

**FUNDACIÓN
PRODUCE**

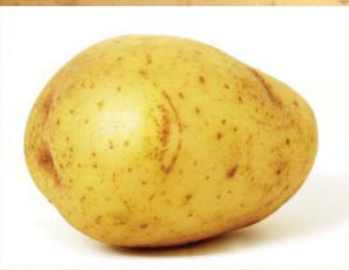
Sinaloa A.C.

ENLACE, INNOVACIÓN Y PROGRESO

Predicción de la fenología de papa

Principios y aplicaciones prácticas

Ernesto Sifuentes Ibarra
Jaime Macías Cervantes
Miguel Ángel Apodaca Sánchez
Edgardo Cortez Mondaca



RESULTADOS DE PROYECTOS



Predicción de la fenología de papa Principios y aplicaciones prácticas

**Ernesto Sifuentes Ibarra¹
Jaime Macías Cervantes¹
Miguel Ángel Apodaca Sánchez¹
Edgardo Cortez Mondaca¹**

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro de Investigación Regional del Noroeste
Campo Experimental Valle del Fuerte
Los Mochis, Sinaloa, México

Índice

Introducción	7
Principios básicos.....	9
¿Cómo se desarrolla la planta de papa?.....	11
Predicción de la fenología	17
Riego.....	23
Medidas de control.....	27
Relación plaga-fenología.....	34
Bibliografía.....	45
Agradecimientos.....	46

Introducción

La agricultura es una de las actividades productivas del hombre que depende fuertemente del comportamiento del clima.

La presencia de plagas y enfermedades, la eficiencia nutrimental y la demanda de agua dependen, en gran medida, de las condiciones temporales del medio ambiente.

Una herramienta que puede ser de gran utilidad 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, cuando no exista un factor externo que pueda alterarla, como puede ser alguna situación de estrés como sequía o deficiencia nutrimental.

Tradicionalmente, el tiempo se ha expresado en días calendario o días después de siembra, lo que genera discrepancias importantes cuando las condiciones ambientales varían, con respecto al periodo en que fueron determinadas.

Gracias a la disponibilidad de bases de datos de clima, provenientes de estaciones meteorológicas automatizadas desde 1997, como la que se tiene en el norte de Sinaloa -algunas de ellas forman parte de la Red Nacional de Estaciones Agroclimáticas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)- actualmente es posible expresar la fenología de los cultivos en grados-día crecimiento o tiempo fisiológico, antes llamados unidades calor, lo que le da más robustez a la aplicación de este concepto, ya que la información procesada se recibe casi en tiempo real, a intervalos de 15 minutos de las principales variables climáticas: Temperatura, humedad relativa, radiación global, velocidad del viento, dirección del viento, lluvia y follaje mojado.

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 de las principales variedades de papa sembradas en Sinaloa, para lo que se utiliza el método estándar, manejado en 2006 por el investigador Waldo Ojeda.

Se presentan también algunas aplicaciones prácticas que pueden ayudar a hacer más eficiente el manejo del cultivo.

En México se siembran cada año cerca de 70 mil hectáreas (ha) de papa, con una producción aproximada de un millón 500 mil toneladas (t) y un rendimiento promedio de 23 toneladas por hectárea (t/ha), que se destinan principalmente para consumo interno.

En México, la papa ocupa el cuarto lugar en importancia en cuanto a superficie sembrada, superada únicamente por los granos básicos (maíz, frijol y trigo). En producción es sólo superada por el jitomate.

En estos últimos años, los principales estados productores de papa han sido Sinaloa, Chihuahua, Sonora, Estado de México, Nuevo León y Guanajuato, los que tienen una aportación del 68.4% de la producción nacional.

En Sinaloa, la producción casi se duplicó de 1992 a 2001, al pasar de 160 mil a 310 mil toneladas.

En el norte de Sinaloa, la toma de decisiones en las empresas agrícolas se realiza con un alto nivel de incertidumbre, debido a lo siguiente:

- a) Limitado conocimiento del estado actual de la naturaleza.
- b) Poco conocimiento de los sistemas biológicos y físicos asociados al cultivo.
- c) Procesos aleatorios relacionados con los sistemas biológicos.

Los agricultores minimizan el riesgo, al simplificar sus sistemas productivos y aplicar insumos en forma excesiva.

Desde el punto de vista económico, esta estrategia cada vez es menos funcional en las zonas áridas y semiáridas de México, 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.

El uso de tecnologías modernas de información climática, como las redes de estaciones meteorológicas automatizadas, la Internet y los sistemas computacionales, han demostrado ser un medio eficaz para ayudar a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones en el manejo de los cultivos.

En este sentido, la predicción de la fenología de cultivos puede ser una gran herramienta cuando se relaciona con el manejo agronómico del mismo.

El objetivo del presente documento es proporcionar los elementos necesarios para entender los principios básicos de la predicción de la fenología de la papa en Sinaloa, relacionándola con aplicaciones prácticas en el manejo del cultivo y la toma de decisiones.

Principios básicos

Importancia de la fenología de cultivos

La fenología es el estudio de los fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones ambientales como luz, temperatura y humedad.

La emergencia de los cultivos, la brotación de los frutales, la floración, la fructificación y la madurez son ejemplos de estudios de fenología vegetal.

Por otra parte, las migraciones de algunas aves, la caída de pelaje de los animales, estadios de insectos, etcétera pertenecen al campo de la fenología animal.

Dentro de ciertas etapas se presentan periodos críticos, que son intervalos breves durante los que la planta presenta la máxima sensibilidad a determinados elementos, de manera que las oscilaciones en los valores de las variables climáticas 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, éstos deberán encontrarse dentro de cierto intervalo de utilidad para cada cultivo; fuera de éste, los efectos serán negativos, tanto por carencia como por exceso, como sucede con la temperatura.

Fenología y 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 (°D), relacionada con la aparición de cada fase de desarrollo, que difieren para cada variedad.

Los grados-día son las unidades que miden el calor que la planta recibe cada día y que se acumula a lo largo de su desarrollo.

La estimación diaria de éstos requiere del conocimiento de la temperatura media ambiental diaria (T_a), de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

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

Donde T_{c-min} y T_{c-max} son las temperaturas mínimas y máximas del ambiente, respectivamente, rango en que la planta se desarrolla.

La papa puede sobrevivir a temperaturas adversas en el rango de 0° a 40°C.

Las temperaturas de desarrollo usadas para estimar los grados-día son 2°C y 29°C, para temperaturas mínimas y máximas,

respectivamente.

Temperaturas mayores a 29°C producen reducciones significativas en el rendimiento.

¿Cómo se desarrolla la planta de papa?

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 uniformen criterios.

En este apartado 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 autores, el desarrollo de la planta de papa puede dividirse en cuatro principales etapas:

1. Etapa vegetativa. Inicia con el rompimiento de la latencia² de la semilla y termina con el inicio de la formación de tubérculos, lo que varía de 15 a 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas y edáficas³ donde se establezca el cultivo.

2. Tuberización. Inicia cuando los estolones⁴ aparecen. La duración de esta etapa varía de 10 a 14 días.

Un déficit de humedad en este periodo puede reducir el número de tubérculos producidos por cada planta.

3. Desarrollo de tubérculos. Se caracteriza especialmente por la acumulación de carbohidratos (en forma de almidón), con un incremento constante en el tamaño y peso de los tubérculos, bajo condiciones óptimas de humedad.

Esta etapa puede durar de 60 a 90 días, lo que depende del clima y sanidad del cultivo, ya que la humedad tiene una relación directa con el tamaño y calidad de los tubérculos, principalmente a mediados de la tuberización, que se presenta de tres a seis semanas después de su inicio, porque el crecimiento de los tubérculos puede retardarse bajo condiciones de estrés hídrico y no es común que continúe uniformemente después de aplicarse el riego.

4. Maduración. Empieza con la caída del follaje, donde las hojas viejas se tornan amarillas hasta llegar, gradualmente, a un color café, al madurar.

Tiene lugar un crecimiento mínimo de los tubérculos y los requerimientos hídricos van disminuyendo por la reducida evapotranspiración⁵ de las hojas en el proceso de secado.

En la Figura 1 se pueden apreciar las partes de la planta de papa relacionadas con la descripción anterior.

² Periodo de incubación de una enfermedad.

³ Perteneciente o relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a las plantas.

⁴ Brote lateral, normalmente delgado, que nace en la base del tallo de algunas plantas herbáceas.

⁵ Suma de las cantidades de vapor de agua evaporadas del suelo y de las plantas.

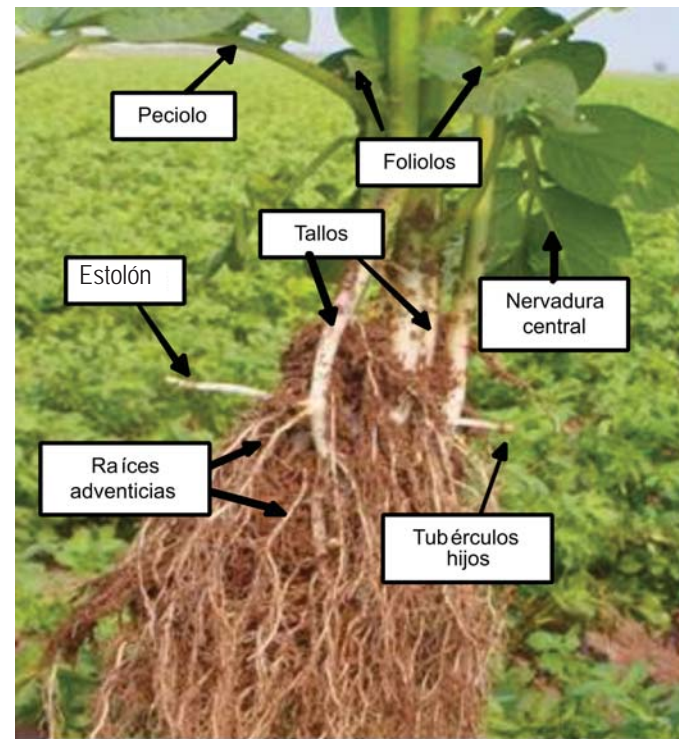
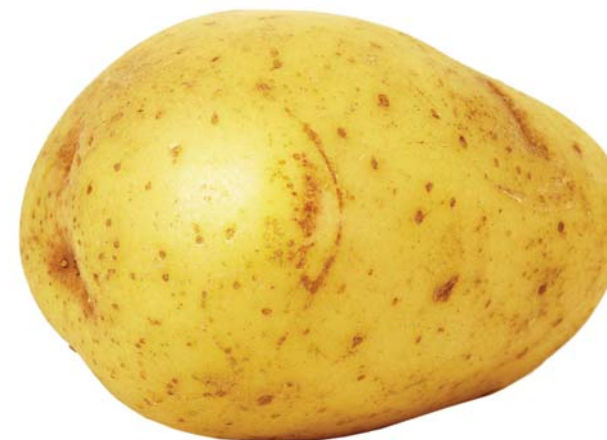


Figura 1. Partes principales de la planta de papa relacionadas con la fenología.

Otra metodología de uso rápido y práctico es la propuesta por Bats *et al.* (1980), quienes dividieron el desarrollo de la planta en 10 etapas principales con fases intermedias y asignaron una clave a cada una, como se presenta en el Cuadro 1.



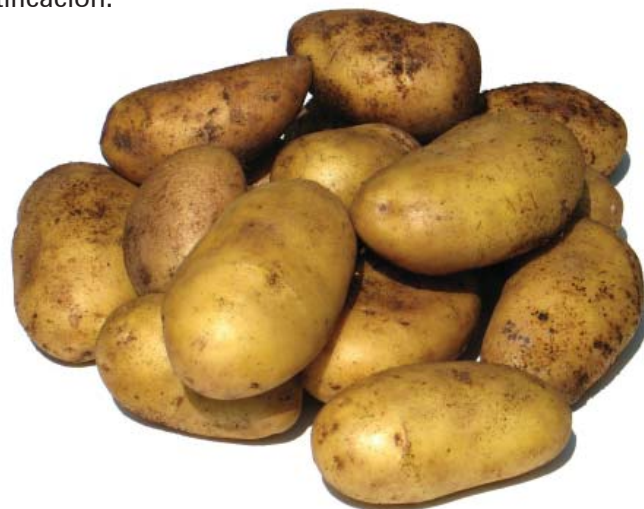
Cuadro 1. Guía fenológica de papa propuesta por Bats *et al.* (1980)

Clave	Definición
0	Brotación
01	Tubérculo sin brotes.
02	Aparición de retoños con una longitud máxima de 2 milímetros (mm).
05	Tubérculo con retoños mayores de 2 mm.
09	Brotación avanzada y formación de la raíz.
10	Emergencia
11	Emergencia general de la planta.
12	Primeras hojas desplegadas.
20	Desarrollo de hojas y tallo
21	Desarrollo de más hojas.
25	Aparición de más tallos.
30	Alargamiento de tallo/crecimiento extenso
31	Principio de alargamiento de tallo, aproximadamente 15 cm.
35	Alargamiento incompleto del tallo, aproximadamente 25 cm.
39	Alargamiento completo del tallo, mayor de 25 cm.
40	Cobertura de cultivo
41	Primer contacto de hojas con plantas de otros surcos.
49	Cultivo cubierto completamente.
50	Formación de botones
51	Inicio de formación de botones florales.
59	Formación completa de botones florales.
60	Floración
61	Inicio de floración.
65	Mitad de floración.
69	Floración completa.
70	Desarrollo de la baya

71	Inicio de formación de bayas.
75	Bayas de crecimiento intermedio.
79	Primeras bayas completas.
80	Amarillamiento de la planta
81	Primeras hojas amarillas.
83	Mitad de hojas amarillas.
85	La mayoría de hojas amarillas.
87	Tallo amarillo.
89	Planta completamente amarilla.
90	Tubérculo maduro en tiempo de cosecha
91	Formación de epidermis o cáscara incompleta.
95	Formación de epidermis o cáscara completa.
99	Inicio de la separación de tubérculos de los estolones.

En 1991, los investigadores Jefferies y Lawson desarrollaron la guía que se describe en el Cuadro 2, que se divide en siete estados principales de desarrollo: Germinación de semilla y emergencia, dormancia⁶ o inactividad del tubérculo, brotación del tubérculo, emergencia y desarrollo de brotes, floración, desarrollo de tubérculos y madurez.

Al igual que la guía descrita anteriormente, los estados principales fueron divididos en fases intermedias, a las que se les asignó una clave de identificación.



⁶ Periodo en el ciclo biológico de un organismo en el que el crecimiento, desarrollo y -en los animales- la actividad física se suspenden temporalmente.

Cuadro 2. Guía fenológica de papa desarrollada por Jefferies y Lawson.

Clave	Etapa	Descripción
Germinación de la semilla y emergencia		
0	Semilla seca	
1	Semilla húmeda	
2	Emergencia de la radícula	
3	Alargamiento del hipocotilo	
4	Emergencia de los brotes	
5	Despliegue de los cotiledones	
Inactividad del tubérculo		
100	Inactividad innata (latencia)	No hay desarrollo de brotes en condiciones favorables.
150	Inactividad impuesta	El desarrollo de la brotación se inhibe por condiciones ambientales.
Brotación del tubérculo		
200	Rompimiento de la inactividad	Yemas abiertas. Desarrollo del brote visible en las yemas.
21x	Brotación de un nudo	Un nudo con un brote apical.
22x	Brotación de dos nudos	Dos nudos con brote apical.
29x	Brotación de nueve nudos	Nueve nudos con brote apical.
21x(2)	Segunda generación de brotes de un nudo	Un nudo con un brote apical.
22x(2)	Segunda generación de brotes de dos nudos	Dos nudos con brote apical.
29x(2)	Segunda generación de brotes de nueve nudos	Nueve nudos con brote apical.
Emergencia y desarrollo de los brotes		
Tallo principal		
300	Emergencia	
301	Nudo uno	

302	Nudo dos	
319	Nudo 19	
Ramificaciones de segundo orden		
321	Nudo uno	
329	Nudo nueve	
Ramificaciones de "n" orden		
3n1	Nudo uno	
3n9	Nudo nueve	
Floración		
Flores primarias		
400	Sin flores	No hay estructuras florales a simple vista.
410	Aparición de un capullo de flor	El capullo se ve a simple vista.
420	Flores no abiertas	Los capullos se alargaron, pero no se han abierto.
430	Flores abiertas	Los pétalos de las primeras flores se han extendido.
440	Flores cerradas	Los pétalos de las primeras flores están arrugados.
450	Baya hinchada	Baya visible.
460	Madurez de la baya	Baya suave.
Flores secundarias o de segundo orden		
410 (2)	Aparición de un capullo de flor	El capullo se ve a simple vista.
420 (2)	Flores no abiertas	Los capullos se alargaron pero no se han abierto.
430 (2)	Flores abiertas	Los pétalos de las primeras flores están extendidos.
440 (2)	Flores cerradas	Los pétalos de las primeras flores están arrugados.
450 (2)	Baya hinchada	Baya visible.
460 (2)	Madurez de la baya	Baya suave.

Desarrollo del tubérculo		
500	Sin estolones	
510	Inicia la estolonización	Empieza a observarse el estolón.
520	Alargamiento de estolones	Estolón mayor a 5 mm de largo
530	Inicia tuberización	Hinchazón del tubérculo en la punta del estolón.
540	Aumento de volumen del tubérculo	Tubérculo mayor a 10 mm de diámetro.
550	Sistema de piel	
560	Separación del estolón	
Madurez		
600	Principios de amarillamiento	Las hojas superiores muestran signos de amarillamiento.
650	La mitad de las hojas son amarillas	
670	Amarillamiento de tallos	
690	Muerte total	Tallo café y caído en la tierra.

Predicción de la fenología

La acumulación diaria de los grados día por estado fenológico es una variable de gran valor predictivo durante el manejo del cultivo. En la mayoría de los casos, la aparición de cada fase se presenta cuando se acumulan los valores determinados de °D en cierta región, sin embargo, bajo condiciones de estrés prolongado esta regla se altera, lo que acelera la aparición de las etapas.

Decir que un estado se presenta a "X" días después de siembra es menos preciso que manejar °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 °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 mil 642 a mil 800 oD, de acuerdo a la variedad, manejo y precio de mercado.

La madurez fisiológica fluctúa alrededor de los 2 mil 100 grados-día acumulados (°DA) y la cosecha alrededor de los 2 mil 200 °DA.

En el Cuadro 3 se presentan los requerimientos de °DA para los diferentes estados de desarrollo del cultivo de papa, variedad Alpha, en el Valle de El 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 del 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 de El Fuerte se establecieron seis lotes de observación para determinar la fenología de seis variedades comerciales, donde se encontraron los valores que se muestran en el Cuadro 4.

Obsérvese la similitud de valores para la variedad Alpha comparados con los valores promedio del Cuadro 3, el inicio de la estolonización observada (ciclo 2007-2008) fue a los 947.3 °DA, mientras que la promedio fue de 903.97, es decir, se tuvo una diferencia de 43.3 °D, que en días representan tan sólo de dos a tres.

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.

Cuadro 3. Fenología de la papa variedad Alpha en el Valle de El Fuerte, Sinaloa.

Etapa	Clave	Grados-día	Grados-día 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
Alargamiento de estolones	Ee	128.51	1,032.48	43
Inicio de tuberización (diámetro: Mayor a 1 cm)	It	155.94	1,188.42	51
Desarrollo de tubérculos (diámetro: De 3 a 5 cm)	Dt	263.81	1,452.23	66
Tubérculos desarrollados (diámetro: Mayor a 5 cm)	Td	204.62	1,656.85	79
Desvare (cáscara completa) diámetro: 7 cm	D	179.08	1,835.93	92
Cosecha	C	422.57	2,258.50	120

Cuadro 4. Grados-día acumulados (°DA) para diferentes estados de desarrollo de seis variedades de papa, sembradas el 1 de octubre de 2007 en el Valle de El Fuerte.

Etapa fenológica	Variedades					
	Alpha	César	Fianna	Gigant	Mundial	Vivaldi
Inicio de estolonización	947	944	1,017	1,170	928	1,170
Alargamiento de estolones	1,170	1,057	1,170	1,277	1,170	1,262
Inicio de tuberización	1,354	1,170	1,323	1,385	1,323	1,354
Desarrollo de tubérculos	1,538	1,354	1,476	1,490	1,476	1,446
Tubérculos desarrollados	1,622	1,538	1,553	1,599	1,553	1,538
Desvare	1,952	1,952	1,952	1,952	1,952	1,952
Cosecha	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355

Lo anterior proporciona certeza para predecir la fenología⁷ a partir de diferentes fechas de siembra.

En Sinaloa, la temporada de siembra de la papa es de tres meses, inicia 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, lo que provoca descontrol e imprecisión en las prácticas de manejo como riego, fertilización, manejo de plagas y enfermedades.

Los valores del Cuadro 5 representan los días requeridos para acumular algunos valores de °DA a partir de la fecha de siembra para la variedad Alpha. Observe la gran diferencia en días para cada fecha.

Por ejemplo, una parcela de papa sembrada el 1 de octubre requiere 49 días para acumular mil 150 °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, que en la forma tradicional de manejo no es posible realizarlo.

⁷ Cambio de apariencia que sufren las plantas durante las estaciones. Está determinado por los factores físicos del ambiente y por mecanismos de regulación internos de las plantas. Por ejemplo, la producción de hojas jóvenes, floración, fructificación y caída de hojas.

Cuadro 5. Días para alcanzar varios valores de °DA en papa variedad Alpha para diferentes fechas de siembra, en el Valle de El Fuerte, Sinaloa.

°DA	Fecha de siembra																	
	1 de octubre		10 de octubre		20 de octubre		30 de octubre		10 de noviembre		20 de noviembre		30 de noviembre		10 de diciembre		20 de diciembre	
	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días
800	33	35	38	42	47	50	53	57	60	64	67	70	73	76	79	83	86	90
900	37	40	43	48	53	57	60	64	67	70	74	76	79	83	86	90	93	96
950	40	42	46	51	57	60	64	67	70	74	76	79	83	86	90	93	96	99
1,000	42	45	49	55	60	64	67	70	74	76	79	83	86	90	93	96	99	102
1,100	47	50	56	62	66	70	73	76	79	83	86	90	93	96	99	102	105	108
1,150	49	53	59	65	70	74	76	79	83	86	90	93	96	99	102	105	108	111
1,500	69	76	83	89	93	96	99	102	106	109	111	114	117	120	123	126	129	132
1,600	76	83	90	95	100	102	106	109	111	114	117	120	123	126	129	132	135	138
1,700	82	90	97	102	106	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135	138	141	144
1,750	86	93	100	105	109	110	114	117	120	123	126	129	132	135	138	141	144	147
1,800	90	96	103	108	111	113	117	120	123	126	129	132	135	138	141	144	147	150
1,850	93	100	106	111	115	117	120	123	126	129	132	135	138	141	144	147	150	153
1,900	96	103	110	114	118	120	124	127	130	133	136	139	142	145	148	151	154	157
2,000	103	110	116	121	124	126	130	133	136	139	142	145	148	151	154	157	160	163

Aplicaciones prácticas

El conocimiento de la fenología de los cultivos y la posibilidad de predicción de ésta proporcionan 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 en la programación de riegos es una excelente herramienta para estimar los requerimientos hídricos del cultivo aun bajo variaciones temporales de clima.

A partir de los mil 188 °DA (inicio de la tuberización) y hasta los mil 500 °DA, aproximadamente, que es cuando la planta tiene la máxima demanda hídrica (de 3 a 4 mm por día) 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 2.

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 limo⁸ y 35% de arena, con bajo contenido de materia orgánica (menor a 1%), el último riego se puede aplicar cuando el tubérculo tenga un diámetro de 5 cm y su sistema de piel esté completo (cáscara completa).

Para la variedad Alpha, lo anterior se presenta a los mil 656 °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 (mil 800 °DA).

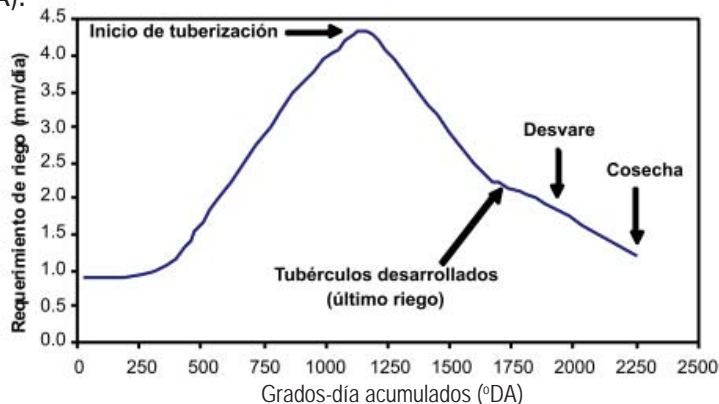


Figura 2. Requerimientos de riego diario para una variedad típica del Valle de El Fuerte y su relación con la fenología.

⁸ Partículas minerales del suelo, normalmente, fértil para la agricultura.

La Figura 3 muestra la relación del contenido de humedad del suelo [como porcentaje de la capacidad de campo (CC)], con el desarrollo de raíces, follaje y tubérculos para una variedad típica de Sinaloa en diferentes °DA y etapas del cultivo.

Observe que de cero a mil °DA, el porcentaje de CC es bajo y después de los mil °DA, hasta terminar el desarrollo de tubérculos (mil 600 °DA), el valor es alto, cercano a capacidad de campo.

Después de los mil 600 °DA el valor vuelve a bajar, por lo tanto, los intervalos pueden ser más largos.

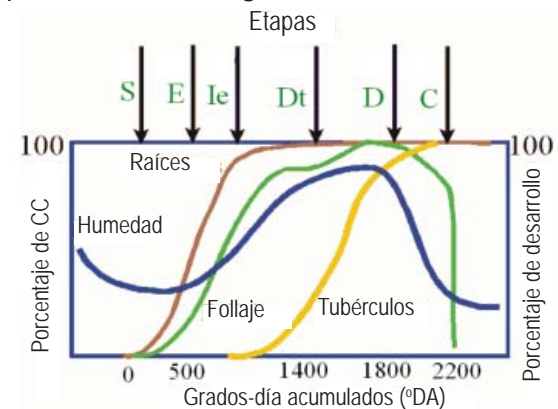


Figura 3. Desarrollo de raíces, follaje y tubérculos en papa por etapa en función de °DA.

En el Cuadro 6 se presenta un programa de riego bajo el concepto grados-día, para una parcela de papa sembrada el 1 de octubre, 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 manifiestan al inicio y al final.

Cuadro 6. Programa de riego relacionado con la fenología en papa bajo riego por gravedad (siembra: 1 de octubre de 2007 en suelo franco-arcilloso en el Valle de El Fuerte)

Número de riego	Fecha de riego	Días después de la siembra	Intervalo de riego en días	Lámina neta en cm	Grados-día acumulados	Etapas fenológicas
1	16/09/2007	-15	0	10.2	---	Presiembra
2	30/10/2007	29	44	5.1	709.6	Inicio de estolonización
3	12/11/2007	42	13	5.4	988.3	Alargamiento de estolones
4	26/11/2007	56	14	5.5	1,252.7	Inicio de tuberización
5	17/12/2007	77	21	5.9	1,588.8	Tubérculos desarrollados
Total		77	De 0 a 44	32.1	1,588.8	

La lámina neta representa la acumulación de los requerimientos hídricos diarios del cultivo entre riegos y a partir de la fecha de siembra.

Un centímetro de lámina neta representa 100 m³ de agua por hectárea, sin embargo, para reponer este volumen se debe considerar la eficiencia del sistema de riego.

Un sistema que es 60% eficiente necesita aplicar $100/0.6=166.6$ m³ por hectárea para reponer los 100 m³ consumidos.

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 de suelos y la eficiencia o grado de uso del fertilizante aplicado.

De acuerdo con resultados de investigación con la variedad Alpha, la demanda nutricional es de 5, 0.68 y 8.6 kilogramos por tonelada (kg/t) de tubérculo, para nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, que multiplicada por el rendimiento esperado proporciona la demanda de estos nutrimentos por hectárea.

Por ejemplo, un rendimiento de 30 toneladas por hectárea (t/ha) de papa extrae 150, 20 y 258 kilogramos por hectárea (kg/ha), para los nutrimentos ya señalados, en el mismo orden.

El segundo componente es el “Diagnóstico nutricional de la planta”, que requiere de valores de referencia nutricional generados preferentemente en la región y variedad de interés y de manera importante para cada etapa de desarrollo, que es importante identificar y precisar, ya que en función de esta demanda se define la necesidad de nutrición y fertilización durante el ciclo.

El diagnóstico se fundamenta en el análisis químico, vegetal o en savia, con lo que es posible identificar y/o confirmar desórdenes nutricionales.

Esta técnica correlaciona el contenido de un nutrimento dado, con la apariencia de la planta, rendimiento y/o calidad, que permite detectar con toda oportunidad el estatus 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 conocer la concentración de elementos, asociada a una condición de suficiencia o deficiencia en cada etapa fenológica y variedad específica para, con el apoyo de personal capacitado, realizar las correcciones o cambios en el programa de fertilización inicial, ya sea con aplicaciones al suelo o vía foliar.

En los cuadros 7 y 8 se presentan los niveles de deficiencia y

suficiencia en distintas etapas de desarrollo del cultivo, estimados mediante muestreos de hojas 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%.

Cuadro 7. Concentraciones nutrimentales en hojas de papa variedad Alpha para dos estados nutricionales y tres etapas fenológicas.

Elemento	Desarrollo inicial		Inicio de tuberización		Desarrollo de tubérculo	
	Deficiente	Adecuado	Deficiente	Adecuado	Deficiente	Adecuado
Porcentaje de nitrógeno	-	De 4.5 a 6	<3.5	De 4 a 5.5	<3	De 3 a 4.5
Porcentaje de fósforo	<0.25	De 0.25 a 0.50	<0.20	De 0.20 a 0.50	<0.20	De 0.20 a 0.40
Porcentaje de potasio	-	De 4.5 a 6	<3.5	De 4.5 a 6	<3	De 4 a 6
Porcentaje de calcio	<0.65	De 0.76 a 2	<0.60	De 0.76 a 2	<1.15	De 1.5 a 2.5
Porcentaje de magnesio	<0.30	De 0.40 a 1	<0.25	De 0.25 a 0.60	<0.25	De 0.25 a 0.60
Porcentaje de azufre	<0.25	De 0.25 a 0.50	<0.20	De 0.2 a 0.5	<0.20	De 0.2 a 0.5
Cobre en ppm	<5	De 7 a 20	<5	De 7 a 20	<5	De 7 a 20
Fierro en ppm	<40	De 50 a 150	<30	De 40 a 150	<30	De 40 a 150
Manganeso en ppm	<20	De 30 a 150	<20	De 30 a 150	<20	De 30 a 250
Porcentaje de zinc	<30	De 45 a 250	<30	De 30 a 200	<20	De 30 a 200
Boro en ppm	<20	De 25 a 50	<25	De 40 a 70	<25	De 40 a 70
Molibdeno en ppm	<0.1	De 0.1 a 0.2	<0.1	De 0.1 a 0.2	0.1	De 0.1 a 0.2

Donde ppm significa partes por millón y < es menor a.

La etapa de desarrollo inicial abarca desde la emergencia al alargamiento de estolones (de 530 a mil 33 °DA). El inicio de tuberización se presenta aproximadamente a los mil 188 °DA y el desarrollo de tubérculos de mil 452 a mil 656 °DA.

Lo valioso de poder predecir estos estados de desarrollo, para una fecha de siembra determinada, radica en nutrir a la planta a tiempo sin el riesgo de imprecisiones por alteraciones temporales del clima.

Cuadro 8. Concentraciones de nutrientes en hojas y pecíolos de papa variedad Alpha para dos estados nutrimentales y tres etapas fenológicas.

Elemento	Desarrollo inicial		Inicio de tuberización		Desarrollo de tubérculo	
	Deficiente	Adecuado	Deficiente	Adecuado	Deficiente	Adecuado
Porcentaje de nitrógeno	-	De 6 a 7	<5.5	De 5.7 a 6.7	< 5	De 5.5 a 6.5
Porcentaje de fósforo	<0.38	De 0.38 a 0.70	<0.35	De 0.35 a 0.70	<0.27	De 0.27 a 0.50
Porcentaje de potasio	-	De 4.5 a 6.5	<4	De 4.5 a 6.5	< 3	De 3.5 a 6
Porcentaje de calcio	<0.7	De 1 a 2	<0.80	De 1 a 2	<0.8	De 1 a 2.5
Porcentaje de magnesio	<0.25	De 0.30 a 0.50	<0.30	De 0.3 a 0.8	<0.30	De 0.3 a 0.8
Cobre en ppm	-	-	<6	De 6 a 20	< 6	De 6 a 20
Fierro en ppm	-	-	< 70	De 70 a 150	< 70	De 70 a 150
Manganeso en ppm	-	-	< 50	De 50 a 300	< 30	De 50 a 300
Porcentaje de zinc	-	-	<20	De 20 a 60	< 20	De 20 a 60
Boro en ppm	-	-	< 30	De 30 a 60	< 30	De 30 a 60

Donde ppm significa partes por millón y < es menor a.

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 de El Fuerte, durante el ciclo otoño-invierno 2007-2008 en seis variedades de papa, se observó que la variedad Fianna tiene un desarrollo más rápido de tubérculos que las otras cinco estudiadas y que Vivaldi, al final del ciclo, mostró un desarrollo acelerado de este órgano. El resto de las variedades se comportó similar (Figura 4).

Esto significa, evidentemente, que los requerimientos nutrimentales son diferentes para cada variedad y que es importante saber predecirlos.

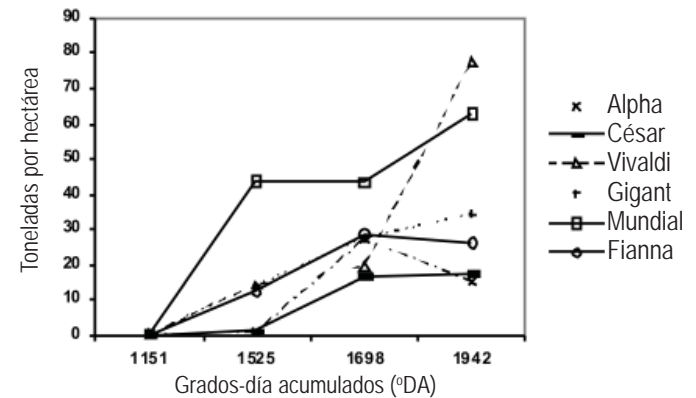


Figura 4. Peso fresco del tubérculo de seis variedades de papa en el Valle de El Fuerte, con fecha de siembra el 1 de octubre de 2007.

En la Figura 5 se puede observar un ejemplo de la manera en que influye en el índice de área foliar y el peso de tubérculos dos niveles de nitrógeno en papa (alto y bajo).

El nivel alto promovió un incremento del área foliar y peso de tubérculos. No obstante deben determinarse los niveles adecuados en cada zona agrícola.

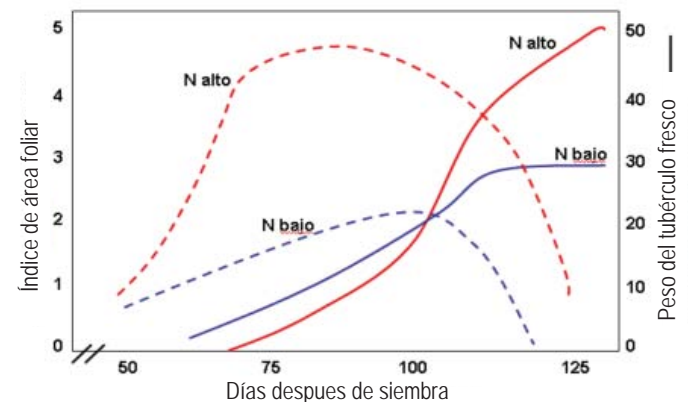


Figura 5. Evolución de índice de área foliar y peso fresco de tubérculo de papa para dos niveles de nitrógeno (N).

Plagas

La papa, como la mayoría de los cultivos, es susceptible al ataque de insectos plaga cuando las condiciones de clima y estado de desarrollo del cultivo son favorables para ello.

Dentro de las principales plagas se pueden mencionar las siguientes:

- Gusano de alambre (Coleoptera: Elateridae).
- Áfidos: Pulgón verde del melón (*Myzus persicae* Sulzer) y pulgón verde de la papa (*Macrosiphum euphorbiae* Thomas), (Hemiptera: Aphididae).
- Palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella* Zeller), (Lepidoptera: Noctuidae).
- Mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) y *B. Argentifolii*. Bellows y Perring (Homoptera: Aleyrodidae).

A continuación, se describen las características generales de cada uno de los principales insectos plaga que atacan a este cultivo.

Gusano de alambre. Las larvas del gusano de alambre, cuando nacen son de color blanco y miden unos cuantos milímetros (mm), después se tornan de color amarillo o café brillante (Figura 6).

Son delgadas, cilíndricas y algo aplanadas, con los segmentos del cuerpo bien fusionados y con una cutícula endurecida.

Llegan a medir 25 mm de largo y tienen tres pares de patas después de la cabeza.

El último segmento abdominal es más aplanado y alargado con unos pequeños apéndices en la punta.

Los adultos son unos escarabajos de color gris oscuro que miden de 8 a 10 mm de largo.

Las larvas dañan la semilla y raíces jóvenes de la papa durante el establecimiento del cultivo, con lo que originan un deficiente anclaje de las plantas y desarrollo posterior.

En la etapa de tuberización también pueden dañar la fruta, donde causan heridas que cicatrizan, pero afectan su apariencia y calidad.

El gusano de alambre generalmente se presenta en manchones, a través de la superficie del terreno.

Es más común encontrarlos en terrenos en donde anteriormente hubo algún tipo de pasto o alfalfa o en terrenos que permanecieron ociosos en temporadas anteriores.



Figura 6. Larvas de gusano de alambre.

Medidas de control

Control cultural

En la preparación del terreno en el barbecho y el rastreo las larvas son destrozadas y expuestas a pájaros que se alimentan de ellas.

Es importante inspeccionar el suelo en busca de gusanos de alambre, especialmente si la presencia de los pájaros es abundante.

Control químico

Se sugiere -de manera preventiva- aplicar insecticida granulado al fondo del surco: Etoprofos (Mocap® 15 G) 25 kilogramos por hectárea (kg/ha) o Clorpirifos (Lorsban® 3% G).

Se recomienda colocar encima del insecticida una capa de tierra o incorporarlo con un paso de rastra de 5 a 10 cm de profundidad.

Se sugiere no poner en contacto directo la semilla con el insecticida para evitar fitotoxicidad.

Áfidos⁹ (pulgón verde del melón y pulgón verde de la papa). El pulgón verde del melón (*Myzus persicae*) tiene cuerpo de color rosado oscuro, cremoso, amarillento, verde claro o casi incoloro, es de forma ovalada (Figura 7), tiene tubérculos antenales desarrollados, convergentes, antenas del mismo tamaño del cuerpo y abdomen del mismo color del cuerpo, con una mancha característica.

Posee cornículos o sifones del mismo color del cuerpo con las puntas más oscuras, ligeramente hinchados en la parte distal¹⁰ (Figura 9a).

Se les puede encontrar en la planta de papa sobre brotes, follaje, especialmente en las hojas basales.



Figura 7. *Myzus persicae*.



Figura 8. *Macrosiphum euphorbiae*.

El pulgón verde de la papa (*Macrosiphum euphorbiae*) tiene cuerpo alargado, con diversos tonos de verde, rosado o amarillo (Figura 8).

Tiene tubérculos antenales desarrollados y divergentes y antenas más largas que el cuerpo.

⁹ Insectos pequeños de cuerpo blando que poseen piezas bucales largas y finas con las que pueden perforar tallos y hojas para extraer los fluidos de las plantas.

¹⁰ Parte de un miembro más separada de la línea media.

Posee abdomen del mismo color del cuerpo, sin manchas oscuras, cornículos cilíndricos muy largos y extendidos hacia afuera, del mismo color del cuerpo, a veces con el ápice más oscuro (Figura 9b).

Se les puede encontrar en la planta de papa, especialmente sobre las hojas superiores, brotes, tallos y flores.

El daño más importante que originan los áfidos en papa es la diseminación de virus que enferman a las plantas, como el virus (*Luteovirus*) de la hoja enrollada de la papa (PLRV, por sus siglas en inglés), el virus (Potyvirus) "Y" de la papa (PVY, por sus siglas en inglés), el virus mosaico del pepino (CMV, por sus siglas en inglés) y el virus mosaico de la alfalfa (AMV, por sus siglas en inglés).

Ambas especies de pulgones transmiten virus, pero *M. persicae* es un vector más eficiente.

Las plantas que se desarrollan a partir de semilla infectada con virus no producen papa de calidad comercial.

En cultivos de papa para semilla, los áfidos deben ser controlados lo más efectivamente posible.

Ocasionalmente, los pulgones son tan abundantes que provocan daños como fitófagos¹¹, al debilitar y retrasar el desarrollo de las plantas.

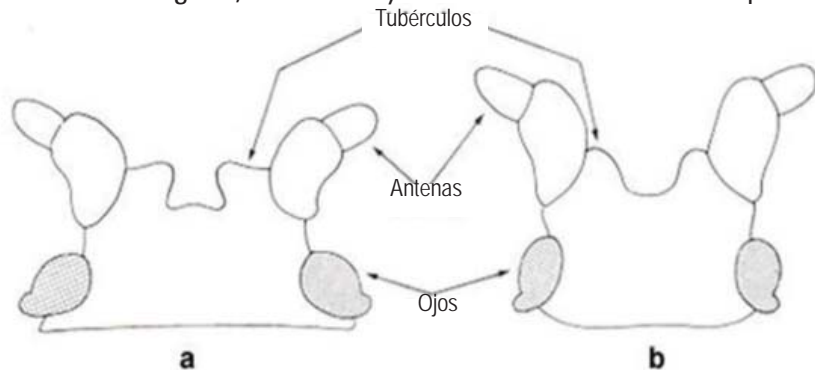


Figura 9a. *M. persicae* y 9b *M. euphorbiae*.

Medidas de control

Control cultural

Es importante eliminar de áreas adyacentes a donde se establecerá el cultivo -al menos unos 100 metros alrededor- plantas arvenses (malezas) que pueden ser hospederas del insecto y depósitos de virus que transmiten los áfidos, u otros insectos, tales como malva, mostacilla, chiquelite, quelites, entre otras.

Control biológico (enemigos naturales)

Muchos parasitoides y depredadores atacan áfidos, entre los más comunes están los parasitoides avispa lisiflebus (*Aphidius testaceipes* Cresson y *Aphidius smithi* Sharma & Subba Rao) y los depredadores:

¹¹ Animales que se alimentan de plantas.

Las catarinitas *Hippodamia convergens* Guérin-Méneville, *Cycloneda sanguinea* (L.), la crisopa (*Chrysoperla* spp.) y la mosca sirfide (*Syrphus* sp.).

Además, existen hongos que de manera natural reducen las poblaciones de pulgones.

Sin embargo, las aspersiones de insecticidas convencionales eliminan las poblaciones de enemigos naturales.

Control químico

La aplicación de insecticidas para control de áfidos se recomienda en cultivos de papa para producción de semilla, cuando se observe el arribo de las hembras fundatrices (fundadora), alrededor de la primera quincena de noviembre.

Debido a que los virus que generalmente transmiten los pulgones en papa, en la región, son de estilete, los insecticidas a base de aceites minerales ayudan a limpiarlos.

Cuando el insecto introduce el estilete al tejido de la planta, las partículas virales quedan embebidas en la película de aceite asperjado.

Para el daño que los áfidos ocasionan no hay umbral determinado en la región, sin embargo es recomendable realizar un anillo¹² con insecticida cuando se observe el arribo de las hembras fundatrices y al percatarse de plantas enmeladas¹³ por infestaciones altas del insecto.

Insecticidas recomendados: Aceite parafínico de petróleo (Saf-T-Side®), de 2 a 3%.

Pirmicarb (Pirimor®), 500 centímetros cúbicos por hectárea (cm³/ha); Pymetrozine (Plenum®), 300 gramos por hectárea (g/ha); Thiamethoxam (Actara®), 250 cm³/ha y Acetamiprid (Rescate®), 250 cm³/ha.

Imidacloprid (Confidor®), 300 cm³/ha; Dimetoato (Aflix® y Rogor®), 1 litro por hectárea (L/ha) y Metamidofos (Tamarón® y Monitor®), 1.5 L/ha.

Los primeros tres insecticidas indicados son, hasta cierto grado, selectivos o, al menos, tienen un efecto negativo reducido sobre la fauna benéfica.

Otros insecticidas biorracionales que se pueden emplear, de preferencia cuando el cultivo no está destinado a la producción de semilla, son: Insecticidas entomopatógenos comerciales a base de *Verticillium lecani* (Verti-Sin®), *Entomophthora* sp.

Se sugieren insecticidas comerciales a base de nim o de extractos artesanales (Bioissa®), a diferentes dosis (en mezcla con aceite); jabones para ropa (Vel Rosita), a dosis de 2 L/ha o jabones insecticidas (Rhudo®), a dosis de 2 cm³/L de agua.

¹² Aplicaciones parciales de productos químicos.

¹³ De enmelar: Untar con miel.

Palomilla de la papa. Los adultos tienen el cuerpo color plateado y alas anteriores color grisáceo, con pequeñas manchas oscuras y un borde angosto de pelillos.

Una hembra (Figura 10) puede depositar en el envés de las hojas, tallos, brotes en tubérculos, cerca de las yemas y en materiales presentes en almacén, individualmente o en grupos, entre 40 y 290 huevecillos durante su periodo reproductivo.



Figura 10. Palomilla de la papa.

La etapa larval transcurre por cuatro fases. La primera es de color amarillo cremoso y mide alrededor de 1.25 mm de largo (Figura 11), mientras que en el último estadio mide un promedio de 9.9 mm de largo, en el dorso presenta una coloración rosácea y el resto del cuerpo es verdoso.

Al completar su desarrollo, la larva se introduce en el suelo para pupar¹⁴; en papa almacenada pupan sobre el tubérculo, en desperdicios dejados en almacén y en tubérculos viejos y dañados.

La pupa es de color marrón y mide unos 6 mm de largo.



Figura 11. Huevecillos y larva de primera fase de palomilla de la papa.

14 Parte de la metamorfosis de los insectos.

Medidas de control

Algunos investigadores señalan que el estado más susceptible de *P. operculella* es la larva de primer y segundo instar, quienes después de emerger de los huevecillos vagan por un tiempo antes de penetrar a la planta, una vez dentro del nicho de alimentación y desarrollo es inmune a los insecticidas.

Control cultural y poscosecha

• Eliminación de hospederas silvestres en la periferia (toloache, tomatillo silvestre, chiquelite y otras) antes de la siembra.

• Siembra temprana. Las siembras tempranas escapan a las poblaciones elevadas de palomilla de la papa, que se presentan a partir de marzo. En abril y mayo las poblaciones son extremadamente altas.

• Uso de semilla sana.

• Siembra profunda y aporque¹⁵ alto.

• Riegos frecuentes (aspersión).

• Eliminación del follaje con cosecha próxima.

• Cosecha temprana.

• Eliminación de residuos de la cosecha anterior.

• Reducción del periodo de siembra.

• Rotación de cultivos.

• Movilización rápida y selección cuidadosa de los tubérculos después de la cosecha.

• Uso de barreras mecánicas durante el almacenamiento.

• Revisión periódica de los almacenes.

Control biológico (enemigos naturales)

Hasta la fecha, se desconocen los enemigos naturales de la palomilla de la papa en la región norte de Sinaloa; las repetidas aplicaciones de insecticidas les brindan muy pocas oportunidades de presentarse.

Depredadores generalistas como crisopas, chinches y catarinitas posiblemente se presentan para consumir huevecillos y larvas pequeñas del insecto, además de enfermedades provocadas por entomopatógenos como *Bacillus thuringiensis*.

Control químico

El uso de insecticidas para control de *P. operculella* se sugiere cuando se detecte defoliación¹⁶ de 33% o mayor a partir de la floración del cultivo.

Otro umbral económico recomendado se considera cuando de 100 plantas revisadas se encuentren 10 con dos o tres larvas vivas.

Además, después de eliminar el follaje es importante inspeccionar la

15 Remover tierra para amontonarla en el tallo de la planta.

16 Caída de la hoja.

presencia de adultos y asperjar un adulticida¹⁷ para prevenir el daño a los tubérculos.

También se propone utilizar trampas con feromonas sintéticas, para esto se sugiere colocar una trampa con feromonas cada 5 hectáreas y realizar el control químico al capturar un promedio de tres palomillas por trampa cada noche, durante 10 días seguidos. Esto -de acuerdo a datos de muestreo en la región- puede ocurrir a partir de la segunda semana de enero.

Los insecticidas y dosis recomendados son: Diflubenzurón (Dimilin®), 300 gramos por hectárea (g/ha) o *Bacillus thuringiensis* (Dipel®, Bio-bit®), 750 g. Ambos insecticidas son para el control de larvas pequeñas en el follaje.

Clorpirifos (Lorsban®), a dosis de 750 a mil g/ha; Azinfos metílico (Gusatión M 20®), de 2 a 3 litros por hectárea (L/ha); Cyflutrina (Bay-troid®), de 500 a 750 cm³ por hectárea y Metomilo (Lannate®), de 300 a 400 g/ha.

Mosquita blanca. Los adultos miden aproximadamente 1.5 mm, tienen el cuerpo de color amarillo y alas que descansan sobre el mismo, están cubiertos por una especie de polvillo ceroso de color blanco.

Las hembras depositan cientos de huevecillos, generalmente por el envés de las hojas; son alargadas, como un gajo de naranja o un diente de ajo, pero el extremo basal es de forma redondeada y la parte superior es más aguda.

Recién depositadas son transparentes y brillantes; miden 0.186 mm de largo por 0.089 mm de ancho; a medida que se acerca su eclosión¹⁸ se tornan de color oscuro.

Las ninfas son de forma oval, vistas dorsalmente su cuerpo es más ancho en la parte anterior que en la posterior y son aplanadas como escamas (Figura 12).

Las ninfas de primer instar presentan patas y antenas de tamaño ligeramente mayor que el de los huevecillos, son de color blanco translúcido.

Las ninfas de último instar miden cerca de 1 mm de largo, son de color amarillo con dos puntos de color rojo oscuro, que son los ojos del adulto próximo a emerger.

En el cultivo de la papa se presentan elevadas poblaciones de mosca blanca, sobre todo en siembras tardías a partir de abril. Por eso es muy importante sembrar en el periodo de siembra recomendado.

El daño que causan es similar al que realizan los pulgones: Debilitan a la planta al succionar la savia, provocan distorsión de hojas, enmielado del follaje y propician la presencia de fumagina¹⁹.

¹⁷ Insecticida que elimina las formas adultas de la palomilla.

¹⁸ Momento en que se rompe la envoltura del huevecillo.

¹⁹ Cubierta superficial de color negro que se desarrolla sobre el follaje y frutos de las plantas.



Figura 12. Ninfas y adultos de mosquita blanca.

Todo lo anterior puede incidir finalmente en la reducción del rendimiento y posiblemente en menor tamaño del tubérculo.

Medidas de control

Control cultural

Se recomienda, principalmente, sujetarse al periodo de siembra recomendado por la Secretaría de Agricultura, Gandería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), eliminar plantas hospederas arvenses preferidas, al menos 100 metros alrededor de la superficie del cultivo, previo a la siembra o emergencia de la planta de papa y de preferencia evitar sembrar cerca de otros cultivos hospederos de otoño-invierno como tomate, tomatillo y cucurbitáceas.

Control biológico (enemigos naturales)

En la región norte de Sinaloa, la mosca blanca cuenta con varias especies de enemigos naturales, que atacan y se alimentan de esta plaga en diferentes etapas de su desarrollo biológico, como depredadores: Chinche pirata (*Orius* sp.), chinche ojona (*Geocoris* sp.), chinche pajiza (*Nabis* spp.), chinche asesina (*Zelus* spp. y *Sinea* spp.) y crisopa (*Chrysoperla carnea* y *Ch. comanche*).

Parasitoides como *Encarsia porteri* (Mercet), *Eretmocerus eremicus* (= *E. californicus* Howard) y enfermedades provocadas por los hongos *Beauveria bassiana* Vuill. y *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize).

Para el control biológico inducido se recomienda realizar liberaciones de crisopa, con cuatro o más cm³ de huevecillos por hectárea, a partir de que se observen inmaduros en el envés de las hojas apicales.

Control químico

Hasta donde sea posible es importante evitar la aspersión de insecticidas sintéticos de amplio espectro, durante las primeras semanas del cultivo, ya que se elimina la fauna benéfica, que ayuda a controlar ésta y otras plagas.

Se recomienda realizar muestreos a intervalos semanales, por la mañana, antes de las 8:00, para inspeccionar presencia de adultos en el envés de hojas apicales nuevas, completamente desarrolladas.

Muestrear 50 hojas en parcelas de 10 hectáreas o menos; la mitad, 25 hojas, se inspeccionan en una cabecera del lote y el resto en otro extremo.

Las aspersiones de insecticidas convencionales se sugieren a partir de registrar alrededor de 60% de hojas apicales infestadas con tres adultos o más.

Aspersiones de insecticidas biorracionales a base de jabón, extractos vegetales de nim (Bioissa®), aceites minerales o entomopatógenos²⁰ de los hongos *Beauveria bassiana* Vuill. (BeaSin®) y *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) (PaeSin®) controlan la mosca blanca, pero las aplicaciones deben de hacerse cuando se observe la presencia de adultos y los primeros estados inmaduros en hojas apicales.

Estos insecticidas también pueden ser empleados en mezclas con insecticidas sintéticos, cuando la presencia de la plaga en el cultivo se incrementa.

Algunos insecticidas convencionales recomendados son: Endosulfan (Thiodan®), de 2 a 2.5 litros por hectárea (L/ha); Cyalotrina (Karate Zeon®), 600 centímetros cúbicos por hectárea (cm³/ha); Imidacloprid más Cyflutrina (Leverage®), de 250 a 300 cm³/ha; Acetamiprid (Rescate), de 230 a 375 gramos por hectárea (g/ha) y Thiacloprid (Calypso®), de 150 a 200 cm³/ha.

Otros insectos plaga. Existen diferentes especies fitófagas más que se presentan y dañan el cultivo de papa, como chicharritas, pulga saltona, gusano soldado, paratrioza, sin embargo, aunque en ocasiones pueden presentarse en poblaciones elevadas, el control químico que se realiza contra la palomilla de la papa u otros insectos mencionados antes ayudan al control de estas especies.

Relación plaga-fenología

Cuando se pronostica la fenología de la papa y las etapas pronosticadas se relacionan con la posible presencia de plagas hay más tiempo para diseñar estrategias de control en forma anticipada, ya que la velocidad de crecimiento del cultivo está influida por la temperatura, como ya se mencionó anteriormente.

En las figuras 13 y 14 se presentan las etapas de la papa en las que se han observado las diferentes plagas, también se identifican los daños que provocan éstas en los órganos de la planta.

²⁰ Organismos causantes de enfermedades en los insectos, normalmente bacterias, virus u hongos.

Enfermedades

Al igual que las plagas, la predicción de la fenología puede ser de gran utilidad para prevenir la incidencia de algunas enfermedades, pues para que se presente una enfermedad, aunado a las condiciones climáticas, necesariamente tiene que estar presente el hospedero, que es más susceptible en función de la etapa de crecimiento en que se encuentre, lo que depende de la enfermedad en cuestión.

A continuación, se describen las principales enfermedades de la papa y su relación con la fenología de éstas en Sinaloa.

Tizón tardío. El tizón tardío es causado por el patógeno *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary.

El nombre de *Phytophthora* deriva de los vocablos griegos: *Phyto* = planta y *phthora* = destructor; por lo tanto, *Phytophthora* significa destructor de plantas.

Inicialmente y hasta hace poco, el patógeno fue considerado como un hongo, pero en la actualidad se ha propuesto que *P. infestans* sea considerado dentro del reino de los chromistas²¹.

Los patógenos que se encuentran dentro de esta clasificación se caracterizan porque la pared celular tiene celulosa, son diploides, el micelio no tiene septas y son bisexuales; en cambio, los hongos tienen quitina en la pared celular, son haploides y el micelio tiene septas.

Además, el patógeno se caracteriza por tener esporangióforos de crecimiento ilimitado, esporangios en forma de limón, zoosporas biflageladas (producidas en condiciones ambientales de temperatura de 12 a 15°C y humedad relativa de 95 a 100%) y oosporas anfígenas.

En hojas, la enfermedad inicia cuando se observan pequeñas manchas irregulares de color verde pálido a verde oscuro.

En condiciones ambientales óptimas de temperatura (de 12 a 15°C) y humedad relativa (100%), estas pequeñas manchas irregulares, que se desarrollan generalmente en los bordes y en el ápice de los folíolos²², crecen rápidamente, dando lugar a lesiones necróticas²³ grandes de color marrón a negro, rodeadas de un halo amarillento.

En el envés de las hojas, coincidente con las manchas que se observan en el haz, se desarrolla un mildiú blanquecino, constituido por esporangióforos y esporangios (Figura 13a).

En tallos, los síntomas se presentan como lesiones oscuras continuas, ubicadas generalmente en el tercio medio o superior de la planta y alcanzan, en algunos casos, más de 10 cm de longitud (Figura 13b).

Estas lesiones son frágiles y de consistencia vidriosa, se quiebran fácilmente con la fuerza del viento o por contacto con la maquinaria y por las personas que transitan por el campo durante las labores

²¹ Grupo de organismos que incluye la gran mayoría de las algas.

²² Cada una de las piezas con aspecto de hoja que forman la hoja compuesta.

²³ Degeneración de un tejido por muerte de sus células.

culturales.

En tubérculos, en la parte externa se observan depresiones muy superficiales e irregulares, de tamaño variable y de consistencia dura.

Al hacer un ligero raspado (con un cuchillo o con la uña) debajo de la piel afectada, el tejido es de color marrón. Al cortar transversalmente un tubérculo afectado se observa en la superficie de corte una necrosis de forma irregular, de color marrón, de apariencia granular que avanza de la periferia hacia el centro de la médula (Figura 13c).

En los tubérculos afectados, que aparentemente se muestran sanos al momento del almacenamiento, la enfermedad se desarrolla lentamente y el patógeno esporula²⁴, sin embargo, los tubérculos infectados pueden destruirse completamente, debido a que las lesiones son puerta de entrada de bacterias patógenas como *Erwinia* spp. y hongos como *Fusarium* spp., que se encuentran en la superficie de los tubérculos y causan pudrición.

Fusarium. Es una de las más importantes enfermedades de la papa; afecta tubérculos en almacenaje y semilla después de la siembra. Las principales especies de esta enfermedad son *F. sambucinum*; *F. solani*, variedad *Coeruleum* y *F. avenaceum*.

Estos hongos sobreviven en desechos y viven en el suelo, es común encontrarlos en la mayoría de los suelos donde se cultiva papa y pueden sobrevivir como esporas resistentes por largos periodos de tiempo.

En bodega, la enfermedad se desarrolla más rápidamente con humedad relativa alta y temperaturas de 15°C a 21°C.

A temperaturas de 2.7°C en bodega, *Fusarium* está en dormancia²⁵ y el desarrollo de la enfermedad es mínimo. Al elevar la temperatura a 12°C para sacar la semilla de la bodega, los tubérculos infectados empiezan a pudrirse.

La pudrición seca se inicia en heridas y raspaduras. Los primeros sín-

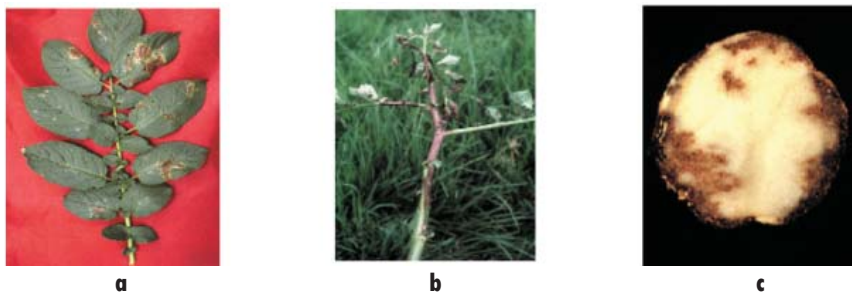


Figura 13. Daños característicos de tizón tardío en hojas (a), tallos (b) y tubérculos (c) de papa.

24 Cuando la bacteria forma esporas.

25 Reducción de actividad y baja de metabolismo en las plantas y otros organismos, que corresponde a un estado de inactividad de los mismos.

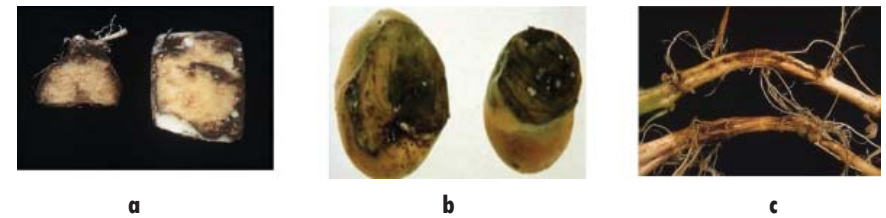
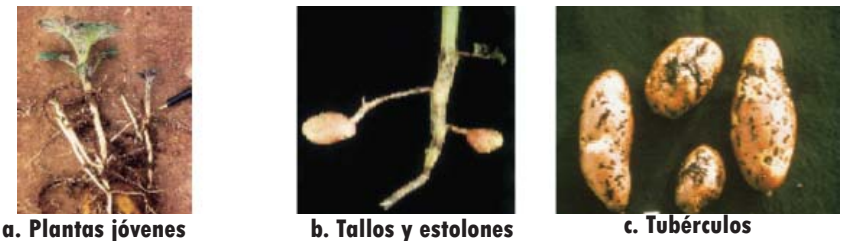


Figura 14. Aspectos de daño por *Fusarium* en semilla (a), tubérculo en almacén (b) y planta (c).



a. Plantas jóvenes

b. Tallos y estolones

c. Tubérculos

Figura 15. Daños de rizoctonia en diferentes órganos de la planta de papa.



Figura 16. Infección producida por contacto directo entre un esclerocio que germina y la planta de papa.



Figura 17. Tubérculos infectados por *Streptomyces scabies*.

26 Necrosis en partes tiernas de plantas jóvenes.

27 Estado imperfecto de un hongo, que sólo se reproduce en forma asexual.

28 Filamento microscópico que constituye la carne de los hongos.

29 Unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un metro, su símbolo es μm .

tomas son depresiones oscuras en la superficie del tubérculo, micelio blanco, rosa o violeta.

Al avanzar la pudrición se hace una cavidad y los tubérculos se momifican.

En el caso de *F. coeruleum* las lesiones son de color amarillo a café y para *F. sambucinum* las lesiones son de color café oscuro a negro (Figura 14).

El agente causal del chancro²⁶ es el hongo *Rhizoctonia solani* Kühn, éste es el estado anamorfo²⁷ del bacidiomycota *Thanatephorus cucumeris* (Frank.) Donk.

Las hifas²⁸ de este hongo son capaces de anastomosarse (fusión de hifas), por lo que los diferentes aislamientos han sido agrupados en función a esta particularidad.

El micelio es casi siempre de color canela o castaño oscuro y las hifas tienen un diámetro que va de 8 a 10 micras²⁹.

Este hongo se encuentra distribuido en suelos de todo el mundo, ya sea cultivados o no cultivados, y constituye un patógeno extendido en los sistemas de cultivo de papa.

Los daños más severos a la planta se producen poco después de la siembra.

El hongo afecta los brotes subterráneos, anula o retarda su emergencia, especialmente en suelos fríos y muy húmedos, lo que da como resultado desigualdad en el crecimiento, plantas débiles y fallas de emergencia (Figura 15).

Los brotes que emergen igualmente se infectan, desarrollan en la base del tallo un chancro que puede presentar depresiones profundas que producen un estrangulamiento de éste.

El hongo provoca una gran diversidad de síntomas, que incluye retardo en el desarrollo de la planta, arrojamiento³⁰ del ápice, necrosis cortical³¹ del tejido leñoso, pigmentación púrpura de las hojas y formación de tubérculos aéreos. El estado sexual de este patógeno se presenta en la superficie de los tallos, sobre la línea del suelo, forma una capa blanco-plomiza, sobre la que se presentan las basidiosporas³², que dan a la superficie una apariencia polvorienta.

El tejido en contacto con esta capa se presenta sano. Esta etapa del ciclo de la enfermedad se denomina pie blanco.

El patógeno se mantiene de una temporada a otra en forma de esclerocio³³ en el suelo y en la superficie de los tubérculos y como

30 Etapa intermedia en que la planta no crece.

31 Relativo a la corteza terrestre.

32 Esporas que se forman en el exterior de un órgano.

33 Cuerpo reducido, duro, con una corteza dura y una médula laxa; resistente a las condiciones desfavorables, que puede permanecer latente por largos periodos y que germina cuando las condiciones son adecuadas nuevamente.

34 De inocular: Introducir en un organismo una sustancia que contiene los gérmenes de una enfermedad.

micelio en restos vegetales.

La población de *R. solani* puede incrementarse cuando se cultiva papa en el mismo campo sucesivamente.

Usar semilla altamente infestada de esclerocios también favorece el incremento de inóculo³⁴ en el suelo.

Los esclerocios germinan cuando las condiciones ambientales son favorables.

El clima óptimo para el desarrollo de la enfermedad es de 18°C, que disminuye cuando la temperatura del suelo aumenta.

Los niveles altos de humedad y, sobre todo, la falta de drenaje tienden también a incrementar la formación de esclerocios sobre los tubérculos recién formados.

Al germinar los esclerocios, el hongo invade los brotes emergentes y tallos, especialmente a través de heridas.

Durante la etapa de crecimiento de las plantas, raíces y estolones son invadidos.

La formación de esclerocios en los tubérculos nuevos se observa en cualquier momento, sin embargo, el mayor desarrollo se produce una vez que la planta está muerta y los tubérculos han quedado bajo el suelo por un tiempo prolongado.

Moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*). Este hongo sobrevive en residuos de cosecha y en la capa superior del suelo, a una profundidad de 1 a 2 pulgadas, como esclerocio de color negro y duro.

Cuando el esclerocio germina produce una estructura llamada apothecia, que dispara esporas al follaje, con lo que infecta hojas y tallos.

Bajo condiciones favorables, la apothecia expulsa ascosporas³⁵, que son transportadas por el aire.

Una sola apothecia puede producir más de 8 millones de ascosporas, que pueden germinar a temperaturas de 12 a 21°C y a una humedad relativa de 95 a 100%. El hongo deja de crecer a temperaturas mayores de 29°C.

Al igual que otros hongos, el moho blanco es favorecido por suelo y follaje húmedos.

Debido a que las ascosporas son de tamaño similar al polen, cuando son transportadas por el viento pueden ser capturadas por las flores.

Cuando las flores cubiertas con ascosporas caen al suelo infectan los tejidos en descomposición y se desarrollan hifas e infectan tallos y hojas sanas en la parte baja del follaje, lo que provoca una masa de hifas de color blanco algodonoso.

Las infecciones también pueden ocurrir por contacto directo entre un esclerocio que germina y la planta, los primeros síntomas son lesiones húmedas que pronto son cubiertas por un micelio blanco algodonoso.

Los esclerocios se forman dentro o fuera de los tallos infectados

35 Espora producida en el interior de una célula.

(Figura 16).

Sarna común. La sarna común es causada por la bacteria filamentososa *Streptomyces scabies*. No presenta síntomas en el follaje, ataca al tubérculo en desarrollo, lo que reduce significativamente la calidad de mercado y no la producción.

La enfermedad se caracteriza por la presencia de lesiones de apariencia corchosa³⁶ en los tubérculos, las más comunes son las superficiales y las profundas.

Las lesiones superficiales se limitan a la cáscara del tubérculo y su aspecto puede variar desde una capa reticulada a lesiones elevadas.

Las lesiones profundas ingresan en el tubérculo y producen hoyos de dimensiones variables, que en ocasiones se asemejan al daño causado por insectos del suelo. Un tubérculo puede tener los dos tipos de síntomas (Figura 17).

El suelo seco favorece la infección del patógeno. La sarna común también es más severa en suelos con un pH³⁷ de 5.5 a 7.5.

Para su control, se recomienda mantener altos niveles de humedad (cerca de capacidad de campo) en el suelo por tres o cuatro semanas desde el inicio de la tuberización, también se sugiere usar fuentes de fertilizantes de reacción ácida como el sulfato de amonio.

Relación enfermedad-fenología

La predicción de la fenología también puede ser una herramienta de apoyo que puede servir como alerta para prevenir la presencia de enfermedades y diseñar una estrategia de manejo.

En el Cuadro 9 se relacionan algunas de las principales enfermedades de la papa con las etapas más críticas de desarrollo de la planta, así como los daños que éstas ocasionan.

Medidas de control

En el Cuadro 10 se presentan algunas recomendaciones para implementar estrategias de control de enfermedades en el cultivo de papa.

No debe olvidarse que el manejo integrado es la mejor forma de controlar las enfermedades de papa, éste no es más que el uso adecuado de todas las formas de control que se conocen.

Cuadro 9. Relación de algunas enfermedades de la papa con los estados de desarrollo del cultivo y los daños que provocan.

Patógeno	Etapas críticas	Daños
<i>Rhizoctonia</i>	Preemergencia, emergencia y primeras semanas de crecimiento vegetativo para el caso de daños en estolones y daños en base de tallos (abajo del nivel del suelo).	En riego por aspersión pudre tallos y ramas al infectar los tubérculos.
<i>Fusarium</i>	Daños en almacén y todo el ciclo de cultivo en el campo.	Una cosecha tardía incrementa daños, también el calor. En almacén es importante curar heridas.
Moho blanco	En cultivo cerrado y en pleno crecimiento.	
Sarna común	Inicio de tuberización y aumento del tubérculo.	Presencia de lesiones de apariencia corchosa en la piel de los tubérculos. Las lesiones más comunes son las superficiales y las profundas.
Tizón tardío	Cultivo cerrado y en crecimiento, antes de senescencia (vejez).	Susceptible en cualquier etapa; más grave al cerrarse por acumulación de humedad; pero con humedad a nivel microclima. Aún plantas recién emergidas pueden morir.
Tizón temprano	Maduración y senescencia	Puede haber algo de daño antes de emerger o poco después, pero comúnmente es hasta que el follaje está maduro (sobre todo el inferior).

³⁶ Semejante al corcho en apariencia o condición.

³⁷ Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una mezcla. Entre 0 y 7 la disolución es ácida y de 7 a 14, básica.

Cuadro 10. Control cultural y químico para algunas enfermedades de papa importantes en Sinaloa.

Enfermedad	Control cultural	Control químico
Moho blanco	<ul style="list-style-type: none"> -Rotación de cultivos con gramíneas. -Al cultivar hospederos no susceptibles, el esclerocio puede germinar pero el hongo no es capaz de infectar y no continúa con su ciclo. -Buen manejo de la fertilización para reducir un excesivo desarrollo del follaje. Con follaje menos denso hay menor riesgo. -Riegos apropiados, evitando excesos de humedad en suelo y follaje. -Control de malezas que son hospederos (bledo, hierba mora, verdolaga, mostacilla, etcétera). 	<ul style="list-style-type: none"> -Endura (boscalid), de 400 a 730 mililitros por hectárea. Aplicar en la primera inflorescencia y repetir a los 14 días si las condiciones son favorables. -Shogun 500 FW (fluazinam), de 500 mililitros a 1 litro por hectárea. Repetir a los siete o 10 días. -Botran 75 PH (Dicloran), 6 kilos por hectárea en intervalos de siete días. -Cercobin M (Thiofanate methyl), de 1.120 a 1.680 kilos por hectárea. Primera aplicación en la primera floración. Repetir de siete a 14 días. -Rovral (Iprodione) 50 WP, 2.240 kilos por hectárea en intervalo de siete a 21 días.
<i>Fusarium</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Asegurarse de la madurez de la piel antes de cosechar. -Evitar golpes y heridas en los tubérculos y manejarlos con cuidado. -Limpiar y desinfectar la bodega (cloro a 5.25%, 3.785 litros en 38 litros de agua). -Manejo cuidadoso de la papa al almacenarla. -Cicatrización de heridas en almacén con temperaturas de 12 a 18°C por dos semanas y 90% de 	<ul style="list-style-type: none"> -Envolve (Tops MZ-Curzate) para papa cortada, 340 gramos por cada 45 kilogramos. -Maxim (Fludioxonil), 230 gramos por 45 kilogramos. -Mertect (Thiabendazole) 340 F 42%, 12.5 mililitros por 45 kilogramos en poscosecha. -Tops MZ, 450 gramos por 45 kilogramos. -Tops 2.5%D, 450 gramos por 45 kilogramos. -Captan 7.5%, 450 gramos por 45

	<ul style="list-style-type: none"> humedad relativa y después bajar la temperatura .5° por día hasta alcanzar la deseada. -La semilla se debe almacenar de 4° a 5°C (40° a 42°F), humedad relativa de 85 a 90% y buena ventilación. -El calentamiento de la semilla se debe hacer a 10°C antes de sacarla. 	<ul style="list-style-type: none"> kilogramos. -Mancozeb 8%, 450 gramos por 45 kilogramos. -Maneb 7.5%, 450 gramos por 45 kilogramos. -Maneb 8% más Streptomycin 0.01%, 450 gramos por 45 kilogramos.
Tizón tardío	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizar variedades de papa con resistencia. -Usar como semilla tubérculos sanos. -Eliminar todas las fuentes de infección. -Realizar aporques altos con la finalidad de cubrir los tubérculos superficiales. -Cortar el follaje infectado y ponerlo fuera del campo. -Evitar la cosecha en días lluviosos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Fungicidas de contacto. Dependiendo de las condiciones ambientales, las aplicaciones con estos productos pueden realizarse cada tres o siete días. Los que inhiben el crecimiento miceliano y germinación de las zoosporas, como los ditiocarbamatos (Mancozeb, Zineb, Propineb, Maneb y Metiran). Los que impiden la movilidad de las zoosporas (Captafol y Folpet) y como antiesporulantes, para reducir la diseminación: Acetato de fentin, Hidróxido de fentin, Clorotalonil y Fluazinam. -Fungicidas sistémicos. Se les llama fungicidas sistémicos a todos los productos químicos que al ser aplicados al follaje ingresan a los tejidos de la planta. Tienen un efecto residual largo de 10 a 15 días y se mueven dentro de la planta. El movimiento del producto químico dentro de la planta puede ser simplemente trans-laminar (como Cymoxanil, Dimetomorph

		o Previcur), de hoja a hoja, de tallo a hoja y/o de follaje a los tubérculos. El movimiento de arriba hacia abajo se conoce como basipétalo y de abajo hacia arriba como acropétalo. Los fungicidas con este tipo de movimiento son altamente sistémicos y pertenecen al grupo de las fenilaminas (Metalaxyl, Ofurace, Benalaxyl y Oxadixyl).
<i>Rhizoctonia</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizar como semilla tubérculos sanos. -El uso de tubérculos libres de esclerocios (GA3) es una buena medida para evitar la infección de los brotes en estado de preemergencia. -Rotación de cultivos. Esta práctica es eficiente para controlar el GA3 de <i>R. solani</i> porque afecta sólo a la papa y cebada y no para el GA4, que afecta a muchos otros cultivos. -Eliminar o quemar los restos de cosecha. Esta práctica es válida para eliminar el micelio del hongo que se encuentra en restos de tallos y estolones infectados en el campo después de la cosecha. 	<p>El uso de fungicidas (aplicados al suelo o como desinfectantes de tubérculos) no incrementa los rendimientos, pero aumenta la calidad sanitaria de los tubérculos. Por otro lado, los fungicidas deberían utilizarse de acuerdo al GA presente.</p> <p>Trabajos realizados en México han determinado que el monceren (producto químico) controla eficientemente al GA3 y el fungicida Rizolex al GA4; pero el GA7, que también forma esclerocios, es tolerante a todos los fungicidas.</p>

Bibliografía

- Alonso, A. F. 2002. *El Cultivo de la patata. Segunda edición*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España, pág. 495.
- Badillo, T. V., J. Z. Castellanos y G. Sánchez 2001. *Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa variedad Alpha*. Agrociencias, pp. 615-623.
- Cornell University 2007. *Potato Scab Streptomyces scabies*. <http://plantclinic.cornell.edu/FactSheets/potatoscab/potatoscab.htm>
- 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.
- Clafflin, L. 2007. *Common scab of potato. Extension publication L-551*. Department of Plant Pathology. Extension Plant Pathology. www.oznet.k-state.edu
- FAO 2008. "La Papa: Tesoro enterrado, ¿Por qué la papa?", *Revista mensual, Claridades Agropecuarias. Número 174*. ASERCA, SAGAR-PA, México, DF, pp. 41-50.
- Flores, G. H. 2007. *Validación de un modelo basado en el concepto grados día (°D) para el pronóstico del riego en el cultivo de papa (Solanum tuberosum) en el norte de Sinaloa*.
- Henk, R. B. 2003. *Netherlands catalogue of potato varieties*. Ed. NIVAA-HOLLAND, pág. 263.
- Jefferies, R. A. y H. M. Lawson 1991. "A key the stages of development of potato (*Solanum tuberosum*)", en *Annals of Applied Biology*, pp. 387-389.
- Llenderal, C. C. y R. Nieto 2000. "Manejo de la palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella*)", en *Temas selectos en fitosanidad y producción de hortalizas*. Instituto de fitosanidad-CP. ISBN 968-839-289-8, Montecillo, Estado de México, pp. 41-46.
- 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., I. E. Sifuentes y W. H. Unland 2006. *Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México*. Agrociencia, pp. 13-25.
- Richard, X. L. 2007. *Common scab of potato. Extension Plant Pathologist*. www.ces.purdue.edu/extmedia/BP/BP-8.html.
- Rocha, R. R., K. F. Brierly, R. Bujanos y M. Villarreal 1990. *Manejo integrado de la palomilla de la papa Phthorimaea operculella (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) en el Bajío, México*. SARH-INIFAP-CIFAG-CEB, Celaya, Guanajuato, pág 52.
- Rouselle, P., Y. Robert y J. C. Crosnier 1999. *La patata*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España, pág. 607.
- 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, pág. 34.

Solórzano, V. E. 2000. *Compendio de guías fenológicas*. Departamento de fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 137-144.

Strand, L. L. y P. A. Rude 2006. *Integrated pest management for potatoes in the western United State. Segunda edición*. University of California, Oakland, California, pág. 167.

Torres, R. E. 1995. *Agro-meteorología*. Trillas, México, DF, pp. 106-113.

Wharton, P., J. Driscoll, D. Douches, y W. Kirk 2007. "Common scab of potato", *Extension bulletin E-2990*. www.patatodiseases.org

Agradecimientos

Se agradecen, sinceramente, las aportaciones y sugerencias de los autores, así como la revisión de Hugo Gómez Arroyo, productor y representante no gubernamental del Comité Nacional Sistema Producto Papa.

De forma especial, se agradecen las atinadas sugerencias de Waldo Ojeda Bustamante, investigador del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, y el apoyo brindado, durante el desarrollo del trabajo de campo, por J. Pilar Cruz Pereda, Felizardo Álvarez Ruiz y Juan J. García Flores.