



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS
DE HIDALGO**

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

**Programa de Doctorado Institucional en Ciencias Biológicas, opción
Ciencias Agrícolas**

**EFFECTO DEL NITROGENO SOBRE EL CRECIMIENTO Y
RENDIMIENTO DE FRESA (*Fragaria X ananassa*, Duch.)
REGADA POR GOTEO Y GRAVEDAD**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS, PRESENTA

GILBERTO VAZQUEZ GALVEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. RAUL CARDENAS NAVARRO

MORELIA, MICHOACAN AGOSTO DEL 2007

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con la coparticipación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través del Instituto de investigaciones Agrícolas y Forestales y el Instituto Politécnico Nacional a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-Michoacán).

Quiero agradecer el apoyo del consejo asesor de este trabajo, especialmente a los doctores Raúl Cardenas Navarro y Philippe Lobit.

También quiero agradecer la colaboración de toda la gente que participó en el trabajo de campo y laboratorio. A mis compañeros del CIIDIR-IPN-Michoacán, especialmente a Rebeca Flores Magallón y a Marco Antonio Mejía Acevedo. A Serafín y Philippe de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Agradezco el apoyo invaluable de mi esposa Leticia y de mis hijos Angeles, Isaias y Alejandra. Porque siempre estemos unidos

CONTENIDO

	Página
I. RESUMEN GENERAL	1
II. SUMMARY	2
III. INTRODUCCION GENERAL	3
Justificación	3
Marco teórico	4
Mecanismos de absorción y asimilación del nitrógeno por la planta	4
El cultivo de la fresa	5
Sistemas de producción	7
Ciclo del cultivo	8
Riego de la fresa	9
Riego por gravedad	10
Riego por goteo	11
Fertilización de la fresa	12
Fertilización en riego por gravedad	12
Fertilización en riego por goteo	13
IV. HIPÓTESIS	15
V. OBJETIVOS	
VI. RESULTADOS	16
RESUMEN	17
ABSTRACT	18
INTRODUCCION	19
MATERIALES Y METODOS	22
RESULTADOS Y DISCUSION	25
CONCLUSIONES	30
LITERATURA CITADA	31

I RESUMEN GENERAL

El cultivo de la fresa (*Fragaria X ananassa*, Duch.) en el valle de Zamora, Michoacán, México, es el mayor generador de empleo en el campo. Este cultivo también es uno de los mayores consumidores de fertilizantes nitrogenados los cuales se aplican en muy altas cantidades ($>600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$). El objetivo de este trabajo fue generar información local sobre el efecto del fertilizante nitrogenado y de su eficiencia, así como la del agua, en riego por goteo y gravedad en el cultivo de fresa. Se evaluó el efecto de dosis crecientes de nitrógeno aplicadas en riego por goteo y gravedad (0, 23, 77, 231, 693 y 1 537 kg ha^{-1} de N) sobre el crecimiento y rendimiento de fruta en el cultivo de fresa. Los resultados muestran una disminución significativa en la materia seca total por planta al cambiar de riego por goteo a gravedad. El aporte de 231, 693 y 1 537 kg de N ha^{-1} significó una mayor producción de materia seca. Sin embargo, el cambio de 231 a 693 y de 231 a 1 5373 kg ha^{-1} de N implica un incremento de 3 y 6.6 veces, respectivamente en la cantidad de fertilizante nitrogenado y representa incrementos económicos proporcionales. La eficiencia de N en la producción de fruto en riego por goteo fue 19% superior al obtenido en riego por gravedad. Los resultados sugieren que en los dos sistemas de producción de fresa es posible utilizar dosis de N alrededor de 231 kg ha^{-1} , lo cual significa un ahorro de fertilizante nitrogenado en más de la mitad con respecto a las cantidades que la mayoría de los agricultores utilizan actualmente en la región fresera de Zamora, Michoacán. El aporte de agua en riego por goteo y gravedad fue de 6 321 y 7 958 m^3 respectivamente, lo cual significa un ahorro de agua de 21% en riego por goteo; además, este sistema fue en promedio 29% más eficiente para producir fruto que el riego por gravedad.

PALABRAS CLAVE: *Fragaria X ananassa*, Duch., crecimiento y producción de fruto, riego por goteo y gravedad.

II. SUMMARY

Strawberry production is the major agricultural source of employment in the valley of Zamora, Michoacán, México. This horticultural crop is also one of the most important consumers of nitrogen fertilizers, which are applied in very high quantities ($>600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$). The aim of this work was to generate local information about the effect of nitrogen supply on plant growth and production, as well as nitrogen use efficiency and water use efficiency in strawberry plants grown under two irrigation systems: drip and gravity. The effect of increased doses of nitrogen (0, 23, 77, 231, 693 y $1\ 537 \text{ kg ha}^{-1}$ of N) was evaluated in drip and gravity irrigation systems. The results showed a significant decrease in plant dry matter when irrigation was changed from drip to gravity. When plants were supplied with 231, 693 and $1\ 537 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, dry matter production increased. Nevertheless, the change from 231 to 693 and from 231 to $1\ 537 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, respectively represented a 3- and 6.6-fold increase in the quantity of applied fertilizer; this also represents proportional economic increases. With drip irrigation, water consumption was 21% less and the efficiency in fruit production was 29% higher than with gravity irrigation. The efficiency of nitrogen on fruit production with drip irrigation was 19% greater than that obtained with gravity irrigation system.

KEY WORD: *Fragaria X ananassa* Duch., growth and fruit production, drip and gravity irrigation systems.

III. INTRODUCCIÓN GENERAL

JUSTIFICACIÓN

La fresa es un cultivo estratégico en el estado de Michoacán porque es generador de empleos y divisas. En el ciclo agrícola 2003-2004 se establecieron 2 437 hectáreas que produjeron 71 227 toneladas, con un valor de 358 millones de pesos y que además generaron 1.5 millones de jornales en el campo (SEDAGRO, 2005; DDR-088, 2004).

El nitrógeno es con frecuencia el nutrimento más limitante en los agroecosistemas y por ello es aplicado en altas cantidades en cultivos como la fresa, en el que los agricultores, con el propósito de obtener altos rendimientos y por carecer de información técnica sobre el uso y manejo de los fertilizantes nitrogenados, aplican dosis de N superiores a 600 kg ha^{-1} (Cárdenas et al., 2004), elevando con ello el costo de producción del cultivo y provocando serios problemas de contaminación ambiental por la lixiviación del nitrógeno, principalmente de nitratos, hacia los mantos freáticos subterráneos. Pocos esfuerzos se han hecho por desarrollar prácticas que mejoren el manejo de fertilizantes a fin de incrementar la eficiencia en el uso del nitrógeno y mejorar la calidad ambiental. Por ello, la eficiencia productiva del nitrógeno es generalmente baja debido a que la planta utiliza un porcentaje mínimo en relación al total aplicado.

Con relación al agua, el cultivo tiene una demanda de $12\,546 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ durante su ciclo (CNA, 2005), pero el agricultor generalmente abusa de este recurso aplicando cantidades muy por arriba de las calculadas, ya sea por desconocimiento o por considerar que con una mayor cantidad de agua se obtienen mayores rendimientos y se controlan mejor las plagas como la araña roja (*Tetranychus urticae* Koch.). Según datos de la CNA (2005) y del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 088 (2004) en Zamora, el cultivo de la fresa en riego por gravedad tiene un índice de productividad de $2.31 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ de fruta producida; pero según información de algunos productores de fresa, existe la posibilidad de mejorar el índice de productividad hasta tres veces con sistemas de producción más eficientes en el uso del agua, como es el caso de riego por goteo.

MARCO TEORICO

Mecanismos de absorción y asimilación del nitrógeno por la planta

En nitrógeno (N) en el suelo se distribuye de una manera muy heterogénea y consiste de una compleja mezcla de formas orgánicas e inorgánicas (Miller y Cramer, 2004). En el contexto de esta variabilidad de N, las plantas han desarrollado mecanismos que les favorecen a optimizar la absorción de nitrógeno tanto bajo condiciones de limitación de N como con la restricción de absorción de nitrógeno cuando hay exceso de este elemento (Glass et al., 2002). El contenido de N requerido para el óptimo crecimiento depende de la especie de planta, el estado de desarrollo de ésta y el órgano. El contenido de N varía entre 2 y 5% del peso seco de las plantas (Marschner, 1995; Miller y Cramer, 2004). El nitrógeno está presente en proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas y numerosos compuestos secundarios de la planta. Generalmente, el N es asimilado como NH_4^+ , NO_3^- , o como aminoácidos, o por la fijación de N_2 . De estas formas el N inorgánico es probablemente la fuente dominante de N en las plantas cultivadas. Lo anterior se debe a que el N orgánico en forma de aminoácidos tienen un coeficiente de difusión bajo y es rápidamente transformado por los microorganismos, y por lo tanto es absorbido por las raíces en pequeñas cantidades. Investigaciones recientes (Persson, et al., 2006), indican que la absorción de varias fuentes orgánicas e inorgánicas de N varían significativamente, siendo altas para aminoácidos como Glutamina, NH_4^+ y Alanina, y bajas para NO_3^- . La absorción de formas de N inorgánicas (NO_3^- NH_4^+) y orgánicas del suelo se realiza por múltiples sistemas de transporte que están situados en las raíces. Estos transportadores son inducidos por varios factores y están sujetos a un complejo nivel de regulación genética (Miller y Cramer, 2004).

De las formas inorgánicas, el nitrato es tomado preferentemente por las plantas cultivadas, debido a que es aplicado en concentraciones mayores que NO_2 y NH_4^+ . El nitrato entra a las raíces a través de una combinación de flujo de masas y difusión, y depende de la

humedad del suelo, resistencia del suelo, absorción de la raíz y tasa de crecimiento (Miller y Cramer, 2004). La absorción es regulada por un sistema de absorción de alta y baja afinidad que opera a diferentes concentraciones externas de NO_3^- . A bajas concentraciones externas de NO_3^- (<0.5 mM), dos sistemas de transporte de alta afinidad probablemente asumen la mayoría de la responsabilidad de la absorción de N, mientras que a una alta concentración de NO_3^- (>0.5 mM), opera un sistema de transporte de baja afinidad (Vidmar, et al., 2000; Glass et al., 2002; Miller y Cramer, 2004). Los niveles de estos sistemas se incrementan después de la provisión de NO_3^- en plantas a las cuales se les priva del mismo; ello está correlacionado a nivel fisiológico con el incremento del influjo de NO_3^- cuando este ión es la primera fuente de N. La absorción y alojamiento del NO_3^- en la planta se afecta en presencia de formas orgánicas de N como aminoácidos, así como en presencia de NH_4^+ (Persoon, 2006). El efecto de NH_4^+ sobre NO_3^- es complejo porque es afectado a varios niveles, entre ellos en la transcripción, efectos directos con el NH_4^+ y sobre los transportadores de NO_3^- (Vidmar, et al., 2000). La presencia de NH_4^+ inhibe la absorción de NO_3^- reduciendo su influjo (Deane-Drummond y Glass, 1983; Kronzucker, et al., 1999; Aslam, et al., 2001). Sin embargo, este efecto de NH_4^+ (1 mM) sobre el influjo de NO_3^- disminuye significativamente a altas concentraciones externas de NO_3^- (10mM), indicando que el NH_4^+ sólo inhibe el sistema de transporte de NO_3^- de alta afinidad (Kronzucker, et al., 1999). La Glutamina Sintetasa (GS) funciona como la principal enzima de asimilación del amonio producido por la fijación de N, y el nitrato y amonio absorbidos. Durante el crecimiento y desarrollo de las plantas el N es movido dentro y fuera de las proteínas en los diferentes órganos y es transportado entre ellos en un limitado número de compuestos transportadores. Esta distribución probablemente cambia en función del desarrollo de tejidos (Mifflin y Habash, 2002).

El cultivo de la fresa

Las plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) son herbáceas de comportamiento perenne, que producen raíces, hojas, estolones, y flores y un tallo muy reducido llamado corona. La raíz de la fresa se origina de la parte basal de la corona y se constituye de raíces primarias y raicillas, que se localizan en un 90% en los primeros 25 cm de profundidad.

Las funciones principales de la raíz son: soporte, absorción y transporte de agua y nutrimentos, aunque también sirven como sitios de almacenamiento de sustancias de reserva en áreas donde ocurre letargo invernal (Dana, 1981; Maas, 1984; Maroto y López, 1988). Las hojas son el principal sitio de conversión de la energía solar en energía metabólica. Se originan de los nudos y de la parte apical de la corona, a una tasa de producción de una hoja por cada 10 a 12 días, aunque las bajas temperaturas y fotoperiodos cortos reducen tanto la tasa como el tamaño de la hoja (Dana, 1981; Maas, 1984). Los estolones crecen de las yemas axilares de las hojas y se caracterizan por poseer entrenudos largos. Un estolón se convierte en una planta hija cuando forma hojas nuevas y raíces adventicias en su segundo nudo. De esta planta se pueden originar nuevos estolones y plantas hijas (Dana, 1981; Maroto y López, 1988). Rom y Dana, citados por Dana (1981), han señalado que una planta hija puede independizarse de la planta madre en un periodo de 2 a 3 semanas, dependiendo de las condiciones que tenga para desarrollar su sistema radical. Así, las plantas hijas que enraizan pronto durante la estación de crecimiento, son más productivas que aquellas enraizadas más tarde. De las yemas axilares de las hojas también se originan coronas nuevas o hijas. Estas son morfológicamente idénticas a las coronas principales y a las de las plantas hijas, pero no producen un sistema radical separado de la planta madre. La formación de coronas nuevas depende de una adecuada nutrición y de un buen espaciamiento entre plantas madres. El número de hojas, el área foliar y el tamaño de la planta son medidas indirectas de la formación de coronas, las cuales también son sitios de inducción de inflorescencias y, por lo tanto, de producción de frutos (Dana, 1981). Las inflorescencias se producen siempre en la parte terminal o apical de las coronas. Las inflorescencias normales generalmente cuentan con una flor primaria, dos secundarias, cuatro terciarias y ocho cuaternarias. La flor primaria abre primero, le siguen las secundarias, las terciarias y por último las cuaternarias (Dana, 1981). La parte comestible de la fresa, es decir el fruto, es un receptáculo carnoso que contiene numerosos achenios que se sitúan en la parte externa y se conectan con la parte interna del fruto. El desarrollo del receptáculo está regulado por un balance hormonal durante la maduración de los achenios. Cualquier interrupción de éste balance por factores internos y externos, como fertilización deficiente, daño por insectos, enfermedades, heladas, etc., resulta en frutos malformados (Maas, 1984). La duración del periodo de polinización a maduración de fruto

es de alrededor de 30 días. En días largos y altas temperaturas este periodo se acorta hasta 6 días; pero en días cortos y bajas temperaturas el fruto puede madurar hasta los 60 días (Darrow, 1966) su tamaño esta en función de la interacción entre posición de fruto en la inflorescencia, número de aquenios y vigor de la planta (Janick y Eggert, 1968).

Sistemas de producción

El manejo del cultivo varía conforme a la distancia entre plantas dentro del surco. En orden de importancia, en México se utilizan tres sistemas de plantación:

Directa verde, el cual ocupa más del 95% de la superficie sembrada con fresa en Zamora. Se utilizan plantas generalmente no refrigeradas, procedentes de viveros regionales, que se colocan en dos hileras a 25 cm a lo largo y ancho, en surcos de 0.90 a 1 m de ancho, obteniéndose una densidad de población de alrededor de 90, 000 plantas por hectárea; en este sistema de plantación los estolones se remueven cuando aparecen durante la estación de crecimiento.

Semidirecta, en el que se utilizan plantas previamente refrigeradas que se colocan a dos hileras en forma de zig-zag a distancias de aproximadamente 40 cm entre sí; en este sistema de plantación se dejan los estolones y se controlan para obtener una densidad de población semejante al sistema anterior.

Directa refrigerada, en este sistema se utilizan plantas de calidad certificada y registrada, previamente refrigeradas procedentes de viveros de alguna compañía de Estados Unidos de Norteamérica. La densidad de población y el manejo es similar al sistema Directa Verde descrito anteriormente. Este sistema es muy poco utilizado en México debido al alto costo de las plantas utilizadas.

En Estados Unidos de Norteamérica y otras partes del mundo los sistemas “Double Hill” y el “Matted Row” son respectivamente equivalentes a los sistemas directa refrigerada y semidirecta descritos anteriormente; sin embargo, en el “Matted Row” las plantas originales se establecen a mayor distancia (aproximadamente a 60 cm) y los estolones se

manejan para obtener una franja de 45 cm de ancho, aproximadamente. Otro sistema utilizado en Estados Unidos es el “Ribbon Row”, que es una modificación al sistema “Double Hill”, con la diferencia de que en aquél las plantas se colocan menos espaciadas (aproximadamente de 5 a 10 cm) en una sola hilera.

Ciclo del cultivo

La gran mayoría de la superficie (más del 95%) de fresa sembrada en Zamora se realiza bajo el sistema directo verde descrito anteriormente. El ciclo del cultivo dentro de este sistema consta de dos etapas: etapa vegetativa y etapa reproductiva.

Etapa vegetativa. Esta etapa inicia con el establecimiento del vivero de fresa en los meses de enero y febrero. Generalmente se siembran plantas refrigeradas de calidad certificada o registrada procedentes de compañías comerciales de Estados Unidos de Norteamérica. Las plantas se colocan a dos hileras en forma de zig-zag a distancias de aproximadamente 40 cm entre sí en surcos de 80 a 90 cm de ancho. Cuando hay emisión de estolones, éstos se manejan de manera que se obtenga una franja de 1.5 m de ancho. La cosecha del vivero se realiza en los meses de julio y agosto con rendimientos de 400, 000 plantas por hectárea.

Etapa productiva. Esta etapa inicia en los meses de julio a septiembre con la siembra de las plantas cosechadas en el vivero. Las plantas deben de tener suficiente humedad durante los primeros días para asegurar un alto porcentaje de sobrevivencia.

Las primeras flores aparecen aproximadamente a los treinta días después del trasplante; los primeros frutos maduran otros treinta días más tarde, marcando el inicio de la cosecha. El periodo de cosecha se prolonga hasta el mes de junio del año siguiente cuando inician las lluvias que limitan el periodo de crecimiento. La fructificación tiene un pico máximo de producción entre el mes de febrero y marzo para las variedades de fotoperiodo corto. Las variedades de fotoperiodo neutro tienen un pico máximo de producción más temprano porque son variedades más precoces.

Riego de la fresa

Los cultivos como la fresa utilizan la radiación solar, el CO₂ de la atmósfera, agua y nutrientes para producir biomasa alojada en los frutos, hojas, tallos y raíces mediante el proceso de la fotosíntesis. Cuando los estomas de las hojas se abren para permitir la entrada de CO₂, se produce la emisión de agua en forma de vapor desde la planta a la atmósfera mediante el proceso de transpiración. Esta pérdida de agua es un costo que debe pagar el cultivo para producir, y debe ser repuesta por la planta mediante la extracción de agua del suelo por las raíces. Esta cantidad de agua, unida a la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo, constituye lo que se conoce como evapotranspiración del cultivo (ETc) y debe ser satisfecha mediante el riego.

Con el riego se debe aplicar la cantidad justa de agua para cubrir el consumo del cultivo o ETc. Un exceso de agua de riego supone el lavado de fertilizantes, lo que puede acarrear problemas medioambientales por la contaminación de aguas subterráneas. Además, en suelos pesados es común la aparición de problemas de encharcamiento y asfixia radical. Una aportación de agua inferior a la ETc puede llegar a provocar déficit hídrico y por lo tanto una reducción de la producción. Fernández, et al., (2001) indican que la aplicación de dosis de riego inferiores al consumo del cultivo reduce la producción significativamente hasta en un 30%.

Como otros cultivos, la fresa generalmente requiere riego para su óptimo crecimiento y desarrollo. El riego puede aplicarse vía aspersión, gravedad y goteo; o una combinación de aspersión y riego por goteo. En países como Estados Unidos de Norteamérica (EUA), el riego por goteo es el modo dominante de aplicar el agua, debido a su eficiencia, aunque el riego por aspersión aún es popular en regiones donde es necesario controlar el frío. En California la combinación del riego por aspersión y goteo es muy usada en los sistemas de plantación de fresa durante su establecimiento (Galletta y Bringhurst, 1990). El riego por gravedad es raro en países como EUA, donde se usa solo en áreas en las que el costo de utilizar pipas y mangueras es muy alto; sin embargo, en países como México es el sistema más ampliamente utilizado para producir fresa, pues alrededor del 90% de la superficie

nacional, equivalente a más de 3000 hectáreas, lo utilizan debido fundamentalmente a que los productores no cuentan con infraestructura para otros sistemas de riego.

Riego por gravedad. Consiste en aplicar agua en los surcos a partir de una zanja regadora. La única adecuación que este sistema requiere es la nivelación de los surcos con una pendiente que permita que el agua avance. En algunos casos se utilizan sifones de PVC para pasar el agua de la zanja al surco. Su principal ventaja es el bajo costo, pero su eficiencia es muy baja, del orden del 33% aun en países como EUA (Locascio, 2005), lo cual hace que el costo de aplicación sea alto cuando el agua es extraída de pozos o ríos. En México, los sistemas de riego por gravedad se utilizan en el 90% de la superficie, teniendo una eficiencia inferior al 50%, debido a las pérdidas de agua por infiltración profunda y escurrimiento superficial. Diseñando y operando correctamente los sistemas de riego por gravedad es factible aumentar la eficiencia del uso del agua hasta un 75% al disminuirse drásticamente las pérdidas de agua a nivel parcelario. Las tasas de aplicación de agua en este sistema varían grandemente dependiendo del clima y localidad. En la región fresera de Irapuato, México las necesidades anuales reportadas en riego por gravedad para el cultivo de la fresa son del orden de $20\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$, con un índice de productividad del agua de $1.6\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$ de fruto de fresa (Monroy et al., 2002). Para Zamora, Michoacán la Comisión Nacional del Agua (CNA) recomienda para el cultivo de la fresa un uso consuntivo de 101.79 cm ., equivalente a $10\,179\text{ m}^3$ que la planta utiliza en 315 días durante los meses de agosto a junio (CNA, 2005). Con base en estos datos, se pensaría que en comparación con Irapuato, en Zamora se aplica la mitad de la lámina de riego y por ello, considerando que en Zamora se obtiene un rendimiento promedio de fruta 1.5 veces mayor que el obtenido en Guanajuato, la eficiencia en el uso del agua es del triple de la observada en Irapuato. Sin embargo, es muy probable que no sea así porque la eficiencia de tan solo el 30% del sistema de riego resultaría en una aplicación de más de tres veces lo calculado por la CNA (2005), para cubrir los requerimientos reales del cultivo. Otro criterio para pensar que los agricultores no aplican las cantidades de agua requeridas por el cultivo es que no hacen uso de algún diagnóstico del estado hídrico que guarda el suelo o planta. Otras consideraciones empíricas de los agricultores para la aplicación de grandes cantidades de agua son disminuir la incidencia de araña roja, la principal plaga del cultivo en esta zona, y estimular

a la planta en su rebrote en la última etapa de fructificación antes de finalizar su estación de crecimiento.

Riego por goteo. El riego por goteo se encuentra clasificado dentro de los sistemas de riego localizado, y es el aporte de pequeños caudales y pequeñas dosis de agua aplicados mediante goteros en la zona de raíces de las plantas; las líneas de goteros pueden estar colocados por encima, sobre o bajo la superficie del suelo. En este sistema el agua en forma de gotas es generalmente aplicada a una tasa baja de flujo entre 2 a 4 litros por hora, pero en cantidades suficientes para cubrir las necesidades de agua del cultivo a una frecuencia usualmente diaria (Pizarro, 1990). El riego por goteo es un sistema altamente eficiente en el uso de agua (90% a 95%) y es ampliamente usado en hortalizas como tomate (*Lycopersicon esculentum*), chile (*Capsicum annuum*), berengena (*Solanum melongena*), fresa y calabazas (*Cucurbita* spp.). Algunas ventajas del riego por goteo sobre el de gravedad incluyen su reducido uso de agua, mejores posibilidades de aplicar los fertilizantes con el riego, mayor precisión en la distribución del agua y la posibilidad de aplicar un programa de riego electrónico en grandes áreas (Locascio, 2005). Al igual que en riego por gravedad, las tasas de aplicación de agua en este sistema varían en función del clima, localidad y sistema cultural. En climas mediterráneos como California y Huelva, España, la fresa con cubiertas plásticas y riego por goteo tiene una demanda de agua entre 12 000 y 20 000 m³ (Hancock, 1999). Las producciones unitarias en estos países promedian 50 toneladas que resultan en un índice de productividad del agua de 3.3 kg de fruta/m³ de agua.

La ETc para el cultivo de fresa en la región fresera de Zamora, Michoacán es de 10 179 m³ (CNA, 2005). Considerando una eficiencia entre 90 y 95% en este sistema de riego, teóricamente se aplicarían entre un 5 y 10% más de agua en riego por goteo, dando un total de alrededor de 10 891 m³. Sin embargo, al igual que en riego por gravedad, la aplicación del agua en este sistema es empírico, de manera que es muy probable que el valor de ETc no se aplique correctamente. En este sistema una consideración empírica de muchos agricultores para gastar más agua de la requerida es que el riego por goteo lo alternan con riegos por gravedad frecuentes para evitar que el suelo se seque en el surco. Una

estimación de la cantidad de agua gastada en este sistema de riego es entonces sumar el agua aplicada por goteo y la aplicada por gravedad, resultando un gasto superior a los 20 000 m³ por hectárea y ciclo del cultivo. Los rendimientos unitarios en este sistema se ubican entre 30 y 50 kg de fruta por hectárea, por ello el índice de productividad del agua oscila entre 2.0 kg de fruta/m³ de agua.

Fertilización de la fresa

Fertilización en riego por gravedad. De las 5 000 has de fresa reportadas en México por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Michoacán (2005), cerca del 80% se cultivan bajo riego por gravedad. En Zamora el 80% de la superficie de fresa, alrededor de 1500 has, se cultivan bajo riego por gravedad. En este sistema de riego se utilizan fertilizantes sólidos que se aplican en banda sobre la superficie del surco durante el ciclo del cultivo. Generalmente se hacen tres aplicaciones durante el ciclo del cultivo y solo una parte es solubilizada por las grandes cantidades de agua de riego que lo lixivia, mientras que la otra queda expuesta a la volatilización y desnitrificación. Los fertilizantes nitrogenados son aplicados por los agricultores en altas cantidades con el propósito de obtener altos rendimientos y por carecer de información técnica sobre su uso y manejo. Se estima que en este sistema se aplican dosis superiores a 600 kg ha⁻¹ de N (Cárdenas et al., 2004), elevando con ello el costo de producción del cultivo y provocando serios problemas de contaminación ambiental por la lixiviación del nitrógeno, principalmente de nitratos, hacia los mantos freáticos subterráneos. Sin embargo, la SAGARPA en Zamora, Mich., recomienda aplicar 250 kg ha⁻¹ de N en forma fraccionada: A los treinta días después del trasplante la primera fertilización con un tercio del nitrógeno, la segunda a los dos meses antes del periodo de formación de fruto con un tercio del nitrógeno y una tercera aplicación con el resto del nitrógeno en el mes de febrero antes del pico máximo de producción. Para Irapuato, Dávalos (2000), sugiere una dosis de N entre 180 y 280 kg ha⁻¹. Por su parte Strick et al. (2004) menciona, para un sistema de producción de fresa similar al nuestro pero en el estado de Oregon, EUA, la aplicación de tan solo 100 kg ha⁻¹ de N.

Por las características del riego por gravedad, donde no se aplican los fertilizantes y el agua en forma frecuente y en un volumen restringido del suelo en el que se encuentran la mayoría de las raíces de las plantas, el uso de fertilizantes nitrogenados presupone una baja eficiencia en términos de rendimiento de fruto por cantidad de nitrógeno aplicado y porcentaje de recuperación de nitrógeno que es absorbido por la planta. Existen reportes como el de Janssen (1998) donde se menciona que en cultivos como los cereales que se desarrollan en agricultura tradicional, la eficiencia de recuperación de fertilizantes nitrogenados es baja, con valores entre 15 y 20%. Este mismo autor atribuye esta baja eficiencia a pérdidas fundamentalmente por lixiviación, volatilización y desnitrificación. Específicamente para fresa regada por gravedad, Monroy et al., (2002) encontraron que al aplicar 300 kg de nitrógeno por hectárea sólo se recuperaron 52, es decir, se obtuvo un porcentaje de recuperación de 17%. Los autores atribuyen esta baja eficiencia a las grandes cantidades de agua aplicada que diluyeron y lixiviaron el fertilizante; sin embargo, también mencionan una posible volatilización del nitrógeno cuando se aplica en la superficie del suelo y no se diluye con el agua de riego antes de su utilización por la planta. Esta forma tan común de aplicar el fertilizante en un costado del surco cerca de las plantas pero no de las raíces y utilizando riego por gravedad, resulta en una alta residualidad del fertilizante y una salinización del suelo (Locascio, 1977), lo cual disminuye significativamente la absorción y aprovechamiento del fertilizante por la plantas al quedar este fuera de la zona de mayor densidad y actividad de raíces del cultivo de la fresa. Strik et al., (2004) reportan en este sistema de producción de fresa porcentajes de recuperación entre 42 y 63 % de N, el cual depende del tiempo de aplicación y de la cantidad de fertilizante.

Fertilización en riego por goteo El riego por goteo provee un buen método de aplicar los fertilizantes, y más concretamente, los elementos nutritivos que requieren los cultivos en la zona de mayor actividad y desarrollo radical. Por ello, se puede obtener una máxima disponibilidad y eficiencia de los fertilizantes y una mayor facilidad en su aplicación, con el consiguiente ahorro de mano de obra; además los nutrientes pueden ser aplicados durante la estación de crecimiento con cantidades precalculadas y frecuencias para reunir las demandas en varios estados de crecimiento (Pizarro, 1990).

Aunque no hay estadísticas oficiales, actualmente en Zamora se cultivan alrededor de 500 has bajo riego por goteo. Al igual que en riego por gravedad los fertilizantes nitrogenados son aplicados por los agricultores en altas cantidades con el propósito de obtener altos rendimientos y por carecer de información técnica sobre su uso y manejo. Por información de los agricultores se estima que en este sistema se aplican dosis de N superiores a los 400 kg ha⁻¹. Sin embargo, en California USA, la mayoría de los cultivares son fertilizados con una dosis que varía entre 112 y 170 kg ha⁻¹ (Voth y Bringhurst, 1990). En Florida, la mejor respuesta de la fresa al nitrógeno se obtiene en el rango de 50 a 100 kg de N ha⁻¹ (Hochmuth et al., 1996). En Carolina del Norte los requerimientos de unidades de nitrógeno que optimizan el rendimiento de fresa en el cultivar Chandler se ubican alrededor de 120 kg ha⁻¹ (Miner et al., 1997). En España las cantidades totales de unidades de nitrógeno aplicadas al cultivo de fresa oscila entre 200 y 250 kg ha⁻¹ (Cadahia, 1998). Por las características del riego por goteo, el uso de fertilizantes nitrogenados presupone una alta eficiencia en términos de rendimiento de fruto por cantidad de nitrógeno aplicado y porcentaje de recuperación de nitrógeno que es absorbido por la planta. Se estima que este sistema, comparado con el riego por gravedad, genera un ahorro de fertilizante que puede ser de hasta 60 % (Haynes, 1985; Hochmuth, 1995; Hochmuth y Cordasco, 1999).

IV. HIPÓTESIS

1. No se presentan diferencias significativas en el crecimiento y rendimiento de fresa entre dosis crecientes de nitrógeno en riego por goteo y por gravedad.
2. La eficiencia de aplicación de agua y fertilizante nitrogenado en el cultivo de fresa es similar en los sistemas de riego por goteo y gravedad.

V. OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de concentraciones crecientes de nitrógeno aplicadas mediante fertirrigación en riego por goteo y gravedad sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de fresa.
2. Evaluar la eficiencia del agua y fertilización nitrogenada en riego por goteo y gravedad en base al rendimiento del cultivo de fresa.

VI. RESULTADOS

EFECTO DEL NITROGENO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE FRESA REGADA POR GOTEO Y GRAVEDAD

RESUMEN

El cultivo de la fresa (*Fragaria X ananassa* Duch.) en el valle de Zamora, Michoacán, México, es el mayor generador de empleo en el campo. Este cultivo es también uno de los mayores consumidores de fertilizantes nitrogenados ya que se aplican cantidades muy altas por arriba de 600 kg ha⁻¹ de N. El objetivo de este trabajo fue generar información local sobre el efecto del fertilizante nitrogenado y de su eficiencia, así como la del agua, en riego por goteo y gravedad en el cultivo de fresa. Se evaluó el efecto de dosis crecientes de nitrógeno aplicadas en riego por goteo y gravedad (0, 23, 77, 231, 693 y 1 537 kg de ha⁻¹ de N) sobre el crecimiento y rendimiento de fruta en el cultivo de fresa. Los resultados muestran una disminución significativa en la materia seca total por planta al cambiar de riego por goteo a gravedad. El aporte de 231, 693 y 1 537 kg ha⁻¹ de N significó una mayor producción de materia seca. Sin embargo, el cambio de 231 a 693 y de 231 a 1 537 kg ha⁻¹ de N, implica un incremento de 3 y 6.6 veces respectivamente en la cantidad de fertilizante nitrogenado y representa incrementos económicos proporcionales. El aporte de agua en riego por goteo fue 21% menor y su eficiencia en la producción de fruto fue 29% mayor que en riego por gravedad. La eficiencia de N en la producción de fruto en riego por goteo fue 19% superior al obtenido en riego por gravedad.

PALABRAS CLAVE: *Fragaria X ananassa*, Duch., crecimiento y producción de fruto, riego por goteo y gravedad.

ABSTRACT

Strawberry production is the major agricultural source of employment in the valley of Zamora, Michoacán, México. This horticultural crop is also one of the most important consumers of nitrogen fertilizers, which are applied in very high quantities ($>600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$). The aim of this work was to generate local information about the effect of nitrogen supply on plant growth and production, as well as nitrogen use efficiency and water use efficiency in strawberry plants grown under two irrigation systems: drip and gravity. The effect of increased doses of nitrogen (0, 23, 77, 231, 693 y $1\ 537 \text{ kg ha}^{-1}$ of N) was evaluated in drip and gravity irrigation systems. The results showed a significant decrease in plant dry matter when irrigation was changed from drip to gravity. When plants were supplied with 231, 693 and $1\ 537 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, dry matter production increased. Nevertheless, the change from 231 to 693 and from 231 to $1\ 537 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, respectively represented a 3- and 6.6-fold increase in the quantity of applied fertilizer; this also represents proportional economic increases. With drip irrigation, water consumption was 21% less and the efficiency in fruit production was 29% higher than with gravity irrigation. The efficiency of nitrogen on fruit production with drip irrigation was 19% greater than that obtained with gravity irrigation system.

KEY WORD: *Fragaria X ananassa* Duch., growth and fruit production, drip and gravity irrigation systems.

INTRODUCCION

La fresa es un cultivo estratégico en el estado de Michoacán porque es generador de empleos y divisas. En el ciclo agrícola 2003-2004 se establecieron 2 437 hectáreas que produjeron 71 227 toneladas, con un valor de 358 millones de pesos y que además generaron 1.5 millones de jornales en el campo (SEDAGRO, 2005; DDR-088, 2004).

El nitrógeno es con frecuencia el nutrimento más limitante en los agroecosistemas y por ello es aplicado en altas cantidades en cultivos como la fresa, en el que los agricultores, con el propósito de obtener altos rendimientos y por carecer de información técnica sobre el uso y manejo de los fertilizantes nitrogenados, aplican dosis de N superiores a 600 kg ha^{-1} (Cárdenas et al., 2004), elevando con ello el costo de producción del cultivo y provocando serios problemas de contaminación ambiental por la lixiviación del nitrógeno, principalmente de nitratos, hacia los mantos freáticos subterráneos. Pocos esfuerzos se han hecho por desarrollar prácticas que mejoren el manejo de fertilizantes a fin de incrementar la eficiencia en el uso del nitrógeno y mejorar la calidad ambiental. Por ello, la eficiencia productiva del nitrógeno es generalmente baja debido a que la planta utiliza un porcentaje muy bajo en relación al total aplicado.

La eficiencia de uso y la recuperación relativa de nitrógeno depende del tipo de cultivo y de su manejo, entre otros factores. Según Monroy et al., (2002), el cultivo de la fresa en riego por gravedad tiene una eficiencia en el uso de nitrógeno de 17 %. Johnson y Raun (2003), indican que en trigo la eficiencia en el uso de nitrógeno fue de 49% con 22.4 kg ha^{-1} de N y decreció a 34% con 112 kg ha^{-1} de N. Para maíz estos mismos autores reportan una eficiencia de 34.6% con 90 kg ha^{-1} de N la cual decreció a 18.3% con 270 kg ha^{-1} . Por su parte Ramos et al., (2002), encontraron para tomate de cáscara (*Physalis* sp.) valores de 233.3 kg de fruto/kg de N aplicado y una recuperación relativa de N de 67.47 % aplicando 80 kg ha^{-1} de N en riego por goteo. En ajo (*Allium sativum*),

Mohammad y Zuraiqi (2003), reportan una eficiencia en el uso de nitrógeno de 29.43% con 30 kg ha⁻¹ de N en riego por goteo.

Con relación al agua, el cultivo tiene una demanda de 12 546 m³ ha⁻¹ durante su ciclo (CNA, 2005), pero el agricultor generalmente abusa de este recurso aplicando cantidades muy por arriba de las calculadas, ya sea por desconocimiento o por considerar que con una mayor cantidad de agua se obtienen mayores rendimientos y se controlan mejor las plagas como la araña roja. Según datos de la CNA (2005) y del Distrito de Desarrollo Rural 088 (2004) en Zamora, el cultivo de la fresa en riego por gravedad tiene un índice de productividad de 2.31 m³ kg⁻¹ de fruta producida; pero según información de algunos productores de fresa, existe la posibilidad de mejorar el índice de productividad hasta tres veces con sistemas de producción más eficientes en el uso del agua, como el riego por goteo.

En la práctica los agricultores están utilizando el sistema de riego y fertilización por goteo, a fin de mejorar las eficiencias tanto de nitrógeno como de agua. Se estima que este sistema, comparado con el riego por gravedad, genera un ahorro de agua y fertilizante que puede ser de hasta 80 y 60 %, respectivamente (Haynes, 1985; Hochmuth, 1995; Hochmuth y Cordasco, 1999). Sin embargo, en este sistema tampoco hay recomendaciones precisas sobre el uso del agua y del fertilizante para el cultivo de la fresa. En la región de Zamora el agricultor hace un uso empírico del agua, y aunque utiliza menos fertilizante que en riego por gravedad, se estima que los aportes de nitrógeno superan ampliamente los 400 kg ha⁻¹, (Comunicación personal con productores de fresa), cantidad que es muy superior a la utilizada en otras regiones de cultivo de fresa en el mundo.

En California, la mayoría de los cultivares son fertilizados con una dosis que varía entre 112 y 170 kg ha⁻¹ (Voth, 1990). En Florida, la mejor respuesta al nitrógeno en los cultivares Seascape, Oso Grande, y Sweet Charlie se obtiene en el intervalo de 50 a 100 kg ha⁻¹ d N (Hochmuth et al., 1996). En Carolina del Norte los requerimientos de unidades de nitrógeno que optimizan el rendimiento de fresa en el cultivar Chandler se ubican alrededor

de 120 kg ha⁻¹ (Miner et al., 1997). En España las cantidades totales de unidades de nitrógeno aplicadas al cultivo de fresa oscila entre 200 y 250 kg ha⁻¹ (Cadahia, 1998).

No obstante, esta información no se puede extrapolar porque es generada bajo otras condiciones de suelo, clima, agua, variedades y con un sistema de cultivo distinto. Por ello se realizó este trabajo donde se evaluó el efecto de dosis crecientes de nitrógeno (0, 23, 77, 231, 693 y 1 537 kg ha⁻¹ de N) aplicadas en riego por goteo y gravedad sobre el crecimiento y rendimiento de fruta en el cultivo de fresa, a fin de obtener información local sobre el efecto del fertilizante nitrogenado y de su eficiencia, así como la del agua, en estos dos sistemas de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la localidad de Jiquilpan, ubicada dentro de la zona fresera de Michoacán, a una altitud de 1 550 msnm, delimitada por los paralelos 20°03'02'' y 19°52'54'' de latitud norte y los meridianos 102°39'33'' y 102°56'16'' de longitud Oeste. El tipo de suelo es un vertisol (Cuadro 1), caracterizado por poseer una gran cantidad de arcillas (54%), gran capacidad de intercambio catiónico (mayor de 40 meq L⁻¹/100 g de suelo) y contenido normal de materia orgánica (2.7%). El trabajo inició el 7 de septiembre del 2003 y terminó el 31 de marzo del 2004. En este periodo se registró un fotoperíodo entre 10 y 13 horas luz, y una temperatura media alrededor de 20° C, la máxima varió entre 30 y 35° C y la mínima promedio estuvo alrededor de 5° C durante el ciclo del cultivo.

Se utilizaron plantas de fresa de la variedad Aromas de fotoperíodo neutro, hijas de plantas certificadas procedentes de viveros regionales. Las plantas, previamente despuntadas de la raíz y de las hojas, se establecieron en surcos de 0.9 m de ancho, en suelo completamente húmedo a doble hilera y a una distancia entre si de 25 cm a lo largo y ancho del surco, obteniéndose una densidad de alrededor de 88 800 plantas por hectárea.

En riego por goteo se instaló un sistema fijo, con depósitos de solución nutritiva con capacidad de 2 500 litros para cada tratamiento, que se distribuyó a las plantas impulsada por bombas centrifugas de 0.25 caballos de fuerza a través de cinta regante colocada entre las dos hileras de plantas a 3 cm de profundidad de la superficie y con goteros distanciados cada 20 cm. Se probaron seis niveles de fertilización nitrogenada: 0, 23, 77, 231, 693 y 1537 kg ha⁻¹ de N en forma de Ca(NO₃)₂. Las necesidades de riego del cultivo se estimaron mediante el empleo de la evaporación del tanque tipo "A". Para ello, se determinaron los valores de Kc del cultivo y Kp (0.8) del tanque (Doorembos y Pruitt, 1976). El agua se aplicó cada tercer día para reestablecer la humedad perdida por la evapotranspiración entre cada turno de riego.

En riego por gravedad el agua se hizo llegar hasta la embocadura de los surcos por medio de tuberías conectadas a un pozo fuente del líquido. El riego se aplicó cada vez que fue necesario y con base a la lámina de riego calculada para el cultivo en la región fresera de Zamora por la Comisión Nacional del Agua (2005). Las cantidades de fertilizante nitrogenado aportadas se colocaron en la costilla del surco a intervalos de quince días.

Cuadro 1. Características químicas y físicas del suelo donde se estableció el experimento.

Parámetro	Valor
PH	6.72
Conductividad eléctrica	95 μ S
Fósforo Olsen (%)	15.8
Potasio (meq/100 g)	1.43
Nitrógeno (%)	0.1
Materia orgánica (%)	2.7
Calcio (Meq/100 g)	27.08
Magnesio (meq/100 g)	13.71
Sodio (ppm)	39.5
CIC (meq/100 g)	-----
Textura	Arcilloso
Arena (%)	24.8
Limo (%)	21.0
Arcilla (%)	54.2
Carbonatos	9.7 ppm
	0.323 meq/l
Bicarbonatos	89.1 ppm
	1.46 me/l

Tanto en riego por goteo como en gravedad cada unidad experimental estuvo formada por tres surcos de 7 m de longitud y 0.90 m de ancho (6.3 m²) con tres repeticiones, de los

cuales el surco central se tomó como parcela útil. De la combinación de los niveles de nitrógeno y sistemas de riego se formaron 12 tratamientos que se distribuyeron en un diseño de parcelas divididas, en donde la parcela grande perteneció a los dos tipos de riego y la chica a las dosis de nitrógeno.

A los 30 días después del establecimiento del cultivo se aplicó una fertilización de fondo de 0-250-250 (N-P-K) kg ha⁻¹, la cual en goteo se colocó en la cima del surco, mientras que en gravedad se colocó en el flanco del surco. La mezcla tuvo como fuente el superfosfato de calcio triple y el fosfato monopotásico.

El control de plagas y enfermedades fue manejado de acuerdo a la guía técnica publicada por Dávalos et al. (2002) para el cultivo de la fresa y consistió básicamente en el control de gusano cogollero (*Spodoptera* sp) y araña roja.

Se realizaron seis muestreos destructivos de plantas, a los 44, 67, 95, 128, 156, y 186 días después del trasplante (DDT) para determinar la acumulación de materia seca total, así como en raíz, corona, peciolos, hojas y frutos. El rendimiento del fruto fue evaluado durante 24 fechas de cosecha. Se calculó el gasto de agua y fertilizante para cada tratamiento y cada sistema de producción.

Los análisis estadísticos y comparación de promedios se realizaron en el programa SAS (1992). Se hizo un análisis de varianza factorial considerando efectos simples e interacciones de los factores estudiados. La comparación de promedios se realizó con la prueba de Duncan a un nivel de significancia estadística de $\alpha = 0.5$.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se presentan los valores de rendimiento de materia seca total por planta de fresa, obtenidos en seis muestreos tomados a los 44, 67, 95, 128, 156 y 186 DDT. Se observa que para todos los tratamientos la materia seca por planta se incrementó gradualmente a través del ciclo de crecimiento hasta alcanzar su valor máximo a los 186 DDT. En cada fecha muestreada, sobresalieron por su mayor valor de materia seca los tratamientos con mayor nitrógeno. En los muestreos realizados a los 44, 67, 95 y 156 DDT, las dosis de nitrógeno produjeron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la producción de materia seca por planta.

Cuadro 2. Variación en la acumulación de materia seca total en plantas de fresa ($\text{Mg MS}_{\text{total}} \text{ planta}^{-1}$) durante el ciclo del cultivo, en función de la concentración de nitrógeno aplicado en riego por goteo y gravedad.

Dosis de N (kg ha^{-1})	Días después del trasplante													
	44		67		95		128		156		186		Media	
	$\text{Mg MS}_{\text{total}} \text{ planta}^{-1}$													
0	737	b*	1646	c	4400	bc	8957	a	15945	bc	22424	8853	c	
23	924	b	1904	bc	3374	c	7570	a	16000	bc	24993	9358	bc	
77	1223	a	2173	ab	4075	bc	9787	a	14628	c	25773	9610	bc	
231	851	b	2514	a	5857	a	12480	a	20447	ab	23932	11013	abc	
693	900	b	2550	a	4565	abc	11328	a	18544	abc	29605	11249	ab	
1537	1013	ab	2511	a	5401	ab	12504	a	21369	a	29632	12072	a	
CV	22.11		17.14		23.17		30.77		21.45		19.98		15.86	

* Promedios seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan, $\alpha = 0.5$).

A los 67, 95 y 156 DDT, las dosis con 231, 693 y 1537 kg ha⁻¹ de N formaron un grupo de significancia estadística donde se registraron los valores mayores de materia seca por planta. Aunque también a los 128 y 186 DDT, las dosis con 693 y 1537 kg ha⁻¹ de N fueron superiores numéricamente. Los resultados muestran que al cambiar la dosis de N de 231 a 693 kg ha⁻¹ no hubo un efecto significativo sobre la variación de materia seca; sin embargo, el cambio de 231 a 693 y de 231 a 1 537 kg de N ha⁻¹ implica respectivamente un gasto de 3 y 6.6 veces más en la cantidad de fertilizante nitrogenado utilizado, lo que representa incrementos substanciales en el costo de producción. Los resultados sugieren que en los dos sistemas de producción de fresa es posible utilizar dosis de N alrededor de 231 kg ha⁻¹.

Esta dosis representa un ahorro de fertilizante nitrogenado de más del 50% con respecto a las utilizadas por la mayor parte de los agricultores de las regiones freseras de Michoacán. Con respecto a las recomendaciones de otros países, estas cantidades son similares a las reportadas por Cadahia (1998) en España, pero son superiores a las recomendadas por Voth (1990) en California y por Hochmuth et al., (1996) en Florida.

Con relación al efecto promedio de los sistemas de riego sobre la producción de materia seca, en el Cuadro 3 se observa que en los muestreos realizados a los 95 y 128 DDT se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a favor del riego por goteo en la producción de materia seca, aunque también hubo diferencias numéricas a favor del riego por goteo a los 156 y 186 DDT. El promedio de seis muestreos de materia seca a lo largo del ciclo del cultivo muestra que el riego por goteo produjo significativamente 17 % más materia seca frente al riego por gravedad. Esta mayor producción de materia seca en riego por goteo no solamente se relaciona con su mayor eficiencia en el uso del agua sino también con una mayor eficiencia en el uso de nitrógeno, ya que la menor cantidad de agua aplicada localmente reduce las pérdidas de fertilizante por lixiviación y volatilización de la superficie del suelo (Johnson y Raun, 2003).

El uso consuntivo reportado para el cultivo de la fresa en Zamora, Michoacán (México) es de 125 cm (12 500 m³ ha⁻¹), de los cuales se aplican 78.65 cm (63%) en los meses de septiembre a marzo (CNA, 2005). La lámina de riego y el volumen de agua utilizados mensualmente en el cultivo, tanto en riego por goteo como en gravedad, se muestran en el Cuadro 4. En este Cuadro se observa que la lámina utilizada en riego por goteo fue inferior en un 21% en relación al riego por gravedad. Este ahorro de agua en riego por goteo se explica por la mayor eficiencia de este sistema de riego en la aplicación del agua a la zona radical de las plantas en pequeñas porciones que disminuyen las pérdidas por evaporación e infiltración (Johnson y Raun, 2003). Los resultados indican que este ahorro de agua del 21% es inferior al 80 % reportado por Haynes (1985); Hochmuth (1995), Hochmuth y Cordasco (1999). Aunque autores como Pizarro (1990), indican que el riego por goteo puede demandar la misma cantidad de agua que el de gravedad, ya que no hay ahorro en la evapotranspiración.

Cuadro 3. Materia seca total acumulada en plantas de fresa var. Aromas a través del ciclo del cultivo, en función del sistema de riego (por goteo y gravedad).

Sistema de Riego	Materia seca total acumulada						
	Días después del trasplante						
	44	67	95	128	156	186	Media
	Mg MS _{total} planta ⁻¹						
Goteo	891 a	2210 a	5126 a	12696 a	18533 a	27585 a	11167 a
Gravedad	991 a	2223 a	4098 b	8313 b	17111 a	24575 a	9551 b
CV	22.11	17.14	23.17*	30.77*	21.45	19.98	15.86*

*Promedios seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan, $\alpha = 0.5$)

Cuadro 4. Láminas de riego (Lr) empleadas en dos sistemas de riego (goteo y gravedad) durante el periodo de crecimiento del cultivo de fresa var. Aromas.

Mes	Riego por goteo			Riego por gravedad		
	Lr	Lr acumulada	Lr día	Lr	Lr acumulada	Lr día
cm.....					
SEP	7.88	7.88	0.26	20.56	20.56	0.68
OCT	2.98	10.86	0.09	10.28	30.84	0.33
NOV	5.10	15.96	0.17	8.81	39.65	0.29
DIC	8.12	24.08	0.26	8.81	48.46	0.28
ENE	11.57	35.65	0.37	8.81	57.27	0.28
FEB	11.75	47.39	0.42	9.98	67.25	0.35
MAR	15.82	63.21	0.51	12.33	79.58	0.39

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de la productividad del agua en la producción de fruto de fresa. Se observó que el valor promedio de la productividad del agua bajo riego por goteo fue superior con respecto al obtenido en riego por gravedad. En riego por goteo el valor promedio fue de 3.59 kg fruta m³, siendo este un valor superior en un 29% en comparación con el de riego por gravedad. El valor promedio obtenido de la productividad del agua en riego por gravedad, fue 1.5 veces mayor que el reportado por Monroy et al., (2002) para fresa variedad Chandler en la zona fresera de Irapuato, Guanajuato, lo cual se atribuye a una menor producción de fruto con un mayor gasto de agua.

Con respecto al aporte y eficiencia del nitrógeno, en riego por goteo y por gravedad se observó que una mayor cantidad de fertilizante aplicado se asoció con una menor eficiencia en su uso por el cultivo (Cuadro 5), lo cual se explica porque los rendimientos de fruto no registraron aumentos significativos a medida que aumentó la cantidad de fertilizante aplicado.

Cuadro 5. Rendimiento de fruto cosechado, eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) y productividad del agua (PA), en dos sistemas de riego (goteo y gravedad) en función de la cantidad de N aplicada en el cultivo de la fresa var. Aromas.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Riego por goteo				Riego por gravedad			
	Rend. kg/ha ⁻¹	Aporte de N (kg/ha)	EUN (kg/kgN)	PA (kg/m ³)	Rend. kg/ha ⁻¹	Aporte de N (kg/ha)	EUN (kg/kgN)	PA (kg/m ³)
0	19100	0		3.02	16211	0		2.03
23	23516	23	1022	3.72	16952	23	737	2.13
77	24802	77	322	3.92	21481	77	279	2.70
231	20914	231	90	3.30	17900	231	77	2.24
693	22390	693	32	3.54	20290	693	29	3.47
1537	25504	1537	16	4.03	22681	1537	14	2.85
Media	22704	512	44	3.59	19252	512	37	2.57

El valor promedio de la eficiencia del nitrógeno de 44 kg fruta por kg N en riego por goteo fue 19% superior que en gravedad. Lo anterior significa un ahorro de 19% en fertilizante nitrogenado en riego por goteo para producir la misma cantidad de fruta en riego por gravedad. Estos resultados no coinciden con lo reportado por Haynes (1985), y Hochmuth (1995), quienes mencionan ahorros de hasta 60% en fertilizantes en riego por goteo en comparación con el riego por gravedad, lo que se atribuye a que en este sistema los fertilizantes junto con el agua se aplican en un volumen restringido de suelo donde se ubican la mayor parte del sistema radical de la planta, llamado bulbo húmedo.

CONCLUSIONES

El rendimiento de materia seca total dentro y entre los sistemas de riego se vio favorecido por la aplicación de nitrógeno. Al cambiar de riego por goteo a gravedad se observó una disminución significativa en la materia seca, en promedio de seis muestreos durante el ciclo del cultivo. Asimismo, en los dos sistemas de riego se observó que la aplicación de N en dosis de 231, 693 y 1537 kg ha⁻¹ significó un mayor rendimiento de materia seca en cuatro de seis muestreos; sin embargo, el cambio de 231 a 693 y de 231 a 1537 kg ha⁻¹ de N implica un gasto 3 y 6.6 veces mayor respectivamente, en la cantidad de fertilizante nitrogenado utilizado. Los resultados sugieren que en los dos sistemas de producción de fresa es posible utilizar dosis de N alrededor de 231 kg ha⁻¹, lo cual significa un ahorro de fertilizante nitrogenado en más de la mitad con respecto a las cantidades que la mayoría de los agricultores utilizan actualmente en la región fresera de Zamora, Michoacán. El aporte de agua en riego por goteo y gravedad fue de 6 321 y 7 958 m³ respectivamente, lo cual significa un ahorro de agua de 21% en riego por goteo. Sin embargo, su eficiencia para producir fruto fue en promedio 29% superior en comparación al riego por gravedad. El valor promedio de la eficiencia de N para producir fruto en fresa bajo riego por goteo fue 19% del obtenido en riego por gravedad.

LITERATURA CITADA

- Aslam M, RL Travis, and DW Rains. 2001. Inhibition of Net Nitrate Uptake by Ammonium in Pima and Acala Cotton Roots. *Crop Science*. 41:1130-1136
- Cadahia L.C. 1998. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales*. Ediciones Mundi Prensas. España. 475 p.
- Cárdenas N., R., J.M. Sánchez-Yañez., R. Farias-Rodríguez y J.J. Peña-Cabriales. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2):173-178.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2005. *Uso consuntivo del cultivo de la fresa en el Valle de Zamora, Michoacán*. Documento técnico.
- Dana, M.N. 1981. The strawberry plant and its environmental. In: *The strawberry*. Norman F. Childers (Ed.) pp 33-34.
- Dávalos G., P.A., R. Bujangos y M. J. Narro S. 2002. *Tecnología de producción de fresa en Guanajuato. Folleto para productores No. 1*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México 8 p.
- Darrow, G.M. 1966. *The strawberry*. Holt, Rinehart and Winston (Publishers). New York. 447 p.
- Deane-Drummond, C.E and A.D.M. Glass. 1983. Short term studies of nitrate uptake into barley plants using ion-specific electrodes and $^{36}\text{ClO}^{-1}$. *Plant Physiol*. 73:105-110.

- Distrito de Desarrollo Rural 088-Zamora (DDR-088). 2004. Estadísticas de superficie, producción y costo de los cultivos agrícolas. México.
- Doorembos J. and W.O. Pruitt. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. En: Estudio FAO N° 24, riego y drenaje, Roma, Italia. 193 p.
- Galletta, G.J. and Bringhurst, R.J. 1990. Strawberry management . In: Galletta, G.J. and himelrick D. (eds). Small fruit crop management. Printice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Glass ADM, DT Britto, BN Kaiser, JR Kinghorn, HJ Kronzucker , M Okamoto, S Rawuat, MY Siddiqi, SE Unkles, and JJ Vidmar. 2002. The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany*. 53 (370):855-864.
- Hancock, J.F. 1999. Strawberries. CABI Publishing. USA. 237 p.
- Haynes R.J. 1985. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. *Fert. Res.* 6:235-255.
- Hochmuth G.J. 1995. Manejo de fertilizantes con riego por goteo para hortalizas. In: Uso de la plasticultura para la producción intensiva de hortalizas. pp 17-24.
- Hochmuth G.J., E.E. Albregts., C.C. Chandler., J. Cornell and J. Harrison. 1996. Nitrogen fertigation requeriments of drip-irrigated strawberries. *J.Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:660-665.
- Hochmuth G.J and K. Cordasco. 1999. A summary of N and K research with strawberry in Florida. Fla. Coop. Ext. Serv. HS 752.
- Janick, J., and D.A Eggert. 1968. Factors affecting fruit size in the strawberry. *Proc. Soc. Hort. Sci.* 93:311-316.

- Janssen, B.H. 1998. Efficient use of nutrients: An art of balancing. *Field Crops Res.* 56:197-201.
- Johnson G.V and W. Raun. 2003. Nitrogen response index as guide to fertilizer management. *J. Plant Nutr.* 26(2):249-262.
- Kronzucker HJ, ADM Glass and MY Siddiqi. 1999. Inhibition of Nitrate Uptake by Ammonium in Barley. Analysis of Component Fluxes. *Journal Plant physiology*, 120:(283-291)
- Locascio, S.J, J.M. Myers and F.G. Martin. 1977. Frequency and rate of fertilization with trickle irrigation for strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(4):456-458.
- Locascio, J. S. 2005. Management of irrigation for vegetables: past, present, and future. *Hort. Technology.* 15: 482 - 485.
- Marotto B., J.V. y S. López G. 1988. Producción de fresas y fresones. Madrid, España. 119 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London. 889 p
- Mass, J.L. 1984. The strawberry. In: *Compendium of strawberry diseases*. ASP. Pp 1-3.
- Miner G.S., E.B Poling., D.E.Carroll and L.A. Nelson. 1997. Influence of fall nitrogen and spring nitrogen-potassium applications on yield and fruit quality of 'Chandler' strawberry. *J.Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:290-295.
- Miflin B.J., D.Z. Habash. 2002. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops. *J. Exp. Botany* 53 (370):979-987.

- Miller, A.J. and M.D. Cramer. 2004. Root acquisition and assimilation. *Plant and Soil*. 274_1-36.
- Mohammad M.J and S. Zuraiqi. 2003 Enhancement of yield and nitrogen water use efficiencies by nitrogen drip-fertigation of garlic. *J. Plant Nutr.* 26(9): 1749-1766.
- Monroy J., J.A Vera-Nuñez., M.A .Carrera., O.A Grageda-Cabrera y J.J Peña-Cabriales. 2002. Absorción de nitrógeno (^{15}N) y productividad del agua por el cultivo de la fresa (*Fragaria X ananassa*) en "El Bajío", México. *Terra* 20(1):65-69.
- Persson Jörgen P Gardestön and T Näsholm. 2006. Uptake, metabolism and distribution of organic and inorganic nitrogen sources by *pinus sylvestris*. *Journal of Experimental Botany*. 57 (11):2651-2659
- Pizarro F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. Ediciones Mundi-Prensa. España. 471 p.
- Ramos-Lara C., G. Alcántar-González., A. Gálvis-Spínola., A Peña-Lomelí y A. Martínez-Garza. 2003. Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra*. 20:465-469.
- SAS (Statistical Analysis System). 1992. Proprietary Software Release 6.04. Licenced to Colegio de Postgraduados, site 1339 6001. SAS Institute Inc. U.S.A.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Michoacán 2005 Estadísticas agropecuarias de Michoacán. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. México.
- Strik, B, T. Righetti and G. Buller. 2004. Influence of rate, timing, and method of nitrogen fertilizer application on uptake and use of fertilizer nitrogen, growth, and yield of june-bearing strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129: 165 - 174.

Vidmar JJ, D Zhuo, M Y Siddiqi, JK Schjoerring, B Touraine and ADM Glass. 2000. Regulation of High-Affinity Nitrate Influx by Nitrogen pools in Roots of Barley. *Plant Physiology*.123: 307-318.

Voth, V. and R. S. Bringhurst. 1990. Culture and physiological manipulation of California strawberries. *HortScience*. 25: 889-892.