

## Relación entre grados-día y la producción de *Opuntia ficus-indica* para consumo humano en Marín, Nuevo León\*

### Relationship between degree-days and the production of *Opuntia ficus-indica* for human consumption in Marín, Nuevo León

Pedro Almaguer-Sierra<sup>1</sup>, Humberto Rodríguez-Fuentes<sup>2</sup>, Ludivina Barrientos Lozano<sup>1§</sup>, Sandra Grisell Mora Ravelo<sup>1</sup> y Juan Antonio Vidales-Contreras<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Blvd. Emilio Portes Gil Núm. 1301 Pte. C. P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas. Tel. 045 8116284824, 045 8341139304 y 045 5513213740. (almagavetec@hotmail.com; sgmora@colpos.mx). <sup>2</sup>Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera. Zuazua, Marín km. 7.5, C. P. 66700. Marín, Nuevo León, México. Tel. 045 8115004048 y 045 8115004048. (hrodrigu10@gmail.com; javidalesc@hotmail.com). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: ludivinab@yahoo.com.

#### Resumen

La temperatura del aire es el factor que más se relaciona con el crecimiento y desarrollo vegetal. Son pocas las investigaciones reportadas para el cultivo de nopal verdura en el norte de México que abordan el modelado de los grados día con la producción de biomasa en condiciones hidropónicas. Los objetivos de este estudio fueron: i) modelar la producción de nopal verdura relacionando la biomasa fresca (PF) y seca (PS), con la temperatura del aire; y ii) estimar la tasa de crecimiento de biomasa en un sistema hidropónico cerrado. El experimento se realizó en (2009) en Marín, Nuevo León, México. Se usó la variedad "Villanueva", con una densidad de población de 16 plantas m<sup>-2</sup>, un sustrato de arena de río y una solución nutritiva completa. Se regó cada tercer día y la solución fue renovada cada semana. Los valores promedio de temperatura, humedad relativa y grados día en el período de cosecha fueron: 29 °C, 55% HR y 558.2 grados día, respectivamente. Se dejaron madurar solo dos cladodios sobre el cladodio madre y a partir de ellos se cosecharon cada semana todos los brotes cuando alcanzaron 15 cm o más de longitud. La relación de las variables PF, PS vs. grados-día (GD) se ajustó a polinomios cuadráticos con R<sup>2</sup>= 0.83 y 0.91, respectivamente; la tasa de incremento fue variable durante

#### Abstract

Air temperature is the most related factor to plant growth and development. There are few investigations reported for growing cactus in northern Mexico that address modeling degree days with biomass production under hydroponic conditions. The objectives of this study were: i) production modeling of cactus pear related to fresh (PF) and dry (PS) biomass, with air temperature; and ii) estimate the rate of biomass growth in a closed hydroponic system. The experiment was conducted in (2009) in Marín, Nuevo León, Mexico. The variety "Villanueva" was used, with a population density of 16 plants m<sup>-2</sup>, a substrate of river sand and a complete nutrient solution. Irrigation was made every third day and the solution was renewed every week. The average values of temperature, relative humidity and degree day in the harvest period were: 29 °C, 55% RH and 558.2 degree days, respectively. Only two cladodes were left to maturity on the mother cladode and from them were harvested each week all shoots when they reached 15 cm or more in length. The ratio of PF, PS vs. degree days (GD) variables were adjusted to quadratic polynomials with R<sup>2</sup>= 0.83 and 0.91, respectively; the rate of increase was variable during the crop production cycle. The average monthly production of 16 plants was 4.36 and 0.72 kg m<sup>-2</sup> of PF and PS, respectively.

\* Recibido: febrero de 2014  
Aceptado: julio de 2014

el ciclo productivo del cultivo. La producción promedio mensual de las 16 plantas fue de 4.36 y 0.72 kg m<sup>-2</sup> de PF y PS, respectivamente.

**Palabras clave:** hidroponía, modelo matemático, nopal verdura, temperatura.

## Introducción

El cultivo de nopal es una alternativa para producir en zonas áridas y semiáridas (Flores-Hernández *et al.*, 2005). En estas regiones los sistemas de producción en ambientes controlados han demostrado su alta productividad, calidad nutrimental mineral y apariencia estética agradable como producto para el consumo en fresco (Klock y Broschat, 2001; Zúñiga, 2004). En 2006, el volumen de la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) ocupó el doceavo lugar en importancia en México, colocándose en el octavo lugar en cuanto al valor de la producción como hortaliza (Berger *et al.*, 2006).

Para finales de la década pasada, la superficie de siembra fue de 12.041 ha (SAGARPA-SIAP, 2010), considerándose que la importancia de este cultivo se atribuye a su bajo valor calórico, alto contenido en fibra y cualidades nutricionales y funcionales que brinda al ser consumido en fresco (Stintzing y Carle, 2005). La producción de un cultivo está determinada por la tasa y la duración del periodo de crecimiento (Van Dobben, 1962). El total de grados-día (GD) acumulados durante el ciclo de un cultivo, es definido como la suma de temperaturas del aire por encima de las condiciones mínimas necesarias que influyen en el crecimiento y desarrollo (Prela y Ribeiro, 2002; Schöffel y Volpo, 2002).

La temperatura del aire es el factor climático que mejor se conoce por su relación con respecto al crecimiento y desarrollo de las plantas. Una forma de establecer dicha relación es a través del índice térmico llamado grados día (GD), este se puede emplear para predecir el crecimiento de los cultivos, las necesidades nutrimentales, la producción y el manejo de plagas, entre otros (Kramer, 1994, Rodríguez-Absi, *et al.*, 2010). La temperatura es un factor determinante en la producción del nopal, afectando el metabolismo, la absorción neta de CO<sub>2</sub>, y en casos extremos puede limitar el crecimiento de la planta (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2001). En el caso de *Opuntia* spp., la temperatura baja es el factor que más lo limita.

**Keywords:** hydroponics, mathematical model, cactus pear, temperature.

## Introduction

The cultivation of cactus pear is an alternative to produce in arid and semi-arid areas (Flores-Hernández *et al.*, 2005). In these regions the production systems under controlled environments have shown high productivity, quality, mineral nutrient and aesthetically pleasing product for fresh consumption (Klock and Broschat, 2001; Zúñiga, 2004). In 2006 the volume of production of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) ranked twelfth of importance in Mexico, standing in eighth place on the value of production as a vegetable (Berger *et al.*, 2006).

By the end of last decade, the sowing area was 12 041 ha (SAGARPA-SIAP, 2010), considering that the importance of this crop is attributed to its low calorific value, high fiber content and nutritional and functional qualities that provides when eaten fresh (Stintzing and Carle, 2005). The production of a crop is determined by the rate and duration of growth (Van Dobben, 1962). Total degree days (GD) accumulated during the crop cycle, is defined as the sum of air temperatures above the minimum conditions needed that influence the growth and development (Prela and Ribeiro, 2002; Schöffel and Volpo, 2002).

Air temperature is the climatic factor that is best known for its relationship to the growth and development of plants. One way to establish such a relationship is through the heat index called degree day (GD), this can be used to predict crop growth, nutrient requirements, production and pest management, among others (Kramer, 1994, Rodríguez-Absi *et al.*, 2010). The temperature is a determining factor in the production of cactus pear, affecting metabolism, net uptake of CO<sub>2</sub>, and in extreme cases can limit plant growth (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2001). For *Opuntia* spp. low temperature is the most limiting factor.

High temperature can decrease their production, there are reports that mention that the plant tolerates up to 65 °C for one hour without presenting damages; however, and at temperatures below 5 °C cell damage presents (Russell and Felker, 1987; Valdez-Cepeda, *et al.*, 2001).

La temperatura alta puede disminuir su producción, existen reportes donde se menciona que la planta tolera hasta los 65°C durante una hora sin presentar daños; sin embargo, a temperaturas menores a 5°C se presenta daño celular (Russell y Felker, 1987; Valdez-Cepeda, *et al.*, 2001). Existen reportes donde la variable GD ha mostrado su utilidad para predecir la fenología en cultivos como: chile (*Capsicum annum*), cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), pimienta (*Piper nigrum*), manzano (*Pyrus malus*, L.), melón (*Cucumis melo* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.), en estos se han propuesto modelos que relacionan la producción y sus etapas fenológicas (Ayala, 1988; Villa y Catalán, 1992; Perry *et al.*, 1993; Valentini *et al.*, 2001; Baker y Reddy, 2001; Lopes *et al.*, 2004).

Trabajos recientes abordan el tema de la producción de nopal verdura usando diferentes sistemas de cultivos (Flores-Hernández *et al.*, 2004; Orona-Castillo *et al.*, 2004; Flores-Hernández *et al.*, 2005; Blanco-Macías *et al.*, 2007; Ruiz-Espinoza *et al.*, 2008, Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2009; Almaguer-Sierra *et al.*, 2009, Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2011), en los cuales se relaciona el crecimiento y desarrollo con diferentes factores de la producción para diversas regiones del norte de México. En la mayor parte de ellos, el cultivo es realizado en suelo, considerando diferentes sistemas de manejo y relacionando la producción de nopal verdura con: nutrimentos absorbidos, temperatura del aire, densidad de población, altura del corte a la cual se realiza la cosecha, variedades, dosis de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, salinidad y tipos de sistemas de riego, entre otros.

Son pocas las investigaciones reportadas para el cultivo de nopal que abordan el modelado de la producción de biomasa (De Cortazar *et al.*, 2001; Almaguer-Sierra *et al.*, 2008; Almaguer-Sierra *et al.*, 2009). Para el cultivo de nopal verdura, la información sobre el tema es escasa en el norte de México; considerando lo anterior, se plantearon los siguientes objetivos: i) modelar la producción de nopal verdura relacionando la biomasa fresca y seca con la temperatura del aire; y ii) estimar la tasa de crecimiento de biomasa de nopal verdura en un sistema hidropónico cerrado. La razón de modelar la acumulación de biomasa vs temperatura del aire en esta investigación es parte de un proyecto que contemplo el estudio de nueve variables de nutrición que está en proceso. Los resultados obtenidos son específicamente para el municipio de Marín, Nuevo León y áreas climáticamente similares.

There are different reports where GD has proven useful to predict phenology in crops such as pepper (*Capsicum annum*), safflower (*Carthamus tinctorius* L.), pepper (*Piper nigrum*), apple (*Pyrus malus* L.), melon (*Cucumis melo* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.), in these has been proposed models that link production and phenological stages (Ayala, 1988; Villa and Catalán, 1992; Perry *et al.*, 1993; Valentini *et al.*, 2001; Baker and Reddy, 2001; Lopes *et al.*, 2004).

Recent works address the issue of cactus pear production using different cropping systems (Flores-Hernández *et al.*, 2004; Orona-Castillo *et al.*, 2004; Flores-Hernández *et al.*, 2005; Blanco-Macías *et al.*, 2007; Ruiz-Espinoza *et al.*, 2008, Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2009; Almaguer-Sierra *et al.*, 2009; Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2011), in which the growth and development are related to different factors of production for various regions of northern Mexico. In most of them, the cultivation is carried out in soil, considering different management systems and relating the production of cactus pear with: absorbed nutrients, air temperature, population density, cutting height at which the harvest takes place, varieties, doses of organic and inorganic fertilizers, salinity and irrigation systems, among others.

There are few research reported for growing prickly that address modeling of biomass production (De Cortazar *et al.*, 2001; Almaguer-Sierra *et al.*, 2008; Almaguer-Sierra *et al.*, 2009). For the cultivation of cactus pear, the information about it is scarce in northern Mexico; Considering the above, the following objectives were established: i) modeling the production of cactus pear relating fresh and dry biomass with air temperature; and ii) estimate the growth rate of cactus pear biomass in a closed hydroponic system. The reason for modeling biomass accumulation vs air temperature in this research is part of a project that contemplates studying nine nutrition variables that is in process. The results are specific for the town of Marín, Nuevo León and climatically similar.

## Materials and methods

This research was conducted during 2009 in the hydroponic module of the Faculty of Agronomy from the Autonomous University of Nuevo León (UANL), Marín Campus, located

## Materiales y métodos

Esta investigación se realizó durante el periodo 2009 en el módulo hidropónico de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Campus Marín, localizado en el municipio de Marín, N. L., México, 25° 23' latitud norte, 100° 03' longitud oeste, a una altitud de 375 msnm. El clima en la región es semiárido (Clasificación climática de Köppen: BSh), con una precipitación media anual de 528 mm. La temperatura promedio anual es de 22 °C; con una máxima de 40 °C y una mínima de 4 °C. Los meses más cálidos son julio y agosto (INIFAP, 2009).

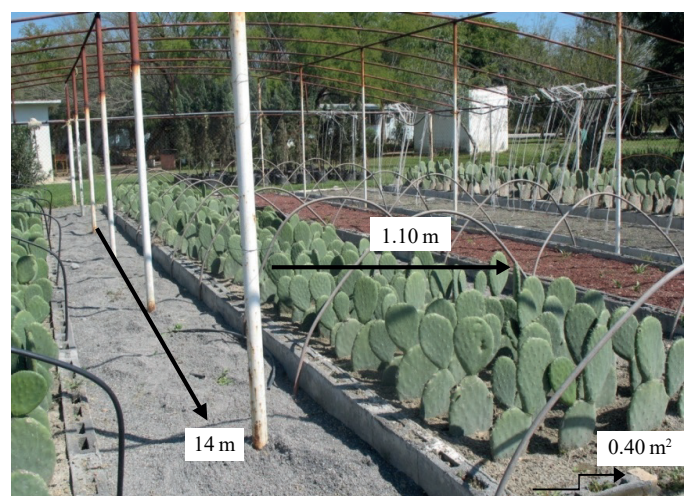
El experimento se desarrolló en un sistema hidropónico cerrado que consta de tres bancales de hormigón a cielo abierto. Las dimensiones de cada bancal fueron: 1.10 m de ancho (interior) y 14 m de largo. Cada bancal consta de 0.4 m<sup>2</sup> de cabecera (Figura 1) con una superficie de cultivo de 15 m<sup>2</sup>. En la cabecera se encuentra un sistema de drenaje, que permitió vaciar por gravedad la solución nutritiva hidropónica (SNH) y reciclarla, esta cae a una cisterna con capacidad de 2.5 m<sup>3</sup>. El sustrato que se usó fue grava de río (0.1 a 1 cm de diámetro). Las características físico-químicas del sustrato fueron: textura gravoso; capacidad de intercambio de cationes=0 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> de sustrato; pH (1:2)= 7.21; conductividad eléctrica= 0 mS cm<sup>-1</sup> a 25°C. El sustrato se esterilizó previamente con una solución de ácido sulfúrico industrial, amortiguada a pH=3. El sustrato en el bancal fue inundado con esta solución durante dos días, posteriormente se lavó dos veces con agua de la llave. La SNH empleada se indica en el Cuadro 1, no se agregó cloruro, ya que el agua utilizada para la preparación de la SNH contenía lo suficiente del nutrimento para las necesidades requeridas por el nopal (Rodríguez *et al.*, 2006).

Los cladodios empleados como semilla correspondieron a *Opuntia ficus-indica* Variedad "Villanueva", (Orona-Castillo *et al.*, 2001), y fueron recolectados a finales de 2007 del banco de germoplasma de la Facultad de Agronomía de la UANL, en Marín, N. L. Éstos tenían más de seis meses de edad y fueron tratados con pasta bordelesa en la base para prevenir el ataque de enfermedades, posteriormente se dejaron deshidratar durante dos meses a la sombra (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2009).

El trasplante se realizó a finales de febrero de 2008 insertando un tercio del cladodio en el sustrato, la densidad de población fue de 16 plantas m<sup>-2</sup>. El riego con la SNH se realizó cada tercer día. Para ello se utilizó una bomba centrífuga de ½ HP.

in the municipality of Marín, NL, Mexico, 25° 23' north latitude, 100° 03' west longitude, at an altitude of 375 masl. The climate in the region is semi-arid (Köppen climate classification: BSh), with an average annual rainfall of 528 mm. The annual average temperature is 22 °C; with a maximum of 40 °C and a minimum of 4 °C. The hottest months are July and August (INIFAP, 2009).

The experiment was conducted in a closed hydroponic system consisting of three concrete terraces. The dimensions of each patch were 1.10 m wide (interior) and 14 m long. Each patch consists of 0.4 m<sup>2</sup> header (Figure 1) with a cultivated area of 15 m<sup>2</sup>. At the head is found the drainage system, allowing to pour by gravity hydroponic nutrient solution (SNH) and recycle it; this falls into a tank with a capacity of 2.5 m<sup>3</sup>. The substrate used was river gravel (0.1 to 1 cm diameter). The physico-chemical characteristics of the substrate were coarse texture, cation exchange capacity=0 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> substrate, pH (1:2)=7.21, electrical conductivity=0 mS cm<sup>-1</sup> at 25 °C. The substrate on the patch was previously sterilized with an industrial sulfuric acid solution, buffered to pH=3. The substrate in the patch was flooded with this solution for two days, subsequently washed twice with tap water. The SNH used is shown in Table 1, no chloride was added, since the water used for the preparation of SNH contained enough of the nutrient for the needs required by the cactus pear (Rodríguez *et al.*, 2006).



**Figura 1. Sistema hidropónico cerrado de nopal con tres bancales de hormigón a cielo abierto.**

**Figure 1. Cactus pear closed hydroponic system with three concrete terraces open.**



El bancal se inundaba y drenaba de inmediato a una cisterna de 2.5m<sup>3</sup> de capacidad para reciclarla durante una semana antes de renovarla. El diseño experimental fue bloques en un módulo hidropónico (con un manejo homogéneo) completos al azar (cada uno con 40 plantas) con tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos correspondieron a los meses de cosecha. Por lo cual, se consideró no necesario un testigo ya que solo se comparan las fechas en las que hubo cosecha de cladodios.

En el primer año se realizó la poda de formación, una vez que el cladodio plantado ha desarrollado su sistema de raíces, la sabia entra en actividad y produce los primeros cladodios (primer nivel), a partir de ese momento y de manera estratégica se aplicó la poda de formación dejando madurar solo dos de ellos, generando la estructura vegetal llamada "orejas de ratón" o "Mickey mouse". Sobre estos dos cladodios o primer nivel, se desarrollaron todos los cladodios que se cosecharon tiernos en el segundo año. Cada siete días cuando presentaron 15 cm de longitud.

Para estimar la producción de biomasa, se seleccionaron, (marcaron) 120 plantas con competencia completa y con una estructura vegetal homogénea (40 en cada bancal). El corte o cosecha se realizó cada siete días, el criterio para realizar el corte del nopal fue que presentara 15 cm de largo o más. Para ello, se usó un cuchillo de acero inoxidable desinfectado previamente con alcohol industrial. Se registró el peso en fresco (PF) de la cosecha en cada repetición. En cada fecha de corte, se realizaron muestreos de cladodios tiernos de 20 plantas seleccionadas al azar en las tres repeticiones, éstos se lavaron con agua destilada, se secaron con papel absorbente y se llevaron al laboratorio, en donde se registró el PF de cada uno de ellos. Después, se cortaron en segmentos de 5\*1 cm para facilitar su secado; se introdujeron a una bolsa de papel estraza previamente identificada, para después ser deshidratados en una estufa de convección forzada (Marca Riossa, modelo H-62, México); se dejaron a una temperatura de 70 a 80 °C, por 72 h hasta peso constante, posteriormente se obtuvo el peso seco (PS), éste se determinó con una balanza electrónica (Marca JR, modelo SX-8K, México).

### Modelado de la producción de biomasa

Los grados-día (GD) se calcularon considerando la siguiente fórmula (Ortiz, 1987; Hassan *et al.*, 2007):

$$GD = [(T_{max} + T_{min})/2] - T_b;$$

### Cuadro 1. Solución nutritiva hidropónica utilizada en el experimento.

Table 1. Hydroponic nutrient solution used in the experiment.

| Nutrimiento | Cantidad (mg L <sup>-1</sup> ) | Volumen empleado por bancal (m <sup>3</sup> ) | Volumen total promedio por planta (L) |
|-------------|--------------------------------|---|---------------------------------------|
| N           | 200                            | 1 por semana                                  | 217                                   |
| P           | 60                             | 52 total (periodo experimental)               |                                       |
| K           | 250                            |   |                                       |
| Ca          | 200                            |   |                                       |
| Mg          | 50                             |   |                                       |
| S           | 100                            |   |                                       |
| Fe          | 0.5                            |   |                                       |
| Mn          | 0.25                           |   |                                       |
| B           | 0.25                           |   |                                       |
| Cu          | 0.02                           |   |                                       |
| Zn          | 0.25                           |   |                                       |
| Mo          | 0.01                           |   |                                       |

The cladodes used as seed corresponded to *Opuntia ficus-indica* Variety "Villanueva" (Orona-Castillo *et al.*, 2001) and were collected in late 2007 from the genebank of the Faculty of Agronomy of UANL in Marín, NL. These had more than six months of age and were treated with Bordeaux mixture on the base to prevent the attack of diseases, subsequently allowed to dehydrate for two months under shade (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2009).

The transplant was performed at the end of February 2008, a third of the cladode was inserted in the substrate, the population density was 16 plants m<sup>-2</sup>. Irrigation with SNH was done every third day. For this, a ½ HP centrifugal pump was used. The patch was flooded and drained immediately to a tank of 2.5m<sup>3</sup> for recycling for a week before renewal. The experimental design was randomized complete block in a hydroponic module (with homogeneous management) (each with 40 plants) with three replicates per treatment. Treatments corresponded to months of harvest. Therefore, it was not necessary a control since only the dates on which cladodes are harvested were compared.

In the first year pruning was done, once the cladode has grown its root system, the plant sap becomes active and produces the first cladodes (first level), from that moment and strategically applied the pruning leaving only two of them for harvest, generating a plant structure called "mouse ears" or "Mickey mouse". On these two cladodes or first

Donde: GD= grados día; Tmax= temperatura máxima diaria (°C); Tmin= temperatura mínima diaria (°C) y Tb= temperatura base (10 °C) por debajo de la cual la vegetación disminuye considerablemente su actividad biológica (Hassan *et al.*, 2007).

Los datos de temperatura máxima y mínima considerados, se colectaron de la estación meteorológica localizada en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. (<http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>). Los GD se calcularon diariamente, para después sumarse en periodos de 7, 14, 21 y 30 días, esto mismo se realizó con la biomasa (fresca y seca) con la finalidad de relacionar ambas variables con los GD correspondientes a cada periodo, para ello se usaron modelos matemáticos, tomando como criterio de evaluación el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de mayor valor.

### Análisis estadístico

El paquete de diseños estadísticos experimentales (Olivares-Sáenz, 1995) fue usado para realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) y las pruebas de media de las variables. Polinomios de segundo grado se emplearon para relacionar la biomasa fresca y seca con los GD.

## Resultados y discusión

Se realizó un análisis de varianza para probar si existe diferencia entre bloques y tratamientos, considerando a estos últimos a las fechas de corte, (biomasa- grados día) los cuales fueron variando en períodos de 7, 14, 21 y 30 días durante el período de cosecha. Los resultados obtenidos nos muestran por un lado, que no existe diferencia entre bloques y sí entre las fechas de corte (tratamientos), ( $F_{gl. 5,17} = 48.03$  ( $p < 0.0001$ , CV= 12.73%). Considerando lo anterior se determinó tomar como universo a las 120 plantas, para el modelado de producción de biomasa vs. grados día.

### Modelado de la producción de nopal verdura

El tamaño comercial del nopal verdura se alcanza a las dos o tres semanas después del brote (Ruiz-Espinosa *et al.*, 2008) dependiendo de factores genéticos, ambientales y de manejo, se buscó establecer la relación entre la producción acumulada de PF y PS, con los GD para periodos de: 7, 14, 21 y 30 días respectivamente (Figura 2), usando para ello técnicas

level, developed all cladodes that were harvested tender in the second year. Every seven days when they were 15 cm long.

To estimate biomass production, 120 fully competitive plants and with a vegetative homogeneous structure (40 in each patch) were selected (marked). The cut or harvest took place every seven days; the criterion for cutting cactus pear was to present 15 cm or more in length. For this, a stainless steel knife previously disinfected with industrial alcohol was used. Fresh weight (FW) of the crop in each repetition was recorded. On each cutting date, samples of 20 plants were randomly selected in three replicates; these were washed with distilled water, dried with absorbent paper and taken to the laboratory, where PF was recorded for each. Then, cut into segments of 5\*1 cm to facilitate its drying; introduced to a brown paper bag previously identified, to be dried in a forced convection oven (Riossa Brand, model H-62, Mexico); were left at a temperature of 70 to 80 °C for 72 h to constant weight, then the dry weight (DW) was obtained, this was determined with an electronic scale (Brand JR, model SX-8K, Mexico).

### Modelling for biomass production

Degree days (GD) were calculated considering the following formula (Ortiz, 1987; Hassan *et al.*, 2007):  $GD = [(T_{max} + T_{min}) / 2] - T_b$ ;

Where: GD= degree days; Tmax= daily maximum temperature (°C); Tmin= daily minimum temperature (°C) and Tb= base temperature (10 °C) below which vegetation significantly reduces its biological activity (Hassan *et al.*, 2007).

The data considered maximum and minimum temperature, were collected from the weather station located in Marín Campus Faculty of Agronomy from the Universidad Autónoma de Nuevo León. (<http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>). GD were calculated daily, then add in periods of 7, 14, 21 and 30 days, the same was done with biomass (fresh and dry) in order to relate both variables with the corresponding GD to each period, to do so mathematical models were used, taking as evaluation criteria the coefficient of determination (R<sup>2</sup>) of greater value.

### Statistical analysis

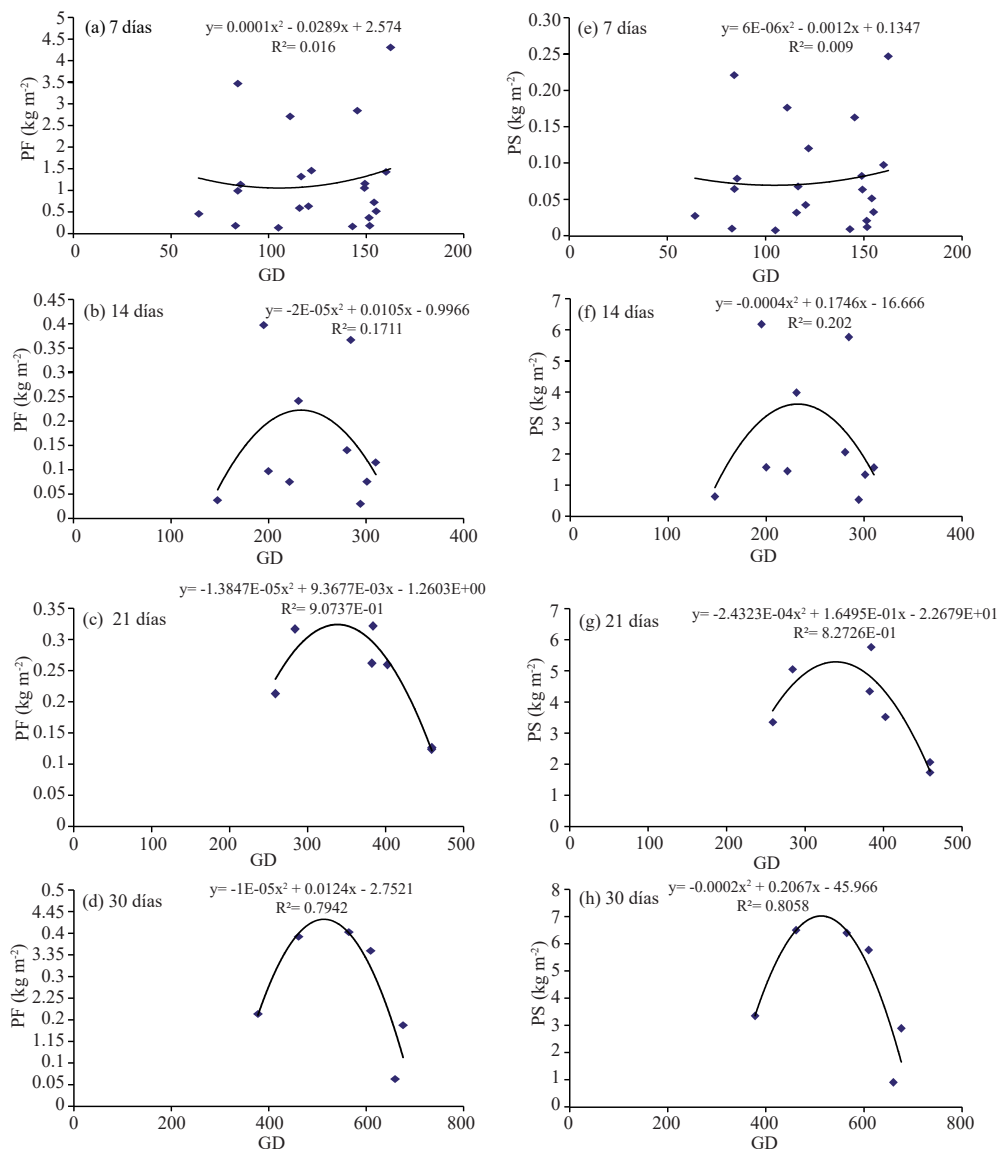
Statistical Package of experimental designs (Olivares-Saenz, 1995) was used to perform the analysis of variance (ANOVA) and tests mean of the variables. Quadratic polynomials were used to relate fresh and dry biomass with GD.

y modelos de regresión conocidas. Se aprecia entonces que la relación entre dichas variables va haciéndose más evidente al ir acumulando la biomasa vs., grados día por periodos ( $R^2$ ), cuando se usó un polinomio de segundo grado. De tal manera que el mejor ajuste se presentó cuando se relacionaron las variables en periodos de 21 días. Para peso fresco fue  $R^2= 0.83$  ( $p= 0.001$ ). Mientras que para peso seco el mejor ajuste fue de  $R^2= 0.91$  (Figura 3) ( $p= 0.001$ ). Los modelos que mejor explicaron la producción de biomasa (PF, PS) fueron:

$$PF_{kg\ m^{-2}} = -0.00024(GD)^2 + 0.16GD - 22.68. R^2= 0.83.$$

## Results and discussion

An analysis of variance was performed to test whether there is a difference between blocks and treatments, considering the latter, cutting dates, (biomass-degree day) which were varying in periods of 7, 14, 21 and 30 days during the period of harvest. The results show on one hand, that there is no difference between blocks but there are differences between cutting dates (treatments), ( $F_{gl.5,17} = 48.03$  ( $p < 0.0001$ ,  $CV = 12.73\%$ )). Considering the above, it was decided to take as universe the 120 plants, for modeling biomass production vs. degrees day.



Donde: PF= peso fresco; PS= peso seco; GD= grados días.

**Figura 2. Modelado la relación de biomasa de nopal verdura y los grados-día a los 7, 14, 21 y 30 días acumulados, en un sistema hidropónico cerrado. Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la UANL.**

**Figure 2. Modeling the relationship of cactus pear biomass and degree days at 7, 14, 21 and 30 cumulative days, in a closed hydroponic system; in Marín Campus of the Faculty of Agronomy from UANL.**

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Canfalone *et al.* (2002), quienes presentan polinomios de segundo grado y exponenciales como los que mejor ajustaron la relación de la producción de materia seca y el índice de área foliar de soja (*Glycine max*) con los GD para representar los procesos biológicos del crecimiento utilizando técnicas de regresión conocidas. Por otra parte, Orona-Castillo *et al.* (2004), reportan que la producción mensual de nopal verdura y la temperatura media mensual presentaron una correlación lineal de  $r=0.64$  ( $p=0.021$ ) para la región de Gómez Palacio Durango, México, donde se empleó la “variedad” 69 de *Opuntia ficus-indica*.

### Tasa de crecimiento

Al derivar la ecuación, para PF y PS acumulado cada 21 días (Figuras 2c y g), la tasa de incremento de producción fue variable durante el ciclo productivo del nopal y correspondió a valores máximos de  $0.096 \text{ kg m}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  acumulado para PF y de  $0.006 \text{ kg m}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  acumulado para PS, después de presentar incrementos, hasta llegar a un punto máximo y posteriormente comienza a decrecer hasta alcanzar su punto de inflexión a los 340 GD aproximadamente. Tanto en el modelo para PF como para PS, se aprecia que son muy similares, la primera muestra una producción estimada igual a cero a los 191.65 y 486.2 GD para PF, alcanzando un máximo a los 339.08 GD, en el punto de inflexión de la curva, cuando su primera derivada fue cero (Figura 3) y la segunda de 185.3 y 491.2 GD para PS, alcanzando un máximo a los 338.25 GD, en el punto de inflexión de la curva, cuando su primera derivada fue cero (Figura 3). Los resultados son congruentes con lo consignado por otros autores (Villalpando y Ruiz 1993; Orona-Castillo *et al.*, 2004; Hassan *et al.*, 2007), quienes señalan que a mayor diferencia entre temperaturas máxima y mínima corresponde una mayor cantidad de GD. Por lo tanto, se espera una mayor actividad biótica, traducida en producción de biomasa, sobre todo si se considera el ciclo total del cultivo, puesto que a mayores temperaturas máxima y mínima corresponde una mayor cantidad de GD.

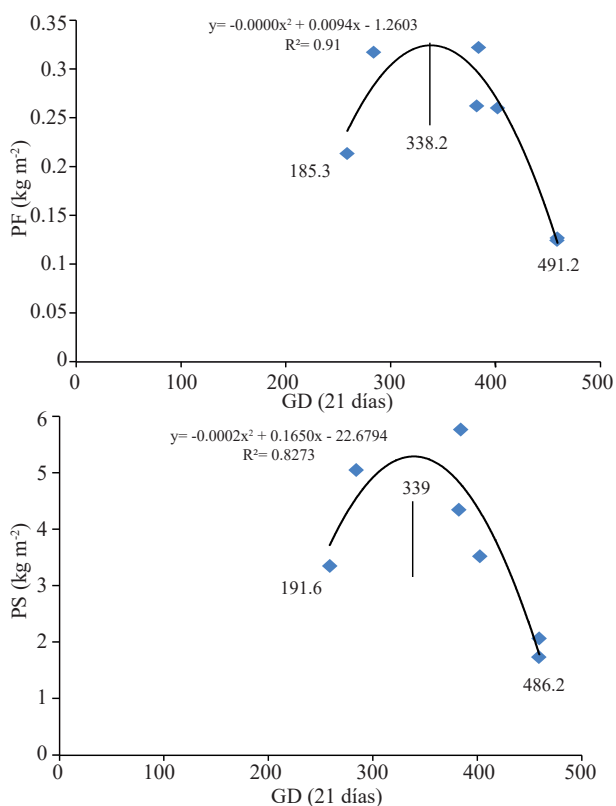
### Producción de biomasa

El periodo de máxima producción (primavera-verano) concuerda con lo reportado para el norte de México (Orona-Castillo *et al.*, 2004). La producción promedio mensual correspondió a  $4.36 \text{ kg m}^{-2}$  para PF y  $0.27 \text{ kg m}^{-2}$  para PS (Cuadro 2). Reportes recientes mencionan producciones de 2.1, 2.55, 4.2 y  $1.4 \text{ kg m}^{-2}$ , como promedios mensuales de

### Modeling the production of cactus pear

The commercial size of cactus pear is reached within two to three weeks after shoot emergence (Ruiz-Espinosa *et al.*, 2008) depending on genetic, environmental and management factors, it was sought to establish a relationship between the cumulative production of PF and PS with GD for the periods 7, 14, 21 and 30 days, respectively (Figure 2), using know techniques and regression models. It shows that the relationship between these variables becomes more evident when accumulating biomass vs degree day per periods ( $R^2$ ), when a second-degree polynomial was used. So that the best fit is provided when the variables are related in 21 day periods. For fresh weight  $R^2=0.83$  ( $p=0.001$ ). While dry weight had the best fit with  $R^2=0.91$  (Figure 3) ( $p=0.001$ ). The models that best explained biomass production (PF, PS) were:

$$PF_{\text{kg m}^{-2}} = -0.00024(GD)^2 + 0.16GD - 22.68. R^2=0.83.$$



Donde: PF= peso fresco; PS= peso seco; GD= grados días.

**Figura 3. Modelado de la relación de biomasa de nopal verdura y los grados-día (GD), a los 21 días en un sistema Hidropónico cerrado. Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la UANL.**

**Figure 3. Modeling the relationship of cactus pear biomass and degree days (GD), at 21 days in a closed hydroponic system, in Marin Campus of the Faculty of Agronomy from UANL.**



nopal verdura en PF, obtenidas bajo diferentes sistemas de manejo, densidades y variedades de nopal verdura cultivados en suelo para las regiones de "La Laguna" en el Estado de Coahuila, el Centro de Zacatecas, Baja California Sur y Marín, Nuevo León respectivamente (Flores-Hernández *et al.*, 2004; Blanco-Macías *et al.*, 2007; Ruíz-Espinoza, *et al.*, 2008; Vázquez-Alvarado *et al.*, 2009). Las diferencias observadas en los resultados, se deben básicamente a los sistemas de manejo, al diferencial del potencial genético de la variedad y la cantidad y calidad de la oferta climática de las diferentes regiones como, señalan Flores-Hernández *et al.* (2005).

These results agree with those reported by Canfalone *et al.* (2002), who presented quadratic polynomials and exponential as best fitting the ratio of dry matter production and leaf area index of soybean (*Glycine max*) with GD to represent the biological processes of growth using known regression techniques. Moreover, Orona-Castillo *et al.* (2004) report that the monthly production of cactus pear and the average monthly temperature showed a linear correlation of  $r=0.64$  ( $p=0.021$ ) for the region of Gomez Palacio Durango, Mexico, where "variety" 69 was used *Opuntia ficus-indica*.

**Cuadro 2. Producción de nopal verdura (peso fresco y seco) datos correspondientes al 2009. Marín, NL México.**  
**Table 2. Cactus pear production (fresh and dry weight) data corresponding to 2009, in Marín, NL Mexico.**

| Meses  | PF (kg m <sup>-2</sup> ) | PS (kg m <sup>-2</sup> ) | GD (en el mes) |
|--------|--------------------------|--------------------------|----------------|
| Abril  | 6.496 a                  | 0.409 a                  | 461.55         |
| Mayo   | 6.392 a                  | 0.392 a                  | 564.75         |
| Junio  | 5.764 a                  | 0.359 a                  | 609.35         |
| Marzo  | 3.342 b                  | 0.213 b                  | 377.95         |
| Julio  | 2.886 bc                 | 0.187 bc                 | 675.85         |
| Agosto | 1.278 c                  | 0.063 c                  | 659.75         |
| Total  | 26.161                   | 1.623                    | 3349.2         |
| Media  | 4.360                    | 0.271                    | 558.2          |
| CV     | 12.73%                   |                          |                |

Medias con misma literal en la columna no difieren estadísticamente (Tukey  $p \leq 0.01$ ).

## Conclusiones

Los grados-día y la producción de biomasa acumulada de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*), se ajustó significativamente a un modelo polinomial de segundo orden, a los 21 días. Lo cual indica que es posible su uso para conocer la tendencia de producción de nopal verdura en regiones con características térmicas similares a Marín, Nuevo León.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Tamaulipas y al Centro de Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

## Growth rate

Deriving the equation for accumulated PF and PS every 21 days (Figures 2c and g), the rate of increase in production was variable during the production cycle of the cactus pear and corresponded to maximum values of 0.096 kg m<sup>-2</sup> GD<sup>-1</sup> accumulated for PF and 0.006 kg m<sup>-2</sup> GD<sup>-1</sup> accumulated for PS, after showing increases, reaching a peak and then begins to decrease until it reaches its inflection point at about 340 GD. Both the PF and PS model, show that are very similar, the first shown an estimated production of zero at 191.65 and 486.2 GD for PF, reaching a maximum at 339.08 GD, at the point of inflection of the curve, when its first derivative was zero (Figure 3) and the second of 185.3 and 491.2 GD for PS, reaching a maximum at 338.25 GD, at the inflection point of the curve, when its first derivative was zero (Figure 3). The results are consistent with that recorded by other authors (Villalpando and Ruiz 1993; Orona-Castillo *et al.*, 2004; Hassan *et al.*, 2007), who point out that the greater difference between maximum and minimum temperatures correspond

## Literatura citada

- Ayala, E. J. A. 1988. Estudio fenológico de tres variedades de chile (*Capsicum annum* L.) en la zona de Chapingo. Tesis de Ingeniería. Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Texcoco, Estado México. 129 p.
- Almaguer-Sierra, P.; Fuentes, R. R. D.; Valdez, C. J. A.; Vidales, C. L.; Barrientos-Lozano, J.; Aranda, R. J. y Nava G. 2008. Producción intensiva de nopal verdura en un sistema hidropónico cerrado. *TecnoINTELECTO* 5(2):9-14.
- Almaguer-Sierra, P.; Fuentes, R. H.; Vidales, C. J. A.; Valdez, C. R. D.; Rodríguez, A. J.; López, J. M.; Rodríguez, J. C. O. 2009. Biomass accumulation in *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. plants grown in a closed hydroponic system. *In: (Eds.). Rodríguez-Delfin, A. y Martínez, P. F. Proceedings of the International Symposium Soilless Culture and Hydroponics. Lima, Perú. (ISHS). Acta Horticulturae. 843:35-41.*
- Baker, J. T. and Reddy, V. R. 2001. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. *Ann. Bot.* 87:605-613.
- Berger, H.; Rodríguez, A. y Galletti, L. 2006. Operaciones de campo para la utilización agroindustrial de los nopales. *In: utilización agroindustrial del nopal. Rosell, C. (Ed.). Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO Núm. 162. Roma, Italia. 23 p.*
- Blanco-Macías, F.; Valdez, C. R. D.; Ruiz, G. R. R.; Márquez, M. M.; Vázquez, A. R. E. y Magallanes, Q. R. 2007. Nopalitos intensive production in single and double dug raised beds. *In: VI International Congress on cactus pear and cochineal. VI General Meeting of Cactusnet. João Pessao, Paraíba, Brazil.*
- Bourque, C. P. A.; Meng, F. R.; Gullison, J. J. and Bridgland, J. 2000. Biophysical and potential vegetation growth surfaces for a small water shed in northern Cape Breton Island, Nova Scotia, Canada. *Can. J. Forest. Res.* 30:1179-1195.
- Canfalone, A.; Villacampa, Y.; Cortés, M. y Navarro, M. 2002. Crecimiento de soja en función de la temperatura del aire y de la radiación fotosintéticamente activa. *Rev. Bras. Agric.* 8(3):185-189.
- De Cortazar, V. G.; Varnero, M. T. and Espinosa, M. 2001. Effect of biofertilizer over photosynthetically active area, cladode production, and nitrogen recovery efficiency in a cactus pear crop (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) on the year after plantation. *J. Professional Assoc. or Cactus Dev.* 4:93-104.
- Flores-Hernández, A.; Orona, C. I.; Murillo, B. B.; Valdez, C. R. D. y García, H. J. L. 2004. Producción y calidad de nopalito en la región de la Comarca Lagunera de México y su relación con el precio en el mercado nacional. *J. Professional Assoc. or Cactus Dev.* 4:23-34.
- Flores-Hernández, A.; Trejo, C. R.; Arreola, A. J. G.; Orona, C. I.; Murillo, A. B.; Rivera, G. M.; Martínez, R. J. G. y García, G. E. A. 2005. Producción estacional de nopal verdura (*Opuntia* spp.) bajo riego por goteo en una región agrícola de México. *J. Professional Assoc. or Cactus Dev.* 5:84-96.
- Hassan, Q. K.; Charles, P. A.; Bourque, F. R. M. and William, R. 2007. Spatial mapping of growing degree days: an application of MODIS-based surface temperatures and enhanced vegetation index. *J. Appl. Rem. Sensing.*
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2009. Red estatal de estaciones meteorológicas <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/clima/>.

to a greater amount of GD. Therefore, it is expected a higher biotic activity, reflected in biomass production, especially if considered the total crop cycle, since higher maximum and minimum temperatures correspond to a greater amount of GD.

## Biomass production

The maximum production period (spring-summer) is consistent with that reported for northern Mexico (Orona-Castillo *et al.*, 2004). The monthly average yield corresponded to 4.36 kg m<sup>-2</sup> for PF and 0.27 kg m<sup>-2</sup> for PS (Table 2). Recent reports mention productions of 2.1, 2.55, 4.2 and 1.4 kg m<sup>-2</sup> as monthly averages of cactus pear in PF, obtained under different management systems, densities and varieties of cactus pear cultivated in soil for regions of "La Laguna" in the State of Coahuila, central Zacatecas, Baja California Sur and Marín, Nuevo León respectively (Flores-Hernández *et al.*, 2004; Blanco-Macías *et al.*, 2007; Ruiz-Espinoza *et al.*, 2008; Vázquez -Alvarado *et al.*, 2009). The observed differences in the results are basically due to management systems, the differential of the genetic potential of the variety and the quantity and quality of the different climatic regions as, mentioned by Flores-Hernández *et al.* (2005).

## Conclusions

Degree days and cumulative biomass production of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*), were significantly fitted to a second-order polynomial model, at 21 days. This indicates that it is possible its use to know the trend of cactus pear production in regions with similar thermal characteristics to Marín, Nuevo León.

*End of the English version*



- Klock, M. K. A. and Broschat, T. K. 2001. Irrigation systems and fertilizer affect petunia growth. *Hort Technol.* 11(3):416-418.
- Kramer, K. 1994. Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. *J. Appl. Ecol.* 31:172-181.
- Lopes, S. J.; Durval, D. N.; Paulo, A. M. and Luis, R. J. 2004. Models to estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. *Sci. Agric. Piracicaba, Braz.* 61(4):392-400.
- Mondragón-Jacobo, C. y Pérez-González, A. 2003. El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Ed. FAO. Roma, Italia.
- Olivares-Saénz, E. 1995. Paquete estadístico de diseños experimentales. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N. L. México.

- Orona-Castillo, I.; Flores-Hernández, A.; Rivera, G. M. y Martínez, R. J. G. 2001. Producción de nopal hortícola bajo riego por goteo en la comarca lagunera. *In: Memoria de la 4ª. Reunión de Investigación de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango. COCyTED-Durango, México*
- Orona-Castillo, I.; Rivera, G. M.; Troyo, D. E.; Espinoza, A. J. J. y Flores, H. A. 2002. Productividad del agua en nopal (*Opuntia* spp.) bajo riego por goteo. INIFAP CIBNOR-SIMAC. Gómez Palacio, Durango, México. Folleto científico Núm. 12.
- Orona-Castillo, I.; Cueto, W. J. A.; Murillo, A. B.; Santamaría, C. J.; Flores, H. A.; Valdez, C. R. D.; García, H. J. L. y Toyo, D. E. 2004. Extracción nutrimental de nopal verdura bajo condiciones de riego por goteo. *J. Professional Assoc. or Cactus Dev* 6:90-101.
- Ortiz-Solorio, C. A. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa, con aplicación para la República Mexicana. 3ª. Edición. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Texcoco, Estado de México. 180 p.
- Perry, K. B.; Sanders, D. C.; Granberry, D. M.; Garret, D. R.; Decoeau, J. T.; Nagata, R. T.; Dufault, R. J.; Batal, D. K. and McLaurin, W. J. 1993. Heat units, solar radiation and day length as pepper harvest.
- Prela, A. e Ribeiro, de A. A. M. 2002. Determinação de graus-dia acumulados e su aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vegem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. *Rev. Brasileira de Agrometeorología, Santa María*. 10:83-86.
- Rodríguez-Fuentes, H.; Muñoz, L. S. y Alcorta, G. E. 2006. Tomates rojos. Sistema hidropónico. Editorial Trillas, S. A. de C. V. México, D. F. 86 p.
- Rodríguez-Fuentes, H.; López Jiménez, M. A.; Rodríguez, A. J. y Jiménez, G. G. 2009. Cultivo orgánico del nopal. Editorial Trillas S.A. de C. V. México. 76 p.
- Rodríguez-Fuentes, P.; Almaguer-Sierra, J.; Rodríguez-Absi, J. y Rodríguez-Ortiz, C. 2011. Cultivo hidropónico del nopal. Editorial Trillas S. A. de C. V. México. 62 p.
- Rodríguez-Absi J.; Ornelas-Gutiérrez, E.; Rodríguez-Fuentes, H. 2010. Dinámica de sistemas de pastoreo. Editorial Trillas S. A. de C. V. México. 272 p.
- Ruiz-Espinoza, F. H.; Alvarado, J. F.; Murillo, M. B. A.; García, H. J. L.; Pargas, L. R.; Duarte, O. O.; Beltrán, M. F. A. y Fenech, L. L. 2008. Rendimiento y crecimiento de nopalitos de cultivares de nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo diferentes densidades de plantación. *J. Professional Assoc. or Cactus Dev*. 10:22-35.
- Russell, C. and Felker, P. 1987. Comparative freeze hardiness of fruit vegetable and fodder *Opuntia* accessions. *J. Horti. Sci.* 62:545-550.
- Sáenz, C. 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. *In: el nopal, tópicos de actualidad*. (Ed.) Esparza, G.; Valdez, R. y Méndez, S. Editorial Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Texcoco, Estado de México. 211-222 pp. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Anuario estadístico de la producción agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes 2010. Modalidad riego y temporal. México. <http://www.siap.gob.mx/>.
- Schöffel, E. R. e Volpo, C. A. 2002. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento de soja. *Rev. Brasileira de Agrometeorología, Santa María*. 10:89-96.
- Stintzing, F. C. and Carle, R. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): a review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nut. Food Res.* 49(2):175-194.
- Valdez-Cepeda, R. D.; Blanco M. F.; Gallegos, V. C.; Salinas, G. G. E. and Vázquez, A. R. E. 2001. Freezing tolerance of *Opuntia* spp. *J. Professional Assoc. or Cactus Dev*. 4:105-116.
- Valdez-Cepeda, R. D.; Blanco, M. F.; Gallegos, V. C.; Salinas, G. G. E. and Vázquez, A. R. E. 2001. Freezing tolerance of *Opuntia* spp. *J. Prof. Ass. Cactus Develop*. 4:105-116.
- Valentini, N. G.; Me, F. R. y Spanna, F. 2001. Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phases of apple varieties in northern Italy. *Int. J. Biom.* 45:191-195.
- Van Dobben, W. H. 1962. Influence of temperature and light conditions on dry-matter distribution, development rate and yield in arable crops. *J. Agric. Sci.* 10:377-389.
- Villa, C. M. y Catalán, V. E. A. 1992. Requerimientos agroclimáticos de la variedad decártamo Gila (*Carthamus tinctorius* L.). *Terra* 10:37-42.
- Villalpando, J. y Ruiz, A. C. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Limusa, México. 133 p.
- Vázquez-Alvarado, R. E.; Salazar, S. E.; García, H. J. L.; Olivares, S. E.; Vázquez, V. C.; López, M. J. D. y Orona, C. I. 2009. Producción de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en hidroponía empleando agua con alto contenido de sales. *J. Professional Assoc. or Cactus Dev*. 11:13-17.
- Zúñiga, E. L.; de Martínez, H. J.; Baca, C. G. A.; Martínez, G. A.; Tirado, T. J. L. y Kohashi, S. J. 2004. Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *Agrociencia* 38: 207-218.