

Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el “Valle del Fuerte” Sinaloa, México*

Nutrition of potato crop (*Solanum tuberosum* L.) under climate variability in “Valle del Fuerte”, Sinaloa, Mexico

Ernesto Sifuentes Ibarra^{1§}, Waldo Ojeda Bustamante², Cándido Mendoza Pérez³, Jaime Macías Cervantes¹, Jesús del Rosario Rúelas Islas³ y Marco Antonio Inzunza Ibarra⁴

¹Campo Experimental Valle del Fuerte- CIRNO- INIFAP. Carretera México- Nogales, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, km 1609. ²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8535, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550. ³UAS- Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte. Calle 16 y avenida Japaraqui, Juan José Ríos, C. P. 8110. Ahome, Sinaloa. ⁴Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmosfera- CIRNOC. Canal de Sacramento Gómez Palacio, Durango C. P. Km 6.5. 35140. [§]Autor para correspondencia: sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx.

Resumen

El manejo tradicional del cultivo de papa es cada vez menos funcional debido a la alta variabilidad climática en las zonas productoras del noroeste de México, provocando aplicaciones excesivas de insumos, contaminación y baja rentabilidad. Para mejorar lo anterior, se generó una metodología que ayuda a acoplar la demanda nutrimental al clima, mediante funciones autoajustables basadas en el concepto grado día (°D) derivadas de las curvas de extracción. El trabajo se desarrolló en el norte de Sinaloa durante dos ciclos agrícolas otoño-invierno (OI): 2008-2009 y 2009-2010, en el INIFAP-CIRNO-CEVAF. En el primer ciclo se obtuvieron curvas base de extracción nutrimental (CB) para la variedad Alpha en riego por goteo; durante el segundo, se validaron las CB con la variedad Fianna en riego por superficie, mediante un experimento con tres tratamientos (T) en un arreglo en bloques completos al azar. El T1 fue la fertilización NPK de acuerdo a CB (245, 30, 350 kg ha⁻¹), en el T2 se fertilizó usando CB+20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹) y el T3 consistió en CB-20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹). La extracción total de nutrimentos fue similar en los tres tratamientos, sin embargo, la tasa de absorción fue diferenciada en las etapas iniciales del cultivo. Debido a que

Abstract

The traditional management of potato cultivation is becoming less functional due to the high climatic variability in the production areas of northwestern Mexico, which provoke an excessive application of inputs, pollution and low profitability. In order to improve this, we generated a methodology that helps to bind the demand of nutrients to the climate through self-adjusting functions based on the concept of degree-day (°D), derived from the extraction curves. The work was carried out in the north of Sinaloa during two autumn-winter agricultural cycles (AW), 2008-2009 and 2009-2010, in the INIFAP-CIRNO-CEVAF. In the first cycle we obtained base curves of nutrient extraction (BC) for the Alpha variety under drip irrigation; in the second cycle we validated the BC with the Fianna variety under surface irrigation by an experiment with three treatments (T) in a randomized complete block arrangement. T1 was fertilization with NPK according to BC (245, 30, 350 kg ha⁻¹) while T2 consisted of fertilization using BC+20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹) and T3 consisted of BC-20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹). Total nutrient extraction was similar in all treatments; however, the absorption rate was different in the initial stages of cultivation. Because the difference at T2 was significant

* Recibido: agosto de 2012
Aceptado: abril de 2013

en el rendimiento y calidad del tubérculo fue significativa la diferencia en el T2, en este se generaron las funciones matemáticas, obteniendo R^2 mayores al 0.8. La metodología se probó con éxito en dos parcelas comerciales.

Palabras clave: funciones autoajustables, fertilización, grados día crecimiento.

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una de las principales fuentes de alimentación a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz (FAO, 2012). En México los estados de Sinaloa y Sonora son los principales productores de este cultivo llegando a establecerse tan solo en Sinaloa 14 000 ha⁻¹ anualmente (22% de la superficie nacional) (SIAP-SAGARPA, 2010). A partir de la aplicación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en México, los productores de papa han tenido la necesidad de ser más eficientes para mejorar su competitividad, reducir sus costos de producción y adaptarse a la volatilidad del mercado (Morales-Hernández *et al.*, 2011).

El cultivo de papa demanda grandes cantidades de nutrimentos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante todo su ciclo (White *et al.*, 2007) y es una de las hortalizas de mayor rentabilidad con altos costos de producción que genera excesiva aplicación de insumos (pesticidas, agua y fertilizantes).

Bertsch (2003) reporta que este cultivo absorbe 220, 20, 240, 60 y 20 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente para una producción de 20 t ha⁻¹, lo que evidencia los altos requerimientos nutrimentales que presenta el cultivo. De acuerdo a Horneck y Rosen (2008) la mayoría del N absorbido por la planta se presenta antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, lo cual significa que antes del llenado de tubérculos la planta consume más de 50% con una demanda diaria de 7 kg ha⁻¹-día, para el caso del P la demanda fluctúa entre 0.4 a 0.9 kg ha⁻¹-día a mitad del ciclo dependiendo de la variedad y clima. Para el K la absorción es de 5 a 14 kg ha⁻¹-día.

Aunado a lo anterior, el continuo incremento en el precio de fertilizantes como urea (46-00-00) y fosfato monoamónico (11-52-00), están afectando su rentabilidad, en 2008 los costos de estos se duplicaron, comparados con los tres

with respect to tuber yield and quality, the mathematical functions were generated from it, obtaining R^2 values greater than 0.8. The methodology was successfully tested on two commercial plots.

Key words: growing degree-days, fertilization, self-adjusting functions.

Introduction

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the main food sources in the world after wheat, corn and rice (FAO, 2012). In Mexico, the states of Sinaloa and Sonora are the main producers of this crop; just in Sinaloa, 14 000 ha of potato are cultivated annually (22% of the national surface) (SIAP-SAGARPA, 2010). Since the implementation of the Free Trade Agreement (NAFTA) in Mexico, potato growers have had the need to be more efficient in order to improve their competitiveness, reduce production costs and adapt to the volatility of the market (Morales-Hernández *et al.*, 2011).

Potato cultivation requires large amounts of nutrients throughout its entire cycle, mainly nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) (White *et al.*, 2007); it is one of the most profitable vegetables, with high production costs that demand an excessive use of inputs (pesticides, water and fertilizers).

Bertsch (2003) reports that this crop absorbs 220, 20, 240, 60 and 20 kg ha⁻¹ of N, P, K, Ca and Mg, respectively, for a production of 20 t ha⁻¹, which shows the high nutritional requirements of this crop. According to Horneck and Rosen (2008), most of the absorption of N by the plant occurs before the period of maximum tuber growth and development, which means that before the tubers are filled, the plant consumes more than 50% of its N requirements, with a daily demand of 7 kg ha⁻¹-day; in the case of P, the demand fluctuates between 0.4 to 0.9 kg ha⁻¹-day at midcycle, depending on the variety and the climate. For K, the absorption is 5 to 14 kg ha⁻¹-day.

In addition to this, the continuous increase in the price of fertilizers such as urea (46-00-00) and monoammonium phosphate (11-52-00) is affecting the profitability of potato cultivation; in 2008 these costs doubled compared with the previous three years, and accounted for more

años anteriores y representaron más de 25 del costo total de producción en la mayoría de los cultivos, proporción que se ha mantenido actualmente (SAGARPA, 2008).

La fertilización tiene la función de suministrar nutrientes a los cultivos que no son aportados de manera natural por el suelo. Para una buena producción en términos de cantidad y calidad, usualmente los macronutrientes NPK, son aplicados al cultivo de papa cuando las reservas del suelo son limitadas (Ierna *et al.*, 2011), pero además, deben acoplarse con sus demandas, debido a ello, es importante conocer las curvas de absorción nutrimental (Bertsch, 2003).

Un manejo adecuado requiere además de conocer la fertilidad actual del suelo, asociarla con la demanda total y la tasa diaria de acumulación nutrimental del cultivo, las cuales están en función de la tasa de crecimiento, etapa fenológica, variedad, condiciones ambientales y meta de rendimiento; pero también, debe considerarse la rentabilidad y el impacto ambiental que causan los fertilizantes en suelo, agua y aire.

Antes de generar una curva de absorción se debe realizar una curva de crecimiento del cultivo en términos de peso seco para asociar la absorción con la producción de biomasa. Para el caso de la papa, cuando la planta emerge, el crecimiento de la parte aérea y el de las raíces es sincronizado, dos a cuatro semanas después de la emergencia inicia el crecimiento de los tubérculos y continúa durante un largo periodo de tiempo asociándose un retraso en el crecimiento de los tubérculos con un crecimiento excesivo de la biomasa aérea (Alonso, 2002). Al inicio la planta distribuye los productos de la fotosíntesis hacia todos los tejidos y al final hacia los tubérculos (Villalobos, 2001).

La acumulación total de materia seca es más rápida en el periodo de 40 a 100 días después de la siembra que corresponden a los periodos de inicio de tuberización y desarrollo del tubérculo; al final de la temporada los tubérculos registran hasta un 90 por ciento del peso seco total.

La fertilización no solo influye en el rendimiento sino también en la calidad del tubérculo; se ha encontrado que la gravedad específica (índice del contenido de almidón) del tubérculo depende del porcentaje y densidad de la materia seca así como del porcentaje del aire en tejidos (Talbert y Smith, 1967), pero disminuye al aumentar los niveles de NPK ya que esta es la que determina el contenido y la calidad del tubérculo (Kunkel y Holstad, 1972). Por otro lado, el

than 25% of the total cost of production in most crops, a percentage that has remained constant until the present (SAGARPA, 2008).

Fertilization has the function of supplying nutrients to the crop that are not provided naturally by the soil. To obtain a good production in terms of quantity and quality, NPK macronutrients are usually applied to potatoes when the soil reserves are limited (Ierna *et al.*, 2011); however, the application of these nutrients should be bound to their demand by potatoes; therefore, it is important to know the nutrient absorption curves (Bertsch, 2003).

Proper crop management also requires knowing the actual soil fertility and to associate it with the total nutrient demand and the daily rate of crop nutrient accumulation, which are a function of the rate of growth, the phenological stage, the variety, the environmental conditions and the target yield; but the profitability and the environmental impact caused by fertilizers in soil, water and air should also be considered.

A crop growth curve in terms of dry weight should be performed before generating an absorption curve in order to associate the absorption of biomass with its production. In the case of potato, after the plant emerges the growth of the aerial part and of the roots occurs in a synchronized way; the growth of the tubers starts two to four weeks after emergence and continues for a long period of time; a delay in the growth of the tubers is associated with an overgrowth of aerial biomass (Alonso, 2002). At the beginning, the plant distributes the products of photosynthesis to all tissues, and only at the end to the tubers (Villalobos, 2001).

Total dry matter accumulation is faster in the period of 40 to 100 days after sowing which corresponds to the tuber initiation and tuber development periods; at the end of the season, the tubers amount to up to 90 percent of the total dry weight.

Fertilization not only influences yield, but also tuber quality; it has been found that the specific gravity (starch content index) of the tuber depends on the percentage and density of the dry matter, as well as on the percentage of air in tissues (Talbert and Smith, 1967), but it decreases when NPK levels increase, since NPK is what determines the content and the quality of the tuber (Holstad Kunkel, 1972). On the other hand, the protein content of the tuber increases when the dose of N increases, while the dose of P affects the absorption rate of the oil used for French fries (Ozturk *et al.*, 2010); because

contenido proteico del tubérculo incrementa al aumentar la dosis de N mientras que la dosis de P afecta la tasa de absorción de aceite utilizado para papas fritas (Ozturk *et al.*, 2010); por lo anterior, se puede decir que el enfoque nutricional de los cultivos debe considerar el cómo, cuándo, cuánto y que fuentes de fertilizantes son las más apropiadas y evitar el manejo de una forma generalizada.

Por otro lado, la alta variabilidad climática que se ha observado en los últimos años en México y particularmente el norte de Sinaloa, está ocasionando que el manejo tradicional de la nutrición de los cultivos sea cada vez menos funcional debido al efecto directo de la temperatura del aire en la tasa de desarrollo, periodos con altas temperaturas aceleran el desarrollo mientras que periodos con temperaturas bajas lo retrasan. Para el norte de Sinaloa, Ojeda-Bustamante *et al.* (2011) estimaron un incremento promedio anual de 1 °C para el norte de Sinaloa para el año 2020, con una consecuente reducción del ciclo de desarrollo de maíz y modificación del comportamiento de sus demandas hídricas tanto espacial como temporalmente.

Actualmente, la mayoría de las curvas de extracción nutricional para el cultivo de papa son expresadas en función de días después de siembra o emergencia, aplicables solo en las fechas y localidades donde fueron determinadas, tal es el caso de las reportadas por Badillo (2001) y Cabalceta (2006). La aplicación del concepto grados día (°D) ha demostrado ser una excelente herramienta para predecir la fenología de la papa en lugar de los días cronológicos permitiendo autoajustar el manejo del mismo (Arazi *et al.*, 1993; Kadaja, 2004; Ojeda-Bustamante *et al.*, 2004).

Ante el incremento acelerado de los precios de los fertilizantes, la presencia de sequías recurrentes, bajos grado de aprovechamiento de fertilizantes, contaminación de aguas superficiales y subterráneas por fertilizantes nitrogenados y fosfóricos (Ierna *et al.*, 2011) así como el incremento en la variabilidad climática, es imperante el manejo de la fertilización del cultivo de papa bajo estos nuevos escenarios.

En este contexto en el presente estudio se generó una metodología para acoplar en forma automática los requerimientos nutricionales del cultivo de papa variedad Fianna a través de funciones matemáticas basadas en el concepto °D con el fin de lograr una fertilización precisa y eficiente.

of this, it could be said that the nutritional approach for crops should consider how, when, how much and which fertilizer sources are the most appropriate, and avoid managing the crop in general way.

Furthermore, the high climatic variability that has been observed in Mexico in recent years, particularly in the north of Sinaloa, is causing the traditional management of crop nutrition to become ever less functional due to the direct effect of air temperature on the rate of crop development; periods with high temperatures accelerate development while low temperature periods delay it. For the north of Sinaloa, Ojeda-Bustamante *et al.* (2011) estimated an average annual increase of 1 °C by 2020, with a consequent reduction in the corn development cycle and a modification of the behavior of its water demand, both spatial and temporal.

Currently, most nutrient extraction curves for potato cultivation are expressed in terms of days after planting or emergence and are applicable only on the dates and locations where they were determined, as is the case of the curves reported by Badillo (2001) and Cabalceta (2006). Applying the concept of degree-days (°D) instead of chronological days has proven to be an excellent tool for predicting the phenology of potato, allowing the autoadjustment of its management (Arazi *et al.*, 1993; Kadaja, 2004; Ojeda-Bustamante *et al.*, 2004).

Given the rapid increase in fertilizer prices, the presence of recurrent droughts, the low degree of fertilizer uptake, the pollution of surface and subterranean waters by nitrogenous and phosphoric fertilizers (Ierna *et al.*, 2011), as well as the increase in climate variability, it is imperative to manage the fertilization of potato crops under these new scenarios.

In this context, the present study produced a methodology for automatically binding the nutritional requirements of the Fianna variety of potatoes through mathematical functions based on the concept of °D in order to achieve an accurate and efficient fertilization.

Materials and methods

The work was conducted over two autumn-winter agricultural cycles (AW), 2008-2009 and 2009-2010, in the Experimental Field of Valle del Fuerte (CEVAF) of

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló durante dos ciclos agrícolas otoño-invierno (OI): 2008-2009 y 2009-2010, en el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF) del INIFAP, ubicado en el norte de Sinaloa en la parte central del distrito de riego 075 (Río Fuerte) colindando con los distritos 063 (Guasave) y 076 (Valle del Carrizo), en los 25° 45' 49" latitud norte y 108° 51' 41" longitud oeste a una altura de 32 msnm. El suelo típico de la zona es de textura arcillosa con una humedad volumétrica aprovechable de 0.155 cm³ cm⁻³.

Durante el ciclo 2008-2009 se generaron las primeras curvas base (CB) NPK para la variedad Alpha en riego por goteo, tomando como referencia las obtenidas por Badillo *et al.* (2001).

En el ciclo 2009-2010 se estableció un experimento en riego por superficie con tres tratamientos (T) en un diseño experimental en bloques completamente al azar con tres repeticiones, utilizando la variedad Fianna. Cada tratamiento se estableció en parcelas de 384 m², ocho surcos de 60 m de longitud separados a 80 cm, con una densidad de siembra de 43 750 semillas ha⁻¹ (3.5 semillas por metro lineal) a una profundidad de 15 cm.

Previo a la siembra se realizó un muestreo de suelo a 30 cm de profundidad para conocer su nivel de fertilidad y proceder a calcular las dosis nutrimentales en cada tratamiento utilizando la siguiente ecuación (INIFAP, 2005).

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Demanda} - \text{Suministro}}{\text{Eficiencia}}$$

Donde: demanda, representa el consumo diario de cada nutrimento (kg ha⁻¹), suministro se refiere al aporte nutrimental del suelo en (kg ha⁻¹), estimado a partir del análisis del mismo y Eficiencia al grado de aprovechamiento del nutrimento que depende del sistema de riego, suelo, fuente de fertilizantes y su valor oscila de 0 a 100%.

El T1 consistió en fertilizar de acuerdo a las CB obtenidas en el ciclo 2008-2009; es decir; 245, 30, 350 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente, el T2 se fertilizó de acuerdo a las CB más un incremento de 20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹ de NPK) y el T3 de acuerdo a la misma CB con una reducción de 20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹ de NPK). La fecha de siembra fue el 11 de

INIFAP, located in northern Sinaloa in the central part of the irrigation district 075 (Río Fuerte), adjacent to the districts 063 (Guasave) and 076 (Valle del Carrizo), at 25° 45' 49" N and 108° 51' 41" W and a height of 32 masl. The typical local soil is clayey with an exploitable volumetric moisture of 0.155 cm³ cm⁻³.

The first NPK base curves (BC) were generated during the 2008-2009 cycle for the Alpha variety under drip irrigation, taking as reference those obtained by Badillo *et al.* (2001).

An experiment for surface irrigation was established in the 2009-2010 cycle with three treatments (T) in a randomized complete block experimental design with three replicates, using the Fianna variety. Each treatment was established in 384 m² plots with eight furrows of 60 m in length spaced at 80 cm, with a seeding density of 43 750 seeds ha⁻¹ (3.5 seeds per linear meter) to a depth of 15 cm.

A soil sampling at a depth of 30 cm was conducted before sowing in order to know the fertility level of the soil and to calculate the nutritional dosages for each treatment using the following equation (INIFAP, 2005).

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Demanda} - \text{Suministro}}{\text{Eficiencia}}$$

Where: demand represents the daily intake of each nutrient (kg ha⁻¹); supply refers to soil nutrient input (kg ha⁻¹), estimated from the analysis of the soil; and efficiency refers to the degree of utilization of the nutrient that depends on the irrigation system, the soil and the fertilizer source; its value ranges from 0 to 100%.

T1 consisted in fertilizing according to the BC obtained in 2008-2009, that is, 245, 30, 350 kg ha⁻¹ of NPK respectively; with T2 the soil was fertilized according to the BC plus an additional 20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹ of NPK); and with T3 the fertilization was done according to the same BC minus 20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹ of NPK). The sowing date was 11/11/09, reaching commercial maturity on 23/02/2010, at which time the plants were defoliated; harvest took place on 13, March, 2010.

To estimate the total daily extraction of NPK by the crop, vegetation (destructive samplings) and laboratory analyzes were performed in each treatment on the different organs of the plants (leaves, stems, roots and tubers) from 36 days after sowing (DAS), or 658 °DA, in sampling sites

noviembre de 2009 alcanzando su madurez comercial el 23 de febrero de 2010 fecha en que se defolió; la cosecha se llevó a cabo el 13 de marzo de 2010

Para estimar la extracción diaria y total de NPK del cultivo, en cada tratamiento se realizaron análisis vegetativos (muestras destructivas) y de laboratorio de los diferentes órganos de la planta (hojas, tallos, raíz y tubérculos) a partir de los 36 días después de siembra (DDS) o 658 °DA, en sitios de muestreo de 0.8 m² a intervalos de 15 días durante toda la estación de crecimiento. Las técnicas utilizadas en laboratorio fueron: Nessler Microkheldal, ácido ascórbico, tetrafenilborato y reducción de cadmio para N, P, K y nitratos (NO₃) respectivamente.

Las condiciones climáticas fueron monitoreadas con una estación meteorológica automatizada ubicada a 50 m de la parcela experimental, de la cual se obtuvieron los valores de temperatura a intervalos de 15 minutos para calcular los °DA mediante las siguientes ecuaciones (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006).

$$\begin{aligned} \text{°DA} &= T_a - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a < T_{c\text{-max}} \\ \text{°DA} &= T_{c\text{-max}} - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a \geq T_{c\text{-max}} \\ \text{°DA} &= 0, \text{ si } T_a \leq T_{c\text{-min}} \end{aligned}$$

Donde T_a es la temperatura media diaria del aire (°C), $T_{c\text{-min}}$ y $T_{c\text{-max}}$ representan las temperaturas umbrales mínima y máxima del cultivo, las cuales son 2 y 29 °C respectivamente para el cultivo de papa. Los °DA están relacionados con la aparición de cada fase de desarrollo del cultivo y pueden tener un valor predictivo de la fenología de estos (Sifuentes *et al.*, 2010).

La programación de los riegos se realizó con el método del balance hídrico a través del software IrriModel 1.0 (Sifuentes *et al.*, 2012), utilizando un modelo integral de programación del riego calibrado localmente para el cultivo de papa, el cual estima la variación de la humedad del suelo en la zona radical integrando parámetros de suelo, planta y clima utilizando el concepto °D. El manejo agronómico del cultivo incluyó el control de malezas, plagas y enfermedades.

Al final del ciclo se cosecharon únicamente los cuatro surcos centrales de cada unidad experimental (16 m²) para evaluar el rendimiento y la calidad de tubérculos donde los resultados obtenidos fueron sujetos a un análisis de varianza.

La metodología se validó durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2010-2011 en una parcela comercial identificada como lateral 18, localizada en el módulo de Riego Santa

of 0.8 m² at intervals of 15 days throughout the growing season. The techniques used in the laboratory were: Nessler Microkheldal, ascorbic acid, tetraphenylborate and cadmium reduction for N, P, K and nitrates (NO₃) respectively.

Climatic conditions were monitored with an automated weather station located 50 m from the plot, from which temperature values were obtained at intervals of 15 minutes to calculate the °DA by the following equations (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006).

$$\begin{aligned} \text{°DA} &= T_a - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a < T_{c\text{-max}} \\ \text{°DA} &= T_{c\text{-max}} - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a \geq T_{c\text{-max}} \\ \text{°DA} &= 0, \text{ si } T_a \leq T_{c\text{-min}} \end{aligned}$$

Where T_a is the mean daily air temperature (°C), and $T_{c\text{-min}}$ and $T_{c\text{-max}}$ represent the minimum and maximum threshold temperatures of the potato crop, which are 2 and 29 °C respectively. The °DA are related to the occurrence of each stage of crop development and may have a predictive value for the phenology of the crop (Sifuentes *et al.*, 2010).

The scheduling of irrigations was done with the water balance method through the IrriModel 1.0 software (Sifuentes *et al.*, 2012), using a comprehensive irrigation scheduling model locally calibrated for the potato crop, which estimates the change in soil moisture in the root zone, integrating parameters of the soil, plant and climate and using the concept of °D. The agronomic crop management included the control of weeds, pests and diseases.

At the end of the cycle only the four central furrows of each experimental unit (16 m²) were harvested to evaluate the yield and quality of the tubers; the obtained results were subjected to an analysis of variance.

The methodology was validated during the autumn-winter agricultural cycle of 2010-2011 on a commercial plot identified as lateral 18, located in the Santa Rosa irrigation module of the irrigation district 075 in the municipality of El Fuerte, Sinaloa. The analysis of the soil of this plot reported the following values: 0.7% organic matter, 0.0023% nitrogen, 0.0009% phosphorus, 0.0275% potassium, 0.4660% calcium, 0.0684% magnesium, 0.0005% iron and 0.0030% sulfur; the nutrient doses obtained in the best treatment (T2) were subsequently applied to this soil. The fertilizer sources that were used in this plot were MAP, urea, potassium sulfate and calcium nitrate.

Rosa del DR 075 en el municipio de El Fuerte, Sinaloa. El análisis de suelo de dicho lote reportó los siguientes valores: materia orgánica 0.7%, nitrógeno 0.0023%, fósforo 0.0009%, potasio 0.0275%, calcio 0.4660%, magnesio 0.0684%, hierro 0.0005% y azufre 0.0030%; donde posteriormente se aplicaron las dosis de nutrientes obtenidas en el mejor tratamiento (T2). Las fuentes de fertilizantes que se utilizaron en esta parcela fueron MAP, urea, sulfato de potasio y nitrato de calcio.

Resultados y discusión

Curvas de extracción nutrimental base

Las curvas de extracción obtenidas en el ciclo otoño-invierno 2008-2009 para la variedad Alpha y que fueron usadas como CB en el experimento establecido en el ciclo otoño-invierno 2009-2010 se presenta en la Figura 1, se observa que los valores máximos para la extracción total acumulada del cultivo fue de 245, 30, 350 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente.

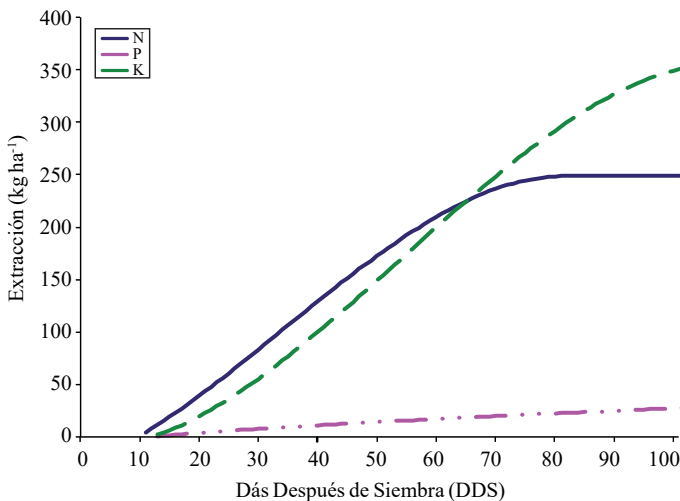


Figura 1. Extracción de NPK del cultivo de papa variedad Alpha utilizada como curva base (CB), obtenida en el ciclo otoño-invierno 2008-2009 en el norte de Sinaloa.

Figure 1. Extraction of NPK by the Alpha potato variety of potatoes used as base curve (BC); obtained in the autumn-winter cycle of 2008-2009 in northern Sinaloa.

Curvas de extracción nutrimental para variabilidad climática

En el ciclo otoño-invierno 2009-2010 para la variedad Fianna se generaron las curvas de extracción para los tres tratamientos. En la Figura 2 se puede observar que en T1 la

Results and discussion

Base curves of nutrient extraction

The extraction curves obtained during the autumn-winter cycle of 2008-2009 for the Alpha variety and that were used as BC in the experiment established in the autumn-winter cycle of 2009-2010 are presented in Figure 1; it can be seen that the peak values for the total accumulated extraction by the crop were 245, 30, 350 kg ha⁻¹ of NPK respectively.

Nutrient extraction curves for climate variability

Extraction curves for the three treatments were generated in the autumn-winter cycle of 2009-2010 for the Fianna variety. Figure 2 shows that in T1 the total extraction by the crop was 250, 30 and 350 kg ha⁻¹ of NPK respectively. A strong increase of N and K at 1100 °DA can also be seen, corresponding to the tuber development stage. The results obtained by Badillo (2001) are similar to those obtained in this curve, specifically with respect to the absorption pattern and the nutritional requirements for this crop.

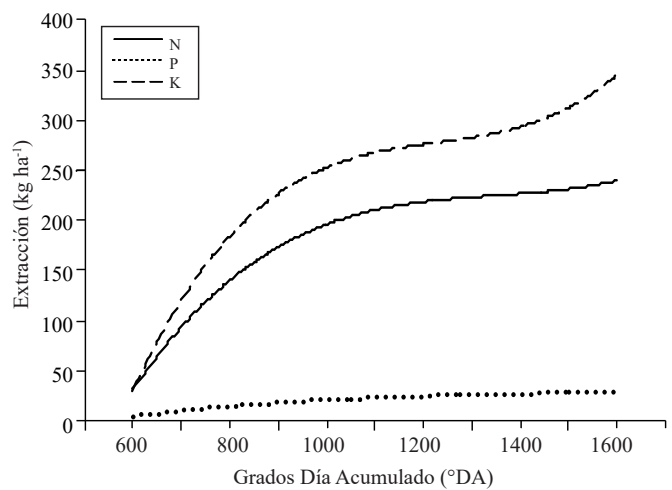


Figura 2. Patrón de absorción NPK acumulada para el tratamiento 1.

Figure 2. Accumulated NPK absorption pattern for treatment 1.

For T2 (Figure 3), the maximum demand of NPK occurs between 1100 and 1300 °DA, when the crop extracted a total of 270, 30 and 300 kg ha⁻¹ of NPK, respectively, corresponding to the tuber development stage.

extracción total del cultivo fue 250, 30 y 350 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente. También se observa un fuerte incremento de N y K a los 1100 °DA que corresponde al desarrollo de tuberización. Los resultados obtenidos por Badillo (2001) son similares a las obtenidas en esta curva, específicamente en el patrón de absorción y requerimientos nutrimentales para este cultivo.

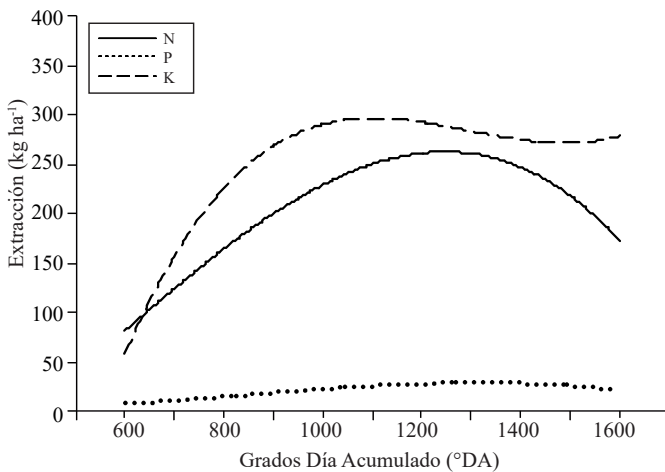


Figura 3. Patrón de absorción de NPK acumulada para el tratamiento 2.

Figure 3. Accumulated NPK absorption pattern for treatment 2.

Para T2 (Figura 3) se observa que la máxima demanda de NPK está comprendida en los 1100 y 1300 °DA donde el cultivo extrajo un total de 270, 30 y 300 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente correspondiendo a la etapa de desarrollo de tuberización.

Para T3 (Figura 4) el cultivo extrajo un total de 225, 25 y 340 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente, también se puede notar que el proceso de absorción de N y K fue incrementando uniformemente desde la emergencia hasta los 1100 °DA y a partir de los 1300 °DA fue la máxima demanda.

En los tres tratamientos se observó que la tasa de absorción de N estuvo en función del suministro de este nutriente y de la etapa fenológica del cultivo. El suministro suficiente de N en forma de NH₄⁺ y NO₃⁻ depende de la cantidad mineralizada del N orgánico total y de otros factores incluyendo la propia mineralización, inmovilización y pérdidas.

El P en los tres casos es el elemento de menor absorción debido a su lenta disposición y a la capacidad del mismo para precipitarse. En cada tratamiento la absorción se

For T3 (Figure 4), the crop extracted a total of 225, 25 and 340 kg ha⁻¹ of NPK respectively; it can also be noted that the process of absorption of N and K increased uniformly from the emergence up to 1100 °DA and that the peak demand occurred after 1300 °DA.

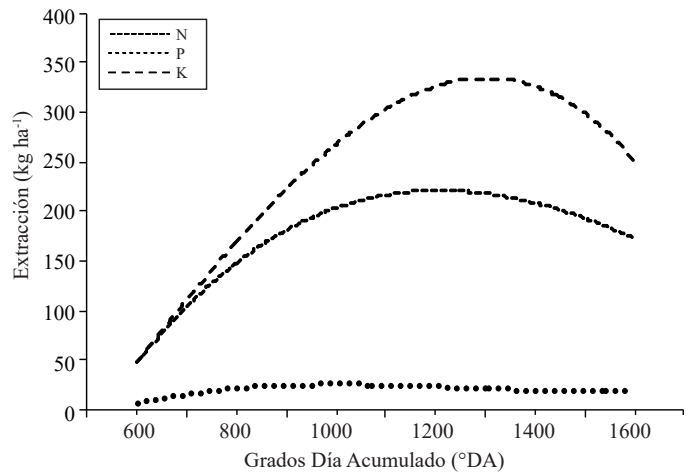


Figura 4. Patrón de absorción de NPK acumulada para el tratamiento 3.

Figure 4. Accumulated NPK absorption pattern for treatment 3.

It was observed in the three treatments that the absorption rate of N was a function of the supply of this nutrient and of the phenological stage of the crop. The sufficient supply of N in the form of NH₄⁺ and NO₃⁻ depends on the amount of total organic N mineralized and on other factors such as mineralization, immobilization and losses.

In the three cases, P was the least absorbed element due to its slow disposition and its capacity to be precipitated. In each treatment, absorption remained almost constant throughout the crop cycle, mainly due to the absorption capacity of the crop, which varies greatly even with varieties of the same species, a characteristic that is controlled by the genotype, as mentioned by Brown (1977). Other causes are attributed to the differences in root development, associations with fungi and carbon dioxide excretion by the roots. PH and temperature are also factors which control the absorption of P; low temperatures reduce its activity in soil and plant; the variations of pH strongly affect the solubility of this mineral (Tisdale *et al.*, 2005).

Unlike N and K, P had an absorption rate very similar to that of nitrogen; this means that it also depends on the stage, supply and mobility.

mantuvo casi constante durante todo el ciclo del cultivo debido principalmente a la capacidad de absorción de este, la cual varía considerablemente incluso con variedades de la misma especie, característica que está controlada por el genotipo como lo menciona Brown (1977). Otras causas son atribuidas a las diferencias en el desarrollo radical, las asociaciones con hongos y la excreción de anhídrido carbónico por las raíces. La temperatura y pH también son factores que controlan la absorción de P, bajas temperaturas reducen su actividad dentro de suelo y planta; la variación del pH en el suelo afecta fuertemente la solubilidad del mineral (Tisdale *et al.*, 2005).

A diferencia de N y K, el K tuvo una tasa de absorción muy similar a la del nitrógeno, esto significa que también está en función de la etapa, suministro y movilidad.

Análisis de extracción nutrimental diaria para T2

Se presenta un análisis del comportamiento de la extracción nutrimental diaria de T2, el cual fue el mejor en términos de rendimiento y calidad. En la Figura 5 se muestra de manera individual la máxima absorción de N por $\text{kg ha}^{-1}\text{-día}$, se puede observar que a los $1\ 100\ ^\circ\text{DA}$ en la etapa de tuberización, se presenta la máxima demanda de nitrógeno teniendo un consumo de $20\ \text{kg día}^{-1}$ y vuelve a incrementar a los $1\ 600\ ^\circ\text{DA}$ que corresponde a la etapa de tubérculos desarrollados.

La Figura 6 muestra el comportamiento del K absorbido por $^\circ\text{DA}$ para este tratamiento. Debido al patrón de absorción, se puede observar que la máxima demanda se presenta a los $1\ 000\ ^\circ\text{DA}$ con un consumo de $0.3\ \text{kg ha}^{-1}$. Posteriormente se observa una declinación a los $1\ 300\ ^\circ\text{DA}$ con un incremento subsecuente, lo cual explica la translocación de este nutriente a los órganos de almacenamiento (tubérculos), estos resultados son consistentes a los obtenidos por (Cabalceta *et al.*, 2006).

La Figura 7 presenta la curva de extracción nutrimental diaria en función de los $^\circ\text{DA}$ para NPK, se puede observar que la demanda diaria de N aumenta gradualmente desde la etapa inicial manteniéndose relativamente constante hasta el inicio de la tuberización (It), con un ligero incremento en la etapa de desarrollo de tubérculos (Dt). En el caso del P la absorción es lenta a medida que la planta pasa de una etapa fenológica a otra, alcanzando su absorción máxima en las etapas de It y desarrollo del tubérculo (Dt).

Con respecto al K se observa una tendencia muy similar a la del N, donde la demanda se incrementa desde la etapa de emergencia (E) alcanzando su máxima absorción

Analysis of the daily nutrient extraction for T2

An analysis of the daily nutrient extraction behavior of T2, which was the best treatment in terms of yield and quality. Figure 5 shows the individual maximum absorption of N per $\text{kg ha}^{-1}\text{-day}$; it can be seen that the peak demand of nitrogen occurs at $1\ 100\ ^\circ\text{DA}$, in the tuber development stage, with an intake of $20\ \text{kg day}^{-1}$, and it increases again at $1\ 600\ ^\circ\text{DA}$, corresponding to the stage of developed tubers.

Figure 6 shows the behavior of the K absorbed per $^\circ\text{DA}$ for this treatment. Due to the absorption pattern, it can be seen that the peak demand occurs at $1\ 000\ ^\circ\text{DA}$ with a consumption of $0.3\ \text{kg ha}^{-1}$. Later, there was a decline at $1\ 300\ ^\circ\text{DA}$, with a subsequent increase, which explains the translocation of this nutrient to the storage organs (tubers); these results are consistent with those obtained by Cabalceta *et al.*, 2006.

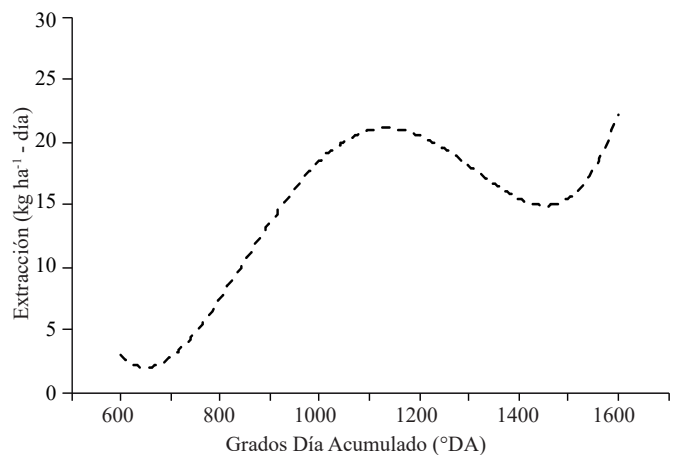


Figura 5. Nitrógeno absorbido en $\text{kg ha}^{-1}\text{-día}$ en el tratamiento 2.
Figure 5. Nitrogen absorbed in $\text{kg ha}^{-1}\text{-day}$ with treatment 2.

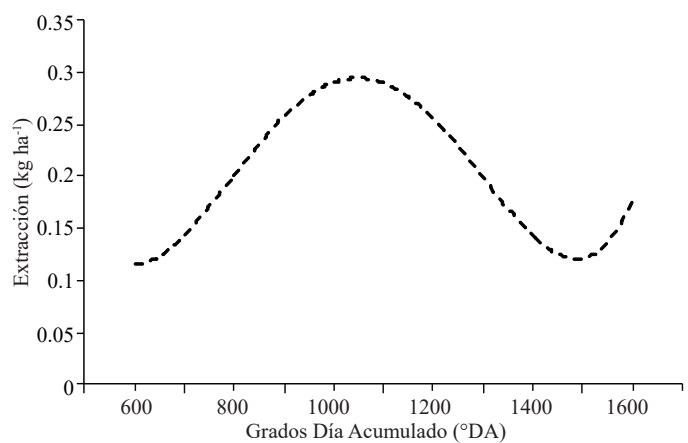
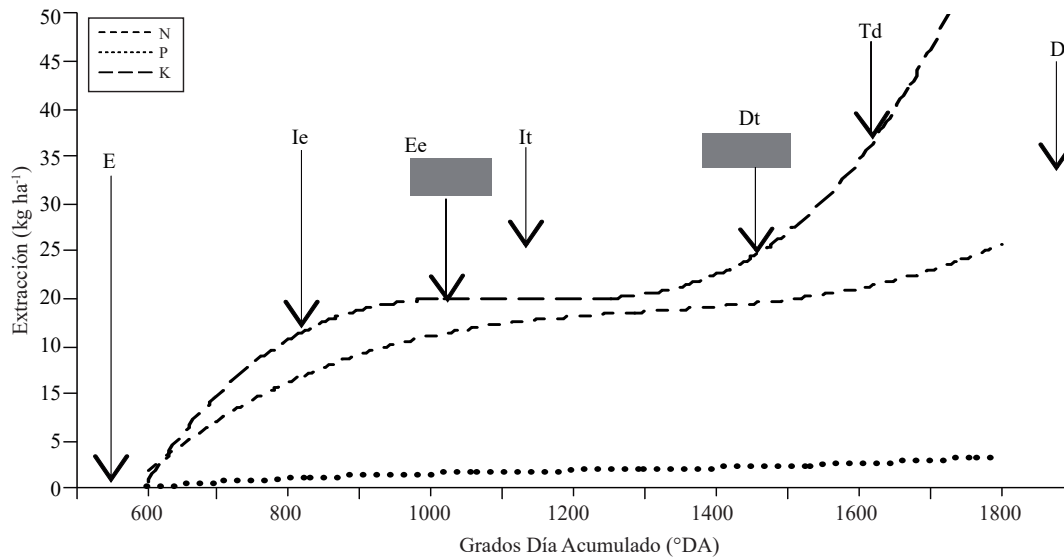


Figura 6. Potasio absorbido por grado día acumulado ($^\circ\text{DA}$) en el tratamiento 2.
Figure 6. Potassium absorbed accumulated per accumulated degree-day ($^\circ\text{DA}$) in treatment 2.

desde la etapa de *Ie* hasta la *It*, la cual posteriormente se incrementa en la etapa de *Dt* debido a la translocación hacia el tubérculo.

Figure 7 shows the daily nutrient extraction curve as a function of °DA for NPK; it can be seen that the daily demand of N increases gradually from the initial stage,



E= emergencia; Ie= inicio de estolonización; Ee= elongación de estolones; It= inicio de tuberización; Dt= desarrollo de tubérculos; Td= tubérculos desarrollados; D= desvare.

Figura 7. Curva de extracción diaria de NPK asociadas a la etapa de crecimiento del cultivo y °DA a partir de siembra para papa var. Fianna.

Figure 7. Daily extraction curve of NPK associated with crop growth stage and °DA from sowing for potato var. Fianna.

Análisis de rendimiento y calidad

El rendimiento obtenido en cada tratamiento se presenta en la Figura 8, se observa un valor máximo de 43.04 t ha⁻¹ para T2, mientras que para T1 y T3 fueron 37.33 y 37.67 t ha⁻¹ respectivamente, lo cual indica una respuesta positiva a la adición del 20 por ciento de NPK a la CB.

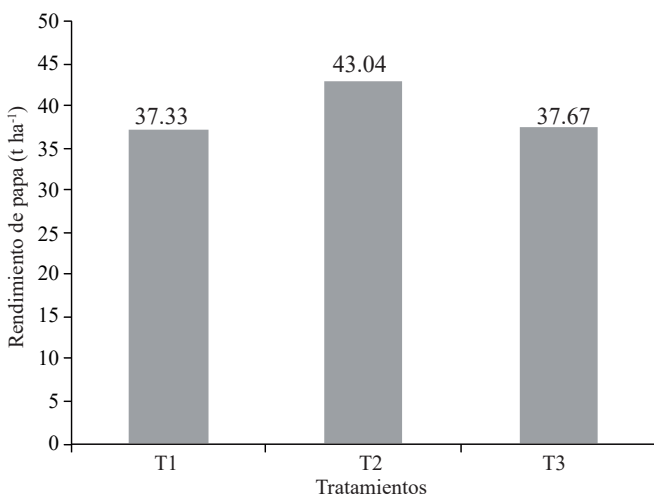


Figura 8. Rendimiento obtenido del cultivo de papa y la prueba de medias entre tratamientos.

Figure 8. Yield obtained from potato crop and test of the means between treatments.

remaining relatively constant until tuber initiation (*It*), with a slight increase in the tuber development stage (*Dt*). In the case of P, the absorption is slow as the plant passes from one phenological stage to another, reaching its maximum absorption in the stages of *It* and of tuber development (*Dt*).

A trend very similar to that of N is observed with respect to K, where demand starts increasing in the emergence stage (*E*) and reaches peak absorption in the period from the *Ie* stage to the *It* stage, subsequently increasing in the *Dt* stage due to translocation to the tuber.

Analysis of yield and quality

The yield obtained in each treatment is shown in Figure 8; there is a maximum value of 43.04 t ha⁻¹ for T2, while for T1 and T3 the values were 37.33 and 37.67 t ha⁻¹ respectively, indicating a positive response to the addition of 20 percent of NPK to the BC.

The quality of the harvest for the three treatments is presented in Table 1; according to the Tukey test for comparison of means, there were significant differences between treatments (*p* > 05).

La calidad de la cosecha se presenta en la Cuadro 1 para los tres tratamientos, de acuerdo a la prueba Tukey de comparación de medias existió diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$).

Al igual que en rendimiento, en la variable calidad, el mejor tratamiento fue T2, obteniéndose diferencia significativa en las calidades C1 y C2, con 58 y 20.6 por ciento respectivamente (Figura 9).

Modelos de extracción nutrimental para variabilidad climática

En el Cuadro 2 se presentan las funciones matemáticas para las curvas de extracción NPK de cada tratamiento, donde la variable x representa los °DA. Se puede observar una R² mayor a 0.8, excepto en el de N del T1 que ue de 0.73, lo cual indica que estos modelos tienen un gran valor predictivo como herramienta para ajustar las demandas nutrimentales a las diferentes etapas fenológicas de la planta bajo condiciones variables de clima permitiendo realizar una mejor planeación de la fertilización.

Cuadro 1. Prueba de comparación de medias en calidad de tubérculo, variedad Fianna (t ha⁻¹).

Table 1. Mean comparison test for tuber quality, variety Fianna (t ha⁻¹).

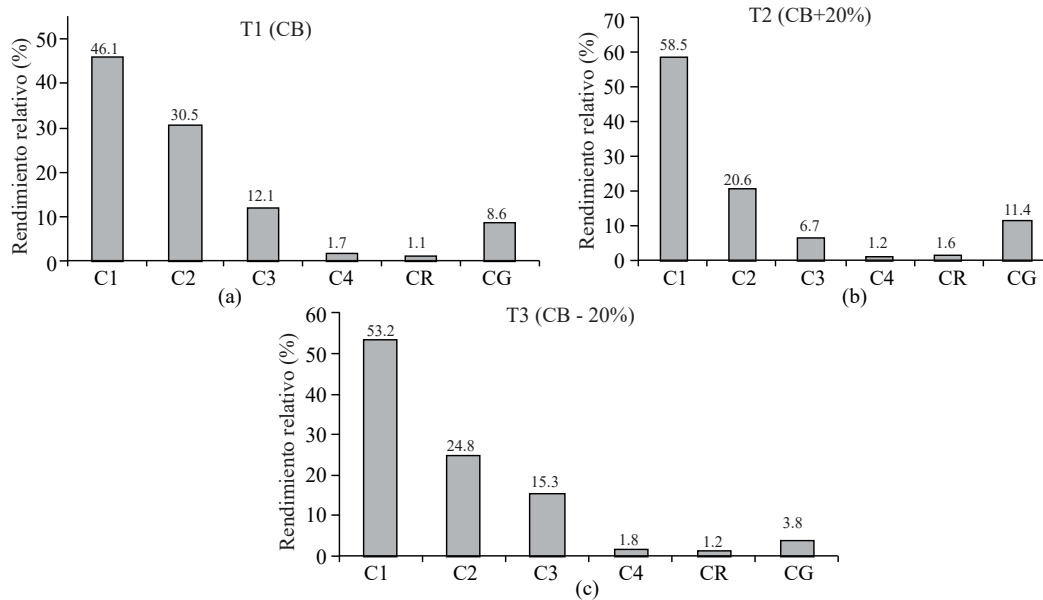
Tratamiento	C1	C2	C3	C4	CR	CG	TT
T1	17.2 b	11.4 a	4.5 a	3.1 a	3.1 a	3.2 a	37 a
T2	25.1 a	8.9 b	2.9 a	0.5 a	0.7 a	4.9 a	43 a
T3	20 b	9.3 ab	5.7 a	0.7 a	0.5 a	1.9 a	38 a

T1= tratamiento 1; T2= tratamiento 2; T3=tratamiento 3; C1= primera, C2= segunda, C3= tercera; C4= cuarta, CR= rezaga, CG= gigantes; TT= total de tubérculos. Nota: medias seguidas por la misma letra dentro de una columna no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

As for yield, the best treatment according to the quality variable was T2; a significant difference was obtained between the qualities C1 and C2, 58 and 20.6 percent, respectively (Figure 9).

Nutrient extraction models for climate variability

Table 2 shows the mathematical functions for the extraction curves of NPK for each treatment, where the variable x represents °DA. An R² higher than 0.8 can be observed,



C1= primera; C2= segunda; C3= tercera; C4= cuarta; CR= rezaga; CG= gigantes; TT=total de tubérculos.

Figura 9. Calidad de tubérculos para T1 (a), T2 (b) y T3 (c) y la prueba de medias.
Figure 9. Quality of tubers for T1 (a), T2 (b) and T3 (c) and means test.

Riegos aplicados y fenología

Los riegos aplicados fueron seis con un requerimiento de riego total (lámina neta total) de 36.3 cm y láminas requeridas en cada riego de 5.61 a 6.3 cm. La lámina

except for N in T1, which was 0.73, indicating that these models have a high predictive value as a tool to adjust the nutritional demands to the different phenological stages of the plant under variable climatic conditions, allowing a better planning of fertilization.

bruta total (lámina aplicada) fue de 57.6 cm con una eficiencia promedio de 65.2 por ciento. La lámina bruta del primer riego incluye la lámina aplicada en el riego de germinación al momento de la siembra (Cuadro 3).

Applied irrigation and phenology

Six irrigations were applied with a total irrigation requirement (net total film) of 36.3 cm and sheets of water of 5.61 to 6.3 cm required for each irrigation. The total

Cuadro 2. Funciones para autoajuste de la demanda NPK a la variabilidad climática del cultivo de papa (var. Fianna), en el Valle del Fuerte, Sinaloa, México.

Table 2. Functions for autoadjusting the demand of NPK of the potato crop (cv. Fianna) to climate variability in Valle del Fuerte, Sinaloa, Mexico.

Tratamientos	Nutrimiento	Funciones	R ²
Tratamiento 1 (Base)	N	$N = 6E-08x^3 - 0.0005x^2 + 1.1644x - 520.76$	R ² = 0.7345
	P	$P = 5E-09x^3 - 4E-05x^2 + 0.0984x - 44.292$	R ² = 0.8091
	K	$K = 6E-07x^3 - 0.0023x^2 + 3.204x - 1247.9$	R ² = 0.8041
Tratamiento 2 (+20%)	N	$N = -6E-07x^3 + 0.0015x^2 - 0.9302x + 222.72$	R ² = 0.9728
	P	$P = -8E-08x^3 + 0.0002x^2 - 0.1925x + 56.182$	R ² = 0.9705
	K	$K = 5E-07x^3 - 0.0023x^2 + 3.4184x - 1326.2$	R ² = 0.8308
Tratamiento 3 (-20%)	N	$N = -7E-08x^3 - 0.0002x^2 + 0.8303x - 399.21$	R ² = 0.9288
	P	$P = 9E-08x^3 - 0.0003x^2 + 0.4564x - 168.08$	R ² = 0.9436
	K	$K = -6E-07x^3 + 0.0015x^2 - 0.7965x + 81.236$	R ² = 0.995

x = variable que representa los grados día acumulados (°DA) a partir de la siembra

Cuadro 3. Riegos aplicados y fenología para el cultivo de papa variedad Fianna para el Valle del Fuerte, Sinaloa, México.

Table 3. Irrigation applied and phenology of potato crop, Fianna variety, in Valle del Fuerte, Sinaloa, Mexico.

Número de riego	Días al riego	Intervalo (días)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	°DA	Etapas
*1	0-36	0-36	5.6	13.7	659	Siembra a emergencia (E)
2	55	19	5.9	9.5	857	Inicio de estolonización (Ie)
3	69	14	6.1	8.6	1125	Elongación de estolones (Ee)
4	82	13	6.1	8.6	1293	Inicio de tuberización (diámetro > 1 cm) (It)
5	97	15	6.3	8.6	1543	Desarrollo de tubérculos (diámetro > 5 cm) (Dt)
6	110	13	6.3	8.6	1674	Tubérculos desarrollados (diámetro > 5 cm) (Td)
Total	110	13-36	36.3	57.6	1674	

*Incluye la lámina aplicada para germinación al momento de la siembra.

Conclusiones

La extracción total de NPK fue similar para los tres tratamientos. Sin embargo, la tasa de absorción fue diferente para el T2 encontrándose mayor absorción en etapas iniciales del cultivo como inicio de estolonización y elongación de estolones. La generación de las curvas de absorción nutrimental para el cultivo de papa variedad Fianna para el Valle del Fuerte ajustaron los datos experimentales de modelos no lineales en función de grados día acumulados °DA obteniendo buen ajuste con coeficiente de determinación

gross film (applied film of water) was 57.6 cm with an average efficiency of 65.2 percent. The gross film of the first irrigation includes the film applied for germination irrigation at planting time (Table 3).

Conclusions

Total extraction of NPK was similar for all three treatments. However, the absorption rate was different for T2, with greater absorption in the early stages of the crop such as the start of stolonization start and the elongation of stolons.

(R^2) mayores a 0.8, el incremento de rendimiento del T2 (43 t ha⁻¹) con respecto al T1 (37 t ha⁻¹) y T3 (37.5 t ha⁻¹) fue de 14 por ciento y con un incremento en tubérculos de primera clase. Las funciones obtenidas permiten predecir la demanda total por etapa en función de grados día crecimiento, por consecuencia dichos modelos pueden ser aplicados para programar la aplicación de fertilizantes NPK en el cultivo de papa bajo condiciones de variabilidad climática.

Literatura citada

- Alonso, A. F. 2002. El cultivo de la patata. 2^{da} (Ed.). Editorial Mundi-Prensa. Barcelona. 494 p.
- Arazi, Y.; Wolf, S. and Marani, A. 1993. A prediction of developmental stages in potato plants based on the accumulation of heat units. *Agric. Systems* 43:35-50
- Badillo, T. V.; Castellanos, J.; Sánchez, G. P.; Galves, S. A.; Álvarez, S. E.; González, E. D. y Enríquez, S.A. 2001. Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa var. Alpha. *Agrociencia*. 35:615-623.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307p.
- Brown, J. C. 1977. Efficient and inefficient use of phosphorus by sorghum. *Soil Sci. Society Am. J.* 41(4):747-750.
- Cabalceta, G.; Saldias, M. y Alvarado, A. 2006. Absorción de nutrimentos en el cultivar de papa MNF-80. *Agronomía Costarricense*. 29(3):107-123.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2012. Statistical Yearbook 2012 World Food and Agriculture. Food Agricultural Organization of The United Nations. 366 p.
- Horneck, D. and Rosen, C. 2008. Measuring nutrients accumulation rates of potatoes too for better management. 92:1- 4.
- Ierna, A.; Pandino, G.; Lombardo, S.; Mauromicale, G. 2011. Tuber yield, water and fertilizer productivity in early potato as affected by a combination of irrigation and fertilization. *Agricultural Water Management* 101:35-41.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2005. La fertilización en los cultivos de maíz y trigo en México. Centro de Investigación Regional del Centro y Campo Experimental Bajío. Folleto técnico núm. 1. Celaya, Guanajuato, México. 43- 32 pp.
- Kadaja, J. 2004. Influence of fertilization on potato growth functions. *Agron Res.* 2:49-55.
- Kunkel, R. and Holstad, N. 1972. Potato chip color, specific gravity and fertilization of potato with N-P-K. *Am J. Potato Res* 49:43-62.
- Morales, H. J. L.; Hernández, M. J.; Rebollar, R. S. y Guzmán, S. E. 2011. Costos de producción y competitividad del cultivo de la papa en el estado de México. *Agronomía Mesoamericana*. 22:339-349.
- For the generation of nutrient absorption curves for the potato crop (Fianna variety) in Valle del Fuerte, data from nonlinear models was fitted in terms of accumulated degree-days °DA, obtaining a good fit with coefficients of determination (R^2) higher than 0.8; the increase in yield with T2 (43 t ha⁻¹) compared to T1 (37 t ha⁻¹) and T3 (37.5 t ha⁻¹) was of 14%, with an increase in first quality tubers. The functions obtained allow to predict the total demand function per stage in terms of growing degree days; consequently, such models can be applied to schedule the application of NPK fertilizers to potato crops under conditions of climate variability.

End of the English version



- Ozturk, E.; Kavurmaci, Z.; Kara, K. and Polat, T. 2010. The effects of different nitrogen and phosphorous rates on some quality traits of potato. *Potato Res.* 53:309-312.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes E. I.; Slack, D. C. and Carrillo, M. 2004. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree day concept: application to a potato crop. *Irrigation and drainage*. 53:251-261.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E. y Unland, W. H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. *Agrociencia*. 40:13-25.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E.; Ñíguez, C. M. y Montero, M. M. J. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*. 45:1-11.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2010. Disponible en www.siap.gob.mx.
- Sifuentes, I. E.; Ojeda, B. W.; Quintana, Q. J. G. y Macías, C. J. 2010. Jornada sobre impacto y adaptación al cambio climático de la agricultura del estado de Sinaloa. Memoria técnica. Los Mochis Sinaloa México. 63 p.
- Sifuentes, I. E.; Macías, C. J.; Quintana, Q. J. G. y González, C. V. M. 2012. IrriModel 1.0: programación integral y gestión del riego a través de internet. Folleto técnico: INIFAP-CIRNO-CEVAF: 52 p.
- Talburt, W. and Smith, O. 1967. Potato processing. 4th (Ed.). AVI Publishing Company, California. 588.
- Tisdale, S.; Havlin, J.; Beaton, J.; Nelson, W. 2005. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 7th ed. Upper Saddle River, New Jersey.
- Villalobos, E. 2001. Fisiología de la producción de los productos tropicales. EUCR. San José, Costa Rica. 228 p.
- White, P. J.; Whcatley, R. E; Hammond, J. P and Zhang, K. 2007. Minerals, Soils and roots. In: Vreugdenhil, D. (ed.). Potato biology and biotechnology, advances and perspectives. Elsevier Amtersdan. 739-752 p.