

# FENOLOGÍA Y TIEMPO EN EL MANEJO DEL RIEGO Y FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE PAPA

PHENOLOGY AND TIME ON POTATO CROP IRRIGATION AND FERTILIZATION

Ernesto Sifuentes Ibarra<sup>1\*</sup>, Jesús del Rosario Ruelas Islas<sup>2</sup>, Jaime Macías Cervantes<sup>1</sup>, Ismael Talamantes Castorena<sup>2</sup>, Cesar A. Palacios Mondaca<sup>2</sup> y Blanca E. Valenzuela López<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Campo Experimental Valle del Fuerte- CIRNO- INIFAP. Carretera México- Nogales, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, km 1609.

<sup>2</sup> UAS- Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte. Calle 16 y avenida Japaraqui, Juan José Ríos, C. P. 81110. Ahome, Sinaloa.

## RESUMEN

La agricultura es una de las actividades productivas del hombre que depende fuertemente del comportamiento del clima. Asociado a ello, están la presencia de plagas y enfermedades, la eficiencia nutrimental y la demanda de agua. Una variable agronómica que puede utilizarse como herramienta para hacer más preciso el manejo de los cultivos es la fenología, la cual describe la aparición de etapas y fases de desarrollo de los cultivos en función del tiempo, siempre y cuando no exista un factor externo que puedan alterarla como estrés hídrico o deficiencia nutrimental. En el presente documento se presentan los conceptos básicos de la predicción de la fenología en papa, así como resultados de caracterización fenológica en función de grados día de seis variedades de papa sembradas en Sinaloa, relacionándola con aplicaciones prácticas en el manejo del cultivo y la toma de decisiones.

**Palabras clave:** fenología, variedades de papa, días grado crecimiento, etapas de desarrollo.

## ABSTRACT

Agriculture is one of the most productive activities of mankind that strongly depends on weather variations. The presence of pests, diseases, nutrient efficiency, and water demand are associated to those variations. One agronomic variable that can be used as a tool to make more precise the management of crops is phenology, which describes the appearance of developmental stages as a function of time, as long as there's no evidence of external factors that can alter the plant such as water or nutrient stress. The current study shows the basic background information regarding potato crop phenology. Also, the results of phenological characterization as a function of time (growing degree days) for six potatoes cultivars grown in Sinaloa as well as practical applications in managing the crop and taking decisions.

**Key words:** phenology, potato cultivars, growing degree days, developmental stages.

## INTRODUCCIÓN

En el año 2011 los principales estados productores de papa fueron Sinaloa, Chihuahua, Sonora y Estado de

México, los cuales tuvieron una aportación del 60.92% de la producción nacional (SIAP-SAGARPA, 2011). En el norte de Sinaloa la toma de decisiones relacionada al manejo agronómico del cultivo se realiza con un alto grado de incertidumbre, debido al limitado conocimiento del estado actual de la naturaleza así como de los sistemas biológicos y físicos asociados al cultivo; además de procesos aleatorios relacionados con los sistemas biológicos. Para este caso, los agricultores minimizan el riesgo simplificando sus sistemas productivos y aplicando insumos en forma excesiva. Desde el punto de vista económico, esta estrategia cada vez es menos funcional en las zonas áridas y semiáridas de nuestro país debido a problemas de alta competencia por agua, variación en el clima, incremento en los precios de fertilizantes, insecticidas y otros insumos, además de problemas en la comercialización de los productos (Sifuentes *et al.*, 2013). El uso de tecnologías modernas de información climática como las redes de estaciones meteorológicas automatizadas, el internet y los sistemas computacionales han demostrado ser una herramienta muy útil que proporciona información más detallada sobre los cultivos evitando el manejo de los mismos de forma generalizada. En este sentido, la predicción de la fenología de cultivos con la incorporación del concepto de días grado crecimiento, puede servir para describir parámetros asociados a la calendarización del riego (Ojeda *et al.*, 2006) y posible presencia de plagas (Cortez *et al.*, 2005) de tal manera que hay más tiempo para diseñar estrategias de control en forma anticipada, relacionándolo estrechamente al manejo agronómico del mismo.

## PRINCIPIOS BÁSICOS

### Importancia de la fenología

El término fenología es derivado de las palabras griegas *phaino* que significa aparecer y *logos* que significa tratado o estudio. De tal manera, que puede definirse como el estudio del tiempo en que ocurren eventos biológicos, las causas de su tiempo con respecto a fuerzas bióticas y abióticas y la interrelación entre fases ya sea de la misma especie o diferente (Lieth, 1974). Dentro de ciertas etapas de desarrollo se presentan periodos críticos, que son intervalos breves durante los cuales la planta presenta la máxima sensibilidad

\*Autor para correspondencia: Ernesto Sifuentes Ibarra  
Correo electrónico: sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx

Recibido: 29 de enero de 2014

Aceptado: 13 de mayo de 2015

a determinados elementos, de manera que las oscilaciones en los valores de las variables meteorológicas se reflejarán en el rendimiento del cultivo. Es muy importante tener presente que para que los valores de los elementos afecten positivamente a los rendimientos, deberán encontrarse dentro de los umbrales óptimos para cada cultivo, fuera de este, los efectos serán negativos como sucede con la temperatura (Torres, 1995). El desarrollo de la planta de papa ha sido estudiado por muchos investigadores, sin embargo, para fines prácticos, es importante que tanto técnicos, académicos y productores uniformicen criterios (Jefferies y Lawson, 1991). En esta sección se presentan tres formas de describir las etapas de desarrollo de la papa, que sirvieron de base para caracterizar las variedades cultivadas en Sinaloa, con fines de predicción fenológica. Según los autores, el desarrollo de la planta de papa puede dividirse en cuatro principales etapas: (Etapas vegetativa, Tuberización, Desarrollo de tubérculos y Maduración). Otra metodología es la propuesta por Jefferies y Lawson (1991) quienes desarrollaron una guía la cual se divide en siete estados principales de desarrollo: Germinación de semilla y emergencia, dormancia o inactividad del tubérculo, brotación del tubérculo, emergencia y desarrollo de brotes, floración, desarrollo de tubérculos y madurez.

### Tiempo fisiológico

La edad fisiológica de un tubérculo es producto de la edad cronológica y de los antecedentes ambientales de éste. Para medir la edad fisiológica se utiliza a menudo la acumulación de grados día crecimiento ( $^{\circ}D$ ) relacionada con la aparición de cada fase de desarrollo, las cuales difieren para cada variedad (Jefferies y Lawson, 1991). Los grados día crecimiento son una medida indirecta del crecimiento y desarrollo de plantas e insectos, y representan la integración de la temperatura ambiental ( $T_a$ ) entre dos temperaturas limitantes, las cuales definen el intervalo en el cual un organismo se encuentra activo. Fuera de este intervalo el organismo no presenta un desarrollo apreciable o puede morir (Ojeda *et al.*, 2006). La estimación diaria de la variable grado día requiere conocer la temperatura media ambiental diaria ( $T_a$ ) de acuerdo con las siguientes ecuaciones (Ojeda *et al.*, 2004).

$$^{\circ}D = T_a - T_{c-min} \text{ si } T_a < T_{c-max}$$

$$^{\circ}D = T_{c-max} - T_{c-min} \text{ si } T_a \geq T_{c-max}$$

$$^{\circ}D = 0, \text{ si } T_a \leq T_{c-min}$$

Donde  $T_{c-min}$  y  $T_{c-max}$  son las temperaturas mínimas y máximas del aire, dentro de la cual la planta se desarrolla. La temperatura puede expresarse en grados Centígrados o grados Fahrenheit y se tienen valores para  $T_{c-min}$  y  $T_{c-max}$  para varios cultivos agrícolas (Fox *et al.*, 1992). La temperatura media diaria es el promedio aritmético de los registros de la temperatura ambiental en un día, siendo el caso más simple el promedio aritmético de las temperaturas máximas y mínimas del día. Aunque la papa puede sobrevivir a temperaturas adversas en el rango de  $0^{\circ}$  a  $40^{\circ}C$ , las temperaturas de desarrollo usadas para estimar los grados-día son  $2^{\circ}C$  y  $29^{\circ}C$ , como temperaturas mínimas y máximas, respectivamente (Sifuentes, 2013). Temperaturas mayores a  $29^{\circ}C$  producen reducciones significativas en el rendimiento.

### PREDICCIÓN DE LA FENOLOGÍA DE PAPA

La acumulación diaria de los grados día por estado fenológico es una variable de gran valor predictivo durante el manejo del cultivo, ya que en la mayoría de los casos la aparición de cada fase se presenta cuando se acumulan los valores determinados de  $^{\circ}D$  en cierta región, sin embargo, bajo condiciones de estrés prolongado esta regla se altera, acelerando la aparición de las etapas. Decir que un estado se presenta a "X" días después de la siembra es menos preciso que manejar  $^{\circ}D$  en un cultivo desarrollado sin periodos de estrés significativos. Es decir, los estados de desarrollo casi siempre se presentan cuando se acumula el mismo valor de  $^{\circ}D$  independientemente de la fecha de siembra y del año, mientras que los días calendario muestran una amplia variación. Por ejemplo, la maduración comercial de las variedades de papa es el indicador del desvare y varía en valores acumulados de 1642 a 1800  $^{\circ}D$  de acuerdo a la variedad, manejo y precio de mercado. La madurez fisiológica fluctúa alrededor de los 2100  $^{\circ}DA$  y la cosecha alrededor de los 2200  $^{\circ}DA$  (Sifuentes *et al.*, 2006, Sifuentes *et al.*, 2013). En la tabla 1 se presentan los requerimientos de  $^{\circ}D$  para los diferentes estados

**Tabla 1.** Fenología de la papa variedad Alpha en el Valle del Fuerte, Sinaloa, en función de tiempo térmico. 2008 (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

**Table 1.** Phenology of Potato crop variety Alpha and thermic time at El Fuerte Valley, Sinaloa. 2008 (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

Etapa	Clave	$^{\circ}D$ (etapa)	$^{\circ}D$ Acumulados	Días
Brotación	B	319,15	344,25	13
Emergencia	E	185,26	529,51	21
Inicio de estolonización	Ie	374,46	903,97	38
Elongación de estolones	Ee	128,51	1032,48	43
Inicio de tuberización (diám: > 1 cm)	It	155,94	1188,42	51
Desarrollo de tubérculos (diám: 3 – 5 cm)	Dt	263,81	1452,23	66
Tubérculos desarrollados (diám: > 5 cm)	Td	204,62	1656,85	79
Desvare (cáscara completa), diám: 7 cm	D	179,08	1835,93	92
Cosecha	C	422,57	2258,50	120

de desarrollo del cultivo de papa variedad Alpha en el Valle del Fuerte, Sinaloa con fines de predicción fenológica. Para su estimación se usaron temperaturas medias diarias calculadas con una base de datos de 11 años (1997-2008), provenientes de las redes de estaciones meteorológicas automatizadas del distrito de riego 075 y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Debido a la diferencia en el patrón de crecimiento de otras variedades comerciales, durante el ciclo agrícola 2007-2008 en el Valle del Fuerte se establecieron seis lotes de observación para determinar la fenología de seis variedades comerciales, encontrándose los valores que se muestran en la tabla 2. Puede observarse una gran similitud de valores para la variedad Alpha comparados con los valores promedio de la tabla 3; el inicio de la estolonización observada (ciclo 2007-2008) fue a los 947.3 °DA, mientras que la promedio fue de 903.97 (Tabla 1), es decir se tuvo una diferencia de 43.3 °D, que en días representan tan solo de 2 a 3. Cabe mencionar que el desvare y la cosecha se realizaron al mismo tiempo en las seis variedades evaluadas, debido a esto se tienen valores iguales en dichas etapas. Lo anterior proporciona certeza para predecir la fenología a partir de diferentes fechas de siembra. En Sinaloa la temporada de siembra de la papa es de tres meses iniciando la última semana de septiembre, por lo tanto, la duración del ciclo del cultivo en días es muy variado ya que se presenta también un cambio estacional al terminarse el otoño e iniciar el invierno, provocando descontrol e imprecisión en las prácticas de manejo, como riego, fertilización, manejo de plagas y enfermedades. Los valores de la tabla 3 representan los días requeridos para acumular los valores de °DA a partir de la fecha de siembra para la variedad Alpha. Es de notarse la gran diferencia en días para cada fecha. Por ejemplo, una parcela de papa sembrada el 1 de octubre requiere 49 días para acumular 1150 °DA (inicio de tuberización), mientras que una parcela establecida el 10 de diciembre necesita 76 días. Predecir la duración de los ciclos de la papa a partir de la fecha de siembra, puede ayudar al productor a planear mejor el manejo del cultivo y adelantarse a posibles escenarios, lo cual en la forma tradicional de manejo no es posible.

## APLICACIONES PRÁCTICAS

El conocimiento de la fenología de los cultivos y la posibilidad de predicción de ésta, proporciona la ventaja de precisar la toma de decisiones en el manejo agronómico del cultivo de papa. De esta manera el manejo del riego, la fertilización o el control de plagas y enfermedades serán más eficientes en función de la edad fisiológica del cultivo determinada por el clima. A continuación se presentan algunas de las aplicaciones prácticas que tiene el uso de la fenología en el manejo del cultivo de papa:

### Riego

La fenología de los cultivos toma gran importancia cuando se relaciona con el momento del riego, ya que la sensibilidad al estrés hídrico varía con la etapa fenológica del cultivo. El uso del concepto grados día crecimiento en la programación de riegos es una excelente herramienta para estimar los requerimientos hídricos del cultivo aún bajo variaciones temporales de clima. La programación de los riegos se realizó con el método del balance hídrico a través del software Irrimodel 1.0 (Sifuentes *et al.*, 2013) 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 de °D. A partir de los 1188 °DA (inicio de la tuberización) y hasta los 1500 °DA aproximadamente, que es cuando la planta tiene la máxima demanda hídrica (3 a 4 mm día<sup>-1</sup>) en el norte de Sinaloa, es recomendable mantener la humedad del suelo cerca de la capacidad de campo para lograr el desarrollo y calidad de los tubérculos deseados como se muestra en la Figura 1. Como regla general se puede decir que a mayor demanda hídrica del cultivo, los intervalos de riego deben ser más cortos. En suelos franco-arcillosos que en promedio contienen 35% de arcilla, 30% de limo y 35% de arena, con bajo contenido de materia orgánica (<1%) y un contenido de humedad a capacidad de campo de 0.358 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup> y punto de marchitez permanente de 0.216 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>, el último riego se puede aplicar cuando el tubérculo tiene un diámetro de 5 cm y su sistema

**Tabla 2.** Grados-día acumulados (°DA) para diferentes estados de desarrollo a partir del inicio de brotación de seis variedades de papa sembradas el 1 de Octubre 2007, en el Valle del Fuerte (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

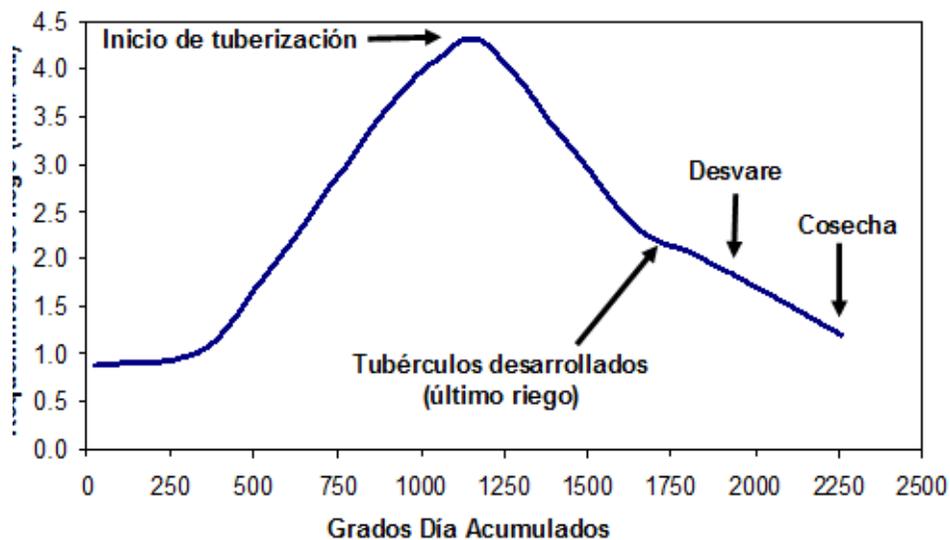
**Table 2.** Growing Degree Days (°DA) for different development stages from sprouting on six Potato varieties planted on October 1 2007 at El Fuerte Valley (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

Etapa fenológica	Variedades/ °D Acumulados					
	Alpha	César	Fian-na	Gigant	Mundial	Vivaldi
Inicio de estolonización	947	944	1017	1170	928	1170
Elongación de estolones	1170	1057	1170	1277	1170	1262
Inicia de tuberización	1354	1170	1323	1385	1323	1354
Desarrollo de tubérculos	1538	1354	1476	1490	1476	1446
Tubérculos desarrollados	1622	1538	1553	1599	1553	1538
Desvare	1952	1952	1952	1952	1952	1952
Cosecha	2355	2355	2355	2355	2355	2355

**Tabla 3.** Días para alcanzar varios valores de °DA en papa variedad Alpha para diferentes fechas de siembra, en el Valle del Fuerte Sinaloa (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

**Table 3.** Days needed to reach growing degree days values on Alpha variety at different planting dates, in El Fuerte Valley, Sinaloa (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

°DA	Fecha de Siembra								
	01 Oct. Días	10 Oct. Días	20 Oct. Días	30 Oct. Días	10 Nov. Días	20 Nov. Días	30 Nov. Días	10 Dic. Días	20 Dic. Días
800	33	35	38	42	47	50	53	54	54
900	37	40	43	48	53	57	60	61	60
950	40	42	46	51	57	60	63	64	63
1000	42	45	49	55	60	64	66	67	66
1100	47	50	56	62	66	70	73	73	72
1150	49	53	59	65	70	74	76	76	75
1500	69	76	83	89	93	96	97	97	96
1600	76	83	90	95	100	102	103	103	101
1700	82	90	97	102	106	108	109	109	107
1750	86	93	100	105	109	110	112	111	109
1800	90	96	103	108	102	113	115	114	112
1850	93	100	106	111	115	117	117	116	114
1900	96	103	110	114	118	120	120	119	117
2000	103	110	116	121	124	126	126	124	122



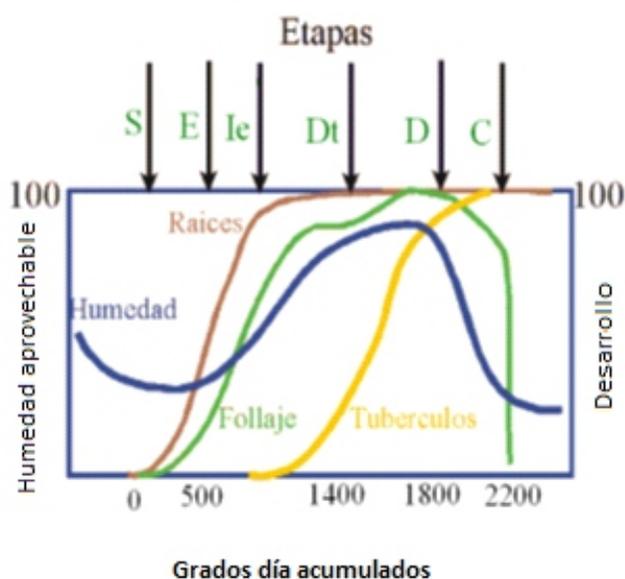
**Figura 1.** Requerimientos de riego diarios y fenología para una variedad típica de papa del Valle del Fuerte.  
**Figure 1.** Daily water requirements and phenology for a typical variety of potato grown at El Fuerte Valley.

de piel esté completo (cáscara completa). Para la variedad Alpha, lo anterior se presenta a los 1656 °DA. Generalmente en esta etapa los tubérculos de primera calidad son igual en número que los de segunda, es decir de 5 a 7 cm de diámetro, respectivamente. El último riego debe ser suficiente para llegar al desvare con la mayoría de tubérculos de primera calidad para la comercialización (1800 °DA). La figura 2 muestra la relación del contenido de humedad del suelo (como % de la capacidad de campo, CC), con el desarrollo de raíces, follaje y tubérculos para una variedad típica de Sinaloa en diferente °DA y etapas del cultivo. Obsérvese que de 0 a 1000 °DA el % de CC es bajo y después de los 1000 °DA, hasta terminar el desarrollo de tubérculos (1600 °DA) el valor es alto, cercano a CC (estimado con el modelo o medido con dispositivos para monitoreo como TDR o gravimétricamente). Después de los 1600 °DA el valor vuelve a bajar, por lo tanto, los intervalos de riego pueden ser más largos. En la tabla 4 se presenta un pro-

grama de riego bajo el concepto grados día, para una parcela de papa sembrada el 1 de octubre del 2007 con la variedad Alpha, en un suelo franco arcilloso. Se puede observar que los intervalos más cortos se presentan durante el desarrollo de tubérculos, mientras que los más largos se presentan al inicio y al final. La lámina neta representa la acumulación de los requerimientos hídricos diarios del cultivo entre riegos y a partir de la fecha de siembra.

### Nutrición

Un modelo básico de nutrición y fertilización de la papa consiste primeramente en el “diagnóstico de las necesidades de fertilización al suelo” con lo que es posible definir un programa de fertilización de fondo previo a la siembra. Este diagnóstico comprende la determinación de la demanda nutricional según el rendimiento esperado, el suministro del suelo definido por el análisis químico y la eficiencia o grado de uso del fertilizante aplicado. De acuerdo a resultados de investigación con la variedad Alpha, la demanda nutricional es de 5, 0.68 y 8.6, kg Mg<sup>-1</sup> de tubérculo producido, para nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, la cual multiplicada por el rendimiento esperado proporciona la demanda de estos nutrientes por hectárea. Por ejemplo, un rendimiento de 30 Mg ha<sup>-1</sup> de papa extrae 150, 20 y 258, kg ha<sup>-1</sup>, para los nutrientes ya señalados, en el mismo orden (Mendoza, 1998). El segundo componente es el “diagnóstico nutricional de la planta”, el cual requiere de valores de referencia nutricional generados preferentemente en la región y variedad de interés y de manera importante para cada etapa de desarrollo, las cuales son importantes de identificar y precisar, ya que en función de esta demanda se define la necesidad de nutrición y fertilización durante el ciclo (Mendoza, 1998; Badillo, *et al.*, 2001). El diagnóstico se fundamenta en el análisis químico, vegetal o en savia, con lo cual es posible identificar y/o confirmar desórdenes nutricionales. Esta técnica se correlaciona el contenido de un nutriente dado, con la apariencia de la planta, rendimiento y/o calidad, permitiendo detectar con toda oportunidad el *status* de algún elemento con el fin de hacer las correcciones pertinentes al programa inicial de fertilización. La utilidad del diagnóstico nutricional de la planta radica en el cono-



S=Siembra, E=Emergencia, le=inicio de estolonización, Dt=desarrollo de tubérculos, D=desvare, C=cosecha

**Figura 2.** Relación de la humedad del suelo con el desarrollo fenológico del cultivo de papa.

**Figure 2.** Soil water contents related to Potato crop phenology.

**Tabla 4.** Programa de riegos relacionado con la fenología en papa variedad Alpha bajo riego por gravedad en el Valle del Fuerte, Sinaloa (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

**Table 4.** Summary of irrigation program and potato crop phenology variety Alpha on surface irrigation system (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

No. de riego	Fecha de riego	Días después de la siembra	Intervalo de riego (días)	Lámina neta (cm)	Grados día acum. (oDA)	Etapas fenológicas
1	16/09	-15	0	10,2	---	Pre-siembra
2	30/10	29	44	5,1	709,6	Inicio estolonización
3	12/11	42	13	5,4	988,3	Elongación estolones
4	26/11	56	14	5,5	1252,7	Inicio de tuberización
5	17/12	77	21	5,9	1588,8	Tubérculos desarrollados
TOTAL		77	0-44	32,1	1588,8	

cimiento de la concentración de elementos, asociada a una condición de suficiencia o deficiencia en cada etapa fenológica y variedad específica, para que con el apoyo de personal capacitado, poder realizar las correcciones o cambios en el programa de fertilización inicial, ya sea con aplicaciones al suelo o vía foliar. En las tablas 5 y 6, se presentan los niveles de deficiencia y suficiencia en distintas etapas de desarrollo del cultivo estimados mediante muestreos de hojas maduras recientemente desarrolladas, a partir de los cuales es posible realizar diagnósticos del estado nutricional. Se considera como nivel suficiente cuando las pérdidas de rendimiento son menores a 10 % y deficiente cuando se presenten pérdidas mayores de 20 % (Mendoza, 1998).

La etapa de desarrollo inicial abarca desde la emergencia a la elongación de estolones (530 a 1033 °DA). El inicio de tuberización se presenta aproximadamente a los 1188 °DA, y el desarrollo de tubérculos de 1452 a 1656 °DA. Lo valioso de poder predecir los estados de desarrollo para una fecha de siembra determinada, radica en nutrir a la planta a tiempo sin el riesgo de imprecisiones debidas a alteraciones temporales del clima. Sin embargo, cada variedad tiene comportamientos fenológicos diferentes por lo que debe tomarse en cuenta esto en los programas de fertilización para realizar los ajustes correspondientes. En un estudio hecho en el Valle del Fuerte durante el ciclo otoño-invierno 2007-2008 en seis variedades de papa, se observó que la variedad Fian-

**Tabla 5.** Concentraciones nutrimentales en hojas de papa variedad Alpha en tres etapas fenológicas (INIFAP-CIRNO-CEVAF).  
**Table 5.** Nutrients concentration (leaves) on Alpha variety under three development stages (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

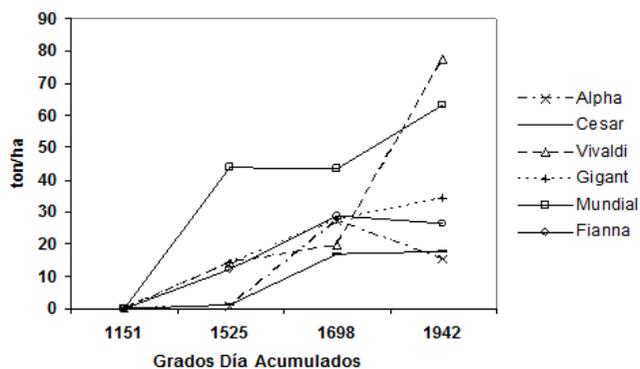
Elemento	Desarrollo inicial		Inicio de tuberización		Desarrollo de tubérculo	
	deficiente	adecuado	deficiente	adecuado	deficiente	adecuado
Nitrógeno (%)	-	4,5 – 6,0	< 3,5	4,0 – 5,5	< 3,0	3,0 – 4,5
Fósforo (%)	< 0,25	0,25 – 0,50	< 0,20	0,20 – 0,50	< 0,20	0,20 – 0,40
Potasio (%)	-	4,5 – 6,0	< 3,5	4,5 – 6,0	< 3,0	4,0 – 6,0
Calcio (%)	< 0,65	0,76 – 2,00	< 0,60	0,76 – 2,00	< 1,15	1,5 – 2,5
Magnesio (%)	< 0,30	0,40 – 1,00	< 0,25	0,25 – 0,60	< 0,25	0,25 – 0,60
Azufre (%)	< 0,25	0,25 – 0,50	< 0,20	0,2 – 0,5	< 0,20	0,2 – 0,5
Cobre (ppm)	< 5	7 - 20	< 5	7 - 20	< 5	7 – 20
Fierro (ppm)	< 40	50 - 150	< 30	40 - 150	< 30	40 - 150
Manganeso (ppm)	< 20	30 - 150	< 20	30 - 150	< 20	30 - 250
Zinc (%)	< 30	45 - 250	< 30	30 - 200	< 20	30 - 200
Boro (ppm)	< 20	25 - 50	< 25	40 - 70	< 25	40 – 70
Molibdeno (ppm)	< 0,1	0,1 – 0,2	< 0,1	0,1 – 0,2	0,1	0,1 – 0,2

**Tabla 6.** Concentraciones de nutrimentos en hojas y peciolo de papa variedad Alpha para tres etapas fenológicas (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

**Table 6.** Nutrients concentration (leaves and petioles) on Alpha variety under three development stages (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

Elemento	Desarrollo inicial		Inicio de tuberización		Desarrollo de tubérculo	
	deficiente	adecuado	deficiente	adecuado	deficiente	adecuado
Nitrógeno (%)	-	6,0 – 7,0	< 5,5	5,7 – 6,7	< 5,0	5,5 – 6,5
Fósforo (%)	< 0,38	0,38 – 0,70	< 0,35	0,35 – 0,70	< 0,27	0,27 – 0,50
Potasio (%)	-	4,5 – 6,5	< 4,0	4,5 – 6,5	< 3,0	3,5 – 6,0
Calcio (%)	< 0,7	1,0 – 2,0	< 0,80	1,0 – 2,0	< 0,8	1,0 – 2,5
Magnesio (%)	< 0,25	0,30 – 0,50	< 0,30	0,3 – 0,8	< 0,30	0,3 – 0,8
Cobre (ppm)	-	-	< 6	6 - 20	< 6	6 - 20
Fierro (ppm)	-	-	< 70	70 - 150	< 70	70 - 150
Manganeso (ppm)	-	-	< 50	50 - 300	< 30	50 - 300
Zinc (%)	-	-	< 20	20 - 60	< 20	20 - 60
Boro (ppm)	-	-	< 30	30 - 60	< 30	30 - 60

na tiene más rápido desarrollo de tubérculos que las otras cinco variedades estudiadas, y la variedad Vivaldi al final del ciclo mostró un desarrollo acelerado de este órgano; el resto de las variedades se comportó de manera similar (Figura 3). Esto significa evidentemente que los requerimientos nutrimentales son diferentes para cada variedad y es importante saber predecirlos.



**Figura 3.** Peso fresco del tubérculo de seis variedades de papa en el Valle del Fuerte.

**Figure 3.** Tuber gross weight on six potato varieties at El Fuerte Valley.

## CONCLUSIONES

El concepto de tiempo térmico tiene gran valor predictivo en las diferentes etapas del cultivo siempre y cuando se lleve a cabo una calibración previa para una zona determinada. Por otro lado, estimar con anticipación las etapas críticas desde el punto de vista hídrico permite prevenir situaciones de estrés que en la mayoría de los casos no son detectados por el productor causándoles pérdidas considerables en el rendimiento. La fenología también permitió definir los criterios de riegos por etapa y poder estimar el momento de riego, así como, la lámina a aplicar. La programación del riego en forma integral basado en el concepto de tiempo térmico utiliza la acumulación de grados día para estimar los parámetros de Kc, factor de abatimiento y profundidad dinámica de la raíz en tiempo real y poder predecir los requerimientos hídricos. Para el caso del manejo en los requerimientos nutrimentales, la fenología permitió conocer las etapas más críticas donde el cultivo extrae la mayor cantidad de nutrientes mismas que coincidieron con respecto a los requerimientos hídricos.

## REFERENCIAS

- Badillo, T. V., Castellanos J. Z y Sánchez, G. 2001. Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa variedad Alpha. *Agrociencias*, pp. 615-623.
- Cortez, M. E., C. F. Rodríguez, C. J. L. Martínez y C. J. Macías 2005. "Tecnología de producción y manejo de la mosca blanca de la hoja plateada en el cultivo de la soya en el norte de Sinaloa", *Folleto técnico Número 25*. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Valle de El Fuerte, Los Mochis, Sinaloa, México, pág. 52.
- Fox, F. A. Jr., T. Scherer, D. C. Slack, and L. J. Clark. 1992. AZCHED. Arizona Irrigation Scheduling. User's manual. Version 1.01. University of Arizona Cooperative Extension. Agricultural and Biosystem Engineering. Tucson, Arizona, USA. P 12.
- Jefferies, R. A. y Lawson, H. L. 1991. A key in the stages of development of potato (*Solanum tuberosum*) en *Annals of Applied Biology*, pp. 387-389.
- Lieth, H. 1974. Phenology and seasonality modeling. Springer-Verlag.
- Mendoza R. J. L. 1998. Nutrición del cultivo de papa en el norte de Sinaloa. *Folleto técnico Número 13*. INIFAP-CIRNO-CEVAF, México.
- Ojeda, B. W., Sifuentes, I. E. y Unland, W. H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia*, pp. 13-25.
- Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes, D. C. Slack, and M. Carrillo. 2004. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree concept: application to a potato crop. *Irrigation and Drainage*. 53: 251-261.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA, 2011).
- Sifuentes, I. E., Ojeda, B. W. y Macías, C. J. 2006. "Calendarización del riego y grados día en el cultivo de papa", *Folleto técnico*. Fundación Produce Sinaloa, Sinaloa, México. pp. 34
- Sifuentes, I. E., Macías, C. J. y Mendoza, P. C. 2013. "Como implementar Irrimodel" *Folleto Técnico*. Fundación Produce Sinaloa, México. pp 1-34. Sifuentes, I. E., Ojeda, B. W., Mendoza, P. C., Macías, C. J., Ruelas, I. J., Inzunza, I. M. 2013. Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L) considerando variabilidad climática en el "valle del fuerte" Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4 (4): 585-597.
- Torres, R. E. 1995. *Agro-meteorología*. Trillas, México, DF. pp. 106-113.