres tasas de aplicación de agua y cuatro de nitrógeno (ambos con rangos de deficientes a excesivos); Existiendo una correlación lineal entre los dos métodos similar en ambos ciclos, pero no existió un consistente efecto debido a la tasa de aplicación de agua ó de maduración del

cultivo (Kubota et al.,1996).

Hochmuth (1994 a) recomienda mantener las concentraciones de N en la planta de coliflor en el rango de 3.0 a 5.0 % en las hojas, basándose en el tejido seco de la planta durante el estado de botón y de 2.2 a 4.0 % durante pleno desarrollo de las cabezas. La Universidad de Arizona recomienda mantener concentraciones de NO_3^- en pecíolos de hojas de coliflor en rangos que van desde 1,800 ppm en período de 4 a 10 hojas (50 días) y de 3,500 ppm en el período de precosecha (120 días) (Doerge et al., 1994).

Las lecturas de los kits portátiles son en valores de NO_3^- y algunos en NO_3^- -N para aquellos cuya lecturas son en valores de NO_3^- , su lecturas deben de ser corregidas, ya que la mayoría de las tablas de recomendación son en valores de NO_3^- -N (Hochmuth, 1994b).

Estudios realizados por Heckman (1995a) en New Jersey, concluyen que el medidor de clorofila manual SPAD-502 sirve para monitorear el estatus nutricional (N y Mn) y el potencial productivo de un cultivo. La medición del estatus de N en la planta se da mediante la premisa de que en las moléculas de clorofila de la hoja hay una gran cantidad de N contenido, existiendo una fuerte relación entre el contenido de clorofila en la hoja y la concentración de N.

El medidor de clorofila SPAD-502, determina la cantidad relativa de clorofila presente en la hoja, mediante la medición de absorbancia en dos regiones de longitudes de onda (rojo e infrarrojo cercano) y su principio está basado en la diferencia de atenuación de la luz, ya que a longitud de onda de 430 nm (rojo) existe un pico de

transmitancia espectral para ambas clorofilas (a y b) a diferencia de longitud de onda de 750nm (infrarrojo cercano) en donde no ocurre transmitancia; esta diferencia en la atenuación de la luz, el medidor SPAD pone un valor numérico del rango de 0-80 mediante un microprocesador del mismo aparato (Wood et al., 1992).

El experimento llevado a cabo en Norflok, Alabama durante dos años, para determinar la factibilidad de usar el medidor de clorofila SPAD-502 y evaluar el estatus de N a varias tasas de aplicaciones de N en maíz, concluye que este aparato tuvo una muy alta correlación con concentraciones de N en el tejido de la planta durante los dos años de estudio, teniendo una muy alta capacidad en predecir la producción de grano (Wood et al, 1992).

Heckman (1995b) encontró que el medidor de clorofila SPAD-502 podría ser usado para evaluar la suficiencia del N en estados tempranos de crecimientos del maíz. Mediciones con lecturas de 52 fueron encontradas para separar tratamientos deficientes de N de tratamientos suficientes de N, esto es que lecturas menores 52 significan deficiencia de N, lecturas de 52 a 56 significan el rango óptimo o suficiente de N y lecturas mayores de 56 significan una sobre fertilización de N.

Cultivo

La coliflor (*Brassica oleraceae* L. var. *Botrytis*) pertenece a la familia de las crucíferas y por sus requerimientos climáticos (temperaturas óptimas de 15 a 18 °C) se encuentra clasificada dentro de las hortalizas de clima frío de invierno, La siembra de ésta hortaliza a nivel estatal se ha acentuado más en los distritos del norte, como son: San Luis Río Colorado, Magdalena, Caborca y Hermosillo.

Las variedades más recomendadas de acuerdo a sus rendimientos y a las características de sus cabezas son: Snow Ball, Snow Ball 123, Early Snow- Ball X, Early Snow Ball y Snow Crown. La variedad Snow Crown cuenta con pesos promedio de cabezas de 550 g, de características compacta, color blanco y con diámetros promedio de 15 cm. Su ciclo es de aproximadamente 120 días.

La coliflor puede ser sembrada directamente en el campo, pero se tiene una pérdida en tiempo y costo por la cantidad de semilla y raleo, ó puede ser trasplantada adelantando de 2 a 3 semanas el ciclo, ahorrando en cantidad de semilla usada pero aumentando los costos por trasplante manual, no así con trasplante mecánico. La siembra en el campo se realiza de acuerdo a densidades de población de 30,000 hasta 60,000 plantas por ha, las cuales se logran con separaciones de 3 a 4 plantas por metro, con hilera sencilla ó doble y separación de surcos de 1.0-1.20 m.

La cosecha de coliflor se realiza cuando ésta ha desarrollado el tamaño de cabeza deseado para tener grados de: exportación (cabezas de 12-17cm de diámetro con peso mayor a 750 g y color blanco), calidad A (cabezas de 12-17 cm de diámetro con peso menor a 750 g y color semi-blanco), calidad B (diámetros de cabeza menores a 12 cm y arriba de 17cm y color amarillo), por lo que una aplicación correcta de agua y N durante el desarrollo del cultivo va a permitir los tamaños de cabezas comerciales (Moreno, 1989).

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, ubicado en el Kilómetro 21 de la carretera Hermosillo-Bahía Kino, localizado a 29° 00' 46" Latitud Norte y 111° 07' 03" Longitud Oeste, a una Altitud de 207 msnm; Cuenta con un tipo de suelo de textura Franco (F) a Franco Arenosa (Fa) y de característica profunda (0.6-1.0m).

Tratamientos

El diseño de tratamientos utilizado fue un factorial completo, en donde los factores involucrados fueron:

Volúmenes de Agua (Kc): Reposición 100% (1.0), 50% (0.5) y 25% (0.25) de la evaporación del tanque evaporímetro tipo "A"

Niveles de N: Aplicación de 100, 200 y 400 kg de N ha⁻¹.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con 3 repeticiones, cuya unidad experimental constó de 3 surcos de 5 m de longitud (15m²) y como área útil se consideraron 10 m² (Fig. 1).

Se aplicó en presiembra una cantidad de 100 kg de fósforo por hectárea en forma de ácido fosfórico (00-52-00) a través del sistema de riego por goteo.

La variedad de Coliflor utilizada fue Snow Crown, la siembra se realizó en

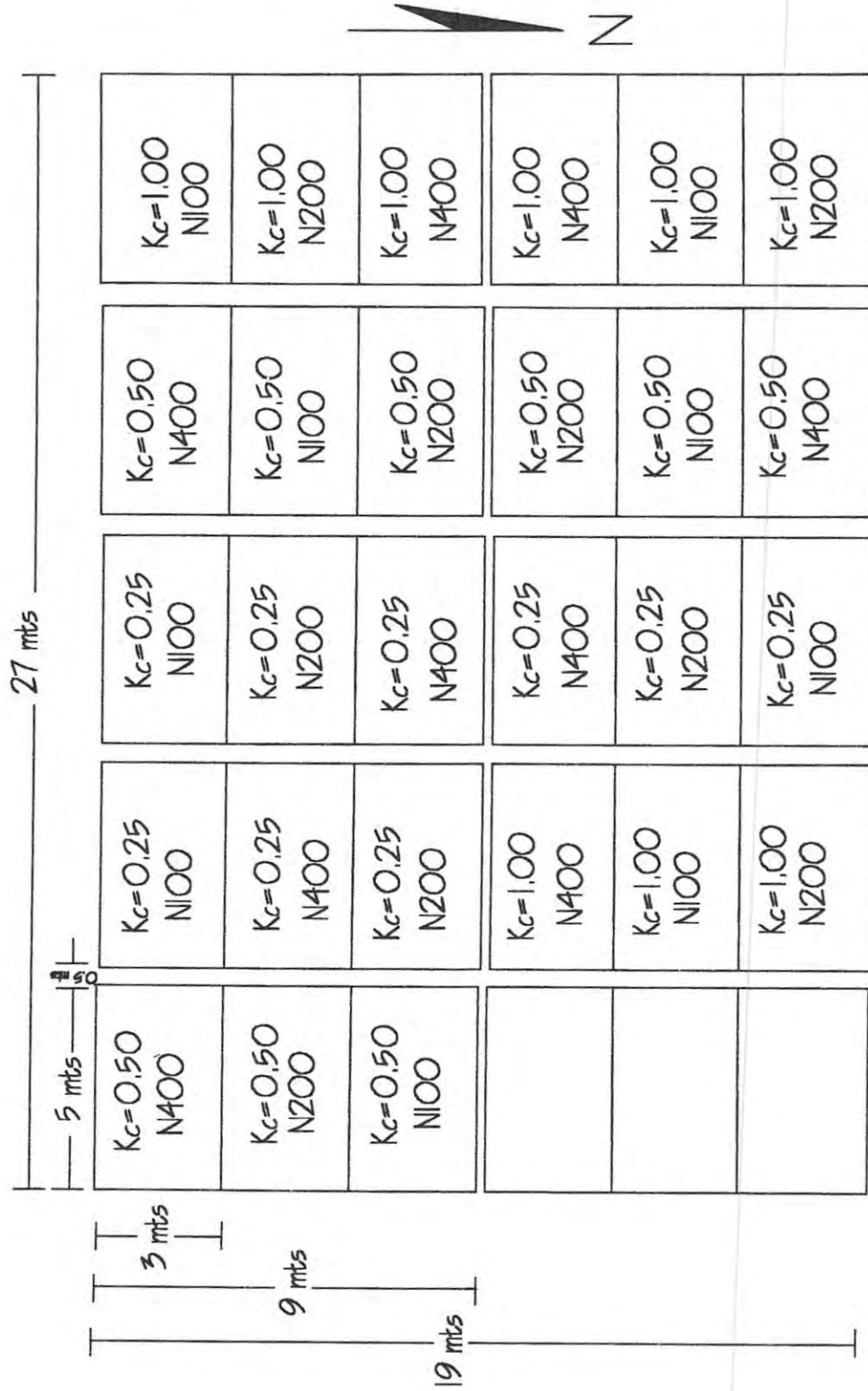


Figura 1. Distribucion de los tratamientos en el area de experimentacion
D.A.G. Uni-Son Hillo. Son. Mex. 1995-96

forma directa el día 11 de diciembre 1995. La densidad de población de plantas utilizada fue de 30,000 plantas ha^{-1} , lo cual se logró con tres plantas por metro lineal a doble hilera (0.30m) por surco y con surcos a un metro de separación.

Durante el experimento se realizaron un total de tres cortes, considerándose una producción total al final de la cosecha que correspondió a la suma de los tres cortes. Se realizó un análisis estadístico del comportamiento de los cortes (rendimientos) y como son afectados por los factores en estudio: volumen de agua, dosis de N y el número de cortes (siendo separadas como 1er, 2do y 3er corte).

Se realizaron análisis de varianza para las variables concentración de NO_3^- , rendimiento por corte, peso de cabeza, rendimiento total y diámetro de cabeza para los factores volumen de agua y dosis de N, así como pruebas de comparación de medias de Tukey al 0.05 de nivel de significancia.

Para finalizar, se realizó una gráfica de la superficie de respuesta para observar el comportamiento de la variable rendimiento, basándose en los factores volumen de agua y dosis de N para obtener de esta manera la ecuación de producción.

Volúmenes de agua

Durante el experimento se estimaron los valores de ET del cultivo sobre la base de la metodología indirecta física del tanque de evaporación tipo "A", mediante una reposición del 100% ($K_c=1.0$), 50% ($K_c=0.5$) y 25% ($K_c=0.25$) de la evaporación ocurrida durante todo el ciclo del cultivo, tomados de acuerdo a los trabajos realizados por Rubino y Palma (1992).

El procedimiento para el cálculo del riego a los diferentes tratamientos fue el siguiente:

$$ET = Kc \times Ev \quad (1)$$

Donde:

ET = Evapotranspiración (mm día⁻¹)

Kc = Coeficientes en estudio, afectando la evaporación (0.25, 0.50, 1.00)

Ev = Evaporación ocurrida en tanque de evaporación tipo "A"

El tiempo de riego se determinó a partir de la siguiente ecuación

$$Tr = ET / Pc \quad (2)$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (hr)

ET = Evapotranspiración (mm día⁻¹)

Pc = Precipitación de la cinta (mm hr⁻¹)

$$Pc = Gg/Ss \quad (3)$$

Donde:

Gg = Gasto de la cinta por metro lineal (L hr⁻¹ m⁻¹)

Ss = separación entre surcos (m)

(Pizarro, 1990; Zazueta, 1992; Fuentes, 1994; Moya, 1994; Valdez, 1989).

Los volúmenes de agua se aplicaron a través de un sistema de riego por goteo tipo cinta, cuyas características esenciales de diseño fueron: cinta Chapin de grosor 8 mil (200 micrones), gasto de 3.5 L hr⁻¹ m⁻¹ a presión óptima de operación de 8 lb plg⁻² (psi) (Fig. 2).

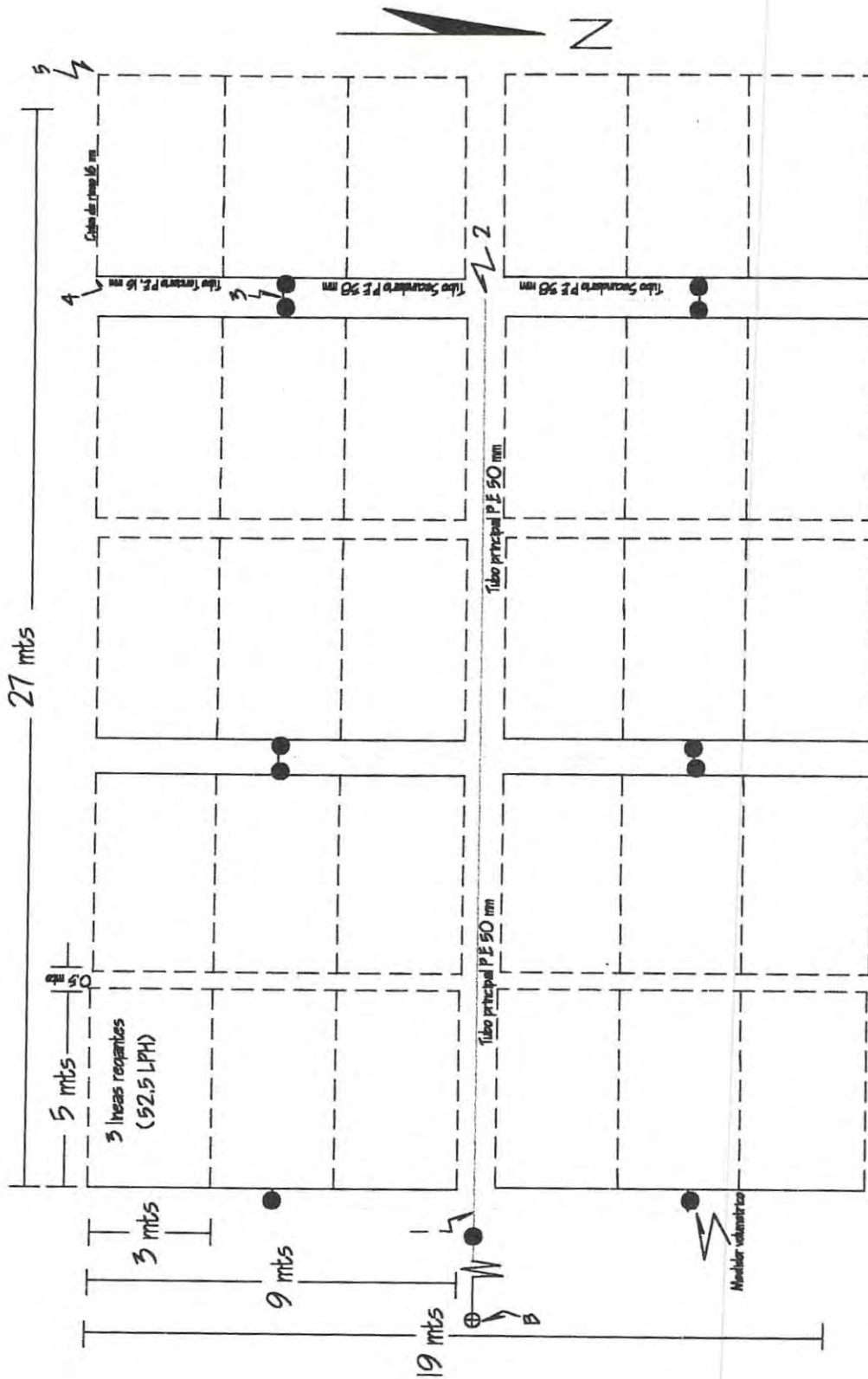


Figura 2. Distribucion de las tuberias de riego en el sistema para el experimento de coliflor ciclo 1995-96

El gasto de la unidad experimental según las anteriores características de la cinta, fue de 0.044 lps (157.5 Lph), con una precipitación de 3.5 mm hr^{-1} , como lo señala la ecuación (3).

El cálculo hidráulico del sistema de riego se realizó de acuerdo a la ecuación de Darcy-Weisbach, la cual presupone cualquier tipo de flujo. En los resultados del cálculo hidráulico, se observa que en la ruta crítica del sistema, la presión en la última cinta regante es de 5.58 m ($8.091 \text{ lb plg}^{-2}$), correspondiendo a una presión óptima de operación de la cinta de riego (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cálculo hidráulico de la red de riego.

| Tramo | D (mm) | L (m) | Q (Lph) | Hf (m/100) | Hf total (m) | Desnivel (m) | Presión (m) |
|------------------------------------|-----------|----------|------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Bomba | ----- | ----- | 1417.5 | 0.000 | 0.0000 | 0 | 20.0000 |
| B - 1 | 50 | 160 | 1417.5 | 0.127 | 0.2032 | | 19.7968 |
| 1 - 2 | 50 | 23 | 315.0 | 0.010 | 0.0023 | | 19.7945 |
| 2 - 3 | 38 | 5 | 157.5 | 0.009 | 0.0004 | | 19.7940 |
| 3 - 4 | 16 | 5 | 78.8 | 0.140 | 0.0070 | | 19.7870 |
| 4 - 5 | Cinta | 5 | 17.5 | 0.002 | 0.0025 | + 1.2 | 18.5844 |
| Pérdidas Localizadas | | | | | 3.000 | | 15.5844 |
| Pérdidas por filtración (200 mesh) | | | | | 10.000 | | 5.5800 |

D= Diámetro

L= Longitud

Q= Gasto

hf = Pérdidas por fricción

La uniformidad del equipo de riego se evaluó mediante una medición de presión en toda la red, encontrando que en la variación en la red ocurrió en un 20% en cuanto a la uniformidad de aplicación y cumplió con las características propias del diseño.

Para asegurar la aplicación correcta de los volúmenes de agua calculados, estos fueron corroborados mediante la instalación de medidores volumétricos tipo propela en

las 9 parcelas de riego, más un medidor volumétrico de toda la red general. Estos medidores fueron separados de acuerdo a la uniformidad de medición que presentaban entre ellos; los medidores que tuvieron una variación >10 % en su medición, se consideraron como tratamientos de más agua y como tratamientos de menos agua, aquellos con una variación <10 % por debajo del gasto calculado, obteniéndose de ésta manera los tratamientos intermedios.

Se iniciaron los tratamientos con un riego de pre-siembra con el fin de formar un bulbo de humedad; se aplicó el día 3 de diciembre de 1995, con un riego que duró aproximadamente un día, aplicando una lámina general de 4.038 cm ($403.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Niveles de N

El experimento tomó como referencia niveles representativos de aplicación de este elemento. De acuerdo al amplio rango de recomendaciones dadas por varios investigadores, estos valores fueron 100, 200 y 400 kg ha^{-1} , los cuales se realizaron de acuerdo a etapas del ciclo del cultivo, con porcentajes fijos durante cada etapa de desarrollo, lo que dio un 100% del total de la aplicación al final del ciclo. Los porcentajes que se tomaron para cada etapa del ciclo del cultivo fueron como a continuación se señala:

Cuadro 2. Etapas de aplicación de nitrógeno durante el experimento.

| Etapas de desarrollo | Porcentajes | Fecha |
|--|-------------|---------|
| I.-Siembra - Formación 12 primeras hojas | 15 | Feb. 21 |
| II.-Pleno desarrollo | 25 | Mar 06 |
| III.-Inicio formación de Cabezas | 50 | Mar 14 |
| IV.-Formación de cabeza – Precosecha | 10 | Mar. 28 |

Estos porcentajes dieron cantidades de aplicación diferentes para cada una de las etapas, mismas que se presentan en el Cuadro 18 (Apéndice B). Estas etapas se determinaron de acuerdo a la tasa de absorción del N por el cultivo, el cual tiene un comportamiento paralelo al incremento en peso fresco de la planta, absorbiendo más de la mitad del N en la tercera etapa del ciclo (Doerge et al., 1991).

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron mediciones del contenido de nitratos (NO_3^-) utilizando varias metodologías: 1) el análisis de la savia del pecíolo de la hoja, mediante el medidor portátil de nitratos Crady Nitrate (Spectrum Technologies) y 2) mediante el análisis de laboratorio, método colorimétrico (ácido fenoldisulfónico) tomado en base al tejido seco del pecíolo de la planta. Conjuntamente se tomaron mediciones de clorofila con el aparato SPAD-502.

El muestreo foliar se realizó tomando la hoja más joven que alcanzara el tamaño normal, obteniendo de la unidad experimental (15 m^2) un total de 25 muestras de hojas enteras (mínimo número representativo de muestras para un análisis foliar). Su obtención en campo se realizaba por las mañanas a la misma hora (9:00 a.m.); las muestras se introducían en una bolsa de plástico previamente identificada, las cuales eran guardadas en hielo para evitar su degradación y esto afectara la lectura del contenido de NO_3^- . Dado que la temperatura influencia al contenido de NO_3^- en la savia de la planta, es recomendable (Hochmuth, 1994 b) para lecturas más consistentes tomarlas entre 9:00 a.m. y 4:00 p.m.

En laboratorio, 15 de las hojas recolectadas eran separadas para obtener el contenido de clorofila sobre el haz de la hoja con el aparato SPAD-502 y a estas mismas hojas se les extraía la savia del pecíolo para determinar su contenido de

NO_3^- con el aparato portátil Cardy. A las 10 hojas restantes se les obtenía el pecíolo, se lavaban con agua destilada y se secaban en un horno a 65°C durante 1 día, para posteriormente molerse y dejar preparada la muestra para su análisis en laboratorio.

Los muestreos se realizaban una semana después de la aplicación de los tratamientos de N, teniendo un total de 4 muestreos en todo el ciclo. La aplicación de N a los tratamientos se hizo con la fórmula líquida UAN-32 la cual contiene un 8% de Urea, 8% de amonio y un 16% de nitrato, a través del sistema de riego por goteo utilizando un inyector tipo AMIAD (AMIAD Australia, Pty. Ltd) de funcionamiento hidráulico, aplicando la solución a la red mediante pulsaciones.

La tasa de aplicación se realizó con la curva de calibración que ofrece la casa comercial y fue determinada para una aplicación de 20 L en un tiempo de aplicación de 15 min. Esto se logra con 40 pulsaciones por minuto a presión de operación de 14 lb plg^{-2} , el cual nos da una aplicación de 80 L hr^{-1} . (Cuadro 13 Apéndice A)

Manejo agronómico

Durante el desarrollo del cultivo, se aplicó sólo una vez insecticida fosforado (Metamidofos 0-5 dimetil fosforoamidotiato) para el control de plagas como: gusanos trozadores, grillos y chicharrita, al inicio de crecimiento de la planta, a una dosis de 1.5 L ha^{-1} .

El control de malezas se realizó en forma manual, realizándose un total de 4 deshierbes en las etapas iniciales del cultivo, principalmente para eliminar coquillo, chual y zacate inglés.

Cosecha

Durante la época de cosecha se realizaron un total de 3 cortes a los tratamientos. Cada corte se realizaba por la mañana cosechando aquellas cabezas que estaban ya formadas en cada unidad experimental; el material cosechado se trasladaba al laboratorio para hacer las determinaciones de peso de cabeza, diámetro de cabeza y calidad visual (color y forma).

Se tuvieron problemas durante la cosecha, ya que la excesiva insolación provocó daños de quemado de las cabezas, lo cual hizo que disminuyera su calidad visual por tomar un color amarillento. Debido a este problema, se realizó la práctica de quebrado de hojas para cubrir las cabezas que estaban en formación y evitar de esta manera el daño causado por el sol.

Las variables que se midieron fueron las siguientes:

- 1- Rendimiento (kg ha^{-1}).
 - a) Rendimiento por corte (kg ha^{-1}).
 - b) Rendimiento total (kg ha^{-1}).
- 2- Calidad.
 - a) Diámetro de cabeza (cm).
 - b) Peso de la cabeza (g).
- 3- Volúmenes de agua acumulado y por etapas (cm).
- 4- Concentración de NO_3^- por etapas del cultivo (ppm).
- 5- Superficie de respuesta para la variable rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Concentración de NO_3^-

De los métodos utilizados en éste experimento para determinar el contenido de nitratos en la planta, el único afectado por los factores evaluados fue el de NO_3^- en savia tomado a partir del aparato portátil Cardy nitrate, siendo fuertemente afectado por la etapa de muestreo (Cuadro 5 Apéndice A), como se muestra la Fig 3.

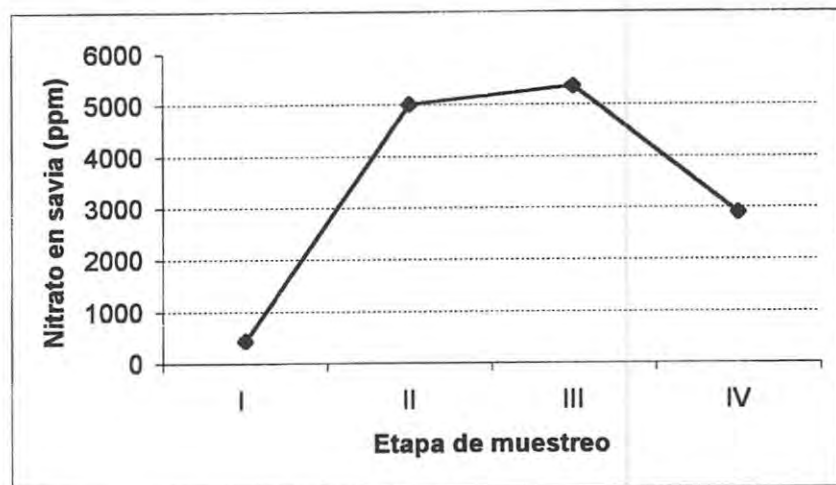


Figura 3. Concentración promedio de NO_3^- en savia para las cuatro etapas de muestreo.

Ya que ocurrió interacción para la variable NO_3^- de savia y la etapa de muestreo (Cuadro 5 Apéndice A), se realizó un análisis estadístico de su comportamiento con la etapa de muestreo, encontrándose que el NO_3^- de savia fue afectado por el factor volumen de agua (Cuadro 6 Apéndice A).

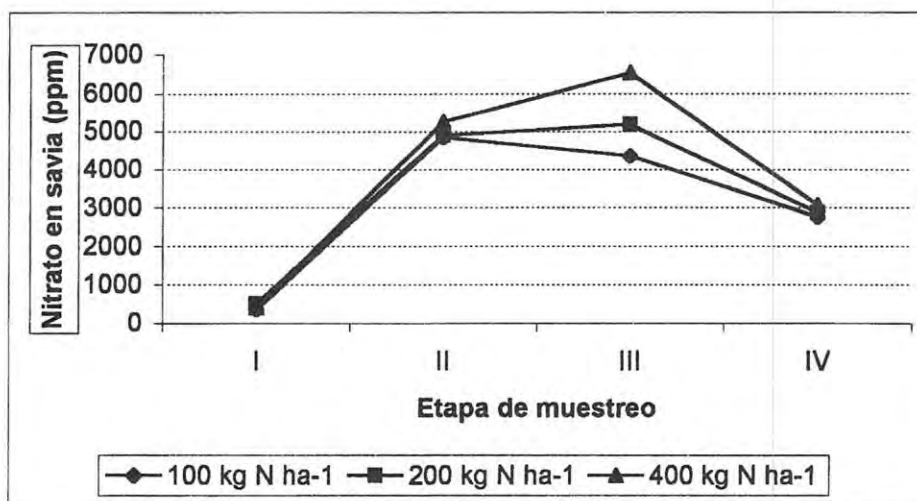


Figura 4. Concentración promedio de NO_3^- en savia para cada etapa de muestreo y dosis de N aplicados.

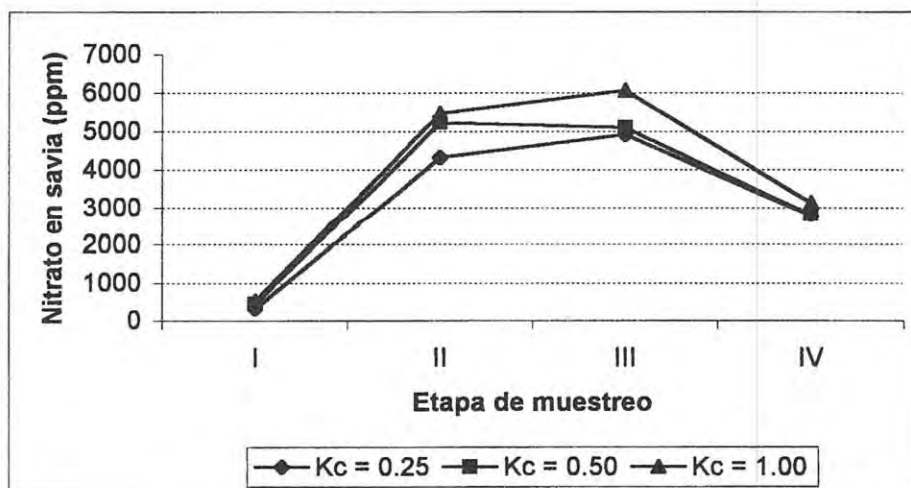


Figura 5. Concentración promedio de NO_3^- en savia para cada etapa de muestreo y Kc de riego.

Para las etapas de muestreo I y IV no se aceptó como significativo ninguno de los factores analizados con la variable NO_3^- en savia (Cuadros 6 y 7 Apéndice A), excepto para la etapa III en donde se aceptó con el factor dosis de N, como lo presentan las Figuras 4 y 5.

En la etapa III de muestreo, el valor de mayor concentración de NO_3^- en savia correspondió a la dosis mayor de N (400 kg N ha^{-1}) y el menor valor de concentración de NO_3^- en savia a la menor dosis de N (100 kg ha^{-1}).

El contenido de NO_3^- en savia para el cultivo de coliflor, tuvo una tendencia muy marcada de acuerdo a la etapa de muestreo, teniendo valores bajos (500 y 3,000 ppm) para las etapas extremas, como son inicio de desarrollo y termino del desarrollo, y valores altos para las etapas de pleno desarrollo y producción (5,000 y 6,000 ppm). Doerge et al., (1994) encontraron en Arizona que los niveles mas altos de NO_3^- en savia para el cultivo de coliflor ocurren en la fase inicial de desarrollo (11,000 ppm), disminuyendo conforme avanza el ciclo del cultivo llegando hasta 2,500 ppm; Ellos recomiendan que durante el estado inicial de formación de cabeza, el NO_3^- en la savia no debe descender de 6,000 ppm.

Rendimiento por corte

Se observó que la variable rendimiento por corte resultó significativa para los factores: volumen de agua, dosis de N y número de corte, así como para la interacción volumen de agua x dosis de N y número de corte x volumen de agua (Cuadro 8 Apéndice A).

Para observar la interacción respecto al rendimiento con los factores evaluados anteriormente, se realizó un análisis en relación con el número de cortes efectuados (Cuadro 9 Apéndice A). Como resultado se pudo observar que el rendimiento está muy relacionado con los Kc evaluados y con las dosis de N aplicados, para cada uno de los cortes efectuados. Como se observa en las Figuras 6 y 7.

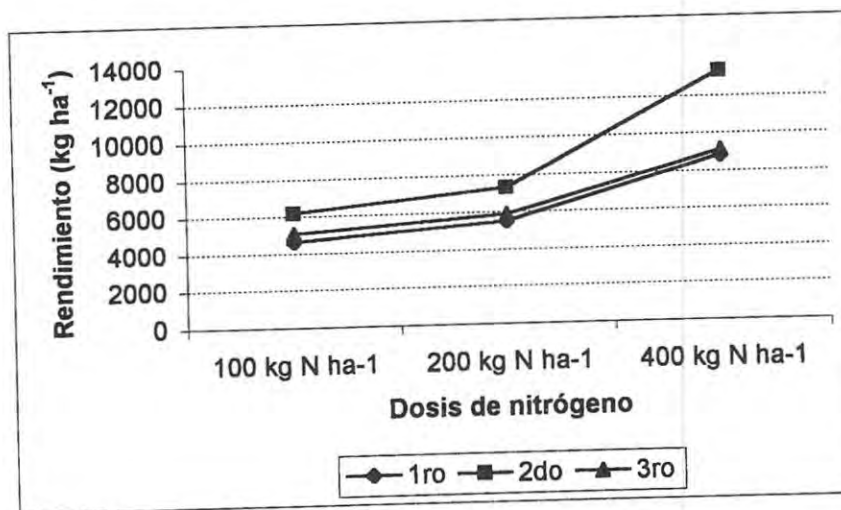


Figura 6. Rendimiento promedio de coliflor por corte para cada dosis de N aplicadas.

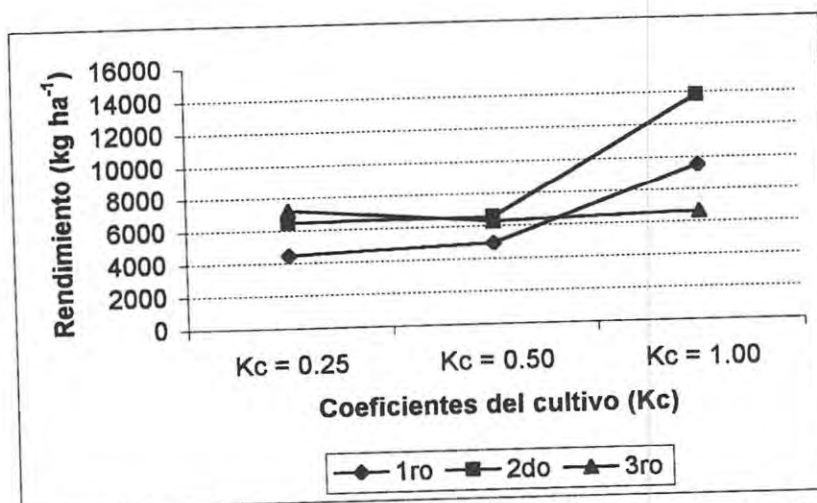


Figura 7. Rendimiento promedio de coliflor por corte para cada Kc de riego.

Se puede observar que en el segundo y tercer corte, los mayores rendimientos se obtuvieron con un $K_c=1.00$ ó con una aplicación de N de 200 a 400 kg ha^{-1} .

En el segundo corte, claramente se observa que la variable rendimiento se comportó exactamente igual que en el tercero, pero la diferencia es que los rendimientos promedio tienen valores más elevados en el segundo corte.

Se analizó el comportamiento de los cortes como un porcentaje del rendimiento total (100%) y resultando altamente significativo el factor número de corte y la interacción de éste con el volumen de agua y la dosis de N (Cuadro 9 Apéndice A). Los resultados se presentan en la Fig 8.

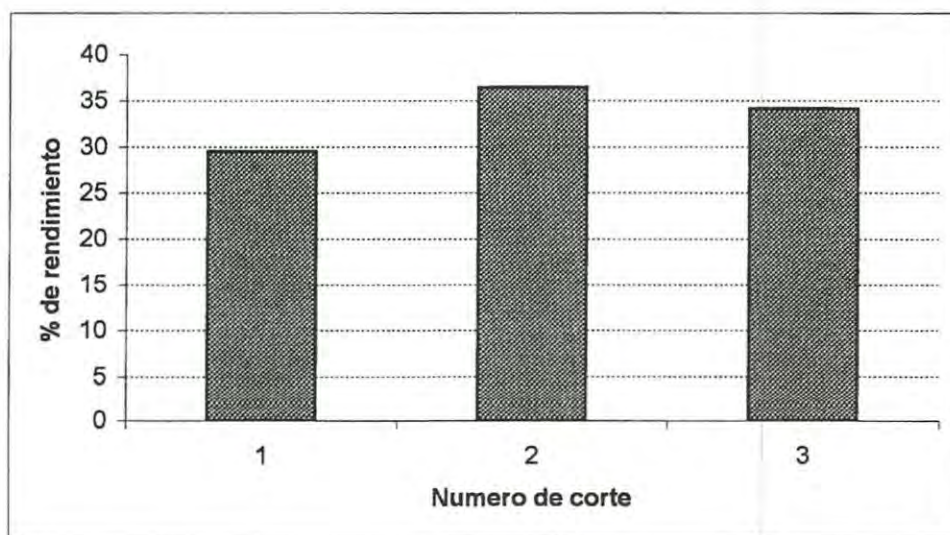


Figura 8. Porcentaje del rendimiento de coliflor correspondiente a cada corte efectuado

El mayor porcentaje de rendimiento (36.4 – 34.1%) correspondió al 2do y 3er corte, ya que se obtuvo únicamente un porcentaje de rendimiento del 29.5 % en el primer corte.

Peso de cabeza

La relación de producción y calidad está directamente relacionada con el peso promedio de las cabezas cosechadas, es por ésta razón que se sometió a análisis estadístico la variable pesos de cabezas para los factores ya mencionados (volumen de agua, dosis de nitrógeno y número de cortes), resultando una alta significancia para los tres factores analizados (Cuadro 9 Apéndice A).

Para observar la interacción respecto a los pesos de las cabezas con los factores evaluados anteriormente, se realizó un análisis con relación al número de corte efectuado. Como resultado se pudo observar que el peso de cabeza está muy relacionado con los Kc evaluados y con las dosis de N aplicados para cada uno de los cortes efectuados (Figuras 9 y 10).

Se puede observar un comportamiento similar de la variable peso de cabeza con la variable rendimiento en su segundo corte, ya que tiene sus mejores pesos de cabeza (476 y 463 g) para un Kc=1.00 ó con una aplicación de 200 a 400 kg N ha⁻¹ respectivamente.

Los factores volumen de agua y dosis de N afectó a la variable peso de cabeza en el tercer corte.

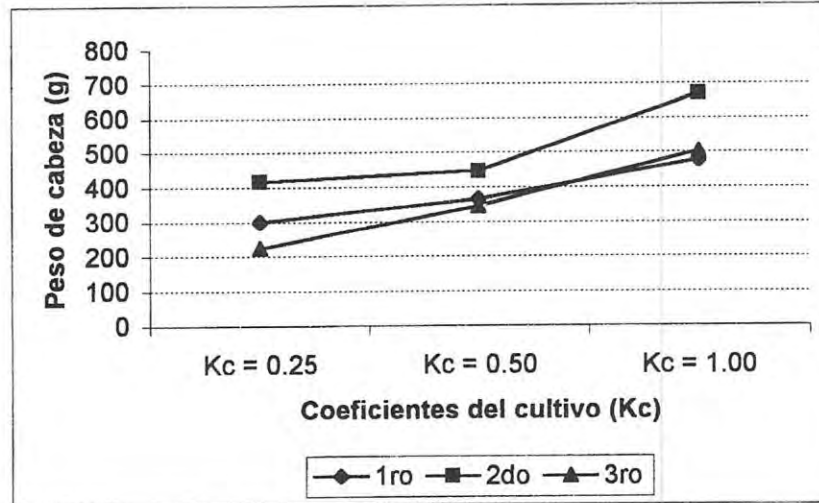


Figura 9. Peso de cabeza promedio para cada corte y Kc de riego.

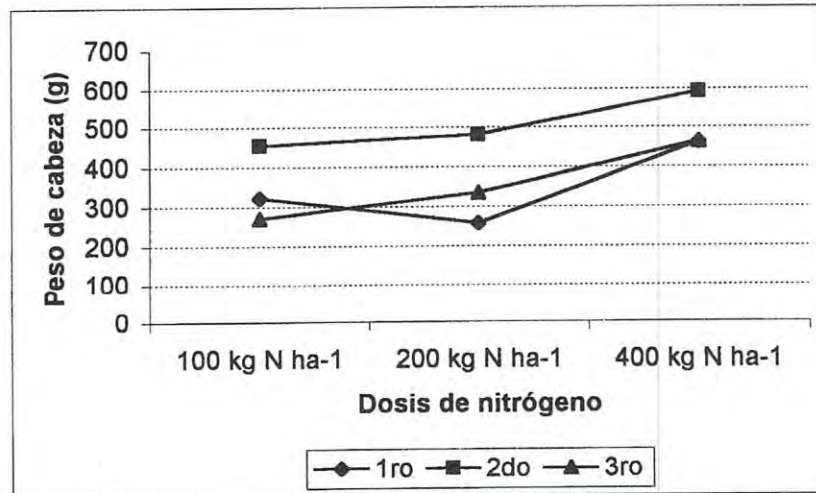


Figura 10. Peso de cabeza promedio para cada corte y dosis de N aplicada.

En el segundo corte se obtuvieron los mejores pesos de cabeza, con 501 g para un $K_c=1.00$ y con 464 g para dosis de aplicación de N de 400 kg ha^{-1} ; siendo alternativo el uso del $K_c=0.50$ ó de aplicación de 200 kg N ha^{-1} .

Rendimiento total

Se analizó por separado las variables producción, rendimiento relativo, biomasa fresca y biomasa seca, observando el comportamiento de las dosis de N (100, 200 y 400 kg ha^{-1}) evaluada sobre cada uno de los volúmenes de agua ó K_c (0.25, 0.50 y 1.00) Cuadro 10 Apéndice A.

Para los volúmenes de agua con $K_c= 0.25$ y 0.50% , no existieron diferencias significativas, excepto para el volumen de agua con $K_c= 1.0$ sobre la variable biomasa fresca, rendimiento total y rendimiento relativo (es el rendimiento de cada tratamiento, referenciado con el tratamiento de mayor producción)

Los mejores rendimientos totales se obtuvieron con una lámina de agua acumulada de 79.37 cm ($K_c=1.00$) aplicando 400 kg N ha^{-1} , obteniéndose un rendimiento promedio de $49,687 \text{ kg ha}^{-1}$ de producto comercial (Fig.11), coincidiendo con el trabajo realizado por Sanchez et al.,(1996) durante tres años en el cultivo de coliflor, donde concluyeron que las producciones comerciales máximas (30 ton ha^{-1}), resultaron para láminas de aplicación de agua de 65 cm y aplicaciones de N de 338 kg ha^{-1}

Estos mismos tratamientos obtienen mayor cantidad de biomasa fresca, representando más del doble del peso del rendimiento total, con peso de $99,067 \text{ kg de materia fresca ha}^{-1}$.

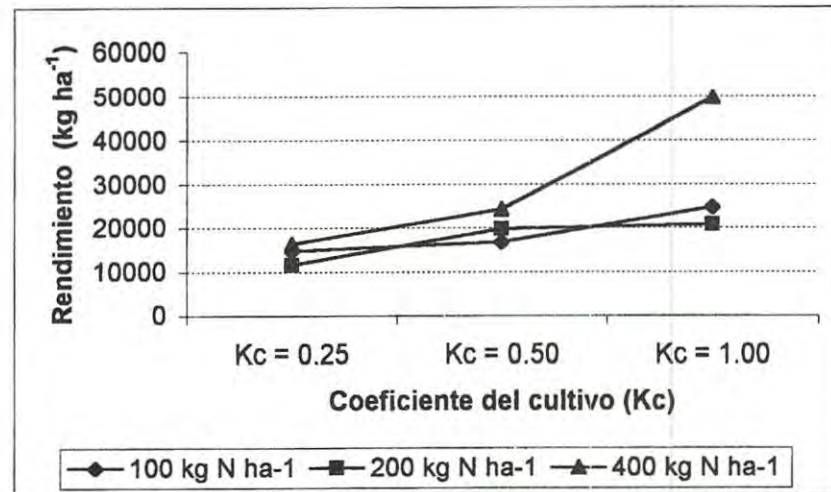


Figura 11. Rendimiento promedio de coliflor para la interacción de Kc y dosis de N.

Diámetro de cabeza

Se analizaron los diámetros promedio de cabeza únicamente para los dos primeros cortes, ya que se tuvieron muchos datos perdidos en el último corte. (Cuadro 11 Apéndice A).

Como se puede observar en el Cuadro 3, los mejores diámetros de cabeza se obtuvieron con tratamientos de Kc=1.00 y 0.50, con diámetros de cabeza de 14.4 cm y 12.6 cm respectivamente para el primer corte; y 14.9 y 13.4 cm para el segundo corte.

Cuadro 3. Diámetro promedio de cabezas de coliflor para cada corte según los diferentes Kc evaluados.

| Numero de Corte | Kc | Diámetro Cabeza (cm) | Dhs (cm) |
|-----------------|------|----------------------|----------|
| 1 | 0.25 | 13.2 | 2.3 |
| | 0.50 | 12.6 | |
| | 1.00 | 14.4 | |
| 2 | 0.25 | 13.2 | 1.7 |
| | 0.50 | 13.4 | |
| | 1.00 | 14.9 | |

Láminas de agua aplicada

Los volúmenes aplicados para cada uno de los tratamientos, dio como resultado que para un Kc= 0.25 acumuló 19.84 cm, Kc=0.50 acumuló 39.69 cm y Kc= 1.00 acumuló 79.37 cm.

Como se observa la lámina de pre-siembra se consideró constante 1.346 cm (134.6 m³ ha⁻¹), variando únicamente la lámina para cada una de las etapas del desarrollo del cultivo. Las fechas de cada una de las etapas fueron: Etapa I (Febrero 28), Etapa II (Marzo 19), Etapa III (Marzo 31) y Etapa IV (Abril 24) correspondiendo cada una a una característica del desarrollo de la coliflor. En los Cuadros 13, 14 y 15 del Apéndice A , se pueden observar los tiempos de riego para cada uno de los tratamientos.

Los valores de lámina de agua corresponden a los acumulados durante todo el ciclo del cultivo de la coliflor, ya que se realizó siembra directa; estos valores no coinciden con los valores reportados por Valdez G. (1989) en el cultivo de repollo, ya que obtuvo una lámina de 30.7 cm (Kc=0.70) durante todo su desarrollo, pero tomados a partir del trasplante; por el contrario Sanchez et al., (1996) obtuvo el mejor tratamiento en coliflor (30 ton ha⁻¹) con láminas acumuladas 65 cm.

Cuadro 4. Láminas aplicadas en cada una de las etapas del cultivo.

| Kc | Lámina aplicada en las etapas del cultivo (cm) | | | | | Total (cm) |
|------|--|-------|-------|-------|-------|------------|
| | Pre-Siembra | I | II | III | IV | |
| 0.25 | 1.346 | 8.57 | 2.97 | 2.53 | 5.77 | 19.84 |
| 0.50 | 1.346 | 17.13 | 5.95 | 5.07 | 11.54 | 39.69 |
| 1.00 | 1.346 | 34.27 | 11.89 | 10.13 | 23.08 | 79.37 |

I= 10-12 primeras hojas

II= Inicio de formación de cabeza

III= Desarrollo de las cabezas

IV= Pre-cosecha

Superficie de respuesta

Con el resultado de esta prueba, se puede concluir que el rendimiento de la coliflor tiende a aumentar al incrementarse las dosis de N y volúmenes de agua, obteniéndose la siguiente función de producción: (Fig. 12)

$$R = 13294.78118 + 0.01738808 (LR)^3 + 0.000262187 (N)^3 \quad (4)$$

$$r^2 = 0.52$$

Donde:

R= Rendimiento (kg ha⁻¹).

LR= Lámina de agua (cm).

N= Dosis de N (kg ha⁻¹).

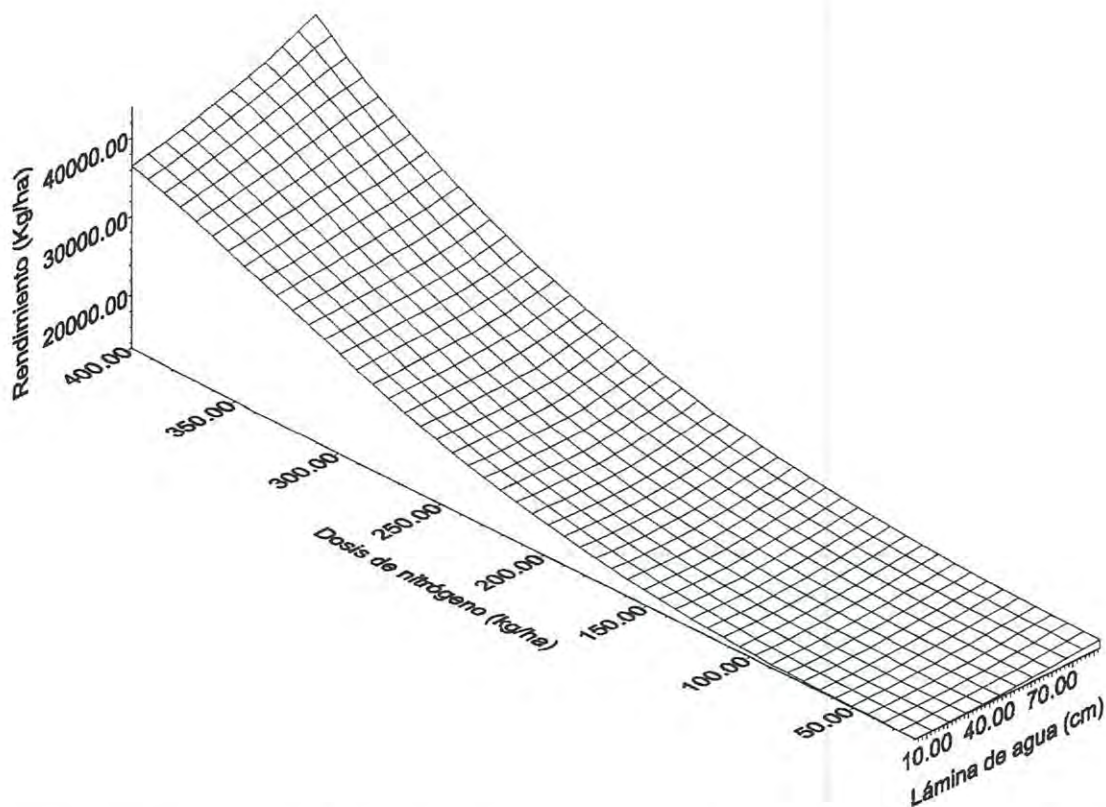


Figura 12. Superficie de respuesta del rendimiento de coliflor, para las dosis de N y los volúmenes de agua evaluados.

Trabajos realizados por Sanchez et al. (1996) durante tres años consecutivos en el cultivo de coliflor, obtuvieron superficies de respuesta para la variable rendimiento de acuerdo a los factores agua (cm) y N (kg ha^{-1}), encontrando la función de estimación con un r^2 de 0.60 :

$$R = (-13.65) + 0.62 (A) + 0.107(N) + (-0.0096(A)^2) + (-0.00031(N)^2) + 0.00187 (A)(N)$$

Donde:

R= Rendimiento (kg ha^{-1})

A= Agua (cm)

N = Nitrógeno (kg ha^{-1})

CONCLUSIONES

Del presente trabajo de investigación podemos concluir:

- 1.- Los mayores rendimientos de coliflor var. Snow Crown, ocurrieron al usarse un $K_c=1.00$ y aplicando 400 kg N ha^{-1} , con rendimientos de $49,687 \text{ kg ha}^{-1}$.
- 2.- El rendimiento y el peso de cabeza están muy afectados por los volúmenes de reposición de agua, siendo el $K_c=1.00$ el que produjo los mayores rendimientos y los más altos pesos de cabeza ($9,554 \text{ kg ha}^{-1}$ y 476 g para el 1er corte; y $13,807 \text{ kg ha}^{-1}$ y 669 g para el 2do corte) con dosis que pueden ser de 200 ó 400 kg N ha^{-1} .
- 3.- De los métodos utilizados en este experimento para tomar el contenido de NO_3^- en la planta, el único afectado por los factores evaluados fue el de NO_3^- en savia tomado a partir del aparato portátil Cardy que fue fuertemente afectado por la etapa de muestreo.
- 4.- Los resultados de la prueba de superficie de respuesta, nos indican que el rendimiento de coliflor incrementó con el aumento de los factores dosis N y lámina de agua aplicada de acuerdo a la siguiente función de producción:

$$R = 13294.78118 + 0.01738808 (\text{LR})^3 + 0.000262187 (\text{N})^3$$

Obteniéndose una $r^2=0.52$

Donde:

R= Rendimiento (kg ha^{-1})

LR= Lámina de agua aplicada (cm)

N= Dosis N (kg ha^{-1})

BIBLIOGRAFIA

- Benton, J.J. 1985. Soil testing and plant analysis: guides to the fertilization of horticultural crop. *Horticultural Reviews*. 7:1-57
- Burgeño, H. 1995. La fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico extracción de nutrientes por los cultivos de tomate y bell pepper en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. Vol. 2. BURSAG S.A. de C.V.
- Búrquez D.V. 1995. Efecto del potencial hídrico y nitrógeno sobre los cultivos de apio y brócoli. Seminario. Maestría en Horticultura. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora.
- Doerge, T.A., B.R. Gardner, and R.L. Roth. 1994. Fertilizing cauliflower in Arizona. Cooperative Extension. The Univ. of Arizona, College of Agriculture. Tucson, Arizona.
- Doerge, T.A; R.L. Roth, and B.R. Gardner. 1991 Nitrogen fertilizer management in Arizona. The Univ. of Arizona, College of Agriculture. Tucson, Arizona.
- Fuentes Y.,J.L. y J. C. Rocha. 1994. Curso elemental de riego. Manuales de capacitación. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Servicio de Extensión Agrícola.
- Gámez R, F. 1979. Estudio agrológico semidetallado del Campo Experimental de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. Tesis Lic. Universidad de Sonora.
- Gándara, T.F. 1995. Producción y exportación de hortalizas en Sonora. Disertación. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora.
- Gardner, B.R. and R.L. Roth .1990. Midrib nitrate concentration as a means for determining nitrogen needs of cauliflower. *J. Plant Nutr.* 13:1435-1451
- Hartz, T., R. Smith, M. LeStrange, and M. Schulbach. 1993. On farm monitoring of soil and crop nitrogen status by nitrate selective electrode. *Soil Sc. Plant Anal.* 24:2607 - 2615.
- Heckman, J.R. 1995a. Using a chlorophyll meter for crop diagnostics. The soil profile. *New Jersey Agric. Exp. Stn.* Vol. 5, No. 3.
- Heckman, J.R. 1995b. Late-season nitrogen sufficiency test for field corn. The soil profile. *New Jersey Agric. Exp. Stn.* Vol. 5, No. 4.
- Hochmuth, G.J. 1994 a. Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick test. *Plant Nutr. Hort Technology.* 4:218 -122.

- Hochmuth, G.J. 1994b. Plant petiole sap-testing. guide for vegetable crops. University of Florida. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Science. Circular 144.
- Kubota A, T.L. Thompson, T.A. Doerge and R.E. Godin. 1996. A petiole sap nitrate test for cauliflower. HortScience 31:934-937
- Moreno, C.M. 1989. Evaluación de 11 cultivares de coliflor (*Brassica oleraceae* L. var. *Botrytis*) en 4 fechas de trasplante en la Costa de Hermosillo. Tesis. Lic. Universidad de Sonora.
- Moreno, J.L. 1994. El uso del agua en un distrito agrícola de riego por bombeo: el caso de la Costa de Hermosillo, Sonora, México. Proyecto MAS.
- Moya T, J.A. 1994. Riego localizado y fertigación.. Ed. Mundi-Prensa. 2da Ed Madrid España.
- Pizarro, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia, goteo, microaspersión, exudación. Ed. Mundi-Prensa. 2da Ed. Madrid España..
- Rubino, P. and E. Palma. 1992. Determination of the water requirement of broccoli (*Brassica oleraceae* L. var. *Itálica*) by weighting lysimeter. Horticulture Abstract 062-02060.
- Sanchez C.A, R.L. Roth and B.R. Gardner. 1996. Economic responses of broccoli and cauliflower to water and nitrogen in the desert. HortScience. 31:201-205
- Schwentenius, R.R y M.A. Gómez 1994. México en el mercado hortícola mundial, algunos datos. Comercio Exterior. Banco Nacional de Comercio Exterior. Vol. 44:341-346
- Stivers, L. J., L.E. Jackson and G.S. Pettygrove. 1993. Use of nitrogen by lettuce, celery, broccoli and cauliflower. Literature Review. Ed. PatSuyama.
- Valdez, G.B. 1989. Variación en rendimiento del cultivo de repollo (*Brassica oleraceae* L. var *capitata*) bajo diferentes volúmenes de agua aplicados con riego por goteo. Tesis Maestría en Ciencias. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Wood, C.W., D.W. Reeves, R.R. Duffield, and K.L. Edmisten. 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. J. Plant Nutr. 15:487-500
- Zazueta, F.S. 1992. Microirrigación. ICFA International Inc.

APENDICE A:
ANALISIS DE VARIANZA

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable NO_3^- en savia para los diferentes factores en estudio e interacciones.

| Fuente | G.L. | Valor F | Pr>F |
|--------------|------|---------|--------|
| Modelo | 35 | 13.36 | 0.0001 |
| VA | 2 | 0.03 | 0.9670 |
| DN | 2 | 3.45 | 0.0370 |
| EM | 3 | 139.63 | 0.0000 |
| VA x DN | 4 | 0.54 | 0.7073 |
| VA x EM | 6 | 2.37 | 0.0380 |
| DN x EM | 6 | 2.75 | 0.0182 |
| VA x DN x EM | 12 | 0.73 | 0.7209 |
| Error | 72 | | |

VA=Volumen de Agua
DN=Dosis de Nitrógeno
EM=Etapa de Muestreo

Cuadro 6. Análisis de varianza para la variable NO_3^- en savia en la primera y segunda etapa de muestreo para los factores volumen de agua, dosis de N e interacción.

| Fuente | G.l. | 1er Etapa Muestreo | | 2da Etapa Muestreo | |
|---------|------|--------------------|--------|--------------------|-------|
| | | Valor F | Pr>F | Valor F | Pr>F |
| Modelo | 8 | 1.21 | 0.3459 | 1.43 | 0.248 |
| VA | 2 | 4.46 | 0.0260 | 2.64 | 0.099 |
| DN | 2 | 0.05 | 0.9542 | 0.35 | 0.710 |
| VA x DN | 4 | 0.17 | 0.9510 | 1.38 | 0.281 |
| Error | 18 | | | | |

VA=Volumen de Agua
DN=Dosis de Nitrógeno

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable NO_3^- en savia en la tercera y cuarta etapa de muestreo para los factores volumen de agua, dosis de N e interacción.

| Fuente | G.l. | 3ra Etapa Muestreo | | 4ta Etapa Muestreo | |
|---------|------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | | Valor F | Pr>F | Valor F | Pr>F |
| Modelo | 8 | 1.80 | 0.143 | 0.80 | 0.607 |
| VA | 2 | 1.16 | 0.228 | 0.68 | 0.521 |
| DN | 2 | 5.17 | 0.016 | 0.45 | 0.644 |
| VA x DN | 4 | 0.21 | 0.930 | 1.05 | 0.411 |
| Error | 18 | | | | |

VA=Volumen de Agua
DN=Dosis de Nitrógeno

Cuadro 8. Análisis de varianza para la variable rendimiento por corte, porcentaje de cosecha y peso de cabeza.

| Fuente | G.L. | Rend. | % Cos. | Peso Cabeza | Significancia | |
|--------------|------|---------|---------|-------------|---------------|--------|
| | | Valor F | Valor F | Valor F | F (5%) | F (1%) |
| VA | 2 | 8.655 | 0.658 | 17.090 | 3.555 | 6.0135 |
| DN | 2 | 11.590 | 0.640 | 7.320 | 3.555 | 6.0130 |
| VA x DN | 4 | 4.756 | 1.940 | 1.778 | 2.928 | 4.5790 |
| Error A | 18 | | | | | |
| NC | 2 | 3.542 | 8.875 | 8.590 | 3.259 | 5.2480 |
| VA x NC | 4 | 2.812 | 6.105 | 0.571 | 2.634 | 3.8900 |
| DN x NC | 4 | 0.720 | 7.892 | 0.327 | 2.634 | 3.8900 |
| VA x DN x NC | 8 | 0.543 | 6.267 | 1.010 | 2.209 | 3.0520 |
| Error B | 36 | | | | | |

VA=Volumen de Agua
DN=Dosis de Nitrógeno
NC=Número de Corte

Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable rendimiento y peso de cabeza en el primer, segundo y tercer corte para los factores volumen de agua, dosis N e interacción.

| No. Corte | Fuente | G.l. | Rendimiento | | Peso Cabeza | |
|-----------|---------|------|-------------|--------|-------------|--------|
| | | | Valor F | Pr>F | Valor F | Pr>F |
| 1 | Modelo | 8 | 4.94 | 0.0020 | 4.48 | 0.0039 |
| | VA | 2 | 9.15 | 0.0020 | 8.89 | 0.0020 |
| | DN | 2 | 5.67 | 0.0120 | 6.09 | 0.0100 |
| | VA x DN | 4 | 2.48 | 0.0810 | 1.47 | 0.2514 |
| | Error | 18 | | | | |
| 2 | Modelo | 8 | 4.10 | 0.0061 | 2.23 | 0.0750 |
| | VA | 2 | 6.30 | 0.0080 | 4.60 | 0.0240 |
| | DN | 2 | 5.24 | 0.0160 | 1.25 | 0.3150 |
| | VA x DN | 4 | 2.44 | 0.0840 | 1.54 | 0.2320 |
| | Error | 18 | | | | |
| 3 | Modelo | 8 | 1.30 | 0.3045 | 3.60 | 0.0114 |
| | VA | 2 | 0.13 | 0.8770 | 8.66 | 0.0020 |
| | DN | 2 | 2.85 | 0.0844 | 4.34 | 0.0290 |
| | VA x DN | 4 | 1.11 | 0.3821 | 0.71 | 0.5980 |
| | Error | 18 | | | | |

VA=Volumen de Agua
DN=Dosis de Nitrógeno

Cuadro 10. Análisis de varianza para la variable biomasa fresca, rendimiento total y rendimiento relativo.

| Fuente | G.l. | Biomasa Fresca | | Rendimiento total | | Rend. Relativo | |
|---------|------|----------------|--------|-------------------|--------|----------------|--------|
| | | Valor F | Pr>F | Valor F | Pr>F | Valor F | Pr>F |
| Modelo | 8 | 5.74 | 0.0010 | 7.43 | 0.0002 | 7.43 | 0.0002 |
| VA | 2 | 5.82 | 0.0113 | 8.66 | 0.0023 | 8.66 | 0.0023 |
| DN | 2 | 10.40 | 0.0010 | 11.56 | 0.0006 | 11.56 | 0.0006 |
| VA x DN | 4 | 3.37 | 0.0318 | 4.75 | 0.0086 | 4.75 | 0.0086 |
| Error | 18 | | | | | | |

VA=Volumen de Agua
DN=Dosis de Nitrógeno

Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable diámetro de cabeza en el primer y segundo corte.

| Fuente | G.l. | 1er Corte | | 2do Corte | |
|---------|------|-----------|--------|-----------|-------|
| | | Valor F | Pr>F | Valor F | Pr>F |
| Modelo | 8 | 1.90 | 0.1300 | 1.07 | 0.430 |
| VA | 2 | 6.18 | 0.0091 | 3.30 | 0.063 |
| DN | 2 | 0.80 | 0.4639 | 0.14 | 0.869 |
| VA x DN | 4 | 0.30 | 0.8894 | 0.40 | 0.804 |
| Error | 18 | | | | |

VA=Volumen de Agua
DN=Dosis de Nitrógeno

**APENDICE B:
CUADRO DE DATOS**

Cuadro 12. Tiempo y presión de aplicación de las dosis de N, durante el experimento.

| Períodos | Tiempo de aplicación 1er Etapa (min) | Tiempo de aplicación 2da Etapa (min) | Tiempo de aplicación 3er Etapa (min) | Tiempo de aplicación 4ta Etapa (min) |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Aplicación | 14 | 10 | 11 | 14 |
| Lavado | 17 | 13 | 18 | 13 |
| Presión de aplicación (psi) | 12 | 14 | 15 | 15 |

Cuadro 13. Tiempos de riego promedio y evaporaciones promedio durante las etapas de aplicación del tratamiento $K_c=1.0$.

| Etapa | Fecha | Días | Días Acum. | Tiempo de Riego (hr) | Evaporación (mm día^{-1}) |
|---------|------------|------|------------|----------------------|--------------------------------------|
| Siembra | Dic. 05 | 0 | 0 | | |
| I | Febrero 28 | 84 | 84 | 1.16 | 4.08 |
| II | Marzo 19 | 20 | 103 | 1.69 | 5.95 |
| III | Marzo 31 | 12 | 115 | 2.41 | 8.44 |
| IV | Abril 24 | 24 | 139 | 2.75 | 9.62 |

Cuadro 14. Tiempos de riego promedio y evaporaciones promedio durante las etapas de aplicación del tratamiento $K_c=0.5$.

| Etapa | Fecha | Días | Días Acum. | Tiempo de Riego (hr) | Evaporación (mm día^{-1}) |
|---------|------------|------|------------|----------------------|--------------------------------------|
| Siembra | Dic. 05 | 0 | 0 | | |
| I | Febrero 28 | 84 | 84 | 0.58 | 4.08 |
| II | Marzo 19 | 20 | 103 | 0.85 | 5.95 |
| III | Marzo 31 | 12 | 115 | 1.20 | 8.44 |
| IV | Abril 24 | 24 | 139 | 1.37 | 9.62 |

Cuadro 15. Tiempos de riego promedio y evaporaciones promedio durante las etapas de aplicación del tratamiento $K_c=0.25$.

| Etapa | Fecha | Días | Días Acum. | Tiempo de Riego (hr) | Evaporación (mm día ⁻¹) |
|---------|------------|------|------------|----------------------|-------------------------------------|
| Siembra | Dic. 05 | 0 | 0 | | |
| I | Febrero 28 | 84 | 84 | 0.29 | 4.08 |
| II | Marzo 19 | 20 | 103 | 0.42 | 5.95 |
| III | Marzo 31 | 12 | 115 | 0.60 | 8.44 |
| IV | Abril 24 | 24 | 139 | 0.68 | 9.62 |

Cuadro 16. Litros de fertilizante líquido UAN-32 para cada uno de los tratamientos y para cada una de las etapas del experimento.

| Etapa Fenológica | 100 kg ha ⁻¹ L trat ⁻¹ | 200 kg ha ⁻¹ L trat ⁻¹ | 400 kg ha ⁻¹ L trat ⁻¹ | Total |
|------------------|---|---|---|--------|
| I | 0.490 | .990 | 1.980 | 3.460 |
| II | 0.820 | 1.650 | 3.290 | 5.760 |
| III | 1.650 | 3.290 | 6.590 | 11.530 |
| IV | 0.330 | 0.660 | 1.320 | 2.310 |
| Total | 3.29 | 6.59 | 13.18 | 23.06 |