

**EFFECTO DE LÍNEAS DE RIEGO POR GOTEY Y LA APLICACIÓN DE SILICIO
EN UN CULTIVO DE FRESA (*Fragaria sp*) BAJO CUBIERTA.**

ANA MARIA DELGADO ESCOBAR

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
PASTO – COLOMBIA
2014**

**EFFECTO DE LÍNEAS DE RIEGO POR GOTEO Y LA APLICACIÓN DE SILICIO
EN UN CULTIVO DE FRESA (*Fragaria* sp) BAJO CUBIERTA.**

ANA MARIA DELGADO ESCOBAR

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera
agrónoma**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
PASTO – COLOMBIA
2014**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1^o del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del Presidente de tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Mayo de 2014

CONTENIDO

	Pág.
Resumen	6
Abstract.....	7
INTRODUCCIÓN.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	21
CONCLUSIONES.....	23
BIBLIOGRAFÍA	24

EFFECTO DE LÍNEAS DE RIEGO POR GOTEO Y LA APLICACIÓN DE SILICIO EN UN CULTIVO DE FRESA (*Fragaria sp*) BAJO CUBIERTA. ¹

EFFECT OF DRIP IRRIGATION LINES AND APPLICATION OF SILICON IN A STRAWBERRY (*Fragaria sp*) CROP UNDER COVER

Ana María Delgado.²

Orlando Benavides ³

Resumen

La investigación se realizó en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, con el objetivo de comparar el efecto de líneas riego por goteo y la aplicación de silicio en la producción y calidad de *Fragaria sp* bajo cubierta. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo en franjas divididas donde la franja principal corresponde a líneas de riego y la subfranja a niveles de silicio, se utilizó un producto comercial con una concentración de 200 g L⁻¹ SiO₂. Se emplearon cuatro tratamientos con cuatro repeticiones, los cuales fueron: T1: Una línea de riego por goteo sin silicio, T2: Una línea de riego con silicio, T3: Dos líneas de riego sin silicio y T4: Dos líneas de riego con silicio. Se evaluaron componentes de rendimiento: número de frutos por planta (NFP), peso del fruto (PF), diámetro ecuatorial del fruto (DEF), diámetro polar de fruto (DPF), sólidos solubles totales (SST), índice de madurez (IM) y rendimiento (RTO) y no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Por lo tanto, una sola línea de riego suplió las necesidades hídricas del cultivo y no fue necesario adicionar silicio como fertilizante adicional para obtener una mejor productividad a menores costos.

Palabras claves: sistema, fertirriego, dosis, eficiencia, rentabilidad.

¹Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Agrónoma.

²Estudiante de Ingeniería Agronómica. E-mail: anita.m101@hotmail.com

³Profesor Asociado, I.A. M.Sc. Facultad de Ciencia Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. E-mail:orlando.benavides2@gmail.com

Abstract

The research was performed at Botana Experimental farm of Nariño University, with the aim to compare the effect of drip irrigation lines and the application of silicon in the production and quality of *Fragaria* sp under cover. A randomized complete blocks design was used with divided stripes which the main strip corresponds to strip irrigation lines and the subswath at silicon levels, a commercial product was used at a concentration of $200 \text{ g L}^{-1} \text{ SiO}_2$. Four treatments with four replications were employed, which were: T1: A drip irrigation line without silicon, T2: An irrigation line with silicon, T3: Two irrigation lines without silicon and T4: Two irrigation lines with silicon. Yield components were evaluated: number of fruits per plant (NFP), fruit weight (FW), fruit equatorial diameter (FED), fruit polar diameter (FPD), total soluble solids (TSS), maturity index (MI) and yield (Y) and significant statistical differences between treatments weren't found. Therefore, a single irrigation line supplied the water necessities of the crop and was not necessary to add silicon as additional fertilizer to obtain a better productivity at lower costs

Keywords: system, fertigation, dosage, efficiency, profitability

INTRODUCCIÓN

Según la Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño (2012), en el departamento la producción de fresa se concentra en los municipios de Buesaco, Pasto y Yacuanquer. Para el año 2012 la producción de fresa en Nariño fue de 106 toneladas con un rendimiento de 5.4 t ha^{-1} . Los departamentos con más alto rendimiento como son Cundinamarca y Antioquia, que para este mismo año obtuvieron promedios de 46.8 y 45.5 t ha^{-1} respectivamente (Agronet, 2012). Este bajo rendimiento en el departamento de Nariño es debido a la escasez de un sistema de producción adecuado que influya positivamente en el rendimiento y calidad del producto (Asofrucol *et al.*, 2006).

La aplicación de silicio en los cultivos se ha venido implementado para la obtención de plantas más sanas, con mayor firmeza y vida, este elemento controla el desarrollo del sistema de la raíz, aumenta resistencia de las plantas a temperaturas bajas o altas, viento,

sal, los metales pesados y el ataque de insectos, hongos y enfermedades (Epstein, 1999). En gramíneas, el silicio estimula el crecimiento (entendido como la acumulación irreversible de materia seca, que se asocia a procesos de elongación y crecimiento celular) (Loaiza, 2003).

En estudios realizados por Borda y Barón (2007), evaluando el efecto benéfico del silicio en avena forrajera (*Avena sativa* L.), mediante curvas de crecimiento de los componentes de rendimiento teniendo como factor principal épocas de aplicación (presiembr y macollamiento) y factor secundario dosis (0, 50, 100, 150 y 200 mg kg⁻¹ de ácido monosilícico como fuente de mayor asimilación en los cultivos). Los resultados que obtuvieron fueron que al aplicar Si en época de presiembr se da un incremento altamente significativo en materia seca (34,9%) para la dosis de 100 y se asocia a un mejor índice de materia seca radicular (0,17), lo cual implica una mayor capacidad de absorción de nutrientes.

La fresa es exigente en agua, en zonas donde las lluvias son insuficientes o mal distribuidas con relación al ciclo de la planta, una buena disponibilidad representaría la base necesaria para un cultivo rentable, por lo que es necesario el riego. Se considera que una hectárea de fresal tiene un consumo hídrico de 400 a 600 mm por año (Branzanti, 2001). En general, la fresa es una planta cuyo desarrollo se ve influenciado por la temperatura, la luminosidad y la duración del día, desarrollándose bien a alturas entre los 1.800 y 2.350 m.s.n.m, con temperatura optima de 14°C, sin embargo también se observan buenos resultados entre los 10 a 20°C (Barahona y Sancho, 1998).

La necesidad de irrigar los campos, hace que la utilización de los equipos de riego sea cada vez mayor. El riego localizado es una aplicación puntual de cierta cantidad de agua al suelo, mediante emisores que la distribuye en diferentes puntos de la zona radicular. Este sistema de riego también permite la aplicación de fertilizantes disueltos, obteniéndose un máximo aprovechamiento. La aplicación del agua mediante este sistema involucra la

relación agua-suelo-planta-ambiente, para garantizar una óptima producción (Vélez *et al.*, 2007).

En investigaciones realizadas por Ojeda *et al.* (2008), sobre el efecto de la nutrición nítrica y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x Ananassa* Duch.) llegaron a la conclusión que con la optimización y el uso eficiente de fertilizantes y del agua se puede obtener frutos de buena calidad organolépticas y nutrimental, además de que disminuye el impacto ambiental y los costos económicos en la producción de fresa.

Según Mass (1987), la fresa es una planta con una alta demanda de agua, lo que la hace sensible al estrés hídrico. En estas condiciones, los productores prefieren aplicar el riego en exceso para evitar periodos de deficiencia hídrica, pero la alta humedad puede ocasionar principalmente la lixiviación y pérdidas gaseosas de nutrimentos. Una de las formas tradicionales de riego para este cultivo es por gravedad, lo que ocasiona el desperdicio de agua y una reducción de fertilidad en el suelo. Estos problemas han impulsado la búsqueda de nuevas formas de suministro, tiempos adecuados de aplicación y concentración de fertilizantes, además de sustituir el sistema de riego tradicional por sistemas de goteo, con la finalidad de incrementar la eficacia en la producción y elevar la calidad del fruto (Ojeda *et al.*, 2008).

Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo por objeto evaluar el efecto líneas de irrigación y la aplicación del elemento silicio en la producción y calidad de fresa, con el propósito a contribuir al desarrollo de nuevas técnicas que induzcan a mejorar su sistema de productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se realizó en la Granja Experimental Botana, municipio de Pasto, departamento de Nariño, Colombia, a una altura de 2.820 m.s.n.m., (IDEAM, 2012), ubicada en un bosque húmedo montano bajo (bh-MB), según la clasificación de Holdrige (2000), es una zona en donde la vegetación primaria ha sido alterada completamente. En donde existen pocos sectores boscosos pequeños y muchas áreas de cultivos intensos y de subsistencia. Se utilizó una tecnología sencilla de cubierta elaborada con malla metálica calibre veinte para los laterales y para el techo se usó plástico de invernadero calibre seis (Figura 1.), con una temperatura promedio interna de 18° C y humedad relativa del 60%.



Figura 1. Cubierta del cultivo de fresa, Granja Experimental Botana, Universidad de Nariño

Características físicas y químicas del suelo. Según el análisis de suelos, el lote de evaluación pertenece a un suelo Vitric haplustand. La capa arable corresponde a un suelo Arcillo-Arenoso, con 7,67 % de materia orgánica, pH de 5,5; además presenta contenidos altos de fósforo ($77,0 \text{ mg kg}^{-1}$), potasio ($2,32 \text{ cmolcarga kg}^{-1}$), calcio ($13,4 \text{ cmolcarga Kg}^{-1}$) y magnesio ($8,7 \text{ cmolcarga Kg}^{-1}$), con alta capacidad de intercambio catiónico ($23,2 \text{ cmolcarga Kg}^{-1}$), según la clasificación de niveles de nutrimentos en el suelo del Ica, (1992).

Labores Culturales.

Preparación del terreno y siembra. Se trazaron camas de 0,76 m de ancho y 30 m de largo separadas entre sí por 0,37 m y se sembró plantas provenientes de estolones de plantas madres de la variedad Camino Real a distancia de 0,35 x 0,35 m en doble fila de plantas por cama, con el fin de facilitar la adecuación de la doble línea de riego y también se sembraron en triangulo a la misma distancia para la instalación de una sola línea de riego. Antes del trasplante se aplicó 100 g de material orgánica.

La variedad utilizada fue Camino Real que se caracteriza por poseer poco follaje, lo que permite mayores densidades de plantación, disminución de labores culturales y facilidad de recolección. Su fruto es grande ligeramente más largo que ancho, cónico de color rojo negro, con gran firmeza y pulpa rojo oscuro. Variedad con buenas producciones de fruta, de gran tamaño, buen sabor, baja deformación de fruta, aceptada para mercado en fresco e industrial. Tolerante a *Phytophthora*, *Verticillium* y *Antracnosis*. Susceptible a *Botrytis* sp. Al inicio la planta es algo débil, y puede ser susceptible al ataque de plagas (Marín, 2006).

Fertilización y manejo agronómico. La fertilización se realizó con fuentes compuestas que se encuentran en el comercio de fórmula 8-43-16 para fertirriego en fresa, para lo cual se hizo una mezcla en un tanque de agua de riego de 200 L con 4 kg de fertilizante de realizándose una vez por semana por fertirriego, además se efectuaron fertilizaciones foliares con elementos menores como calcio y boro (Chaves y Lasso, 2013). Para la fertilización con 16 ml de producto comercial que contenía 200 g L⁻¹ de SiO₂ disueltos en una bomba de 20 L, se utilizaron 80 ml de la mezcla por planta con una concentración de 0.0128 g de SiO₂ planta⁻¹ en drench (aplicación dirigida al cuello de la planta) durante la etapa de desfloración (eliminación de las primeras flores en estado de botón o recién abiertas) teniendo en cuenta los tratamientos.

El manejo sanitario para plagas y enfermedades se efectuó teniendo en cuenta el porcentaje de incidencia del 10% sobre el total de plantas, por lo cual se integraron labores culturales y

de manejo químico con fungicidas e insecticidas disponibles en el comercio para cada problema fitosanitario, de acuerdo con las recomendaciones de Angulo, (2009).

Diseño Experimental. Correspondió a un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo en franjas divididas. La franja principal correspondió a líneas de riego (una línea de riego y dos líneas de riego) y la subfranja a niveles de silicio (0 y 16 ml del producto comercial disueltos en 20 L de agua y de esta mezcla se aplicó 80 ml por planta en drench). El ensayo tuvo cuatro tratamientos con cuatro repeticiones que corresponden **T1:** Una línea de riego sin silicio (L1 S0), **T2:** Una línea de riego con silicio (L1 S1), **T3:** Dos líneas de riego sin silicio (L2 S0) y **T4:** Dos líneas de riego con silicio (L2 S1). El tamaño de la parcela experimental tuvo un área de 5,7 m² que corresponde a 46 plantas de fresa y la parcela útil fue de 5,1 m² con 40 plantas.

Riego. Se instaló un sistema de riego por cinta de goteo con un caudal de 2 L hora⁻¹, el cual difiere en el número de líneas (una línea y dos líneas). Como se muestra en el diseño hidráulico (Figura 2.)

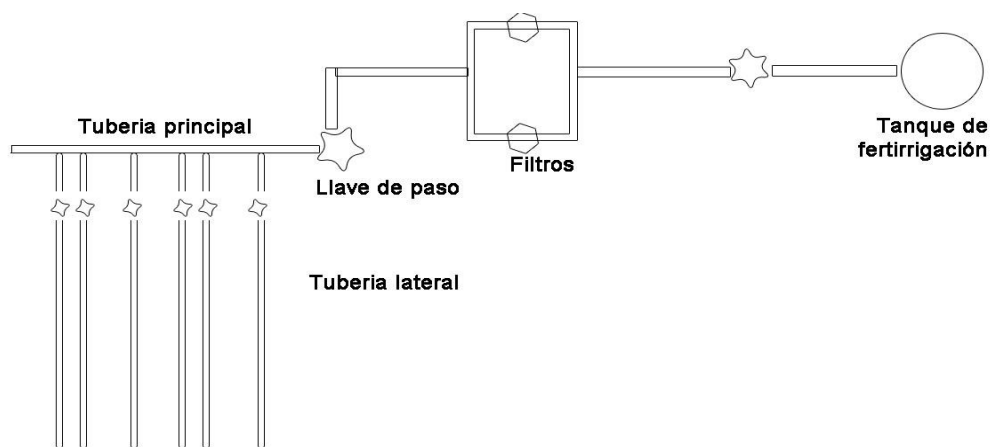


Figura 2: Diseño hidráulico para una y dos líneas de riego por goteo en un cultivo de fresa.

Uso consuntivo: Para calcular el uso consuntivo se tuvo en cuenta el coeficiente del cultivo de 0,90, el área 30 m² y la evapotranspiración promedio de 0,003 m día⁻¹

$$Uc = \text{Área} \times Kc \times Ev$$

Dónde: Uc: Uso consuntivo m³; Área: 30 m²; Kc: 0,90, (coeficiente del cultivo),

Ev: 0.003 m día⁻¹ (evapotranspiración promedio).

$$Uc = 30 \text{ m}^2 \times 0,90 \times 0,003 \text{ m}; Uc = 0,081 \text{ m}^3; Uc = 81 \text{ litros} = 2,7 \text{ mm}$$

Tiempo de riego: Se calculó teniendo en cuenta el número de goteros de una línea de riego con 300 goteros y caudal de 2 L hora⁻¹, entonces el caudal final es de 600 L hora⁻¹, por lo cual se determinó un tiempo de riego de 8,1 minutos; sin embargo por reacción de temperatura e incremento de la evaporación y recorrido de la línea de agua se aumentó en un 2% para un total de 10 minutos diarios. (Benavides, 1980). La cantidad de agua total aplicada para una línea y dos líneas fue de 477,9 y 955,8 mm respectivamente durante el periodo de evaluación de seis meses.

VARIABLES EVALUADAS

Número de frutos por planta (NFP): Se contó el número total de frutos totales producidos en las 40 plantas de la parcela útil (5,1 m²) y se obtuvo el promedio.

Peso del fruto (PF): Se registró el peso de 15 frutos maduros al azar de la parcela útil (5,1 m²) y se calculó el promedio en gramos.

Diámetro ecuatorial de fruto (DEF): Se midió 15 frutos maduros de la parcela útil tomados al azar desde la parte central de la fruta utilizando un pie de rey. Se registró el promedio en mm.

Diámetro polar de fruto (DPF): Se midió 15 frutos maduros de la parcela útil tomados al azar desde la base del pedúnculo hasta el ápice de la fruta utilizando un pie de rey. Se registró el promedio en mm.

Acidez titulable (AC): Se determinó por el método de titulación potenciométrica. Se expresa como porcentaje de AC y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%AC = ((V1 * N) / V2) * K * 100.$$

Donde V1=Volumen de NaOH consumido (mL); V2= Volumen de la muestra (5 mL); K=Peso equivalente de ácido cítrico (0,064 meq g⁻¹) y N= Normalidad de NaOH (0,1 meq.mL⁻¹). (Galvis, 1992).

Sólidos solubles totales (SST): Se midió el contenido de sólidos solubles totales a 15 frutos maduros de la parcela útil tomados al azar con la ayuda del refractómetro, la lectura se expresó en grados Brix (°Bx) y se corrigió utilizando el porcentaje de ácido cítrico (AC) mediante la ecuación: $SST_{CORREGIDOS} = 0,194 * A + SST$

Dónde: A = % Ácido Cítrico; SST = Sólidos solubles totales en °Brix
(Norma Técnica Colombiana, 2012).

Índice de Madurez (IM): Se tuvo en cuenta la relación entre el contenido de sólidos solubles y acidez total mediante la ecuación IM: SST/ Acidez, donde IM: Índice de Madurez; SST: Sólidos solubles totales en °Brix y A = % Ácido Cítrico (Galvis, 1992).

Rendimiento (RTO) (kg ha⁻¹): Se cosechó la parcela útil y se obtuvo el rendimiento en kg ha⁻¹. La cosecha se realizó durante 7 semanas.

Análisis estadístico. Todas las variables se sometieron a un análisis de varianza, sin obtener diferencias estadísticas significativas en el ANDEVA, por lo tanto no se realizó la prueba de comparación múltiples de medias. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat Statistical Package (Di Rienzo *et al.*, 2010).

Análisis Económico. El análisis económico, se evaluó por medios de la metodología del presupuesto parcial descrita por Perrin *et al.* (1976), el cual analiza los costos variables

parciales de presupuesto que están incluidas en el sistema productivo. Para ello se tomó los ingresos obtenidos y los gastos directos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los resultados del análisis de varianza (Tabla 1), no se encontraron diferencias estadísticas entre el número de líneas, el nivel del silicio, ni la interacción de las líneas por silicio, para ninguna de las variables evaluadas. Esto puede atribuirse a que en las condiciones en que se llevó a cabo el experimento no se encontró efecto de la doble línea ni efecto del mayor nivel de silicio.

TABLA 1. Análisis de Varianza para las variables: Número de Frutos por planta (NFP), Peso de Fruto (PF), Diámetro ecuatorial de fruto (DEF), Diámetro polar de fruto (DPF), Sólidos Solubles Totales (SST), Índice de madurez (IM) Y Rendimiento (RTO).

FDV	GL	NFP	PF (g)	DEF (mm)	DPF (mm)	SST(°Brix)	IM	RTO (kg/has)
Líneas riego	1	0,08ns	0,26ns	0,01ns	0,02ns	0,03ns	0,38ns	0,44ns
BLOQUES	3	0,11	15,37	0,02	0,04	0,10	2,20	18,93
Líneas riego*bloques	3	0,09	3,24	0,01	0,01	0,18	0,75	8,97
Nivel silicio	1	0,04ns	11,49ns	0,02ns	5,6E-05ns	0,03ns	0,42ns	4,31ns
Nível silicio*bloques	3	0,20	9,58	0,03	0,05	0,19	0,73	23,04
Líneas riego*nível silicio	1	0,03ns	0,88ns	0,02ns	0,03ns	0,17ns	1,38ns	1,97ns
Error c		0,15	0,15	3,8E-03	3,1E-03	0,12	0,67	12,76
CV		21,26	1,50	1,71	1,25	6,22	8,54	20,78

*= diferencias significativas; p<0.05**=diferencias altamente significativas; p<0.01ns= diferencias no significativas

Lo anterior se debe probablemente a que una sola línea de riego por goteo con una lámina de 2,7 m día⁻¹ logro mantener los niveles de agua aprovechable requeridos para el desarrollo normal de la fresa y manteniendo la capacidad de campo el suelo (Agua que permanece retenida en el suelo luego de una lluvia o riego y pasadas 24 horas). Por otra parte, en las condiciones de fertilidad, propiedades físicas y químicas del suelo no es necesaria la aplicación de silicio, lo cual se puede justificar que los suelos en los que se trabajó son provenientes de cenizas volcánicas que contienen altas cantidades de silicio.

Los suelos donde se llevó a cabo esta investigación tiene su origen en cenizas volcánicas (Andisoles) dominados por alófana e imogolita (minerales amorfos de rango corto), aluminio, silicio y gran porcentaje de materia orgánica. Una de las características principales de este tipo de suelo es la fijación de fosforo, en donde se dan mecanismos de fijación que incluyen procesos como quimiadsorción, desplazamiento del silicio estructural y precipitación (Espinosa, 2004).

En este sentido Chadwick *et al.* (2003); Townsend, (1985), afirman que al trabajar fertilización en Andisoles se dan alteración física y químicas, en procesos como disolución, lixiviación y precipitación de compuestos; los cuales transforman minerales, forma y tamaño de las partículas, porosidad del suelo, con influencia de factores como precipitación, temperatura, humedad y viento, que finalmente determinan la presencia de fluidos disponibles para las reacciones químicas, la tasa a la cual estas reacciones ocurren, la migración de compuestos, la erosión, entre otros procesos.

Al respecto Larson (2000), menciona que la fertilización en fresa depende de factores como el tipo de suelo, fertilidad natural del suelo, cantidad de materia orgánica, tipo de riego, calidad de agua, clima, entre otros. Es probable que el silicio se vea afectado por las características del suelo Andisol -Vitric haplustand, el cual contiene tiene más de 6.0 por ciento de carbono orgánico y la capa de epipedón mólico tiene un espesor de 50 cm. (Survey, 2006).

En este sentido Muños y Cabrera (2013), al trabajar en el estudio del comportamiento de las propiedades químicas de suelos de Botana encontraron que los contenidos de los nutrientes del suelos dependen de los sistemas agroforestales presentes, el tiempo de transformación de los minerales y materia seca de la zona, los cuales influyen en los contenidos altos de materia orgánica, calcio, magnesio, potasio y fosforo; sin embargo este último elemento está en formas no disponible para las plantas, debido a la gran acumulación de humus que

es mayor en suelos volcánicos y está estrechamente relacionado con contenidos de carbono en el suelo en los complejos humus –Al. (Espinosa ,2004).

Al respecto Duque y Contreras (2004), afirman que la solubilidad de los nutrientes es variable e influenciada por la temperatura, pH, tamaño de la partícula, composición química y rupturas presentes en la roca madre. También, se ve afectada por factores de suelo como el contenido de materia orgánica, la disponibilidad de agua, el potencial redox, entre otros. En este sentido (Parfitt, 1990; Parfitt *et al.*, 1984; Fieldes y Claridge, 1975), manifiestan que en suelos derivados de cenizas volcánicas con altas cantidades de silicio, forman complejos que no permiten una reacción inmediata, ya que su proceso de síntesis y meteorización es lento y puede tardar miles de años, bajo condiciones de precipitación inferiores a 1500 mm año⁻¹ y pH entre 5,7 y 7,1 (Wada, 1990).

Ramírez y Vélez (2002), mencionan que los cambios de las propiedades químicas de un Andisol obedecen a contenidos de roca madre, su evolución y los contenidos de materia orgánica. Por su parte Cast (2002), afirma que la fertilidad dependen de la cantidad de materia orgánica modificada, estructura de los agregados y la descomposición sucesiva da la biomasa microbiana que forman humus, el cual favorece el incremento de la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados mejorando la capacidad de intercambio catiónico, aportando nitrógeno, fosforo y otros nutrientes durante su lenta descomposición.

En este sentido Gaviria y Herrera (2013), trabajando en evaluación de las propiedades físicas de los suelos de Botana bajo sistemas de arreglo agroforestal encontraron que en esta zonas existen mayor cantidad de agregados de tamaños ideales de 2 y 0,5 mm que tienen mayor protección de suelos contra las gotas de lluvia, previniendo la erosión, facilitando la penetración del aire y agua en el suelo.

Otro de los factores que probablemente ha influido en la inhibición del silicio sería la época de aplicación, ya que este se aplicó en la etapa de desfloración, que según Barahona y Sancho (1998), es la eliminación de las primeras flores en estado de botón o recién abiertas,

para concentrar el uso de reservas de la planta en el crecimiento vegetativo. El silicio pertenece a grupo de elementos menores dentro de los nutrientes que la planta necesita para su crecimiento, por lo cual lo requiere en pequeñas cantidades y en etapas puntuales de su desarrollo.

Al respecto Aguilar (2011), señala que un mayor consumo de micronutrientes se da en la etapa vegetativa y colecta de fruto. En comparación de gasto de los macronutrientes que se presenta en casi todo el ciclo del cultivo en etapas como vegetativas, maduración de fruto y colecta de fruto, estas se caracterizan por su intensa división celular, en la primera se genera hojas, brotes de corona y se diferencian los brotes florales; en las dos siguientes se incrementa el tamaño de fruto, al mismo tiempo que se desarrollan nuevas flores.

En el mismo sentido Lizano (1994), menciona que la fresa es una planta de alta producción, por lo tanto será importante mantener un programa adecuado de fertilización para reponer nutrientes y mantener la calidad del suelo. Los niveles de extracción para la producción de un rendimiento de 30 t ha^{-1} de fresa corresponden a 75 Kg ha^{-1} , $35 \text{ Kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$, $137 \text{ Kg ha}^{-1} \text{K}_2\text{O}$, $46 \text{ Kg ha}^{-1} \text{CaO}$ y $25 \text{ Kg ha}^{-1} \text{MgO}$. (Marín, 2006)

La fertilización con macronutriente es importante pero existen micronutrientes como el caso del silicio que se le atribuye grandes propiedades como las que menciona Quero (2008), el de doble efecto en el sistema Suelo-Planta, la nutrición con silicio al cultivo refuerza en la planta su capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha, la autoprotección contra enfermedades causadas por hongos y bacterias, el ataque de insectos y ácaros y de las condiciones desfavorables de clima; en segundo lugar, el tratamiento del suelo con silicio biogénicamente activo optimiza la fertilidad del suelo a través de mejorar la retención y disponibilidad de agua, sus propiedades físicas y química y de mantener los nutrientes en forma disponible para la planta. Sin embargo algunas condiciones de clima, tipo de suelo y época de aplicación pueden inhibir su efecto en los cultivos.

En cuanto al efecto del número de líneas de riego que no tuvo influencia sobre ninguna de las variables estudiadas, es posible que la distribución del agua y fertirriego haya sido uniforme con el uso de una y dos líneas de riego por goteo en el sistema radicular de la fresa, ya en cada caso las plantas se encontraban sembradas con una disposición por cama en triángulo y cuadrado dependiendo del número de las líneas de riego, con el fin de mejorar la penetración de agua y fertilizantes disueltos en el suelo, que finalmente son absorbidos por la planta. Al respecto Angulo (2009), menciona que la fresa tiene un sistema radicular muy superficial razón por la cual se requiere suministros permanentes de agua en dosis bajas, que pueden ser suministrado por un sistema de riego por goteo. Además señala que una planta de fresa en plena producción requiere de 250 m día^{-1} de agua para mantener una productividad estable y de buena calidad.

En este sentido, en investigaciones realizadas por Arenas (2012), evaluando el comportamiento de un cultivo de Pera variedad Triunfo de Viena bajo los sistemas de riego por goteo doble línea versus el tradicional de una línea, los resultados obtenidos en producción y calidad del fruto no mostraron diferencias significativas entre sistemas de riego. El mismo autor llegó a la conclusión de que ambos sistemas permiten alcanzar una producción y calidad similar de fruto, añadiendo que desde el punto de vista económico, el riego de una línea presenta las mayores ventajas.

Sin embargo en el trabajo realizado por Bertuzzi *et al.* (2002), en un cultivo de Limonero con tres tipos de riego, entre estos doble línea de riego por goteo, este presentó un mayor tamaño de fruto en diferentes épocas de evaluación y se encontraron correlaciones significativas entre la longitud y el diámetro de fruto, en todos los tratamientos con valores mayores en los regados con doble línea aunque estos no fueron significativos, debido a que en todos los casos incrementa la longitud y el diámetro de los frutos con respecto al testigo.

Por otro lado la cantidad de agua irrigada por una sola línea de riego con una lámina de $2,7 \text{ m día}^{-1}$, pueda suplir las necesidades hídricas del cultivo en las condiciones de estructura del suelo donde se trabajó, ya que poseen la capacidad de retener cierta cantidad de

agua, lo cual asegura mantener los suelos a capacidad de campo sin la necesidad de adicionar grandes cantidades de agua. En los suelos derivados de cenizas volcánicas, la distribución de los agregados están fuertemente relacionada con la disposición, tamaño de los poros y retención de agua (shoji *et al.*, 1993).

En este sentido Solís (2011), se refiere al déficit o exceso de agua aplicada al cultivo de fresa los cuales pueden produce daños en la planta, por lo tanto le da importancia en determinar la lámina de riego que más se ajuste a las necesidades de este cultivo, lo cual posteriormente se traducirán en mantenimiento y aumento de la productividad. Esta situación, además traerá como consecuencia una mejora en los ingresos de los fruticultores proporcionado el bienestar socio económico de sus familias, es decir una mejor calidad de vida, garantizando la sostenibilidad y sustentabilidad de los sistemas productivos. A la vez se proteger un recurso indispensable como el agua.

Por lo cual, Vázquez *et al.*(2008), comparando el rendimiento de fresa regada por el sistema por goteo y gravedad concluyeron que el aporte de agua en riego por goteo y gravedad fue de 6321 y 7958 m³ respectivamente, lo cual significa un ahorro de agua 21% en riego por goteo. A sí mismo, Ferreyra y Sellés (2002), reportan reducción de Cracking en frutos de cereza chilena, con el uso de sistema de riego por goteo, ya que mantiene en forma permanente una humedad adecuada en el suelo evitando cambios abruptos en el contenido de humedad, lo cual es una causa de partiduras del fruto. También afirman que con el uso de este sistema se refleja mayor vigor en los árboles e incremento del diámetro de los troncos.

De igual forma, el gasto de cantidad de agua total durante todo el ensayo para una y dos líneas de riego por goteo fueron de 477,9 y 955,8 mm respectivamente. Lo cual demuestra que el tratamiento con doble línea de riego tuvo un mayor consumo de agua. Por ende para una explotación agrícola adecuada que busca un gasto mínimo de los recursos naturales como es el agua, que brinde buenos rendimientos y disminuyan los costos de producción;

una de las herramientas podría ser el uso de sistemas de riego por goteo con una sola línea que ofrece un menor impacto ambiental y económico (Monroy *et al.*, 2002).

En este sentido se puede considerar al sistema de riego por goteo con una línea como un instrumento ventajoso en la agricultura con el cual se puede promover el ahorro de agua y buena distribución en lugares donde este recurso es escaso. Según Palacios (2004), se considera que en zonas árida o semiárida, el riego es necesario para lograr cosechas seguras y económicamente productivas, por lo cual la utilización de agua para riego por goteo es muy importante por el mínimo consumo de agua. Además con este sistema se podría lograr una agricultura más sostenible y sustentable con el agua; como lo expresa Allan (2003), con su concepto de agua virtual que lo define como “Uso del agua necesaria para producir una mercancía agrícola”.

Al respecto Peniche y Ávila (2012), trabajando en la divulgación y uso práctico del concepto del agua virtual, en México llegaron a la conclusión que agua virtual puede constituye una herramienta útil para entender uno de los aspectos más representativos de las sinergias entre la producción y la naturaleza: la relación entre la producción de alimentos y la utilización de agua en la agricultura.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el presente análisis se utilizó la metodología del presupuesto parcial de Perrin, *et al.* (1976), el cual tiene en cuenta los costos variables de análisis del ensayo, como número de líneas de riego, dosis de silicio, mano de obra para la aplicación de fertilizante y transporte. Además, se determinó el ingreso neto y la rentabilidad aparente que incluye los costos variables con una proyección de los rendimientos calculados para una hectárea.

De igual forma, al no encontrar diferencias significativas en análisis estadístico para el rendimiento entre los cuatro tratamientos evaluados. Lo anterior sugiere que las diferencias reportadas entre los tratamientos son más atribuidas al efecto del error experimental que al

efecto de los tratamientos. En consecuencia no es conveniente darle valor económico de ingreso a tales diferencias, sino que debe asumirse que los rendimientos fueron iguales entre los tratamientos evaluados y tomar un valor promedio de ellos para los cálculos de análisis. Si los rendimientos se asumen como iguales en los tratamientos; el análisis económico se debe enfocar hacia las diferencias en el costo de producción (Reyes, 2001).

Para el agricultor es muy importante el retorno económico que se deriva principalmente del rendimiento por unidad de área y los costos de producción; aunque, también se debe considerar otros aspectos como la comercialización; no obstante, venda poco o mucho de lo que produce, el análisis de los costos es fundamental para cambiar una práctica u otra y los beneficios económicos que resultan de dicho cambio (Perrin, *et al.* 1976).

Según Castilla (2007), la demanda de tecnología y por ende la aceptación y adopción de la misma por parte de los productores, depende en gran medida, de los aspectos económicos relacionados con la escasez o abundancia relativa de los recursos productivos que se manifiesta a través de sus precios relativos y costos.

El cuadro 1 incluye los costos variables totales de producción por hectárea, y cabe destacar, que el tratamiento con doble línea de riego y aplicación de silicio presenta los mayores costos. Por su parte, el tratamiento con una sola línea de riego sin la aplicación de silicio, registra costos de producción inferiores, debido al incremento sustancial de los costos por la implementación de la doble línea de riego.

Ingreso neto y rentabilidad aparente. El tratamiento con una línea de riego sin silicio presentó el mayor ingreso neto para el ensayo, seguido por el tratamiento con una línea de riego con silicio. Los tratamientos que presentaron los menores ingresos fueron los de doble línea de riego; sin embargo, de estos tratamientos el acompañado con silicio tiene menores ingresos. En cuanto a la rentabilidad aparente, una línea de riego con silicio demostró una rentabilidad superior 3100 %

Por lo anterior, y como conclusión de este aparte, se puede afirmar que el uso de una sola línea de riego sin silicio puede suplir las necesidades hídricas del cultivo y de fertilización, y se pueden obtener mayores beneficios económicos, en comparación a cultivar con dos líneas de riego y aplicación de un fertilizante adicional como el silicio.

Cuadro 1. Análisis de costos e ingresos por hectárea en la comparación de la producción con una y dos líneas de riego por goteo y la aplicación de silicio en un cultivo de Fresa.

	Una línea de riego sin silicio	Una línea de riego con silicio	Dos líneas de riego sin silicio	Dos líneas de riego con silicio
Insumo				
Fertilizante foliar ha ⁻¹	-	\$30.000	-	\$30.000
Materiales				
Cinta de riego	\$2.640.000	\$2.640.000	-	-
Doble cinta de riego	-	-	\$5.280.000	\$5.280.000
Mano de obra 2 jornales (\$15.000 Jornal)				
Aplic. de Fertilizantes	-	\$30.000	-	\$30.000
Transporte de fertilizante foliar has⁻¹.	-	\$10.000	-	\$10.000
Total costos variables ha⁻¹.	\$2.640.000	\$ 2.710.000	\$5.280.000	5.350.000
Rendimiento Kg ha⁻¹.	24.280	24.280	24.280	24.280
Precio de venta Kg.	\$ 3.500	\$ 3.500	\$ 3.500	\$ 3.500
Ingresos total ha⁻¹.	\$ 84.980.000	\$ 84.980.000	\$ 84.980.000	\$ 84.980.000
Ingreso neto ha⁻¹.	\$ 82.340.000	\$ 82.270.000	\$ 79.700.000	\$ 79.630.000
Rentabilidad Aparente (%)	3118	3035	1510	1488

Fuente: esta investigación.

CONCLUSIONES

Al comparar el efecto de doble línea de riego por goteo frente a la convencional de una sola línea no se encontraron diferencias en los componentes de rendimiento y calidad en fresa.

Con la aplicación de 16 ml de producto comercial a base de silicio con una concentración de SiO₂ de 200 g L⁻¹ en el cultivo de fresa no se evidencio aumento de la producción y calidad de la fresa generando un costo adicional en el cultivo.

La mayor rentabilidad aparente anual fue de 3100 %, presentada por el tratamiento de una sola línea de riego por goteo sin la aplicación silicio.

BIBLIOGRAFÍA

Agronet. 2012. Sistema de Información de Precios e Insumos y Factores Asociados a la Producción. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/>. Consulta: febrero 2014

Aguilar, M. 2011. Demanda nutrimental de cuatro variedades de fresa (*Fragaria x Annanasa*), cultivadas en la región de Zamora Michoacán. Trabajo de grado Maestría en Ciencia. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. México. 120-128 pp.

Allan, A. 2003. Virtual Water- the water, food, and trade nexus useful concept or misleading metaphor? *Water International*. Vol. 28, N°. 1. 4-11pp.

Angulo, R. 2009. Cartilla Técnica Fresa, *Fragaria ananassa*. Bayer CropScience S.A. Colombia. 28-39 pp.

Arenas, M. 2012. Efecto de la utilización de doble línea de riego por goteo en el cultivo de pera (*Pyrus communis* L.) variedad triunfo de viena. Trabajo de grado Magíster en Ingeniería Agrícola, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 90 p.

Asociación Hortifrutícola de Colombia. (Asohofrucol); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (MADR); Gobernación de Nariño; Fondo Nacional de Fomento

Hortifrutícola (FNDH) y Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca (SAG). 2006. Plan Frutícola Nacional. Desarrollo de la fruticultura en Nariño. 49-51 pp.

Barahona, M y Sancho, E. 1998. Manzana, Melocotón, Fresa y Mora, Fruticultura Especial. San José. Costa Rica. BUEND. 85-103 pp.

Benavides, O. 1980. Módulo de riego por goteo en fresa (*Fragaria chiloensis Duchsne*) var. Tioga Californiana. Trabajo de grado (Magister en Ingeniería Agronómica). Facultad de Agronomía. Sede Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 79p.

Bertuzzi, S.; Giménez, L. y Rodríguez, V. 2002. Incidencia de diferentes sistemas de riego en el tamaño de los frutos de limonero Eureka. Facultad de Cs. Agrarias - UNNE. Sargento Cabral 2131 - (3400) Corrientes - Argentina. 4 p.

Borda, O. y Barón, F. 2007. El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. Revista Agronomía Colombiana 25(2), 273-279 pp.

Branzanti, E. 2001. La fresa. Ediciones Mundi-prensa. Madrid-España. 12-25 pp.

Cast. J. 2002. Environmental impacts of livestock on US grazing lands. Issue Paper. Disponible en: http://www.oregonstate.edu/dept/range/sites/default/files/I_Impacts_of_Livestock_on_UsGrazing_Lands.pdf> No. 22, 1-16 pp. Consulta: Enero 2014

Castilla, N. 2007. Invernaderos de Plástico Tecnología y Manejo, 2º ed. Ed Mundi-Prensa Madrid (España) 66 pp.

Chadwick, O.; Gavenda, R.; Kelly E.; Ziegler K.; Olson C.; Elliott W. y Hendricks D. (2003). "The impact of climate on the biogeochemical functioning of volcanic soils". *Chemical Geology*, Vol. 202. 195-223 pp.

Chaves, A. y Lasso, Z. 2013. Efecto de dos coberturas plásticas y tres láminas de agua en un cultivo de fresa. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 30 (1): 26-37 pp.

Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, Gonzalez L, Tablada M y Robledo C. 2010. Infostat versión. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>. Consulta: Enero 2014.

Duque, G. y Contreras, C. 2004. "Abonos de Tipo Natural (Silicatos) Como Alternativa Para Mejorar los Sembrados de Arroz". VI FERIA DE LA QUÍMICA. Disponible en: <http://www.universidaddelosandes.com.co>. Consulta: febrero 2014.

Epstein, E. 1999. "Silicon" En: *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. Vol. 50.641-64 pp.

Espinosa, J. 2004. Fijación de fosforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. INPOFOS. XVI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. Cartagena, Colombia.1-8 pp.

Ferreya, R. y Sellés, G. 2002. Manejo del riego en el cultivo de cerezo, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Seminario "Cultivo del Cerezo en la zona centro norte de Chile". Quillota, 27 y 28 de noviembre de 2002. 1-28 pp.

Fieldes M. y Claridge C. 1975. Allophane. En: J.E. Gieseking (Editor), *Soil Components*. Springer-Verlag, Heidelberg, Vol. 2.351-393 pp.

Galvis, A. 1992. Tecnología de manejo de post-cosecha de fruta y hortalizas: selección de vegetales. Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos (ICTA). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 12-14 pp.

Gaviria, J. y Herrera, E. 2013. Propiedades físicas del suelo en el arreglo agroforestal Laurel de cera *Morella pubescens* H.B.K con Chocho *Lupinus mutabilis* L. en el municipio de Pasto. Tesis de grado de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto 12-22 pp.

Holdridge, L. 2000. Ecología Basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. Quinta reimpresión. San José de Costa Rica. 1-26 pp.

Instituto Colombiano Agropecuario. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación, Bogotá: ICA Manual de Asistencia Técnica No. 25.1-26 pp.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2012. Pasto - Nariño. Boletín divulgativo de información climatológica anual.

Larson, K. 2000. Comportamiento y manejo de fresa: desarrollo de programas para máxima calidad y rendimiento de México. In Memoria del simposio internacional de fresa. Castellanos, J.; Guerra, F. (eds). Zamora, Michoacan, México. 7-21 pp.

Lizano, J. 1994. Atlas agropecuario de Costa Rica. Primera edición, Gonzalo Cortez Enríques. Costa Rica. 225-236 pp.

Loaiza, C. 2003. Fisiología vegetal. Ed. Universidad de Caldas, Manizales. 8-15 pp.

Marín, J. 2006. Fresa: cultivo en suelo y en hidroponía. Universidad Politécnica de Cartagena y Liceo Superior Agronómico. España. 53 p.

Mass, J. 1987. Compendium of strawberry diseases. APS Press, St-Paul, Minn. 15-26 pp.

Monroy, J.; Vera, J.; Cabresa, M.; Grageda, O. y Peña, J. 2002. Absorción de nitrógeno y productividad del agua por el cultivo de fresa (*Fragaria x Ananassa*) en “El Bajío”, México. Terra, 20, 65-69 pp.

Muñoz, H. y Cabrera, J. 2013. Evaluación de algunas propiedades químicas del suelo en un arreglo agroforestal *Morella pubescens* H.B.K y *Lupinus mutabilis* L. Pasto. Tesis de grado Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 29 p.

Norma Técnica Colombiana 5093. 2012. Frutas Frescas. ICONTEC. Bogotá D.C. 16 p.

Ojeda, A.; Cárdenas, R.; Lobit, P.; Grageda, O.; Valencia, E. y Marcías, L. 2008. Efecto de la nutrición nitríca y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x Ananassa* Duch.) Revista Chapingo Serie Horticultura. 14 (1):61-70 pp.

Palacios, E. 2004. El agua en el sector agrícola. In: Jacobo, M. y Saborio, E. (coord). La gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). México, D. F. 139-157 pp.

Parfitt R. 1990. “Allophane in New Zealand – A Review”. *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 28, 43- 60 pp.

Parfitt, R.; Saigusa M. y Coiwe J. 1984. “Allophane and halloysite formation in volcanic ash bed under different moisture conditions”. *Soil Science*, Vol. 138, No. 5. 360-364 pp.

Peniche, S. y Ávila, P. 2012. Exploración del concepto de exportación de agua virtual: el caso de la fresa mexicana. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3Núm.8.1579-1590 pp.

Perrin,R.; Winkelman, D.; Moscardi, E y Anderson, J. 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México. CYMMYT. 13-29 pp.

Quero, E. 2008. Silicio en la producción de chile. La biosilicificación Proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Disponible en <http://loquequero.com/potal>. Consulta: enero 2014.

Ramírez, A y Vélez, J. 2002. Evaluación preliminar del arreglo agroforestal en líneas de Laurel de cera *Morella pubescens* con Papa *Solanum tuberosum* y Ajo *Allium sativum* en la vereda Botana. San Juan de Pasto. Trabajo de grado Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 39 p.

Reyes, M. 2001. Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales. Boletín Informativo. Centro de Información Agrosocioeconómica. Universidad de San Carlos. Guatemala. 10-20 pp.

Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño. 2012. Consolidado Agropecuario de Nariño 2012. 64 pp.

Shoji, S., Nanzyo, M. y Dahlgren, R. 1993. Volcanic ash soil. Genesis. Properties and utilization. Dev. In Soil Sc.21. Amsterdam. Elsevier, 252-570 pp.

Solís, M. 2011. Evaluación de tres láminas y dos frecuencias de fertirriego, aplicadas por el método de goteo localizado en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*) en la provincia de

Tungurahua. Tesis de maestría en Gestión de la Producción de Flores y Frutas Andinas para Exportación. Ambato – Ecuador. 2-25 pp.

Survey, S, 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicios de Conservación de Recursos Naturales (USDA). Décima Edición 77-97 pp.

Townsend, F. 1985. “Geotechnical characteristics of residual soils”. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 111, No. 1, 77-94 pp.

Vázquez, G.; Cárdenas, R. y Lobit, P. 2008. Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de fresa regada por goteo y gravedad. *Agricultura Técnica en México* Vol. 34. Núm. 235-241pp.

Vélez, J.; Intrigliolo, D. y CasteL, J. 2007. Programación del riego en cítricos con base en sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. *Ingeniería del agua* 14(2):127-135 pp.

Wada, K. 1990. “Minerals and mineral formation in soils derived from volcanic ash in the tropics”. *Proceedings of the 9th International Clay Conference, Strasbourg, 1989.V.C.* Farmer and Y. Tardy (Eds). *Sci. Géol. Mém.*, Strasbourg. Vol. 85, 69-78 pp.