

Irrigation methods affect critical period of weed competition in potato production

Los métodos de riego afectan el período crítico de competencia de malezas en la producción de papa

Métodos de irrigação afetam período crítico de competição de plantas daninhas na produção de batata

Abbas Ghafari¹, Ashkan Asgari^{2*}, Morteza Zahedi¹, Hassan Karimmojeni¹ And Ahmad Ghasemi Pirbaloti¹

¹Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. ²Minab Higher Education Complex, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Abstract

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a relatively sensitive crop to water deficit in comparison to other cultivated, it is important employing modern irrigation methods in order to meet its sufficient water requirement. The field experiment was conducted as split plots in completely random block designs in three replications by two tape and furrow irrigation methods in central of Iran. Experimental treatments included two series of weed-crop competition different temporal treatments in which the first series involved elimination of weed since emergence time to 20, 30, 40, 50 and 60 days after emergence and then weed presence and their competition to potato (Marphona cultivar) until season late. The second ones involved weed-crop competition since emergence to 20, 30, 40, 50 and 60 days after emergence and then weed elimination until end of season. Additionally, two control treatments involved weed-less and weed presence control during growing season were considered. Results indicated that in both irrigation methods, as interference duration increased, weed dry weight increased. Tuber yield and size reduced as weed interference period was increased. While losses in weed control interference in whole season in tape method was 90 to 95%, although in furrow method it was about 40 to 45%. Beginning of weed control critical period based on 10% acceptable yield losses as a results of weeds damage in furrow and tape irrigation methods was occurred equal to 32 days (590GDD) and 25 days

Recibido el 04-0-2018 • Aceptado el 05-02-2019.

*Corresponding author: asgariashkan@stu.um.ac.ir

(480GDD) after potato emergence respectively. End of this period in furrow and tape irrigation methods was occurred at 1190 growing day degree (GDD) equals to 59 days and 980 growing day degree (GDD) equals to 50 days after potato emergence respectively.

Key words: drip and furrow irrigation, tuber yield.

Resumen

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo relativamente sensible al déficit de agua en comparación con otros cultivos, por lo que es importante emplear métodos modernos de irrigación para cumplir con el requisito de agua suficiente. El experimento de campo se realizó con el cultivar de papa Marphona, en el centro de Irán, utilizando un diseño experimental en bloques completamente al azar con tres repeticiones y arreglo de tratamientos en parcelas divididas, para evaluar el efecto de los métodos de riego con cinta y surcos. Los tratamientos experimentales consistieron en evaluar la competencia maleza-cultivo en dos series de tiempo: La primera serie incluía la eliminación de las malezas desde el momento de la emergencia sólo hasta los 20, 30, 40, 50 y 60 días, dejando luego la presencia de malezas hasta la fase tardía del ciclo. La segunda serie consistió en mantener las malezas desde la emergencia del cultivo y sólo eliminarlas a partir de los 20, 30, 40, 50 y 60 días hasta el final del ciclo. Además, se consideraron dos tratamientos de control que incluía la presencia de malezas y la eliminación de las malezas, respectivamente, durante el ciclo del cultivo. Los resultados indicaron que en ambos métodos de riego, a medida que aumentaba la interferencia de las malezas, aumentaba el peso seco de las mismas. El rendimiento y el tamaño del tubérculo se redujeron a medida que se incrementó el período de interferencia de malezas. Entre tanto, las pérdidas por la interferencia de malezas durante todo el ciclo del cultivo en el tratamiento de control fueron de 90 a 95% en el método de cinta, mientras que en el método de surco fueron de alrededor 40 a 45%. El inicio del período crítico para el control de las malezas, basado en una pérdida aceptable de 10% del rendimiento, fue a los 32 días (590 GDD) y 25 días (480 GDD) después de la emergencia de papa, para los métodos de riego por surco y con cinta, respectivamente. El final del período crítico para el control de las malezas, se observó a los 1190 y 980 grados de día de crecimiento (GDD), equivalentes a 59 y 50 días después de la emergencia de la papa para el riego por surco y con cintas, respectivamente.

Palabras clave: irrigación por goteo y surco, peso seco y densidad de la papa y de la maleza.

Resumo

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma cultura que é relativamente sensível ao déficit de água em comparação com outras culturas, é importante usar métodos modernos de irrigação para satisfazer sua demanda por água suficiente. O experimento foi realizado em parcelas subdivididas em delineamento de blocos de forma completamente aleatória, em três repetições, por dois métodos de irrigação com fita e sulco. Os tratamentos experimentais incluíram duas séries de diferentes tratamentos de plantas daninhas, tratamentos temporários nos quais a primeira série incluiu a eliminação de ervas daninhas do momento de emergência até 20, 30, 40, 50 e 60 dias após a emergência e depois a presença de plantas daninhas e sua competição até a temporada. Os segundos envolveram a competição de cultivo de plantas daninhas da emergência até 20, 30, 40, 50 e 60 dias após a emergência e, em seguida, a eliminação de ervas daninhas até o final da temporada. Além dos tratamentos mencionados acima, foram considerados dois tratamentos de controle que envolveram o controle da presença de ervas daninhas durante a estação de crescimento. Em ambos os métodos de irrigação, à medida que a duração da interferência aumentou, o peso seco da planta daninha também aumentou e o peso seco de batata diminuiu. O rendimento e o tamanho do conductor da água foram reduzidos à medida que o período de interferência de plantas daninhas aumentou. Enquanto as perdas na interferência do controle de plantas daninhas ao longo da estação no método da fita foram de 90 a 95%, embora no método do sulco tenha sido de 40 a 45. Início do período crítico de controle de plantas daninhas baseado em 10 % de perdas de rendimento aceitáveis como resultado do dano de ervas daninhas em linha e métodos de irrigação em fita iguais a 32 (59 graus-dia cumulativos) e 25 dias (48 graus-dia cumulativos) após o surgimento da batata, respectivamente. O final deste período nos métodos de irrigação por sulcos e fita ocorreu a 1190 dias acumulados, o grau é igual a 59 dias e acumula 98 dias é igual a 50 dias após o surgimento da batata, respectivamente. **Palavras-chave:** irrigação por gotejamento e sulco, peso seco e densidade de batatas e ervas daninhas.

Introduction

Potato (*Solanum tuberosum* L.) serves as one of the economically important crop in Iran and worldwide (Berti *et al.*, 1996; Halterman *et al.*, 2016). To supply potato water requirement using pressure irrigation modern methods and management of soil moisture is a vital issue mostly due to its water stress susceptibility

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos económicamente importantes en Irán y en todo el mundo (Berti *et al.*, 1996; Halterman *et al.*, 2016). Para satisfacer el requerimiento de agua del cultivo de la papa, se han utilizado métodos modernos de irrigación a presión y el

(Wilson *et al.*, 2001; Tian *et al.*, 2003; Pehrson *et al.*, 2010). Given to water scarcity in recent years, there has been less possibility to increase crops cultivation area to large extent. Hence it should be take efficient and viable actions to reduce yield losses and increase yield area unit. One of these methods is to use drop pressure irrigation by using tapes (Tian *et al.*, 2003; Aitbaev *et al.*, 2013).

Awari and Hiwase (1994) while studied on potato in California reported that under tape irrigation method, potato yield was higher than that of sprinkler one and consumed water in former method only accounted for 50 to 70% of required water in later one. Gupta and Singh (1983) while comparing tape and furrow irrigation for two years concluded that under tape irrigation potato yield is increased from 50 to 65% and Ghasemi-Sahebi (2013) mentioned tape irrigation caused an increase of 66% in WUE as compared to furrow irrigation. Foster and Coffelt (2005) applied furrow and tape irrigation systems to irrigate potato and their experiment results showed that the highest water use efficiency and yield is related to furrow irrigation system.

After crop appearance, machine or hand hoeing methods are commonly used for controlling the weeds by potato producers (Ahmadvand *et al.*, 2009; Felix and Boydston, 2010; Gitsopoulos *et al.*, 2014). To the best of our knowledge, damage imposed by weeds on crops in developed countries in case of application of different treatments is about 10 to 100% in respect to environmental conditions,

manejo de la humedad del suelo, el cual es un problema vital debido a su susceptibilidad al estrés hídrico (Wilson *et al.*, 2001; Tian *et al.*, 2003; Pehrson *et al.*, 2010). Debido a la escasez de agua en los últimos años, ha habido menos posibilidades de aumentar el área cultivada en gran medida. Por lo tanto, se deben tomar acciones eficientes y viables para incrementar el rendimiento y reducir las pérdidas por unidad de superficie. Uno de estos métodos es utilizar el riego presurizado por goteo con el uso de cintas (Tian *et al.*, 2003; Aitbaev *et al.*, 2013). Awari y Hiwase (1994), en sus estudios sobre el cultivo de la papa en California, informaron que el rendimiento del cultivo era mayor utilizando riego por cinta que el riego por aspersión, indicando que el agua consumida por este método solo representaba el 50 a 70% del agua requerida por el segundo. Gupta y Singh (1983), al comparar la irrigación con cinta y el surco durante dos años, concluyeron que el rendimiento de la papa regada con cinta se incrementó de 50 a 65%; así mismo, Ghasemi-Sahebi (2013) mencionó que el riego con cinta causó un aumento del 66% en WUE en comparación con el riego por surcos. Foster y Coffelt (2005) aplicaron sistemas de riego con surcos y cinta en el cultivo de la papa y sus resultados experimentales mostraron que el mayor rendimiento y la mayor eficiencia en el uso del agua están relacionados con el sistema de riego con surcos.

Después de la emergencia del cultivo, los productores de papa suelen utilizar métodos mecanizados o azadón

crop species type and weed flora (Gibson and Liebman, 2003). During Wilson and Westra (1991) study weeds competition to potato within whole season reduced its yield up to 54% but after weed emergence three weeks following potato just a 16% yield loss was observed. As weeds emerges and grows, row within space is occupied rapidly and crop normal growth trend is interrupted and if be not controlled, considerably and negatively affect crop yield (Evans *et al.*, 2003). Wang *et al.* (2007) pointed out that if potato growth and development be synchronized to weed, it shows much more yield losses because of having shallow root system.

Water management can affect weed population in potato farm and also rate of weed competition to crop. Foster and Coffelt (2005) suggested that to use furrow irrigation method, leads to much weed's density as well as soil erosion than tape one and in another report, it was stated that irrigation method could influence weed population in corn field so that application of sprinkler and furrow methods led to high weed density than that of tape one (Gupta and Singh, 1983). Also, Bao *et al.* (2003) pointed out that furrow irrigation method increased annual weed species density in soybean and it had significant effect on annual weed seed germination.

Unwise application of chemical herbicides to control weeds causes drastic problems for human and environment (Hong *et al.*, 2004). Extension of sustainable agriculture attitudes has encouraged experts forward to optimized inputs

manual para controlar las malezas (Ahmadvand *et al.*, 2009; Felix y Boydston, 2010; Gitsopoulos *et al.*, 2014). Según nuestro conocimiento, aún con la aplicación de diferentes tratamientos de control de malezas en los países desarrollados, el daño en los cultivos por las malas hierbas es de aproximadamente 10 a 100%, de acuerdo a las condiciones ambientales, la especie de cultivo y el tipo de malezas (Gibson y Liebman, 2003). Durante el estudio de Wilson y Westra (1991), la competencia de las malezas con la papa durante toda la temporada redujo su rendimiento hasta un 54%, pero con la emergencia de las malezas tres semanas después del cultivo de la papa sólo se observó una pérdida de rendimiento del 16%. A medida que las malezas emergen y crecen, el espacio entre las hileras del cultivo es ocupado rápidamente y la tendencia de crecimiento normal del cultivo se interrumpe, y si no se controla, afecta de manera considerable y negativa el rendimiento del cultivo (Evans *et al.*, 2003). Wang *et al.* (2007) señalaron que si el crecimiento y el desarrollo de la papa se sincronizan con la maleza, muestra mucho más pérdidas del rendimiento debido a que tiene un sistema de raíces poco profundas.

El manejo del agua puede afectar la población de malezas en la producción de papas, y por ende, en la tasa de competencia de malezas para el cultivo. Foster y Coffelt (2005) sugirieron que el uso del método de riego por surcos conduce a una mayor densidad de malezas y también a la erosión del suelo que en el riego con cinta; en otro informe se afirmó que

application including herbicides and also to use cost effective methods (Berti *et al.*, 1996). To use weed integrated management is effective to diminish damages imposed by weeds to under economic losses threshold (Hamill and Zhang, 1997; Zimdahl, 2010). The timing of weed removal after determining the critical weed control period is an important component of integrated weed management in crop production systems (Portugal and Vidal, 2009). Nowadays, weed critical control period is one of the most primary stages to design weeds integrated management systems among others (Evans *et al.*, 2003). Based on Olwe's theory, weed critical control period is an episode of growing season when weed interference can affect or reduce crop yield. Weed control critical period is a biological essentiality not only related to crop species and different cultivars but also to weeds and their density, type of agronomical operation and manipulations and also environmental conditions (Gibson and Liebman, 2003). Based on previous researches, environmental factors like weed density, emergence time, weed species composition and irrigation method are effective on critical period beginning and interval. Baziramkenga and Leroux (1994) stated that maximum required time for weed growth following by potato planting is 15 days once the least yield losses was observed and in case crop be weed-less for 23 to 68 days the highest tuber yield will achieve. Ciuberkis *et al.* (2007) showed that weed control critical period in potato is from planting date until 25 days

el método de riego podría influir en la población de las malezas en el campo de maíz, señalando que el riego por aspersión y por surcos originan una más alta densidad de malezas que la observada en el riego con cintas (Gupta y Singh, 1983). Además, Bao *et al.* (2003) señalaron que el método de riego por surcos incrementaba la densidad anual de especies de malezas en la soya y tenía un efecto significativo en la interrupción de la germinación de las semillas de malezas.

La aplicación imprudente de herbicidas químicos para controlar las malezas causa problemas drásticos para el ser humano y el medio ambiente (Hong *et al.*, 2004). La extensión de las actitudes hacia la agricultura sostenible ha animado a los expertos a que utilicen la óptima aplicación de insumos, incluidos los herbicidas, y también a utilizar métodos de aplicación más efectivos (Berti *et al.*, 1996). La gestión integrada de malezas es eficaz para disminuir los daños ocasionados por éstas por debajo del umbral de pérdidas económicas de un cultivo (Hamill y Zhang, 1997; Zimdahl, 2010). Un aspecto importante del manejo integrado de malezas en la producción de cultivos es determinar el período crítico de control o momento para la eliminación de las mismas (Portugal y Vidal, 2009; Evans *et al.*, 2003). Basado en la teoría de Olwe's, el período crítico de control de malezas se corresponde con el momento cuando su interferencia puede afectar o reducir el rendimiento del cultivo. El período crítico de control de malezas no solo está relacionado con la especie

after flowering. The objective of the present research was to determine the critical period for weed control in potatoes under two irrigation methods of furrow and tape.

Materials and methods

The experiment was conducted during the seasonal growing periods of potato in 2011 at research field of faculty of agriculture, Isfahan University of technology, Iran. The research field is located on 32° 32' N and longitude 51° 23' E. The altitude of the farm is 1630 m and characterized with cool semi-arid climate with dry summers. Annual mean precipitation and temperature are 140 mm and 14.5 °C respectively. Soil texture is clay loam with bulk density of 1.3 g·cm⁻³ and its pH is 7.5 (lightly alkaline). The field experiment was conducted as split plots in completely random block designs in three replicates by two tape and furrow irrigation methods.

Experimental treatments included two series of weed-crop competition different temporal treatments in which the first series involved elimination of weed since emergence time to 20, 30, 40, 50 and 60 days after emergence and then weed presence and their competition to potato until season late. The second ones involved weed-crop competition since emergence to 20, 30, 40, 50 and 60 days after emergence and then weed elimination until end of season. In addition to abovementioned treatments, two control treatments involved weed-less and weed presence control during growing season were considered.

del cultivo y los diferentes cultivares, sino también con el tipo de malezas y su densidad, el manejo agronómico y las condiciones ambientales (Gibson y Liebman, 2003). De acuerdo a investigaciones anteriores, los factores ambientales, la densidad de las malezas, el tiempo de emergencia, la especie de malezas y el método de riego afectan el inicio y duración del período crítico de control de malezas. Baziramkenga y Leroux (1994) manifestaron que el tiempo máximo para el control de malezas después de la siembra del cultivo de papa es de 15 días, obteniendo las menores pérdidas de rendimiento; del mismo modo, los mayores rendimientos se obtuvieron cuando el cultivo permaneció libre de malezas desde el día 23 al 68 de su ciclo. Ciuberkis *et al.* (2007) mostraron que el período crítico de control de malezas en la papa es desde la fecha de siembra hasta 25 días después de la floración. El objetivo de la presente investigación fue determinar el período crítico para el control de malezas en el cultivo de la papa bajo los métodos de riego por surco y riego por goteo con cinta.

Materiales y métodos

El experimento se realizó durante los períodos de crecimiento estacional de la papa en 2011 en el campo de investigación de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Tecnología de Isfahan, Irán. El campo de investigación se encuentra a 32° 32' N y longitud 51° 23' E. La altitud de la granja es de 1630 msnm y se caracteriza por un clima semiárido fresco con veranos secos. La precipitación media

Land preparation an operation was began in 3th of March 2011 by plowing, leveling and furrower. Before soil manipulations, 15 t manure was spread in 2000 m² in order to improve soil structure. Before cultivation, 70 kg·ha⁻¹ phosphor fertilizer as super phosphate triple, 120 kg·ha⁻¹ as urea in two turns (60% applied during tuber planting and rest as spreading in vegetative potato period) and 50 kg·ha⁻¹ potassium as potassium sulfate were applied. The potato cultivar used in present study was Marphona. Before planting, tubers were sterilized by Benomyl fungicide to prevent fungi diseases outbreaks. Maintaining operations included pest and disease combating and microelement solution spread according to traditional customary. Potato's plants were planted by 5.3 plant·m⁻² density and row spacing 75 cm by two plant space about 25 cm on planting line in 10th of March 2011. Each experimental plot length was 6 m and had 4 ridges. Plots and blocks between distances were considered 1.5 and 3 m respectively.

For both of irrigation methods, in each irrigation turn, 100% of plant required water was supplied based on soil moisture measurements. For this, after each irrigation soil samples were taken daily randomly from different points of weed-less control furrow from root extension depth (which was considered 30 cm). Samples then were dried and transported to laboratory and kept at 105 °C for 48 h in oven and weighted. Eventually soil mass moisture was determined by subtracting samples wet and dry soils. Irrigations began when soil volume

anual es de 140 mm y la temperatura media es de 14,5 °C. La textura del suelo es franco arcilloso con una densidad aparente de 1,3 g·cm⁻³ y su pH es de 7,5 (ligeramente alcalino). El experimento de campo se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorios con tres repeticiones y un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, para evaluar dos métodos de riego: surcos y goteo con cintas.

Los tratamientos experimentales incluyeron dos series temporales para medir la competencia maleza-cultivo: La primera serie incluyó la eliminación de malezas desde la emergencia del cultivo hasta 20, 30, 40, 50 y 60 días, dejando luego la presencia de malezas hasta el final del ciclo del cultivo. La segunda serie permitió la competencia cultivo-malezas desde la emergencia del cultivo hasta los 20, 30, 40, 50 y 60 días, después de los cuales se realizó y mantuvo la eliminación de las malezas hasta el final del ciclo del cultivo. Además de los tratamientos mencionados anteriormente, se consideraron dos tratamientos de control que incluyeron el control de la presencia de maleza y de maleza durante la temporada de crecimiento.

La preparación de la tierra se inició el 3 de marzo de 2011 utilizando arado, nivelación y surcador. Previamente se aplicaron 15 t de estiércol en 2000 m² para mejorar la estructura del suelo. Antes de la siembra se aplicaron 70 kg·ha⁻¹ de superfosfato triple, 120 kg·ha⁻¹ conúrea en dos fracciones (60% aplicado durante la siembra y 40% en el período de crecimiento vegetativo) y 50 kg·ha⁻¹de sulfato de potasio. El cultivar de papa utilizado en el

moisture achieved about 18.5%. Each experimental plot irrigation water volume was determined in respect to soil moisture deficiency during irrigation time. Hence irrigation period was varied in terms of soil moisture condition for both methods. For tape methods, volume contour was used to measure transported water into experimental plots and in furrow one it measured using entered water to experimental plots.

Sampling during plant growing period was conducted in weed control exertion and during 20, 30, 40, 50 and 60 days after emergence. Tuber yield was measured in weed interference and control from 2 m² from two middle rows of each plot by obviating marginal and edge effect. In this area bushes were harvested and then yield was computed. In order to determine weeds dry weight and density, four samples randomly in each sampling in 0.25 m² (a sampling square 0.5×0.5 m) and totally 1 m² from each plot were collected. Determination of dry weight and density in each sampling period in control and interference treatments conducted so that in interference treatments after potato ripened all weed was harvested and in controls ones in end of growing season all weeds were harvested and evaluation was continued. After identification and counting harvested (table1) stems and samples dry weight and keeping in 75 °C for 48 h was conducted.

Weed control critical period in potato was determined using Gompertz and logistic equations based on cumulative temperatures (Ahmadvand *et al.*, 2009). Since potato planting date and also temperature in

presente estudio fue Marphona. Antes de la siembra, los tubérculos fueron esterilizados con el fungicida Benomyl para prevenir brotes de enfermedades fungosas. El mantenimiento del cultivo incluyó el control de plagas y enfermedades y la aplicación de microelementos de acuerdo al manejo tradicional. La densidad de siembra fue de 5,3 planta·m⁻² con una distancia entre hileras de 75 cm por y entre plantas de 25 cm. La siembra se realizó el 10 de marzo de 2011. La longitud de cada parcela experimental fue de 6 m y tenían 4 camellones. Las distancias entre las parcelas y los bloques fueron de 1,5 y 3 m respectivamente. Para ambos métodos de riego, en cada turno de riego, el 100% del agua requerida por la planta se suministró según las mediciones de humedad del suelo. Para esto, después de cada riego, se tomaron muestras de suelo al azar de diferentes puntos del surco de control sin malezas, a la profundidad hasta donde se extendió el sistemas de raíces (se consideró 30 cm). Las muestras se transportaron al laboratorio y se secaron a 105 ° C durante 48 h en horno; luego se pesaron. Finalmente, se determinó la humedad de la masa del suelo mediante la sustracción de las muestras de suelo húmedo y seco. Los riegos comenzaron cuando la humedad del suelo alcanzó aproximadamente el 18,5%. El volumen de agua de riego de cada parcela experimental se determinó teniendo en cuenta el déficit de humedad del suelo y el tiempo de riego. Por lo tanto, el período de riego se varió en términos de la condición de humedad del suelo para ambos métodos. Para el riego con

Tabla 1. Composición de la maleza y densidad media (planta·m²) en parcelas de control en el riego con cinta y el riego por surcos.
Table 1. Weed composition and average density (plant·m²) in unweeded controls in tape and furrow irrigation.

Commonname	Scientificname	Tape irrigation	Furrowirrigation
Commonlambsquarters	<i>Chenopodiumalbum L.</i>	116	51
Redrootpegweed	<i>Amaranthusretroflexus L.</i>	115	56
Mat amaranth	<i>Amaranthusblitoides</i>	76	48
Barnyardgrass	<i>Echinochloacrus-galli L.</i>	93	142
Field bindweed	<i>Convolvulusarvensis L.</i>	16	5
Total		416	302

potato growth periods vary in different regions, application of cumulative temperature (growingdegree day) allowed comparable results from different places in order to determine critical periods. Cumulative temperatures defined as sum of daily temperatures more than plant physiologic zero from planting date to interested phonologic stage and it is calculated using following equation.

$$GDD = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b$$

Where

GDD: growing degree day

T max: maximum temperature

T min: minimum temperature

Tb: plant physiologic zero.

Although it is better to consider separate zero from plant in each physiologic stage but in order to avoid complication, basic potato temperature during whole season was considered 4°C (Haverkort *et al.*, 1990).

Weed control critical period was determined by fitting logistic and

cinta, el contorno del volumen húmedo se usó para medir el agua aplicada en las parcelas experimentales, mientras que en el riego por surcos se midió la cantidad de agua descargada.

El muestreo durante el período de crecimiento de la planta se realizó durante el control de malezas y durante 20, 30, 40, 50 y 60 días después de la emergencia del cultivo. El rendimiento del tubérculo se midió en un área de 2 m² en las dos filas centrales tanto en las parcelas con los tratamientos como en el control, evitando el efecto marginal y de borde entre tratamientos. Para determinar el peso seco y la densidad de las malezas, se recolectaron cuatro muestras al azar en un área de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) para totalizar 1 m² en cada parcela. La determinación del peso seco y la densidad de las malezas en cada período de muestreo, se realizó recolectando todas las malezas después de la maduración del cultivo; en el tratamiento control se recolectó toda la maleza al final del período de crecimiento del cultivo y se continuó la evaluación. Después de la

Gompertz equations. For this, data from weed-less and interference treatments yields in comparison to interference control treatments or weed less in whole season was converted to percent and stated as relative yield. Logistic and Gompertz curve from interference and weed-less data draw respectively. These equations are as following: logistic equation

$$Y = \left(\frac{1}{D \times \exp(K(T - X) + F)} + \frac{F - 1}{F} \right) \times 100$$

Where

Y: crop yield (based on percent out of weed-less control treatments)

T: cumulative temperature

D, K and F: model coefficients

X: equation turning point

Gompertz equation:

$$Y = A \times \exp(-B \exp(-KT))$$

Where

Y: crop yield (based on percent out of weed-less control treatments)

T: cumulative temperature

K, B: model coefficients

A: curve asymptotic

Data statistical analysis was conducted by software SAS, also EXCEL was used in order to draw graphs and to fitting logistic and Gompertz equations SIGMAPLOT 10 was applied.

Results and discussion

In both irrigation methods, as interference duration increased, weed

identificación de y el recuento de las muestras cosechadas, se secaron a 75 °C durante 48 h para determinar su peso seco (tabla 1).

El período crítico de control de malezas en la papa se determinó utilizando ecuaciones logísticas y de Gompertz basadas en las temperaturas acumuladas (Ahmadvand *et al.*, 2009). Dado que la fecha de siembra del cultivo y la temperatura en su período de crecimiento varían en diferentes regiones, el uso de la temperatura acumulada (grados de crecimiento diario) permitió resultados comparables de diferentes lugares para determinar los períodos críticos de control de malezas. Las temperaturas acumulativas se definen como la suma de las temperaturas diarias más que el cero fisiológico de la planta desde la fecha de siembra hasta la etapa fonológica interesada, y se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$GCD = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b$$

Dónde,

GCD: Grados de crecimiento diario

T máx: temperatura máxima

T min: temperatura mínima

Tb: planta fisiológica cero.

Aunque es recomendado considerar un cero separado para la planta en cada etapa fisiológica, sin embargo, para evitar complicaciones, se consideró un valor de 4 °C como temperatura básica del cultivo de la papa durante toda la temporada (Haverkort *et al.*, 1990).

dry weight increased too and dry weight weed-less decreased (figure 1, 2 and table 2). Ahmadvand *et al.* (2009) who reported that as the duration of weed infestation increased weed biomass also raised, but as the duration of weed-free period increased the biomass of the weeds reduced. Tuber yield and size reduced as weed interference period was increased (figure 3 and table 3). Tuber yield variation trend was similar in both of irrigation methods although potato yields losses in tape method than furrow as weed interference increased. While losses in weed control interference in whole season in tape method was 90 to 95%, although in furrow method it was about 40 to 45%. In Thakral *et al.* (1989)

El período crítico de control de malezas se determinó mediante el ajuste de las ecuaciones logísticas y de Gompertz. Para esto, los datos de los tratamientos con y sin interferencia de malezas se relacionaron con los respectivos tratamientos de control y se convirtieron en porcentaje, para expresarlo en rendimiento relativo respecto al tratamiento control. Se plotearon las curvas de las ecuaciones logística y de Gompertz a partir de los datos obtenidos. La ecuación logística y de Gompertz utilizadas son las siguientes:

Ecuación Logística:

$$Y = \left(\frac{1}{D \times \exp(K(T - X) + F)} + \frac{F - 1}{F} \right) \times 100$$

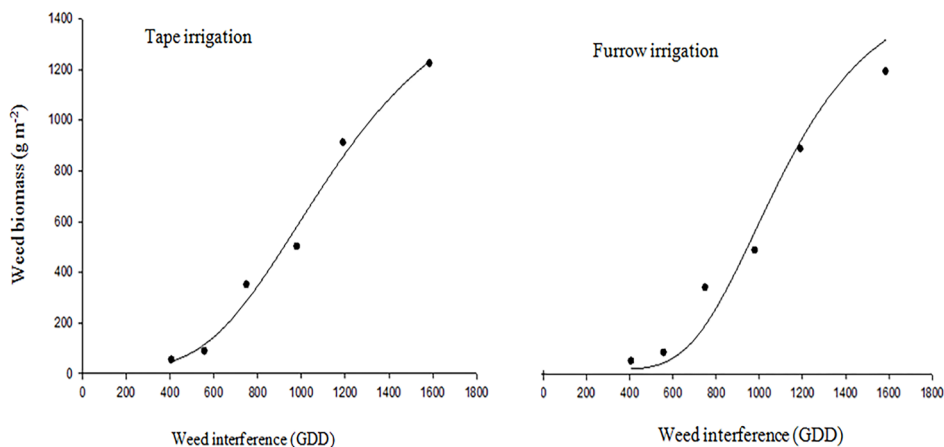


Figure 1. The effects of increasing duration of weed interference on weed dry weight accumulation in tape and furrow irrigation.

Figura 1. Efecto del aumento de la duración de la interferencia de malezas en la acumulación de biomasa seca de las malezas en riego con cinta y riego por surcos.

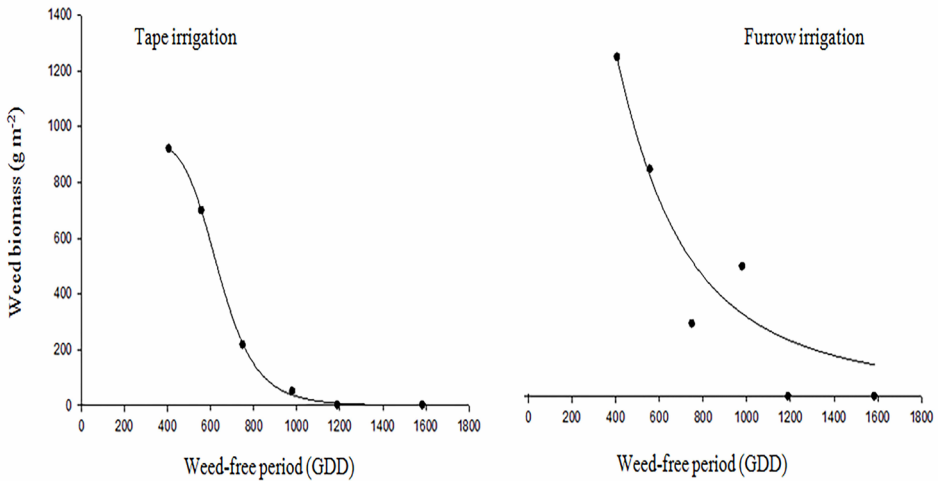


Figure 2. The effects of increasing length of weed free period on weed dry weight accumulation in tape and furrow irrigation.

Figura 2. Efecto del aumento de la duración del período libre de malezas en la acumulación de biomasa seca de las malezas en riego con cinta y riego por surcos.

Table 2. Parameters estimated (standard errors in parentheses) of the model used to calculate the effect of weed competition with potato on weed dry weight accumulation in tape and furrow irrigation.

Tabla 2. Parámetros estimados (errores estándar entre paréntesis) del modelo utilizado para calcular el efecto de la competencia de las malezas con el cultivo de papa en la acumulación de peso seco de las malezas en los sistemas de riego con cinta y surcos.

Models	Irrigation	A	B	X ₀	Y ₀
Weed interference using Gompertz model: $Y = A * \exp(-B \exp(-KT))$	Tape	953,3	7,40	638	0,04
	Furrow	277,8	2,12	365	0,00
Weed-free period using logistic model: $Y = \left(\frac{1}{D * \exp(K(T-X) + F)} + \frac{F-1}{F} \right) * 100$	Tape	610	773	1063	-494
	Furrow	153	414	980	20

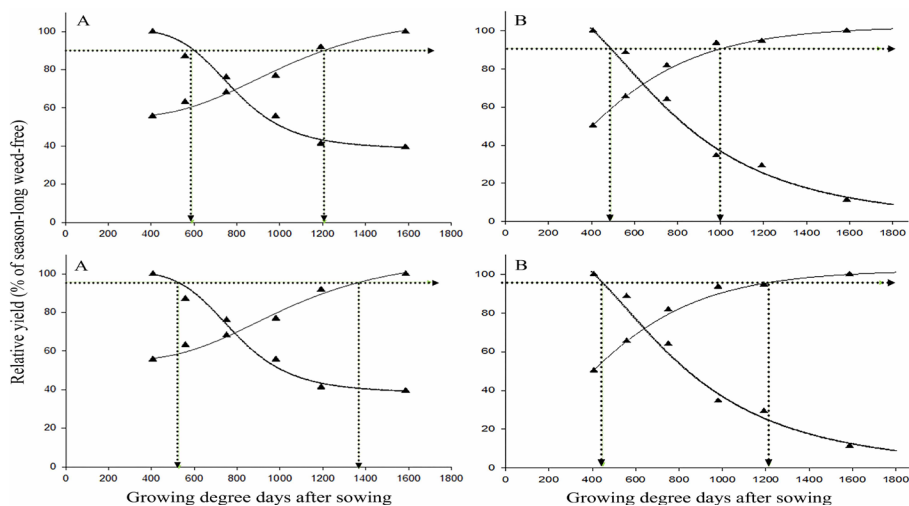


Figure 3. Effect of weed interference on relative yield of potato in (A) furrow irrigation and (B) tape irrigation. Increasing duration of weed interference and fitted curves as calculated by the logistic equation; increasing weed-free period and fitted curves as calculated by the Gompertz equation. Symbols represent observed data. Horizontal dashed lines indicate the 10% (above) and 5% (below) acceptable yield loss level.

Figura 3. Efecto de la interferencia de malezas en el rendimiento relativo del cultivo de la papa en (A) riego por surcos y (B) riego por cinta. Período de interferencia de malezas y curvas ajustadas, calculada por la ecuación logística. Período libre de malezas y curvas ajustadas según lo calculado por la ecuación de Gompertz. Los símbolos representan datos observados. Las líneas horizontales discontinuas indican el nivel de pérdida de rendimiento aceptable del 10% (arriba) y del 5% (abajo).

experiment also presence of weeds caused in 40 to 43% tuber yield losses in potato, also obtained these results for pepper (*Capsicum annuum* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) (Bukun, 2004; Mohammadi *et al.*, 2005). Isik *et al.* (2015) noticed that the relative yield of potato decreased with a longer period of weed-interference whereas

Dónde

Y: Rendimiento relativo del cultivo (porcentaje del rendimiento del cultivo, respecto al tratamiento control libre de malezas)

T: temperatura acumulada

D, K y F: coeficientes del modelo

X: punto de inflexión de la ecuación

Tabla 3. Valores de los parámetros para las curvas de respuesta del rendimiento del cultivo en función del modelo logístico y de Gompertz.

Table 3. Parameter values for tuber yield response curves based on logistic and Gompertz model.

Models	Irrigation	A	B	X ₀	Y ₀
Weed interference using Gompertz model: $Y = A * \exp(-B \exp(-KT))$	Tape	47	20,6	252	66
	Furrow	51	35	386	53
Weed-free period using logistic model: $Y = \left(\frac{1}{D * \exp(K(T-X) + F)} + \frac{F-1}{F} \right) * 100$	Tape	10,9	-100	748	67
	Furrow	20,8	-151	710	65

increased with increasing length of weed free period.

In both irrigation methods, weeding in early season in comparison to weeding in later stages had much more positive effect in increasing potato yield (figure 3). This might be due to much rapid weed growth and as a result their better establishments in comparison to crop in early of growth season. Weed growth and density in early growth season in tape irrigation methods was higher and this was caused immediately weed competition pressure on yield in this method in comparison to furrow one. Presumably in furrow irrigation, due to flood irrigation there was not possible to weed establishment in early season than tape one (figure 3). It seems that seal formed on soil surface in furrow irrigation is led to limiting light penetration for weed seeds requiring light

Ecuación de Gompertz:

$$Y = A \times \exp(-B \exp(-KT))$$

Dónde

Y: Rendimiento relativo del cultivo (porcentaje del rendimiento del cultivo, respecto al tratamiento control libre de malezas)

T: temperatura acumulada

K, B: coeficientes modelo

A: curva asintótica

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el software SAS, también se usó EXCEL para dibujar gráficos y para el ajuste de las ecuaciones logísticas se utilizó SIGMAPLOT 10.

Resultados y discusión

En ambos métodos de riego, a medida que aumentaba la duración de

to germination and also resulted in low soil aeration and weed suitable establishment. While in tape methods, weed growth and establishments have been better mostly because of better soil aeration and light penetration to subsoil's horizons. In various studies, high correlation has been reported between weed more appropriate establishment and emergence in early periods of growth season with better competition ability to crop (Karimmojeni *et al.*, 2010).

Beginning of weed control critical period based on 10% acceptable yield losses as a results of weeds damage in furrow and tape irrigation methods was occurred equal to 32 (590 growing degree day) and 25 days (480 growing day degree) after potato emergence respectively. End of this period in furrow and tape irrigation methods was occurred at 1190 growing day degree equals to 59 days and 980 growing day degree equals to 50 days after potato emergence respectively. Beginning of weed control critical period based on 5% acceptable yield losses in potato in tape and furrow irrigation methods was 453 and 511 (growing day degree) and end of period equaled to 1337 and 1349 (growing day degree) respectively (figure 3 and table 3). Isik *et al.* (2015) mentioned that crop period for weed control ranged from 112 to 1014 GDD which corresponded to 8 to 66 days after crop emergence and between 135-958 GDD (10 to 63 Days after crop emergence) in the following year based on a 5% acceptable yield loss. Weed-free conditions needed to be established as early as the first week after crop

la interferencia, también aumentaba el peso seco de las malezas, mientras que la biomasa de las malezas disminuía en las parcelas con los tratamientos libres de interferencias para el mismo período de interferencia (figura 1, 2 y tabla 2). Ahmadvand *et al.* (2009), informaron que a medida que aumentaba la infestación de malezas, también aumentaba la biomasa de las mismas, pero que a medida que aumentaba el período sin maleza se reducía su biomasa. El rendimiento y el tamaño de los tubérculos se redujeron a medida que aumentaba el período de interferencia de malezas (figura 3 y tabla 3). La tendencia de la variación en el rendimiento de los tubérculos fue similar en ambos métodos de riego, aunque a medida que la interferencia de las malezas aumentó, las pérdidas en el rendimiento del cultivo fue mayor en el sistema de riego por cinta que en el riego por surcos. Mientras que las pérdidas del rendimiento en los tratamientos con interferencia de malezas en todo el ciclo fue de 90 a 95% en el riego con cinta, mientras que en el sistema por surcos fue de alrededor del 40 a 45%. Thakral *et al.* (1989) también reportaron que la presencia de malezas causó 40 a 43% de pérdidas en el rendimiento del cultivo de la papa; resultados similares se observaron para pimienta (*Capsicum annum* L.) y guisante (*Pisum sativum* L.) (Bukun, 2004; Mohammadi *et al.*, 2005). Isik *et al.* (2015) notaron que el rendimiento relativo de la papa disminuyó con un período más largo de interferencia de malezas, mientras que aumentó con el incremento del período libre de

emergence and maintained as late as ten weeks after crop emergence to avoid more than 5% yield loss in the potato. Monteiro *et al.* (2011) noticed avoid total yield losses above 5%, the potato crop therefore requires an average of 41 and 40 days of weed-free keeping. For commercial crop yield, the weed-free period needed to avoid losses above 5% was 31 and 36 days.

In both methods' potato weed control critical period is delayed as acceptable yield losses increases from 5 to 10% and critical period is shortened (figure 3 and table 3). Karimmojeni *et al.* (2014) described critical period for weed control in potato based on a 5% acceptable yield loss level was measured by fitting logistic and Gompertz equations to relative yield data. Total dry biomass and the total number of weeds increased as the duration of weed infestation increased. Tuber yields of potato were reduced by prolonged delays in weed removal in both years. Weed controlling based on 5% acceptable yield losses is not recommended since in addition to increasing control cost, probability of damage imposing to crop is increased at early growth period (Ciuberkis *et al.*, 2007) also stated that in order to minimize yield losses due to weed in potato, weed must be eliminated before potato height reached to 20 cm they pointed out planting date to 25 days after flowering as potato weed critical period.

Prolonged weeds control critical period indicates less crop ability to compete with weeds (Amador-Ramirez, 2002; Cousens, 1988). In present research difference in weed

malezas.

En ambos métodos de riego, el desyerbe a principios del ciclo del cultivo en comparación con el desbroce en etapas posteriores tuvo un efecto mucho más positivo en el aumento del rendimiento (figura 3). Esto podría deberse a un crecimiento mucho más rápido de las malezas, y por ende a su mejor establecimiento en comparación con el cultivo, desde el inicio del ciclo de crecimiento. Debido a la presión de la competencia de las malezas sobre el rendimiento del cultivo, el crecimiento y la densidad de las malezas durante el período de crecimiento temprano en el sistema de riego con cinta fueron más elevados que en el riego por surcos. Presumiblemente, la habitual inundación característica del riego por surcos, limita el establecimiento de las malezas a principios del ciclo del cultivo (figura 3). Probablemente el sello formado en la superficie del suelo regado por surcos reduce la incidencia de luz y aire necesarios para la germinación de las semillas de las malezas y su crecimiento. En tanto que en el riego por cinta, el crecimiento y establecimiento de las malezas ha sido mejor, debido principalmente a las mejores condiciones de aireación e incidencia luminosa en los horizontes del subsuelo. En varios estudios, se ha informado una alta correlación entre el establecimiento más apropiado de las malezas y la emergencia en los primeros días del ciclo de crecimiento con una mejor capacidad de competencia para el cultivo (Karimmojeni *et al.*, 2010).

El inicio del período crítico de control de las malezas basado en

control critical period beginning and ending time due to difference in irrigation time implies this point that environmental factors including irrigation could influence crop and weed competition relationship on limited resource exploitation. Early weed control critical period beginning in tape irrigation method can be attributed to better weed establishments in early of season. Also, immediate weed control critical period beginning and ending in tape method suggest that in potato farms irrigated by this method, weed regular management in early of growing season is vital. Lacks of crop intense yield losses in weed interference treatments in furrow methods than tape indicate that in furrow method, crops have much more chance to emergence and establishments than weeds. Competition effects of most weeds in early growth season and its consistency until end of season have been frequently emphasized in reports (Karimmojeni *et al.*, 2010).

Analysis of the variance of the tuber yield, weed density, and weed biomass data indicated significant between irrigation and weed interference treatment and interactions for all variables, so the data were analyzed separately (table 4). Results showed that weed interference led to significant losses in yield of potato plants. The yield losses were different under the two irrigation systems. More yield losses were observed under drip than under furrow irrigation in weed interference treatments, while higher yields were obtained under drip irrigation in weedless plots. The period of weed

un 10% de pérdidas de rendimiento aceptables, fue de 32 días (590 grado de crecimiento diario) y 25 días (480 grados de crecimiento diario) después de la emergencia del cultivo, en los métodos de riego con surcos y con cintas, respectivamente. El final de este período crítico se observó a 59 días (1190 grados de crecimiento diario) y 50 días (980 grados de crecimiento diario) después de la emergencia del cultivo, para los métodos de riego por surco y cinta, respectivamente. El inicio del período crítico de control de malezas basado en un 5% de las pérdidas de rendimiento aceptables en el cultivo de la papa fue de 453 y 511 grados de crecimiento diario y el final del período igual a 1337 y 1349 grados de crecimiento diario, para el sistema de riego por cinta y por surcos, respectivamente (Figura 3 y Tabla 3). Isik *et al.* (2015) mencionaron que el período crítico para el control de malezas varió de 112 a 1014 GDD, correspondiente al intervalo de 8 a 66 días después de la emergencia del cultivo y entre 135-958 GDD (10 a 63 días después de la emergencia del cultivo) en el año siguiente, basado en un 5% de pérdida de rendimiento aceptable en el cultivo. El terreno debía estar libres de malezas a partir de la primera semana después de la emergencia del cultivo y mantenerse hasta diez semanas consecutivas para evitar más de un 5% de pérdida de rendimiento. Monteiro *et al.* (2011) observó que para evitar pérdidas de rendimiento total por encima del 5%, el cultivo de la papa requiere un promedio de 41 y 40 días de mantenimiento libre de malezas. Para

Table 4. Analysis of variance for tuber yield, weed density and weed dry weight under different irrigation methods and weed competition treatments.

Tabla 4. Análisis de la varianza para el rendimiento del cultivo, la densidad de las malezas y el peso seco de las malezas bajo diferentes métodos de riego y tratamientos de competencia de las malezas.

Source of variation	Means of square			
	df	Weeddensity	Weeddryweight	Tuberyield
Block	2	19791.35 ^{ns}	6.12 ^{ns}	7162.93 ^{ns}
Irrigation	1	31582.72 [*]	544.5 ^{ns}	1557465.24 [*]
Error a	2	30437.85	6.29	3632.26
Weedcompetition	11	1194827.63 ^{**}	5351.39 ^{**}	3233851.15 ^{**}
BxA	11	66435.63 ^{**}	142.19 ^{**}	364332.28 ^{**}
Error b	44	13313.84	12/2	12357.6
Total	71			
CV (%)		24	9	8

ns: not significant; * and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

interference had significant effects on weed density. The highest weed density was observed at early stage of growing period under both irrigation systems. However, during the later stages weed density was reduced, due to self-weeding and intraspecific competition, but weed dry weight was increased. Overall, weed density was higher under drip compared to furrow irrigation. Effect of irrigation system was significant on yield (table 5).

Conclusions

The development of an Integrated Weed Management System requires knowledge from weed behavior in the agricultural ecosystem, such as possible effects on crop yield. The

evitar pérdidas superiores al 5% del rendimiento comercial aceptable, el período libre de malezas necesario para fue de 31 y 36 días.

En ambos métodos, el período crítico de control de malezas en el cultivo de la papa se retrasa a medida que las pérdidas de rendimiento aceptables aumentan de 5 a 10% y la duración de este período crítico se acorta (figura 3 y tabla 3). Karimmojeni *et al.* (2014) describieron el período crítico para el control de malezas en el cultivo del papa, basado en un nivel de pérdida aceptable del rendimiento de 5% que se midió ajustando la ecuación logística y de Gompertz a los datos de rendimiento relativo. La biomasa seca total y el número total de malezas aumentaron a medida que aumentaba

Table 5. weed density, weed dry weight and tuber yield under different irrigation methods and weed competition treatments.**Tabla 5. Densidad de las malezas, peso seco de las malezas y rendimiento de tubérculos bajo diferentes métodos de riego y tratamientos de competencia de malezas.**

	Weed density		Weed dry weight		Tuber yield	
	Plant m ²		gr m ²		kg ha ⁻¹	
	Tape	Farrow	Tape	Farrow	Tape	Farrow
Weed-free						
WF ₂₀	73.33 ^c	58.33 ^d	919.6 ^b	1222.66 ^a	13910 ^{gh}	14950 ^{fg}
WF ₃₀	58 ^d	45.66 ^e	698.3 ^d	819.33 ^c	20855 ^d	14511 ^{fg}
WF ₄₀	19.66 ^{gh}	24.33 ^{fg}	216.3 ^g	261 ^g	22593 ^{cd}	15178 ^{fg}
WF ₅₀	4.33 ^{hi}	13.33 ^h	49.66 ^j	79 ⁱ	23896 ^{bc}	15996 ^f
WF ₆₀	0 ⁱ	0 ⁱ	0 ^k	0 ^k	25321 ^b	18673 ^e
WF _H	0 ⁱ	0 ⁱ	0 ^k	0 ^k	27608 ^a	22258 ^{cd}
Weed interference						
WI ₂₀	103.66 ^a	87 ^b	117 ⁱ	53.66 ^j	18485 ^e	12158 ^b
WI ₃₀	69.33 ^{cd}	60.66 ^d	211 ^h	87.66 ⁱ	12315 ^h	9126 ⁱ
WI ₄₀	85.33 ^{bc}	47.33 ^e	476 ^e	350.33 ^f	7408 ⁱ	9015 ⁱ
WI ₅₀	38.83 ^{ef}	34.66 ^f	514 ^e	501.33 ^e	4751 ^j	5070 ^j
WI ₆₀	34.66 ^f	30.33 ^{fg}	715 ^d	911 ^b	3591 ^j	5265 ^j
WI _H	23 ^g	23.83 ^g	1221 ^a	1223 ^a	1561 ^k	4796 ^j

Means in each column followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

critical period for weed control is an essential part of making strategies for integrated weed management. Minimizing herbicides application in soil to prevent developing resistant weeds species and adverse herbicides environmental impacts is very important issue in sustainable agriculture. Present research results can provide some principles for potato producers for making strategic decisions on weed control. Results indicated that weeds should have an in significant effect on potato yield if they are controlled at the correct

la duración de la infestación de malezas. Los rendimientos de tubérculos de papa se redujeron por retrasos prolongados en la remoción de malezas en ambos años. El control de malezas basado en un 5% de pérdidas del rendimiento no se recomienda ya que además de aumentar el costo del control, la probabilidad de daños al cultivo se incrementa en el período de crecimiento inicial. Ciuberkis *et al.* (2007) también declararon que para minimizar las pérdidas del rendimiento en el cultivo de la papa por las malezas, las mismas deben

time. Tuber yield and size reduced as weed interference period was increased. Tuber yield variation trend was similar in both of irrigation methods although potato yields losses in tape method than furrow as weed interference increased. In both irrigation methods, weeding in early season in comparison to weeding in later stages had a much more positive effect in increasing potato yield. Beginning of weed control critical period based on 5% acceptable yield losses in tape and furrow irrigation methods was 453 and 511 (GDD) and end of period equaled to 1337 and 1349 (GDD) respectively.

Literature cited

- Ahmadvand, G., F. Mondani and F. Golzardi. 2009. Effect of crop plant density on critical period of weed competition in potato. *Sci. Horti.* 121:249-254.
- Aitbaev, T., L. Buribaeva and A. Aitbaeva. 2013. Drop Irrigation of Potatoes and Vegetable Cultures in the Southeast of Kazakhstan. *World. App. Sci. J.* 24:914-919.
- Amador-Ramirez, M.D. 2002. Critical period of weed control in transplanted Chilli pepper. *Weed. Res.* 42:203-209.
- Awari, H.W and S.S. Hiwase. 1994. Effect of irrigation systems on growth and yield of potato. *Ann. Plant. Phys.* 8:185-187.
- Bao, Z.Y., S. Nishiyama and Y. Kang. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. *Agri. Water. Manag.* 63:153-167.
- Baziramkenga, R and G.D. Leroux. 1994. Critical period of quackgrass (*Elytrigiarrepens*) removal in potatoes (*Solanum tuberosum*). *Weed. Sci.* 42:528-533.
- eliminar antes de que la altura del cultivo alcance los 20 cm; estos autores señalaron como período crítico para el control de las malezas, el período desde la siembra hasta 25 días después de la floración.
- El período crítico de control de malezas prolongado indica una menor capacidad del cultivo para competir con las malezas (Amador-Ramirez, 2002; Cousens, 1988). En esta investigación, la diferencia en el inicio y finalización del período crítico de control de malezas debido a la diferencia en el tiempo de riego, indica que los factores ambientales, incluido el riego, podrían influir en la relación de competencia entre cultivos y malezas en explotaciones con recursos limitados. El comienzo del período crítico de control de malezas en etapas tempranas del cultivo regado con cinta, puede atribuirse a mejores establecimientos de las malezas a inicios del ciclo. Además, el comienzo y finalización inmediata del período crítico de control de malezas con el riego con cinta, sugiere que en las fincas con cultivos que se irrigan con este método, es vital el control de las malezas al comienzo del ciclo de crecimiento. Las bajas pérdidas del rendimiento del cultivo originadas por la interferencia de las malezas en las parcelas regadas por surco en comparación al riego con cinta, indica que en el sistema de riego por surcos, el cultivo tuvo muchas más posibilidad de emerger y establecerse que las malezas. Los efectos de la competencia de la mayoría de las malezas en la temporada de crecimiento temprano y su persistencia hasta el final del ciclo del cultivo se han reportado con frecuencia en distintos informes (Karimmojeni *et al.*, 2010).

- Berti, A., C. Dunan, M. Sattin and W.D. Zanin. 1996. A new approach to determine when to control weeds. *Weed. Sci.* 44:496-503.
- Bukun, B. 2004. Critical period for weed control in cotton in Turkey. *Weed. Res.* 44:404-412.
- Ciuberkis, S., S. Bernotas, S. Raudonius and J. Felix. 2007. Effect of weed emergence time and intervals of weed and crop competition on potato yield. *Weed. Tech.* 21:612-617.
- Cousens, R. 1988. Misinterpretations of results in weed research through inappropriate use of statistics. *Weed. Res.* 28:281-289.
- Evans, S.P., S.J. Knezevic, L. Lindquist, C.A. Shapiro and E. Blankenship. 2003. Nitrogen application influence the critical period for weed control in corn. *Weed. Sci.* 51:408-417.
- Felix, J and R.A. Boydston. 2010. Evaluation of Imazosulfuron for yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) and broadleaf weed control in potato. *Weed. Tech.* 24:471-477.
- Foster, M.A and T.A. Coffelt. 2005. *Parthenium argentatum* agronomics: establishment, irrigated production, and weed control. *Inds. Crop. Prod.* 22:27-40.
- Ghasemi-Sahebi, F., F. Ejlali, M. Ramezani and I. Pourkhiz. 2013. Comparison of tape drip irrigation and furrow irrigation systems on base of water use efficiency and yield of potato in west of Iran. *Int. J. Bio.* 5:52-62.
- Gibson, L.R and M. Liebman. 2003. A Laboratory exercise for teaching critical period for weed control concepts. *Weed. Tech.* 17:403-411.
- Gitsopoulos, T.K., C.A. Damalas and I. Georgoulas. 2014. Herbicide mixtures for control of water smartweed (*Polygonum amphibium*) and wild buckwheat (*Polygonum convolvulus*) in potato. *Weed. Tech.* 28:401-407.
- Gupta, J.P and S.D. Singh. 1983. Hydrothermal environment of soil, and vegetable production with drip and furrow irrigations. *Indian. J. Agri. Sci.* 53:138-142.
- El análisis de la varianza del rendimiento del tubérculo, la densidad de las malezas y los datos de la biomasa de las malezas indicó que hubo respuestas significativamente diferentes en cada sistema de riego y entre los tratamientos de interferencia de malezas (tabla 4). Los resultados mostraron que la interferencia de malezas originó diferencias en las pérdidas del rendimiento del cultivo en los dos sistemas de riego. Se observaron más pérdidas del rendimiento con el riego por goteo que con el riego por surcos en los tratamientos de interferencia de malezas, mientras que los rendimientos más altos se obtuvieron con el riego por goteo en parcelas libres de malezas. El período de interferencia de malezas tuvo efectos significativos en la densidad de las malezas. La mayor densidad de malezas se observó en la etapa temprana del período de crecimiento en ambos sistemas de riego. Sin embargo, durante las últimas etapas, la densidad de las malezas se redujo debido a la autodestrucción y la competencia intraespecífica, aun cuando hubo un incremento en el peso de las malezas. En general, la densidad de las malezas fue mayor en el sistema de riego por goteo con cinta, en comparación al riego por surcos. El efecto del sistema de riego fue significativo en el rendimiento del cultivo (tabla 5).

Conclusiones

El desarrollo de un sistema integrado de gestión de malezas requiere el conocimiento del comportamiento de las malezas en el ecosistema agrícola y sus posibles efectos en el rendimiento de los cultivos. El período crítico para el control de

- Halterman, D., J. Guenther, S. Collinge, N. Butler and D. Douches. 2016. Biotech Potatoes in the 21st Century: 20 Years Since the First Biotech Potato. *Amr. J. Potato Res.* 93:1-20.
- Hamill, A.S and J. Zhang. 1997. Rate and time of bentazon/atrazin application for broadleaf weed control in corn (*Zea mays*). *Weed. Tech.* 11:549-555.
- Haverkort, A.J., M.V. DeWart and K.B.A. Bodlaender. 1990. Inter-relationships of the number of initial sprouts, stems, stolons and tubers per potato plant. *Potato. Res.* 33:269-274.
- Hong, N.H., T.D. Xuan, E. Tsuzauki and T.D. Khanh. 2004. Paddy weed control by higher plant from Southeast Asia. *Crop. Prot.* 23:255-261.
- Isik, D., A. Akca, E. Kayaalato, N. Tursun and H. Mennan. 2015. The critical period for control (CPWC) in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Not. Bot. Horti. Agrobi.* 43:355-360.
- Karimmojeni, H., A. Barjasteh, R.S. Mousavi and A.H. Bazrafshan. 2014. Determination of the critical period of weed control in potato (*Solanum tuberosum* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science.* 42:151-160.
- Karimmojeni, H., H. Rahimian-Mashhadi, S. Shahbazi, A. Taab and H.M. Alizadeh. 2010. Competitive interaction between maize, *Xanthium strumarium* and *Datura stramonium* affecting som canopy characteristics. *Aust. J. Crop. Sci.* 4:684-691.
- Mohammadi, G., A. Javanshir, F.R. Khoorie, S.A. Mohammadi and S. Zahta-Salmasi. 2005. Critical period of weed interference in chickpea. *Weed. Res.* 45:57-63.
- Monteiro, A., I. Henriques and I. Moreira. 2011. Critical period for weed control in potatoes in the Huambo province (Angola). *Planta. Daninha.* 29:351-362.
- Pehrson, L., R.L. Mahler, E.J. Bechinsk and C. Williams. 2010. Water Management Practices Used in Potato Production in Idaho. *Amr. J. Potato. Res.* 87:253-260.
- malezas es una parte esencial en la elaboración de estrategias para el manejo integrado de las malezas. Minimizar la aplicación de herbicidas en el suelo para prevenir el desarrollo de especies de malezas resistentes y evitar impactos ambientales adversos, es un tema muy importante en la agricultura sostenible. Los resultados de la investigación actual pueden proporcionar algunos principios para que los productores de papa tomen decisiones estratégicas sobre el control de malezas. Los resultados indicaron que el manejo integral de las malezas puede tener un efecto significativo en el rendimiento del cultivo de la papa si se controlan en el momento correcto. El rendimiento y el tamaño del tubérculo se redujeron a medida que se incrementó el período de interferencia de las malezas. La tendencia de la variación en el rendimiento de los tubérculos fue similar en ambos métodos de riego, aunque se producen mayores pérdidas del rendimiento con el método de riego con cinta que en el riego por surcos, a medida que aumenta la interferencia de las malezas. En ambos métodos de riego, el desyerbe a principios del ciclo de crecimiento y subsiguiente desbroce en etapas posteriores tuvo un efecto mucho más positivo en el aumento del rendimiento del cultivo. El comienzo del período crítico de control de malezas basado en un 5% de las pérdidas aceptables del rendimiento para el método de riego con cinta fue de 453 y de 511 GDD para el riego por surcos; en tanto que el final de este período crítico fue igual a 1337 y 1349 GDD, para los riegos por cinta y surco respectivamente.

Fin de la versión Español

- Portugal, J.M and R.A. Vidal. 2009. Níveis económicos de prejuízos de plantas infestantes nas culturas agrícolas: conceitos, definições e formas de cálculo. *Planta. Daninha*. 27:869-877.
- Thakral, K.K., M.L. Pandita, S.C. Khurana and G. Kaloo. 1989. Effect of time of weed removal on growth and yield of potato. *Weed. Res.* 29:33-38.
- Tian, Y., S. Derong, L. Fengmin and L. Xiaoling. 2003. Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semiarid areas. *Field. Crop. Res.* 84:385-391.
- Wang, X.F., Y. Kang, S.P. Liu and X.Y. Hou. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Weed. Sci.* 8:34-42.
- Wilson, R.G and P. Westra. 1991. Wild-proso millet (*panicum miliaceum*) interference in corn (*Zea mays*). *Weed. Sci.* 39:217-220.
- Zimdahl, R.L. 2010. The concept and application of the critical weed-free period. In: Altieri M.A. and M. Liebman (Eds.). *Weed management in agroecosystem: Ecological approaches*. Florida: CRC Press. 368 p.