



**Revista Internacional de Investigación e Innovación
Tecnológica**

Página principal: www.riit.com.mx

Curvas de demanda nutrimental del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la variedad fianna.

Mendoza-Pérez C¹, Sifuentes-Ibarra E², Ramírez-Ayala C¹

¹Colegio de Postgraduados, carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230, ²INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Valle del Fuerte, Sinaloa. Km. 1609, Carretera México - Nogales, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa.

Autor para correspondencia email: candidompl@hotmail.com

Abstract

Sinaloa is the top producer of potato (*Solanum tuberosum* L.) nationally established around 14,000 ha annually (22% of the national area), however, the high production costs force us to seek new alternatives that optimize their cultural management and agronomic. High climate variability and excessive use of inputs such as water and fertilizers, have led to a trend of low profitability and environmental degradation. To improve the efficiency of nutrition a prediction model of the nutrient demand curves in potato-based extraction and concept degree days ($^{\circ}\text{D}$) was generated. The work was developed in the Experimental Valle del Fuerte, during the season autumn-winter (OI) from 2009 to 2010 where an experiment with four treatments (T) with the variety Fianna was established. In consisted T1 according to fertilize base curve (BC) obtained in 2008-09; ie 254, 35, 350 kg ha⁻¹ of NPK respectively, T2 was fertilized according to the CB plus a 20% increase (294, 36, 420 kg ha⁻¹ of NPK) and T3 according to the same CB with a 20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹ of NPK) and T4 he was not fertilized. At the end of nonlinear regression equations they were generated with their respective R², where the variable "x" represents the $^{\circ}\text{DA}$ (accumulated degree days). The yields obtained were: 37.33, 43.04, 37.67.5 and 34.75 t ha⁻¹ for the T1, T2, T3 and T4 respectively. These functions prediction have great predictive value of the nutrient demand, they are easy to program software for producers and can be adjusted with low water availability and climate variability.

Keywords: nutrient demand, growing degree days, climate variability.

Resumen

Sinaloa es el principal productor de papa (*Solanum tuberosum* L.) a nivel nacional estableciendo alrededor de 14,000 ha anualmente (22% de la superficie nacional), sin embargo, los altos costos de producción obligan a buscar nuevas alternativas que optimicen su manejo cultural y agronómico. La alta variabilidad climática y el uso excesivo de insumos como agua y fertilizantes, han ocasionado una tendencia de baja rentabilidad y degradación del ambiente. Para mejorar la eficiencia de la nutrición se generó un modelo de predicción de la demanda nutrimental en papa basado en curvas de extracción y el concepto grados-día ($^{\circ}\text{D}$). El trabajo se desarrolló en el Campo Experimental Valle del Fuerte, durante el ciclo agrícola otoño-invierno (O-I) 2009-2010 donde se estableció un experimento con cuatro tratamientos (T) con la variedad Fianna. En el T1 consistió en fertilizar de acuerdo a la curva base (CB) obtenidas en ciclo 2008-09; es decir 254, 35, 350 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente, el T2 se fertilizó de acuerdo a la CB mas un incremento del 20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹ de NPK) y el T3 de acuerdo a las misma CB con una reducción del 20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹ de NPK) y en el T4 no se fertilizó. Al final se generaron ecuaciones de regresión no lineales con su respectivo R², donde la variable "x" representó los $^{\circ}\text{DA}$ (grados día acumulado). Los rendimientos obtenidos fueron: 37.33, 43.04, 37.67.5 y 34.75 t ha⁻¹, para el T1, T2, T3 y T4 respectivamente. Estas funciones de predicción tienen gran valor predictivo de la demanda nutrimental, son fáciles de programar en software para productores y se pueden ajustar con baja disponibilidad de agua y variabilidad climática.

Palabras claves: Demanda nutrimental, grados día de crecimiento, variabilidad climática.

1. 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).

El cultivo de papa genera altos costos de producción, lo cual hace necesario buscar nuevas alternativas y metodologías que optimicen el manejo cultural y agronómico para hacerlo más rentable sin deteriorar el medio ambiente. El estado de Sinaloa es el principal productor de papa a nivel nacional llegando a establecerse 14,000ha anualmente que representa el 22% de la superficie nacional (SIAP, 2010).

Este cultivo 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 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 del 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.

La alta variabilidad climática y la cultura del uso excesivo de insumos como agua y fertilizantes, han ocasionado baja rentabilidad y degradación de los recursos naturales. Además de lo anterior, no se produce suficientes semilla certificada en el estado que se adapte a las condiciones de la región, la mayoría de los genotipos son importados de otros países como Estados Unidos y Canadá,

generando la necesidad de estudiarlos en la zona de interés, aunque los productores aplican su criterio y experiencia dejando a un lado la parte científica (Sifuentes *et al.*, 2009). En caso de la nutrición del cultivo se usa literatura foránea sobre interpretación de análisis foliares, que presenta un número reducido de valores de referencia y si el muestreo no corresponde con la etapa fenológica del cultivo, que indica dicha literatura, la interpretación no es adecuada y el análisis foliar pierde valor como herramienta de diagnóstico (Jones *et al.*, 1991). Por lo tanto, es importante contar con estándares de referencia para todo el ciclo fenológico del cultivo y poder interpretar correctamente los análisis foliares (Badillo *et al.*, 2001).

La determinación de las curvas de demanda nutrimental de la papa depende de factores internos, como el potencial de la planta o la edad, así como de factores externos relacionados con el ambiente donde se desarrolla el vegetal, tales como la temperatura, la humedad, el suelo, etc. De lo anterior se deduce que cada curva es específica para cada variedad y depende de las condiciones en las que se esté desarrollando, (Sancho, 1999; y Bertsch, 2003).

Antes de generar una curva de absorción se debe realizar la 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 de la emergencia inicia el crecimiento de los tubérculos y continua 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).

Esto resulta de utilidad ya que quedarían establecidas las etapas fenológicas más importantes del mismo y la participación de cada tejido en ellas. Para medir la edad

fisiológica se utiliza a menudo la acumulación de grados-día ($^{\circ}\text{D}$), relacionado con la aparición de cada fase de desarrollo, que difieren para cada variedad. Los ($^{\circ}\text{D}$) son las unidades que miden el calor que la planta recibe cada día y que se acumula a lo largo de su desarrollo (Ojeda *et al.*, 2006).

Para mejorar la eficiencia en el manejo nutricional del cultivo de papa en el Estado de Sinaloa, en este trabajo se generaron funciones de predicción de la demanda nutrimental del cultivo de papa utilizando curvas de extracción y el concepto grados-día de crecimiento ($^{\circ}\text{DC}$).

2. Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló durante el ciclo agrícola (O-I) 2009-2010 en el Campo Experimental del Valle del Fuerte (CEVAF) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en la zona árida del norte de Sinaloa, México, con las siguientes coordenadas geográficas de $25^{\circ} 48' 53''$ latitud norte, $109^{\circ} 1' 32''$ longitud oeste y una altitud de 20 msnm. El experimento se estableció en un suelo típico de la región, textura arcillosa y una humedad volumétrica aprovechable de $0.155 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Este distrito de riego es uno de los más grandes en superficie en México, donde el maíz ocupa el 57%, de la superficie anual cosechada (CONAGUA, 2008). El cual se encuentra localizado en la parte central del Distrito de riego 075 Río fuerte, colindando con los Distritos de 063 Guasave y 076 Valle del Carrizo.

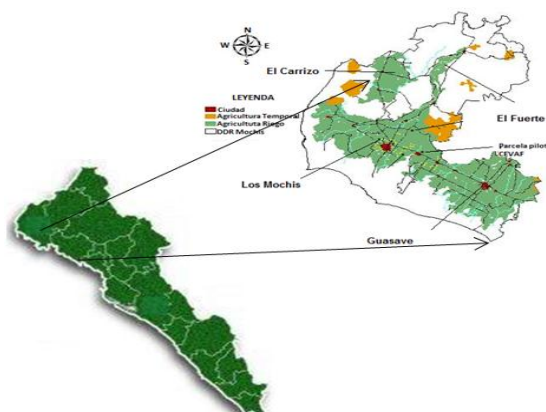


Figura 1. Descripción de la zona de estudio en Sinaloa, México.

Diseño experimental y tratamientos

Durante el ciclo (O-I) 2008-09 (Flores *et al.*, 2010) generó las primeras curvas base (CB) de NPK para la variedad Alpha, 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 replicas, 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 la demanda diaria de cada nutriente (Kg ha día⁻¹), Suministro se refiere al aporte nutrimental del suelo en (Kg ha⁻¹), estimado a partir del análisis del mismo y la Eficiencia al grado de aprovechamiento del nutriente que depende del sistema de riego, suelo, fuente de fertilizantes, entre otras y su valor oscila de 0 a 100%. La demanda que se tomó como base para la evaluación fue la reportada por Mendoza (1998) y Badillo (2001).

Descripción de los tratamientos

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 del 20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹ de NPK) y el T3 de acuerdo a la misma CB con una reducción del 20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹ de NPK). La fecha de siembra fue el 11 de noviembre del 2009 alcanzando su madurez comercial el 23 de febrero del 2010 fecha en

que se defolió; la cosecha se llevó a cabo el 13 de marzo del 2010.

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

Para calcular los °DA se utilizaron los datos de una estación automatizada ubicada a 50 m de la parcela experimental, de la cual se obtuvieron los valores de temperatura a intervalos de 15 minutos usando las siguientes ecuaciones (Ojeda *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_{c-min} y T_{c-max} son las temperaturas críticas mínima y máxima del cultivo, que en el caso de la papa son 2 y 29 °C respectivamente.

Al final del ciclo se cosecharon únicamente los cuatro surcos centrales de cada unidad experimental (16 m²) para evaluar el rendimiento de los tubérculos.

3. Resultados y discusión

Curvas de extracción nutrimental de la variedad Fianna

En el ciclo otoño-invierno 2009-2010 para la variedad Fianna se generaron las curvas de extracción nutrimental para los tres tratamientos. En el T1 la extracción total del cultivo fue de 250, 30 y 350 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente. También se observó un incremento fuerte de N y K a los 1100 °DA que corresponde a la etapa de desarrollo de tuberización (Figura 2). Los resultados

obtenidas por Badillo (2001) son similares a los obtenidas en esta curva, específicamente en el patrón de absorción y requerimientos nutrimentales para este cultivo.

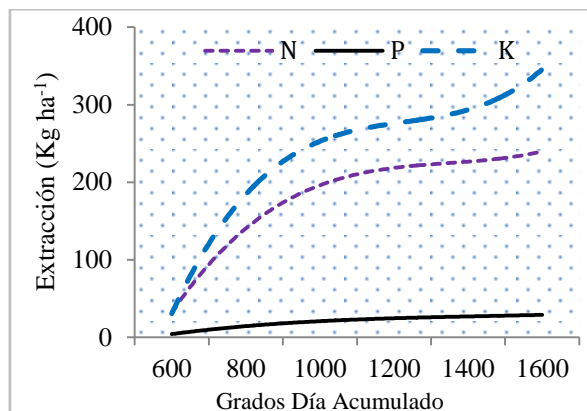


Figura 2. Patrón de absorción de NPK acumulada en el tratamiento 1.

El T2 tuvo la máxima demanda de NPK 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 (Figura 3).

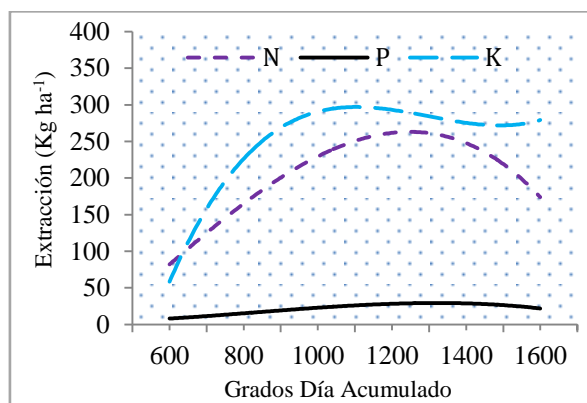


Figura 3. Patrón de absorción de NPK acumulada en el tratamiento 2.

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

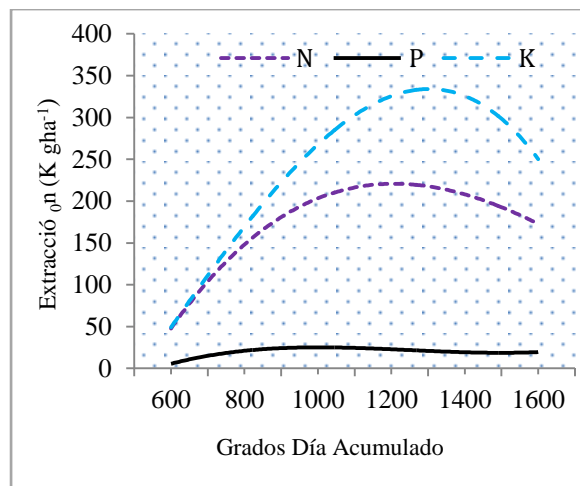


Figura 4. Patrón de absorción de NPK acumulada en el tratamiento 3.

En los tres tratamientos se observó que la tasa de absorción de N estuvo en función del suministro de este nutrimento 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 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 Brown, (1977).

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.

Calendario de riego aplicado

Se aplicaron 6 riegos incluyendo riego de germinación, al final se usó una lámina bruta de 57.74 cm con una eficiencia de 65% (Tabla 1).

Tabla 1. Calendario de riego aplicado en el cultivo de la papa variedad Fianna.

N° de riegos	Días al riego	Ln (cm)	Lb (cm)	Ea (%)
1	36	5.61	13.67	41.04
2	55	5.93	9.50	62.41
3	69	6.10	8.64	70.57
4	82	6.13	8.63	70.97
5	97	6.32	8.64	73.12
6	110	6.30	8.63	72.94
Total		36.39	57.74	65.17

Ln= lamina neta, Lb= lamina bruta, Ea= eficiencia de aplicación.

Curva de evapotranspiración de referencia (ET₀)

En la curva ET₀ (Figura 5) se observa que en las etapas tempranas la ET₀ fue baja incrementándose sustancialmente desde los 900 a 1800 °DA que corresponde a las etapas de mayor demanda hídrica necesaria para la absorción de nutrientes por parte de la planta y translocación de los mismos en el tubérculo.

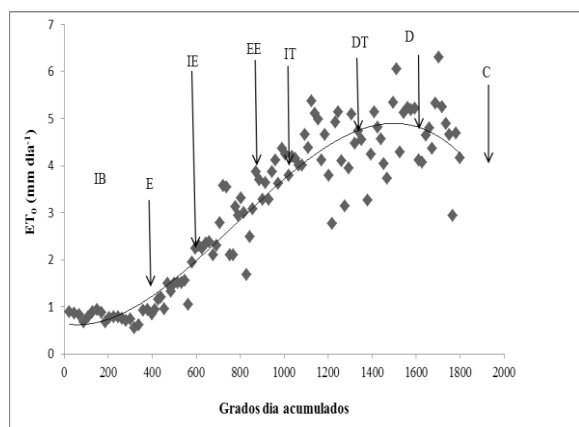


Figura 5. Evapotranspiración de referencia del cultivo de papa. B= brotación; E= emergencia; IE= inicio de estolonización; E= elongación de estolones; IT= inicio de tuberización; DT= desarrollo de tubérculos; TD= tubérculos desarrollados; D= desvare; C=cosecha

Funciones de predicción nutrimental de cultivo de papa

En la Tabla 2 se presentan las funciones matemáticas para las curvas de extracción NPK de cada tratamiento, donde la variable “x” representa los °DA.

Tabla 2. Funciones de predicción de demanda nutrimental de NPK de cultivo de papa (var. Fianna) en el norte de Sinaloa, México.

TT	Ecuaciones	R ²	Nutriente
T1 (CB)	$y = 6E-08x^3 - 0.0005x^2 + 1.1644x - 520.76$	R ² = 0.73	N
	$y = 5E-09x^3 - 4E-05x^2 + 0.0984x - 44.29$	R ² = 0.80	P
T2 (+20%)	$y = 6E-07x^3 - 0.0023x^2 + 3.204x - 1247.90$	R ² = 0.80	K
	$y = -6E-07x^3 + 0.0015x^2 - 0.9302x + 222.7$	R ² = 0.97	N
T2 (+20%)	$y = -8E-08x^3 + 0.0002x^2 - 0.1925x + 56.18$	R ² = 0.97	P
	$y = 5E-07x^3 - 0.0023x^2 + 3.4184x - 1326.2$	R ² = 0.83	K
T3 (-20%)	$y = -7E-08x^3 - 0.0002x^2 + 0.8303x - 399.21$	R ² = 0.92	N
	$y = 9E-08x^3 - 0.0003x^2 + 0.4564x - 168.08$	R ² = 0.94	P
T3 (-20%)	$y = -6E-07x^3 + 0.0015x^2 - 0.7965x + 81.23$	R ² = 0.99	K

En todos los modelos se obtuvo una R² mayor al 0.8, excepto en el N del T1 que fue de 0.73, lo cual indica que estos modelos tienen un gran valor predictivo como herramienta para ajustar las demandas nutrimentales en las diferentes etapas fenológicas de la planta bajo condiciones variables de clima permitiendo realizar una mejor planeación de la fertilización.

Rendimiento

El rendimiento obtenido en cada tratamiento se presenta en la (Figura 6), se observa un valor máximo de 43.04 t ha⁻¹ para el T2, mientras que para el T1 y T3 fueron 37.33 y 37.67 t ha⁻¹ respectivamente, lo cual indica una respuesta positiva a la adición del 20% de NPK a la CB.

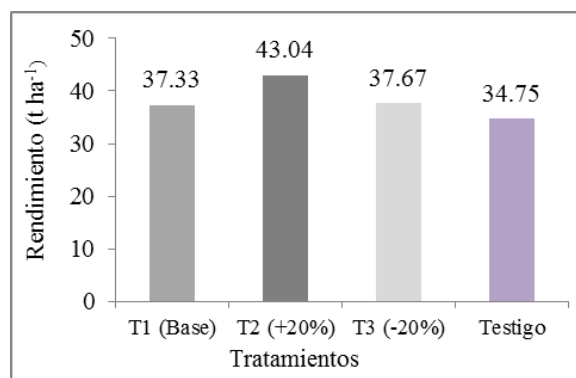


Figura 6. Rendimiento obtenido de cultivo de papa tratado con diferentes dosis de NPK.

4. Conclusiones

La extracción nutrimental total fue similar en para los tratamientos. Sin embargo, la tasa de absorción fue diferente para el T2 encontrándose mayor absorción en las etapas iniciales del cultivo como inicio de estolonización y elongación de estolones. La generalización de las curvas de absorción nutrimental para el cultivo de papa variedad Fianna en el norte de Sinaloa ajustaron los datos experimentales de modelos no lineales en función de grados día acumulados ($^{\circ}$ DA) obteniendo un buen ajuste de determinación (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.

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 baja disponibilidad de agua y variabilidad climática.

5. Referencias

- Alonso, A. F. (2002). El cultivo de la patata. 2da (Ed.). Editorial Mundi-Prensa. Barcelona. 494 p.
- Badillo, T. V., Castellanos, J., Sánchez, G. P., Galvis, S. A., Álvarez, S. E., Uvalle, B. J. X., González, E. D. y Enríquez, R. 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. 307 p.
- Brown, J. C. (1977). "Efficient and inefficient use of phosphorus by sorghum". *Soil Science Society America*. J. 41(4):747-750.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua (2008). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año agrícola 2007/08. Ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. pp. 297.
- 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.
- Flores, H.G., Sifuentes, E.I., Ojeda, W.B., Gómez, H.A., Macías., J.C y Flores, H.M. (2010). Demanda nutrimental del cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) y su importancia en el manejo de la fertilización. Memoria del Congreso Nacional de papa Jalisco México. 83 pp.
- Horneck, D. and Rosen, C. (2008). "Measuring nutrients accumulation rates of potatoes too for better management". 92:1-4.
- 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.
- Jones Jr. J., Wolf, B. and Mills, H. A. (1991). Plant Analysis Handbook. Micro Macro Pub. Athens. 39-187.
- Mendoza, R. J. L. (1998). Nutrición del cultivo de papa en el norte de Sinaloa. Folleto INIFAP CIRNO- CEVAF 13: 18 p.
- Ojeda, B.W., Sifuentes, I.E. y Unland, W.H. (2006). "Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa". *Agrociencias* 40: 13-25. Montecillos, Edo. México.
- Sancho H. (1999). Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Informaciones Agronómicas. 36:11-13 pp.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2010).

Sifuentes I. E., Macías C. J., Apodaca S. M. A. y Cortez M. E. (2009). Predicción de la fenología de papa (principios y aplicaciones prácticas). INIFAP CIRNO. Campo Experimental Valle del Fuerte. Folleto Técnico No. 32. Los Mochis, Sinaloa, México. 54 pp.

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.