PN-ABE-370

RESEARCH GUIDE
GUIA DE INVESTIGACION
GUIDE DE RECHERCHE

CIP

Guía de Investigación CIP 9

AGRONOMIA PARA LA PRODUCCION DE PAPA EN CLIMAS CALIDOS

1989

David J. Midmore

INTERNATIONAL POTATO CENTER (CIP)
CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP)
CENTRE INTERNATIONAL DE LA POMME DE TERRE (CIP)

Guía de Investigación CIP 9

AGRONOMIA PARA LA PRODUCCION DE PAPA EN CLIMAS CALIDOS

1989

David J. Midmore

CIP
Apartado 5969
Lima, Perú

Ubicación:
Av. La Universidad s/n
La Molina - Lima

Tel. 366920
Télex 25672 PE
Cable CIPAPA, Lima

Guías de Investigación CIP (CRGs)

Las Guías de Investigación CIP (CRGs) describen tecnologías que han sido desarrolladas y utilizadas por el CIP y los Programas Nacionales de Papa. Las CRGs fueron producidas para promover el intercambio de información entre científicos y son actualizadas regularmente para asegurar que describan los avances más recientes.

Midmore, D.J. 1987. Agronomía para la producción de papa en climas cálidos. Guía de Investigación CIP 9. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 48 p.

Guía de Investigación CIP 9

AGRONOMIA PARA LA PRODUCCION DE PAPA EN CLIMAS CALIDOS

1 La papa en climas cálidos
2 Objetivos de las prácticas agronómicas
3 Profundidad de siembra
4 Métodos de siembra
5 Posición del material de siembra y orientación del surco
6 Cobertura protectora
7 Irrigación
8 Aporque
9 Sombreado y cultivos intercalados
10 Distanciamiento y población de plantas
11 Fertilizante nitrogenado
12 Control de plagas y enfermedades
13 Cuantificación de la intercepción de la luz
14 Bibliografía

La papa es una de las fuentes vegetales de mayor valor nutritivo. El Centro Internacional de la Papa en colaboración con los Programas Nacionales de Papa reconoció que es posible cultivar la papa en cualquier zona dentro de los trópicos, al menos durante una temporada del año. Aparte de las prácticas agronómicas, se debe prestar atención a la provisión de material de siembra de buena calidad. Este documento contiene sugerencias agronómicas. Existe otro documento sobre producción y utilización de materiales de siembra de papa en clima cálidos.

1 LA PAPA EN CLIMAS CALIDOS

La papa es generalmente considerada como un cultivo alimenticio de la estación fría, producido y consumido principalmente en las zonas de clima templado del mundo. De hecho, menos del 10 % del área destinada en el mundo a la producción de papa se encuentra localizado en las zonas de clima tropical, obteniéndose en las mismas una producción aún menor. Sin embargo, aproximadamente 40 % de la población mundial vive en países ubicados en la Zona Tórrida entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio considerándose que el cinturón de hambre del mundo se encuentra entre los 15° de latitud norte y los 15° de latitud sur.

La papa, sin embargo, se originó en la zona tropical, mayormente en la región andina a altitudes de 2 000 a 4 000 metros, en ambientes de días cortos, adecuada humedad y abundante luz solar. En climas templados de Europa, Norteamérica y otras partes del mundo se han seleccionado cultivares de papa y se les ha adaptado a días largos y a la supervivencia a los estreses biológicos de los climas fríos.

El interés por la papa, como un importante producto alimenticio de clima cálido, se ha incrementado significativamente en los últimos diez a quince años: la producción de papas en los países en desarrollo se dobló de 1970 a 1985. Los mayores incrementos se han presentado en el lejano este y en el sureste de Asia, donde el arroz ha sido tradicionalmente el alimento básico de la población. Entre los países con incrementos notables en la producción de papa se incluyen Sri Lanka, India, Viet Nam, Indonesia, Camerún, Rwanda y Tanzania.

La papa, como un producto alimenticio, viene siendo reconocida como una de las fuentes vegetales de mayor valor nutritivo para consumo humano. Su relación proteína/hidratos de carbono es más alta que en la mayoría de los cereales u otras raíces y tubérculos: la calidad de su proteína es superior a la de casi todos los otros cultivos alimenticios. En los países en desarrollo, la papa ocupa el primer lugar en cuanto cantidad de energía producida por hectárea por día, siendo ésta mayor que en el caso de la yuca, los cereales y las legumbres: la producción de proteína por hectárea por día es también alta.

En la actualidad los aspectos económicos de la producción y comercialización de papa varían tremendamente en todo el mundo. En el norte de Europa, donde se tiene el más alto consumo per cápita, un porcentaje significativo es producido para alimentación animal. Pero en muchos países de clima cálido el alto costo de la semilla y otros insumos hace que la papa sea considerada un producto alimenticio tan solo al alcance de los ricos. La papa es generalmente un producto inmóvil. Las exportaciones e importaciones incluyen menos de 2 a 3 % de la producción anual: si la papa no se produce localmente, tampoco se consume localmente.

Por esta razón, tiene que ser un cultivo de bajo costo, fácilmente disponible para los habitantes de centros con densa población localizados generalmente en zonas de clima cálido, por ejemplo en el sureste de Asia, Manila, Bangkok, y la ciudad de Ho Chi Min: la producción obviamente debe estar localizada cerca de los centros de consumo.

El Centro Internacional de la Papa (CIP) ha reconocido los múltiples y complejos problemas existentes, así como las oportunidades para producir papa en climas cálidos. En 1977 el CIP inició la investigación en papa en climas cálidos y desde 1983 ha preparado un importante plan de acción en relación a la misma. Cooperando con los programas nacionales de papa en todas las zonas tropicales y con las instituciones dedicadas a la investigación en las zonas templadas y tropicales de clima cálido, se ha ganado mucha experiencia y se ha logrado muchas mejoras tecnológicas. Ahora es posible cultivar papa casi en cualquier zona dentro de los trópicos, al menos durante una temporada del año.

Es evidente que la principal excepción está relacionada con zonas de muy alta precipitación donde no se tiene una marcada temporada sin lluvias. La producción de papa es posible, cuando las condiciones climáticas se encuentran dentro de los límites señalados a continuación (generalmente encontrados durante la temporada más seca del "invierno"):

- temperatura nocturna mínima no mayor de 22 ^{o}C
- temperatura diurna máxima no mayor de 35 ^{o}C
- radiación diaria recibida no menor de 15 MJ ms^{-2} $día^{-1}$ (6 a 8 horas de intensa luz solar)
- promedio de precipitación de 4 mm por día para proveer evapotranspiración (si no se dispone de irrigación)

Ejemplos de zonas con tales condiciones climáticas: Cuba, Bangladesh, Viet Nam del Sur, la costa de Filipinas y Sri Lanka.

Aparte de estas limitaciones climáticas se encuentran bajo consideración el tipo de suelo (evitando los suelos arcillosos pesados), la incidencia de plagas y enfermedades (principalmente marchitez bacteriana, en zonas que quedan generalmente libres después de cultivos de gramineas, por ejemplo, arroz y caña de azúcar) y la disponibilidad de irrigación. Si se dispone de suficiente humedad en el suelo, son favorables las zonas de costa, con enfriamiento provocado por la evaporación debida a la brisa marina, como son los suelos hidromórficos (con una napa alta de agua) y zonas que dan cara al norte en el hemisferio norte o al sur en el hemisferio sur (para tomar ventaja de un menor recalentamiento del suelo).

Tanto en el CIP como en los programas nacionales se han investigado prácticas agronómicas especiales, tales como cultivos intercalados, coberturas protectoras, y rotaciones, para desarrollar técnicas y sistemas exitosos que mejoren el establecimiento de las plantas, el control de plagas y enfermedades, y que conduzcan a una alta productividad en climas tan frecuentemente severos como éstos. El énfasis puesto en los programas de mejoramiento ha sido modificado para desarrollar nuevas poblaciones de material genético precoz y tolerante al calor, del cual puedan seleccionarse cultivares adaptados localmente.

Aparte de las prácticas agronómicas que permiten la producción de papa bajo condiciones de clima cálido, se debe prestar atención especial a la provisión de material de siembra de buena calidad. Inicialmente, se han conducido experimentos con tubérculos-semillas bien brotados, de buena calidad, producidos en clima frío, pero la naturaleza general del sistema de un solo cultivo al año, y el alto costo de los tubérculos-semillas y de su transporte debido al aislamiento de las zonas de producción, ha estimulado la investigación para obtener materiales alternativos de siembra, principalmente utilizando semilla sexual, esquejes enraizados, y tubérculos-semillas de menor tamaño producidos intensivamente in situ en camas de almácigos.

Para llegar a obtener un sistema autosostenido de producción de papa en climas cálidos no será posible seguir rígidamente las instrucciones, paso a paso. En este y otros documentos se encuentran sugerencias para experimentos, que el investigador deberá relacionar a las condiciones locales propias los requerimientos y perspectivas, que puedan aplicarse oportunamente para satisfacer los requisitos básicos para una producción exitosa de papa la cual se puede mejorar con las experiencias personales.

2 OBJETIVOS DE LAS PRACTICAS AGRONOMICAS

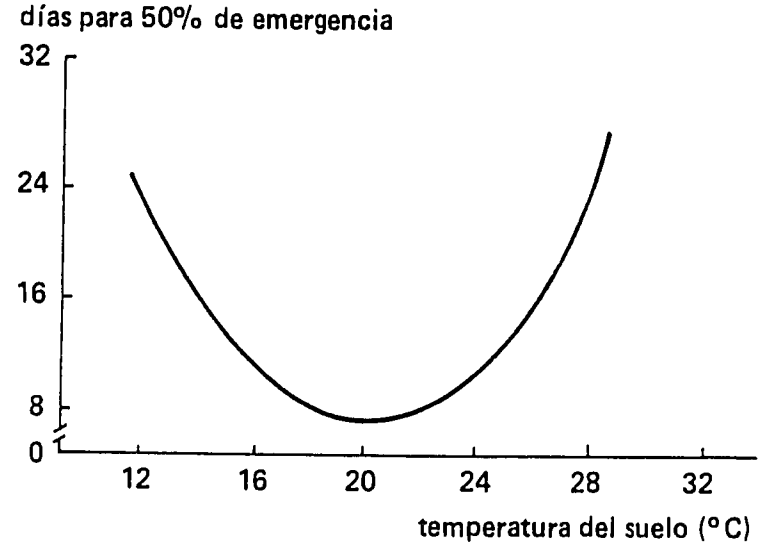
Las prácticas agronómicas para el cultivo de papa en climas cálidos están orientadas a reducir la temperatura del suelo, activar la emergencia, lograr y mantener la cobertura total del suelo por el cultivo. Una vez obtenida la cobertura total, los suelos permanecen suficientemente fríos para permitir la tuberización y el incremento en peso. En climas templados uno debe procurar también obtener una cobertura total tan rápido como sea posible y mantenerla hasta muy próxima a la cosecha, para maximizar la intercepción y conversión de la energía luminosa en materia seca.

La tasa de emergencia y el crecimiento subsecuente del cultivo son afectados tanto por las características inherentes del tubérculo, por ejemplo, el grado de brotamiento, como por las características del suelo, temperatura y disponibilidad de agua. La emergencia de los tubérculos aún no brotados puede producirse hasta dos semanas más tarde que la de los tubérculos ya brotados, y a una temperatura bien elevada del suelo los tubérculos no brotados pueden no emerger en absoluto.

Desde que los tubérculos no brotados permanecen recalentándose en el suelo por un periodo más prolongado antes de emerger y el follaje proporciona sombra al suelo, ellos están expuestos a la pudrición y por lo tanto no logran emerger en un 100 %. Bajo condiciones de limitación de agua en el suelo la emergencia es muy lenta, como la es también a temperaturas extremas del suelo (Figura 1). El descenso de la temperatura máxima durante el día (a la profundidad de siembra) a menos de 30 ^{o}C, o la reducción de la temperatura media del suelo a 20 - 24 ^{o}C es lo óptimo para una rápida emergencia. (Figura 1)

Bajo condiciones tropicales cálidas se pueden emplear varias prácticas agronómicas para reducir la temperatura del suelo y mantener la humedad del mismo a niveles favorables para la emergencia. La influencia de estas prácticas por separado, y de las interacciones entre ellas sobre la emergencia, la cobertura del cultivo, y el rendimiento, se presentan en las secciones siguientes.

Figura 1. Número de días necesarios para alcanzar 50 % de emergencia de acuerdo a la temperatura del suelo.



3 PROFUNDIDAD DE SIEMBRA

Con el aumento de la profundidad, la temperatura máxima del suelo se reduce y el contenido de agua en el suelo es mayor, favoreciéndose así el crecimiento de los brotes. Sin embargo, con el aumento en profundidad los brotes tienen que recorrer una mayor distancia para emerger. Se tiene por lo tanto que establecer un equilibrio entre el grado de enfriamiento del suelo, el contenido de agua del mismo, y el crecimiento del brote. Bajo condiciones ideales de irrigación, la profundidad óptima de siembra es de 7 cm (7 cm de suelo cubriendo la parte superior del tubérculo). Sin embargo, cuando se siembra en suelos pesados o muy húmedos, una siembra de 2 cm de profundidad resulta beneficiosa (Tabla 1).

Si las condiciones permiten una siembra más profunda (por ejemplo, a 15 cm de profundidad en suelos arenosos) se reduce la necesidad del subsecuente aporque, a menos por supuesto que el principal objetivo del aporque sea el control de malezas. Una siembra más profunda, hasta cierto límite, puede también reducir la incidencia de los daños causados por la polilla del tubérculo de la papa en zonas donde esta plaga se encuentre presente.

Tabla 1. Efectos de la profundidad de siembra sobre la emergencia, intercepción de la luz, y rendimiento en tubérculos, bajo condiciones de cantidades adecuadas (San Ramón) y excesivos (Yurimaguas) de agua en el suelo.

	Profundidad de siembra (cm)		
	2	7	15
San Ramón, temporada seca			
Número de días para 50 % de emergencia	18,0	16,0	14,5
Rendimiento (t ha-1)	11,3	13,0	10,7
Yurimaguas, temporada de lluvias			
Intercepción de luz (MJ m-2)	321,0	323,0	274,7
Rendimiento (t ha-1)	6,8	5,2	2,3

4 METODOS DE SIEMBRA

Un suelo plano se calienta menos durante el día que un suelo con camellones debido a que existe menor superficie expuesta a la radiación. Sin embargo, durante la noche, existe mayor re-radiación en suelo con camellones debido a una mayor superficie de exposición. Por lo tanto, durante la noche, las temperaturas del suelo con camellones son inferiores que las registradas en los suelos planos. Asímismo, la pérdida de humedad del suelo se intensifica en suelos con camellones más que en suelos planos, debido a una mayor superficie de evaporación en los camellones.

Un método intermedio, en relación con la temperatura y la humedad, es la técnica de "camas elevadas" donde se siembran dos y hasta tres hileras de papa, conforme se indica en la Figura 2. En comparación con los camellones, este método presenta una menor superficie expuesta por tubérculo sembrado, de modo que la temperatura del suelo durante el día es más baja. Al comparar las camas elevadas con los suelos planos, las camas elevadas tienen temperaturas nocturnas más bajas debido a que irradian mucho más como consecuencia de una mayor superficie de exposición.

En zonas de precipitación limitada, o bajo condiciones de irrigación, donde los suelos son arenosos y con un buen drenaje, la siembra en surcos puede ser ventajosa, en términos de conservación de humedad y reducción de la temperatura del suelo al amanecer y al atardecer. El agua de riego, cuando se aplica con manguera o con regaderas, va directamente a la planta en crecimiento y se pierde poco por efecto de la evaporación. Este sistema se encuentra en el área de Kalpitiya de Sri Lanka, y Dakar en Senegal, ambas zonas con suelos arenosos y bien drenados.

Naturalmente, la selección del método de siembra deberá estar estrechamente relacionada al tipo de suelo y temporada del año en que debe realizarse la siembra. Durante la temporada de lluvias la siembra en suelos planos es desventajosa: en suelos de pendiente pronunciada se puede producir erosión; la temperatura durante el día no es generalmente muy alta (debido a la nubosidad), mientras que las temperaturas nocturnas permanecen altas con pocas probabilidades de que el suelo se enfríe. La evaporación del exceso de agua es limitada, presentándose el problema de la pudrición de los tubérculos.

La siembra en suelo plano es recomendable durante la temporada seca, en que la probabilidad de erosión es baja, las temperaturas diurnas son altas, y la conservación de la humedad del suelo es importante. Por el contrario, el uso de camellones es óptimo durante las temporadas lluviosas, cuando se requiere de un buen drenaje y el calentamiento del suelo no es un problema tan serio. La siembra en camas elevadas es con frecuencia el mejor método para las temporadas en las que se combinan períodos húmedos y secos (Tabla 2).

Un beneficio adicional de las siembras en camellones, o en camas elevadas, puede ser la reducción de la incidencia de marchitez bacteriana durante la temporada de lluvias, debido principalmente a un mejor drenaje y una menor acumulación de agua. Las siembras en camas son también favorables para los cultivos asociados de relevo, sembrados muy cerca el uno del otro, con una distancia entre cultivos no condicionada a un distanciamiento entre surcos semejante al de los cultivos sembrados en camellones.

Figura 2. Métodos de siembra.

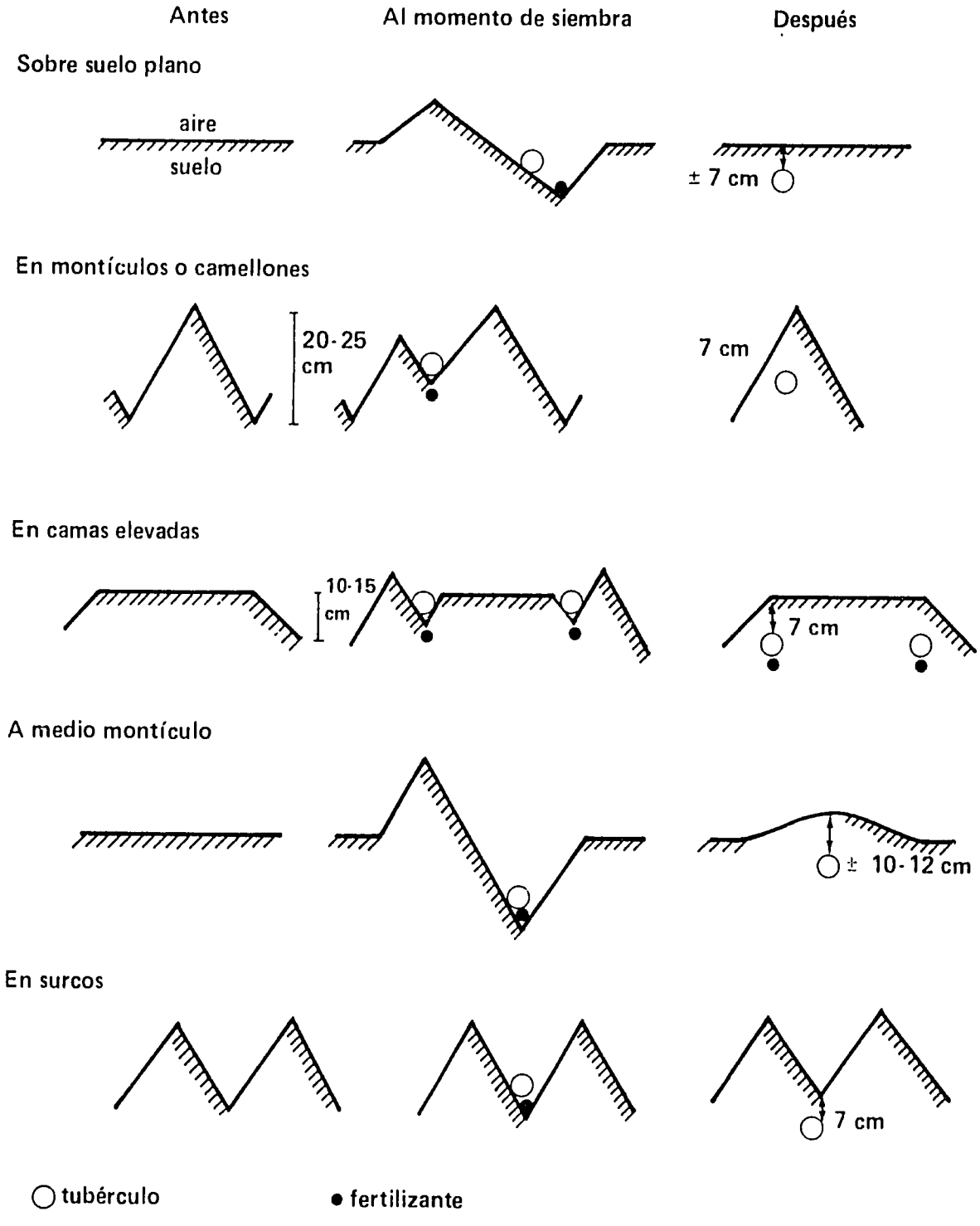


Tabla 2. Efectos del método de siembra sobre la intercepción de la luz y el rendimiento, sembrando durante la temporada de lluvias y cosechando en la temporada seca.

	Camellones	Camas	Suelo plano	Surcos
Intercepción de la luz (MJ m-2)	240,6	267,4	200,3	182,6
Rendimiento (t ha-1)	26,9	25,7	17,2	13,8

5 POSICION DEL MATERIAL DE SIEMBRA Y ORIENTACION DEL SURCO

Al igual que se siembran la papa y otros cultivos para una cosecha adelantada en climas templados sobre pendientes mirando al sol (por ejemplo, sobre una pendiente mirando al norte en el hemisferio sur), se deben incentivar las siembras en el lado frío de las pendientes para la producción de papa en climas cálidos, para minimizar el recalentamiento del suelo. Similarmente, la orientación de los surcos y la posición de los tubérculos en el camellón pueden modificar la temperatura del suelo, la emergencia (Figuras 3 y 4) y el rendimiento de la planta.

El beneficio de sembrar sobre el lado frío del camellón es importante bajo condiciones muy calurosas y puede representar la diferencia entre el éxito o el fracaso del cultivo. Sin embargo, si las temperaturas no son demasiado elevadas, o si se dispone de otras prácticas agronómicas, por ejemplo, la cobertura protectora para reducir la temperatura del suelo, entonces el beneficio de sembrar sobre el lado frío del camellón es menos notable y los rendimientos pueden ser más altos si se hace la siembra sobre el lado caliente del camellón, desde que ese lado recibe más energía luminosa para conversión a materia seca por parte del cultivo de papa, especialmente cuando no se ha producido la cobertura total por el cultivo.

Figura 3. Efecto de la orientación del surco y de la posición del material de siembra sobre la temperatura del suelo (a 7 cm de profundidad).

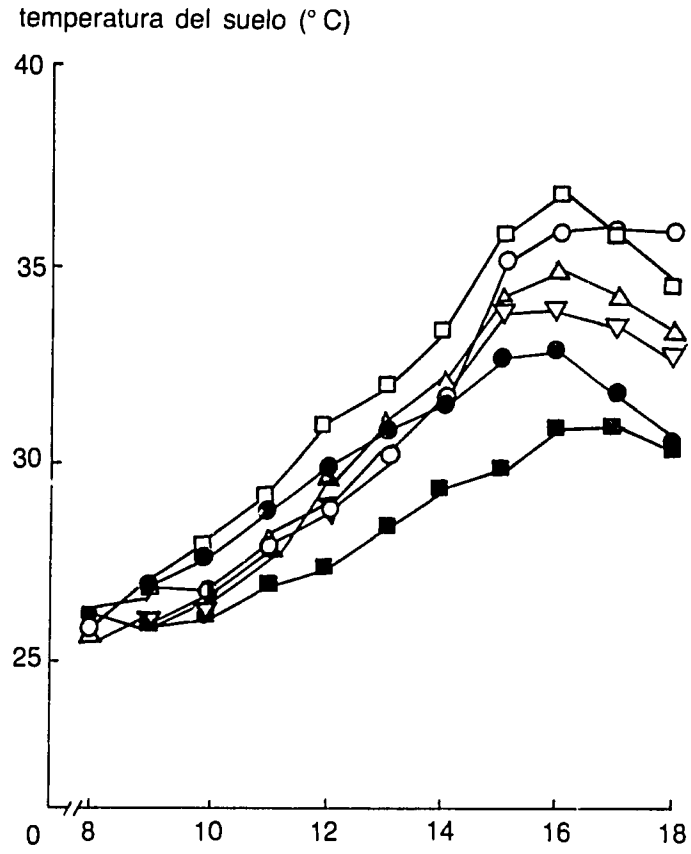
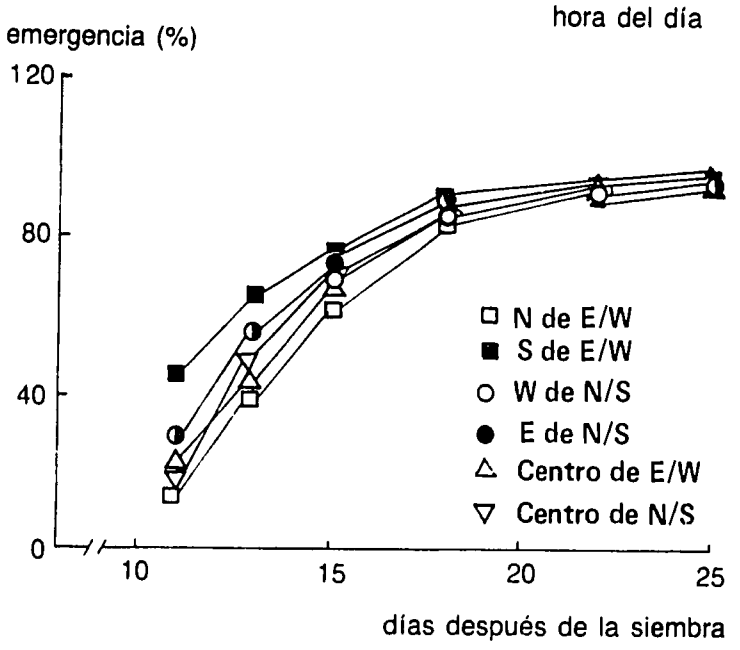


Figura 4. Efecto de la orientación del surco y de la posición del material de siembra sobre la emergencia de la planta, Yurimaguas, 1983.



6 COBERTURA PROTECTORA

Una cobertura protectora es una capa de material inerte (generalmente vegetal), extendida sobre la superficie del suelo inmediatamente después de la siembra, que debido a sus propiedades de reflexión y aislamiento, reduce las temperaturas máximas del suelo durante el día (Figura 5) y conserva el agua del suelo (Tabla 3). Los materiales de cobertura deben esencialmente ser muy reflexivos (más que el suelo que están cubriendo), esponjosos y sin tendencia a compactarse. Adicionalmente, deben estar disponibles fácilmente y ser preferentemente productos de desecho de bajo valor comercial, ej. paja fresca de cebada o arroz (en capas de 4 a 6 cm, 6/8 t ha-1), cáscara de arroz (en capas de 3 a 5 cm), hojas secas de maíz o caña de azúcar, u hojas secas de pastos, preferentemente de especies con semillas estériles para evitar su diseminación.

En zonas desérticas calurosas donde la irrigación se hace por surcos, se recomienda el uso de papel periódico o materiales reflexivos encima del suelo (por ejemplo, tiza brillante). Los materiales que presentan inconvenientes son: tallos y hojas de cereales enfermos (baja reflexión y con tendencia a compactarse), tallos de maíz (con tendencia a compactarse) y el aserrín fresco (que libera productos químicos tóxicos).

Las coberturas tienen también otros beneficios para el cultivo de papa:

- evitan la compactación durante tormentas tropicales fuertes , reduciendo al mismo tiempo la erosión y el escurrimiento superficial:
- favorecen la actividad de la lombriz de tierra y mantienen el crecimiento radicular en la zona fértil:

- generalmente reducen la emergencia de la mayoría de especies de malezas reduciendo así la necesidad del aporque.
- reduce la evaporación de aguas de la superficie del suelo.

La cobertura protectora favorece la emergencia de la papa debido a la reducción de las temperaturas máximas del suelo y la conservación de la humedad del mismo: subsecuentemente mejora el crecimiento del cultivo y la intercepción de la luz (Figura 6) y consecuentemente el rendimiento (Tabla 3), el contenido en materia seca y la proporción de tubérculos comerciables.

La cobertura protectora es útil durante toda la temporada. Sin embargo, el periodo más crítico para utilizar ésta cobertura es immediatamente después de la siembra hasta que se haya conseguido cubrir el suelo totalmente con el cultivo. En general, la cobertura protectora no será beneficiosa durante la temporada de lluvias, sobre suelos altamente reflexivos o cuando las temperaturas máximas del suelo, a la profundidad del tubérculo, no exceden los 30 ^{o}C.

Figura 5. Variación diurna de la temperatura del suelo a dos profundidades del suelo con o sin cobertura protectora.

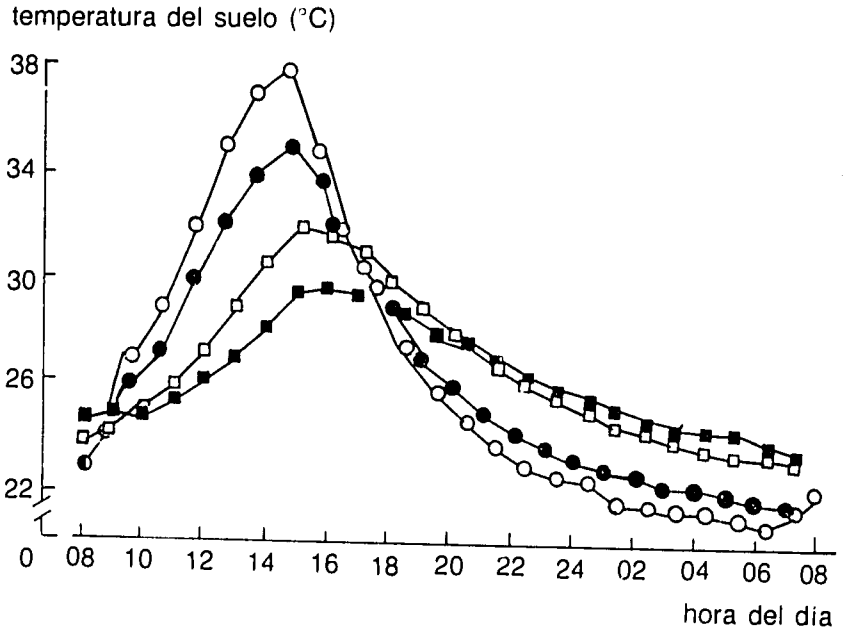


Figura 6. Intercepción de la luz por efecto de la cobertura protectora sobre la cobertura del suelo por el cultivo.

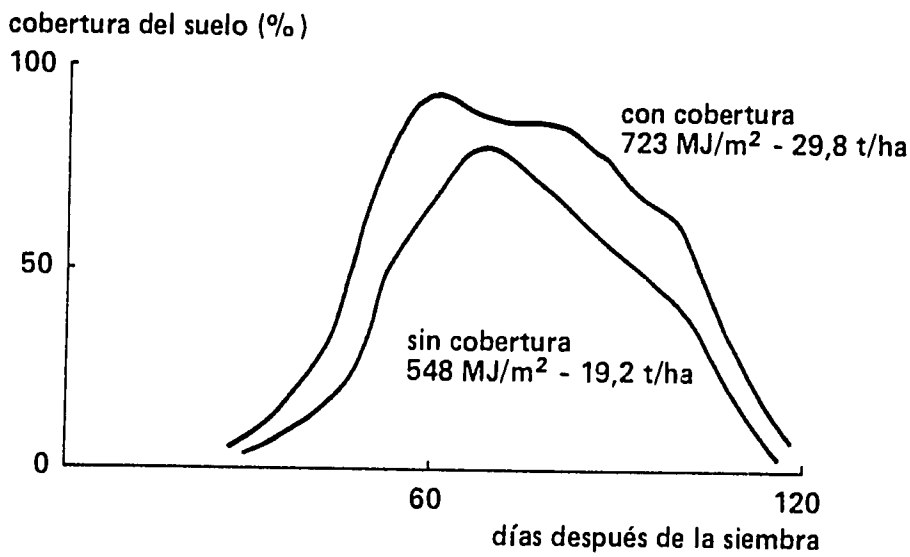


Tabla 3. Efectos de diferentes materiales de cobertura protectora sobre el contenido de humedad del suelo (promedio en la mañana anterior a la irrigación), rendimiento y proporción de tubérculos comerciables.

	Testigo (sin cobertura protectora)	Reflectante en el suelo	Periódico	Aserrín	Plástico negro
Humedad del suelo (kPa)	33,3	33,4	24,6	29,4	32,3
Rendimiento (t ha-1)	16,2	29,0	22,5	22,0	20,1
% tubérculos comerciables (3,5 cm)	82,3	92,1	85,5	84,2	84,5

7 IRRIGACION

Los riegos frecuentes pueden complementar cualesquiera de las prácticas mencionadas anteriormente para reducir la temperatura del suelo. Una hora después de la irrigación se encontraron reducciones de aproximadamente 3°C. Los riegos frecuentes también reducen indirectamente la temperatura del suelo, incrementando el calor latente de evaporación y reduciendo la energía radiante disponible para el calentamiento del suelo. El suelo mojado tiene una mayor capacidad térmica y requiere más energía para calentarse que el mismo suelo cuando está seco.

La precipitación normal puede influir la interacción entre la cobertura protectora y la irrigación. En la temporada de lluvias la cobertura protectora mejoró el rendimiento tanto en parcelas irrigadas como en las no irrigadas, mientras que en una temporada seca la influencia de la cobertura protectora fue mayor en las parcelas no irrigadas. La cobertura protectora no puede nunca substituir a la irrigación, pero mejora la eficiencia en el aprovechamiento del agua (por ejemplo, en toneladas de tubérculos por m^3 de agua de precipitación) bajo secano. El uso de la irrigación para el enfriamiento del suelo debe emplearse sólamente cuando se dispone de suficiente agua para regar, desde que esta práctica representa una severa reducción de la eficiencia en el uso del agua.

8 APORQUE

El aporque puede efectuarse por diversas razones: controla las malezas, ayuda a cubrir los estolones emergentes, reduce la temperatura diurna del suelo a la profundidad del tubérculo, previene los daños de la polilla de la papa así como también el verdeamiento del tubérculo. Las desventajas incluyen: el suelo pierde su firmeza y disminuye la humedad (ej. 10,5 % vs 12,0 % de humedad del suelo, para parcelas con y sin aporque, después de 12 días sin lluvia); se producen daños en el sistema radicular con el subsecuente "shock" para la planta y posible infección por Pseudomonas solanacearum: existe daño físico en brotes y hojas; y por último exige un gran esfuerzo de trabajo.

En el distanciamiento más corto, recomendado en la sección sobre distanciamiento, puede no haber suficiente suelo para aporcar: bajo tales circunstancias puede realizarse la siembra del tubérculo en "medio montículo" (Figura 2), eliminando la necesidad de aporcar para cubrir estolones y tubérculos.

Los beneficios del aporque son generalmente mayores a menores profundidades de siembra. Sin embargo, cuando el aporque se llevó a cabo y la marchitez bacteriana era evidente, el rendimiento por parcela aporcada se redujo debido al aumento en la incidencia de la marchitez bacteriana, a pesar de que el rendimiento por planta aporcada fue mayor.

9 SOMBREADO Y CULTIVOS INTERCALADOS

Para reducir la radiación que alcanza y calienta la superficie del suelo, se debe aprovechar la ventaja de intercalar a la papa con otros cultivos que sombreen el suelo. Cuanto más sombra provea el cultivo intercalado mayor será el enfriamiento del suelo, favoreciéndose así la emergencia. Sin embargo, debe lograrse un equilibrio entre la intensidad de la sombra y su duración, desde que la papa no puede resistir una sombra intensa (más de 30 % de reducción de la energía radiante interceptada), por largos períodos una vez que la planta haya emergido y se encuentre plenamente establecida. Los sistemas de cultivo probados pueden caer en una de las siguientes cuatro categorías:

- sombreado fuerte durante las primeras dos o tres semanas después de la siembra:
- sombreado poco denso durante todo el cultivo:
- sombreado poco denso al final del cultivo: o
- sombreado denso al final del cultivo

Sombreado fuerte durante las primeras dos o tres semanas después de la siembra. La siembra de la papa a la sombra de un cultivo de maíz en maduración (permitiendo que llegue al suelo menos de 25 % de energía luminosa) reduce la temperatura del suelo, no da lugar a una competencia por el agua, y permite una rápida emergencia y cubrimiento del suelo por el cultivo de papa, antes que el cultivo de maíz adyacente sea cosechado (Figura 7).

Los surcos alternos de maíz sembrados a 0,7 m entre surcos, se cosechan para consumo fresco, y en su reemplazo se preparan camas y se siembran dos hileras de papa entre los surcos remanentes alternos de maíz. A 20 - 25 días más tarde los tallos de maíz que aún permanecen en el terreno se cortan y se cosecha el grano, dejando a la papa como único cultivo ocupando todo el espacio disponible.

Tal sistema se conoce con el nombre de cultivo de relevo, y tiene ventajas adicionales, tanto en términos del uso eficiente de la tierra como de la reducción de una posible erosión debido a que el suelo nunca está expuesto directamente a lluvias fuertes.

Otra alternativa es sembrar hileras de papa entre hileras de maíz distanciadas 0,7 m: desde el punto de vista logístico, este sistema es más difícil debido a que se dispone de menos espacio para la siembra de papa, pero con este sistema la cosecha del maíz puede ser programada para una sola fecha, generalmente dos o tres semanas después de la siembra de la papa. La duración del sombreado es menor que lo arriba mencionado debido a la mayor intensidad de la sombra.

Otra alternativa para el cultivo de relevo es el de sembrar maíz en surcos dobles con una separación de 1,1 m entre ellos y quedando una separación entre surcos mas o menos de 0,4 - 0,5 m en el surco doble.

Así en el espacio entre surcos de maíz se siembran dos surcos de papa 20-25 días antes de cosechar el maíz. Datos de cosecha indican que el maíz así sembrado iguala el rendimiento del maíz sembrado en la forma comunmente utilizada.

Sombreado poco denso durante todo el cultivo de papa. Este sistema está tipificado por la siembra de papa dentro de una plantación establecida de cierto cultivo, por ejemplo, palmas de cocotero, donde la energía luminosa que llega a la superficie del suelo no es reducida en más del 25 %. Bajo esas condiciones, la temperatura del suelo se reduce, el microambiente debajo del follaje de la palmera permanece húmedo y debido al sombreado poco denso, la papa forma hojas largas y delgadas que rápidamente cubren la superficie del suelo. Los rendimientos de tales cultivos de papa durante una temporada seca igualan a aquellos de parcelas irrigadas sin sombreado, y representan un uso económico del espacio libre de cultivos en la plantación.

Sombreado poco denso al final del cultivo de papa. La siembra simultánea de papa y maíz, en la proporción 9:1, respectivamente, con el maíz uniforme y equidistantemente distanciado entre plantas, provee al cultivo de papa un sombreado poco denso durante el final del crecimiento, cuando el follaje de la papa se tumba y empieza a envejecer (Figura 7). A esa baja población el maíz no compite seriamente con la papa por la energía solar (de hecho utiliza la energía que la planta de papa no puede utilizar), y los rendimientos de la papa igualan aquellos de cultivos solos, con la ventaja adicional de rendimientos de maíz, los cuales pueden alcanzar hasta el 50 % del rendimiento de cuando el maíz se siembra solo. La escasa sombra proporcionada por el maíz también lleva a un incremento del contenido de materia seca de los tubérculos de papa cosechados.

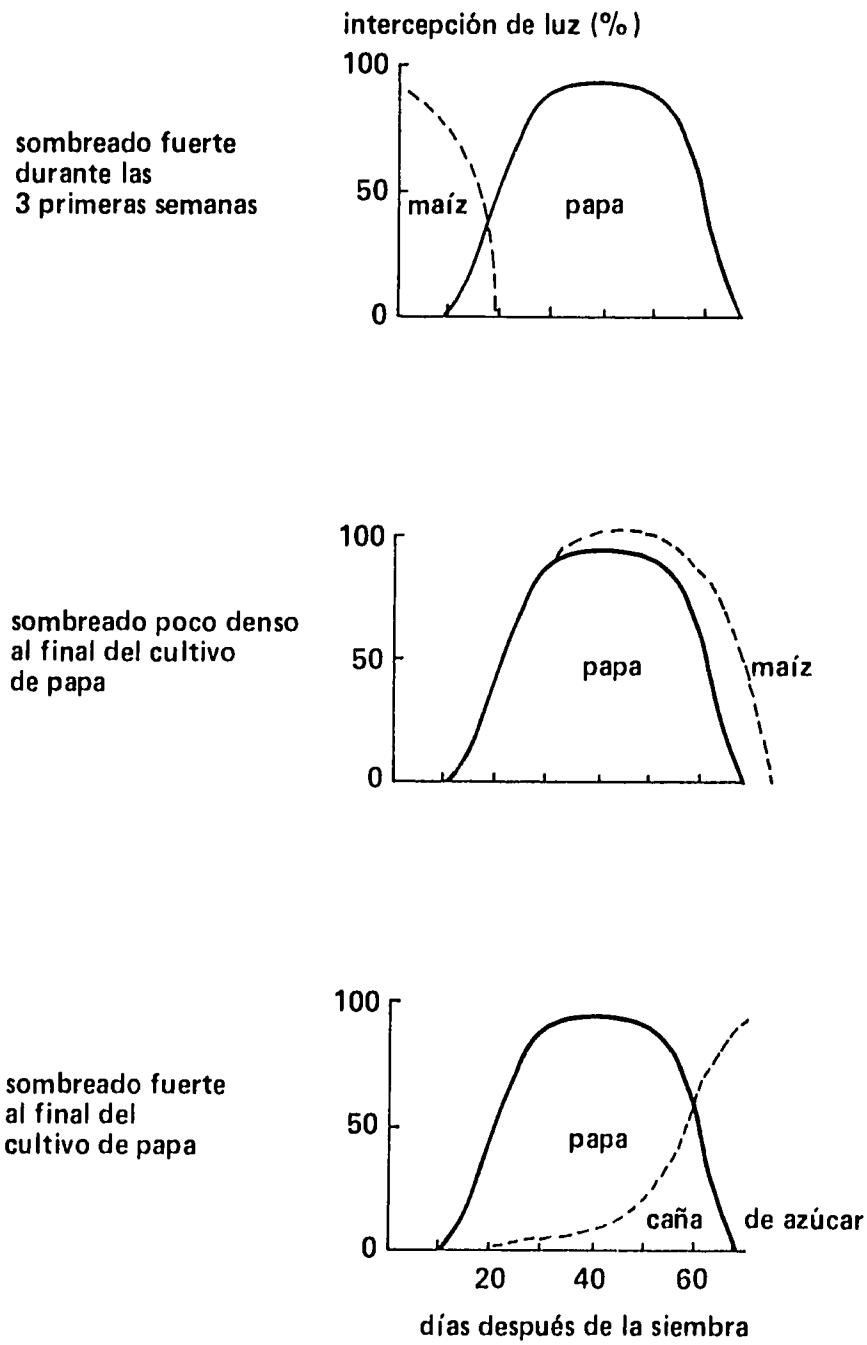
Sombreado denso al final del cultivo de papa. La papa puede ser sembrada simultáneamente con un cultivo de mayor duración que la acompañe, o ser seguida uno o dos meses después de su siembra por la siembra de otro cultivo de crecimiento rápido que interceptará la energía solar no utilizada por la papa en maduración.

Bajo estas circunstancias, ambos cultivos son sembrados a su población óptima y el cultivo adyacente debe cubrir totalmente el suelo muy cerca de la cosecha de la papa, para mantener una intercepción eficiente de la energía luminosa (Figura 7). Por ejemplo, la papa puede sembrarse entre hileras de caña de azúcar: si la caña es espaciada a 1,50 - 1,70 m entre surcos, se puede sembrar en camas una doble hilera de papa en el espacio entre surcos. La papa cubre rápido mientras que la caña emerge y crece lentamente. A los 60 días de la siembra, la caña empieza a cubrir al cultivo de papa en maduración, y enfría el suelo reduciendo la respiración de los tubérculos. A los 80 o 90 días se cosecha la papa y el cultivo de caña utiliza toda la energía luminosa disponible.

Otro ejemplo sería la siembra de papa en monocultivo, en cuyo caso un mes después se pueda sembrar entre los surcos de papa, hileras completas de maíz, se que empieza a sombrear la papa desde los dos meses en adelante, mientras el cultivo de papa madura.

Además de las ventajas de los cultivo intercalados mencionadas anteriormente, debemos mencionar resultados muy importantes de reducción de daños causados por plagas, tanto al follaje como a los tubérculos. En particular se puede mencionar la reducción del daño masticatorio a las hojas causado por Diabrotica sp. y el daño causado a los tubérculos por las larvas de Colaspis chlorites (Erickson) cuando se intercala la papa con maíz.

Figura 7. Ejemplos de intercepción de luz por la papa y los cultivos intercalados.



10 DISTANCIAMIENTO Y POBLACION DE PLANTAS

Un menor distanciamiento entre plantas (como resultado de una mayor población), y la tendencia a establecer un patrón de distribución en el que se ubican las plantas en forma equidistante entre y dentro del surco, permiten alcanzar más rápidamente la cobertura total del suelo y por lo tanto lograr una mayor intercepción de energía luminosa y un disminución más rápida de la temperatura del suelo (Figura 8). El beneficio de una mayor población depende hasta cierto punto del clon utilizado, siendo más significativo para los clones tempranos de menor tamaño los que a distanciamiento tradicionales no llegan a alcanzar una cobertura total (Tabla 4).

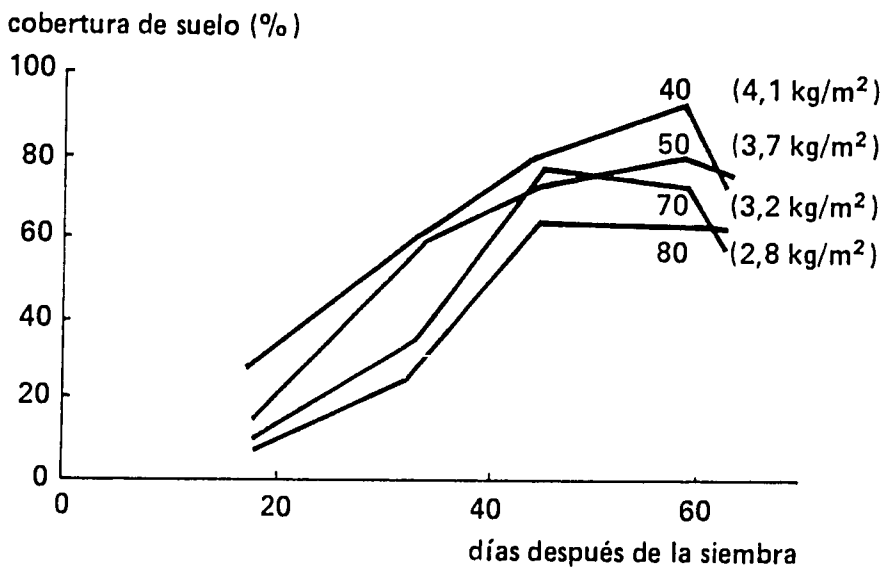
El sembrar poblaciones más altas tiene también la ventaja de controlar las malezas, las cuales quedan suprimidas -- con excepción de las más persistentes -- ya que el follaje de las plantas de papa cubre el suelo más rápidamente.

No obstante que los rendimientos en tubérculos aumentan hasta con la más alta población probada (con 40 cm entre surcos), los problemas prácticos, tales como no tener suficiente suelo para el aporque, el verdeamiento de los tubérculos, la reducción del número de tubérculos de tamaño comercial y el constante incremento del costo de material de siembra, limitan la población de siembra a aquella que ha sido encontrada económica por los agricultores. En la práctica, los distanciamientos más cortos que se han encontrado son de 60 x 25 cm: sin embargo, el uso de semilla sexual, de esquejes enraizados o de tubérculos pequeños o secciones de tubérculos puede permitir incluso un distanciamiento menor entre plantas, con el consiguiente aumento de la población.

Tabla 4. Efectos de la población de plantas sobre el rendimiento (t ha-1) de dos clones con tipos opuestos de follaje.

Clon	Población de plantas (x 1 000) por hectárea				
	83	67	55	48	42
LT-1 (parte aérea pequeña)	33,6	30,0	28,6	23,4	23,5
374080.5 (parte aérea más grande)	32,95	41,9	33,5	23,1	21,7

Figura 8. Influencia del distanciamiento entre surcos sobre la cobertura del suelo por el cultivo, y el rendimiento.



11 FERTILIZANTE NITROGENADO

La senescencia del follaje, y el calentamiento subsecuente del suelo debido a la intercepción incompleta de la energía luminosa por la parte aérea del mismo puede retrazarse hasta cierto punto por el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado en dos o más aplicaciones, especialmente durante la temporada de lluvias. La experiencia ha demostrado que las aplicaciones foliares de úrea (2 % de concentración) efectuadas semanalmente, pueden retrazar la senescencia y mejorar el rendimiento en tubérculos bajo condiciones de clima cálido.

12 CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Los daños foliares debidos a plagas y enfermedades, una vez que alcanzan el nivel que reduce la intercepción de la luz, también conducen a una reducción en la producción de materia seca. Aplicaciones oportunas de insecticidas al follaje evitan los daños debidos a las plagas, mantienen la cobertura del cultivo y mejoran el rendimiento en tubérculos (Figura 9).

De igual manera, el evitar sembrar en suelos infestados por enfermedades bacterianas, que son difíciles de controlar químicamente, ayuda a mantener la cobertura total del suelo por el cultivo y mejorar la eficiencia de conversión de la energía luminosa a tubérculos (Figura 10). Se ha encontrado que la rotación de papa con gramíneas, dejando dos años entre cultivos sucesivos de papa, reduce significativamente la presencia inicial de la marchitez bacteriana (Figura 11).

Figura 9. Influencia del control de la mosca minadora sobre la cobertura del suelo por el cultivo de papa.

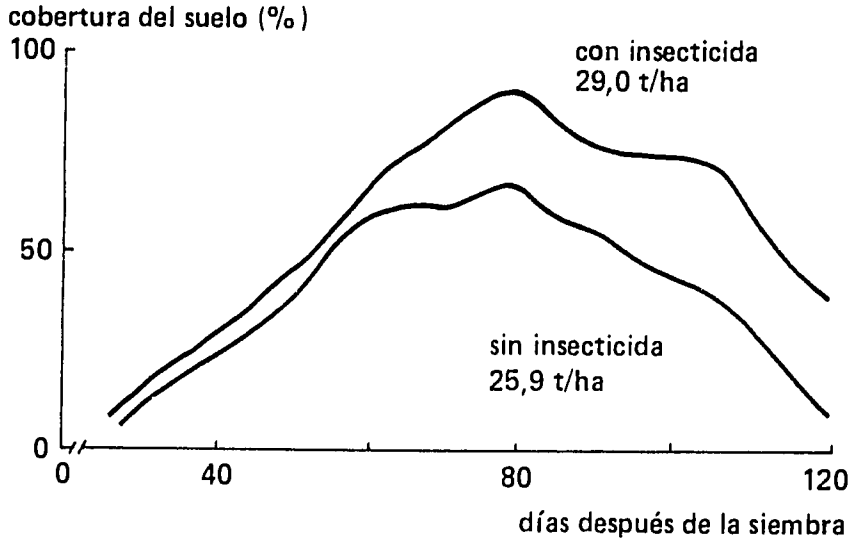


Figura 10. Relación entre intercepción de luz fotosintéticamente activa y producción de materia seca, en tubérculos cosechados en parcelas con o sin Erwinia.

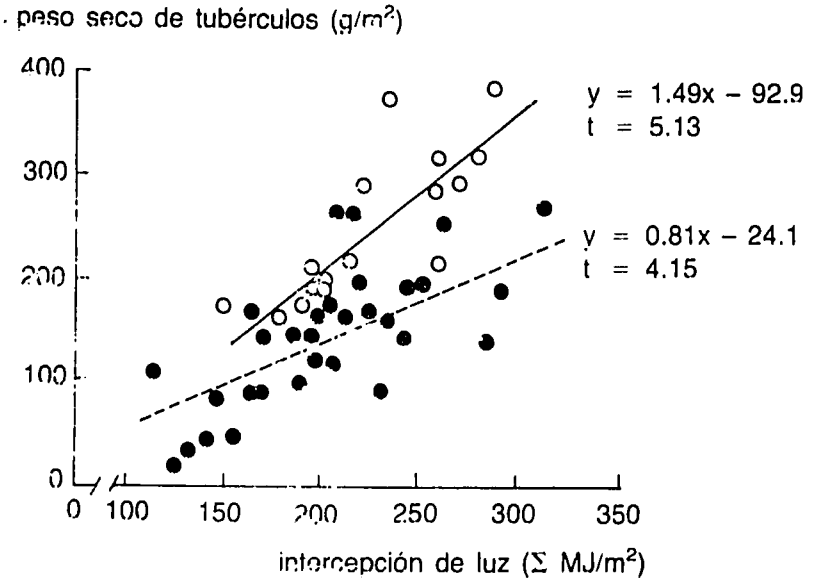
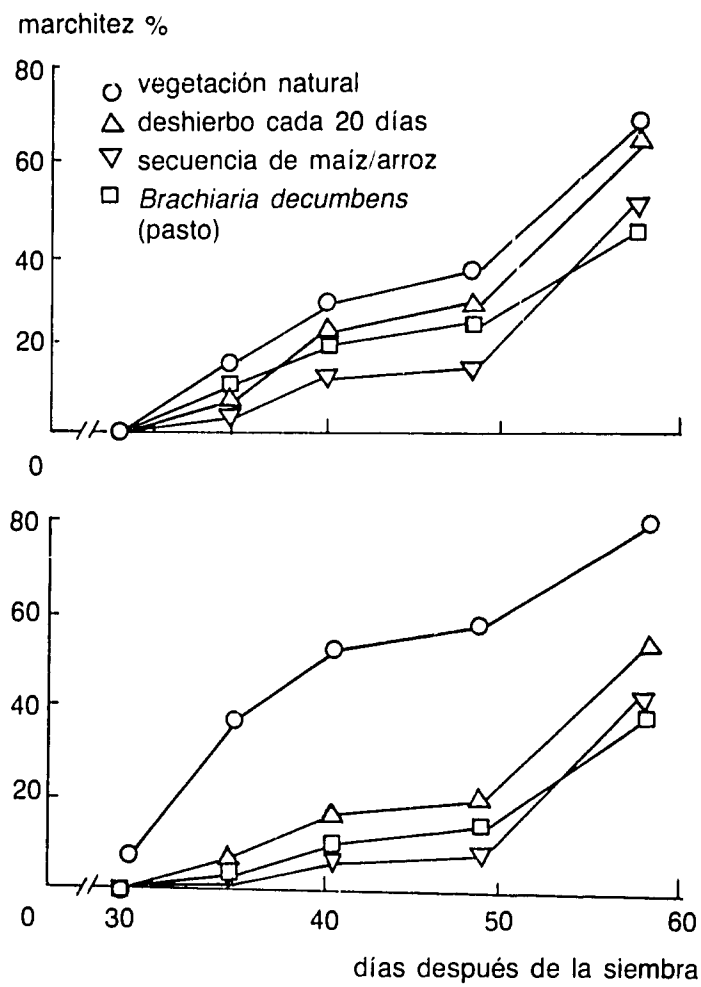


Figura 11. Influencia de los anteriores cultivos sobre la incidencia de la marchitez bacteriana dentro de un cultivo de papa a) 1 año y b) 2 años después de papa.



13 CUANTIFICACION DE LA INTERCEPCION DE LA LUZ

El desarrollo del cultivo de papa, si bien es dependiente de la cantidad de energía luminosa disponible durante la temporada de cultivo, puede estar limitado por una excesiva energía luminosa, característica de las condiciones tropicales calurosas, particularmente aquellas que recalientan el suelo al momento de la siembra y cuando se aproxima la madurez natural.

La energía luminosa interceptada por el cultivo de papa es subsecuentemente convertida en materia seca mediante el proceso de fotosíntesis. Si todos los otros factores permanecen constantes, se puede establecer una relación lineal muy estrecha entre la suma de la energía luminosa interceptada y la producción de materia seca (Figura 12). La energía luminosa no interceptada, además de representar un desperdicio del potencial de producción, sirve para calentar el suelo, bajo condiciones tropicales calurosas, sobre el óptimo (15 - 20 ^{o}C) para la papa (Figura 13).

Las prácticas agronómicas desarrolladas en el Centro Internacional de la Papa se han centrado en las formas que puedan ser implementadas por los agricultores con reducidos recursos financieros y materiales, para reducir las altas temperaturas del suelo y de la planta.

Una metodología simple para cuantificar la intercepción de energía luminosa por el cultivo de papa, es esencial para medir los adelantos, tanto en la selección de genotipos como en la de las prácticas agronómicas, los cuales son compatibles con las condiciones de temperaturas altas. Uno de los métodos consiste en colocar solarímetros tubulares sobre y en la base de la parte aérea del cultivo, montados sobre los surcos, y medir el valor de la radiación interceptada en ambas zonas durante todo un día.

Figura 12. Pesos secos total y de tubérculos como funciones de la intercepción acumulada de radiación solar, Lima (cv. Desirée).

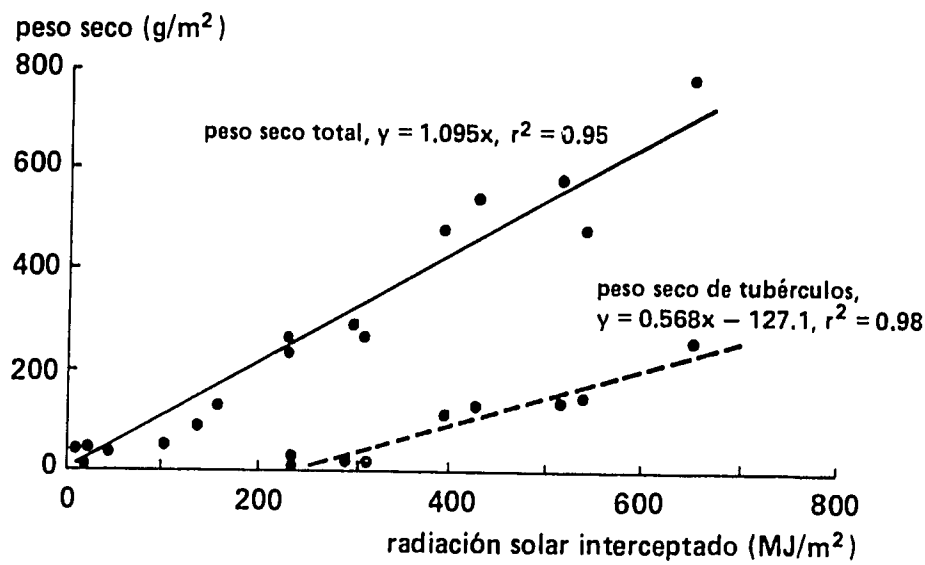
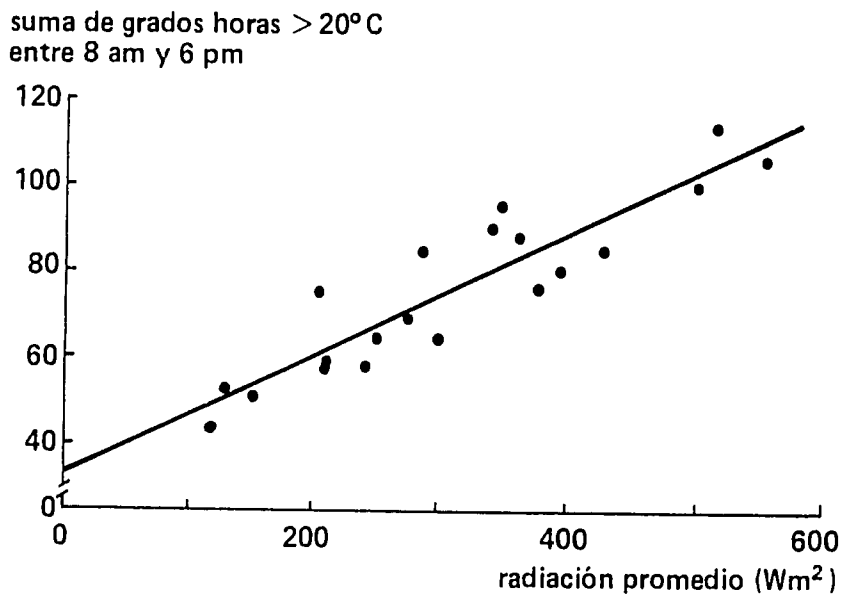


Figura 13. Relación entre la radiación que llega a la superficie del suelo y el recalentamiento del mismo a 5 cm de profundidad.



La diferencia entre el valor de arriba y el de abajo de la parte aérea representa la cantidad de luz interceptada por el cultivo. El restante representa la energía luminosa no interceptada por el cultivo y por lo tanto disponible para calentar el suelo. Sin embargo, los solarímetros tubulares son costosos y se requiere de muchos de ellos para repetir las lecturas en espacio y tiempo.

En el CIP usamos como alternativa un método simple, el cual consiste en mirar de arriba hacia abajo un marco cuadrado, sostenido sobre el cultivo, que tiene una rejilla de alambres que forman cuadrados más pequeños. Se cuenta el número de cuadrados con más de 50 % de superficie cubierta por hojas verdes (Figuras 14 y 15). Las dimensiones del marco deben ser multiplos de la distancia de siembra dentro y entre surcos. No obstante que esta metodología asume que la energía luminosa incidente es siempre recibida directamente desde arriba (y a latitudes mayores de 30, uno puede ajustar los valores con un factor de corrección), esta suposición se confirma con nuestros propios datos en los cuales comparamos las mediciones efectuadas con solarímetros tubulares y aquellas hechas por el método de la rejilla. Un beneficio adicional del método de la rejilla es la capacidad de distinguir entre una cobertura de hojas vivas y otra de muertas, distinción que no puede efectuarse con las mediciones utilizando solarímetros tubulares.

Las mediciones de cobertura del suelo por el cultivo, utilizando la rejilla, son efectuadas en todas las parcelas dentro de los experimentos (frecuentemente repetidas en puntos representativos dentro de una parcela), a intervalos semanales o cada 10 días durante el ciclo de cultivo. Se pueden entonces calcular mediciones de la energía luminosa interceptada utilizando las medidas acumuladas de energía luminosa calculadas con un radiómetro estándar en la estación meteorológica más cercana, durante los periodos

entre las mediciones de cobertura como el producto del porcentaje promedio de cobertura x total energía luminosa disponible tal como sería medido en la estación meteorológica.

Si no se dispone de un radiómetro, la medición del porcentaje de cobertura/días da también una idea de las diferencias entre los tratamientos agronómicos y/o los genotipos bajo estudio.

Un propósito importante del programa de agronomía tropical es diseñar técnicas que maximizen la energía luminosa interceptada por un cultivo durante la temporada, por ejemplo el área integrada debajo de la curva de la Figura 15, reduciendo consecuentemente lo disponible para calentar el suelo. La activación de la emergencia y la tasa de cobertura del cultivo conducen a lograr que la cobertura por parte del cultivo se produzca en menos tiempo, y ésto puede lograrse con la correcta selección del material de siembra, posición del material y método de siembra, régimen de riegos, cobertura protectora, y el sombreado y distanciamiento entre plantas.

El mejoramiento en las tasas de cobertura por el cultivo puede también interpretarse por la capacidad para lograr o no el 100 % de cobertura, lo que bajo condiciones cálidas se logra normalmente a los 30 o 40 días después de la siembra. La duración del período de cobertura del cultivo de papa sobre el suelo puede ser influenciada por los tratamientos con fertilizantes, el control de plagas y enfermedades y puede también ser reemplazada por la cobertura de un cultivo intercalado adyacente (por ejemplo maíz) que secuencialmente reemplaza la cobertura del cultivo de papa.

Figura 14. Medición de la cobertura del suelo por el cultivo con el método de la rejilla.

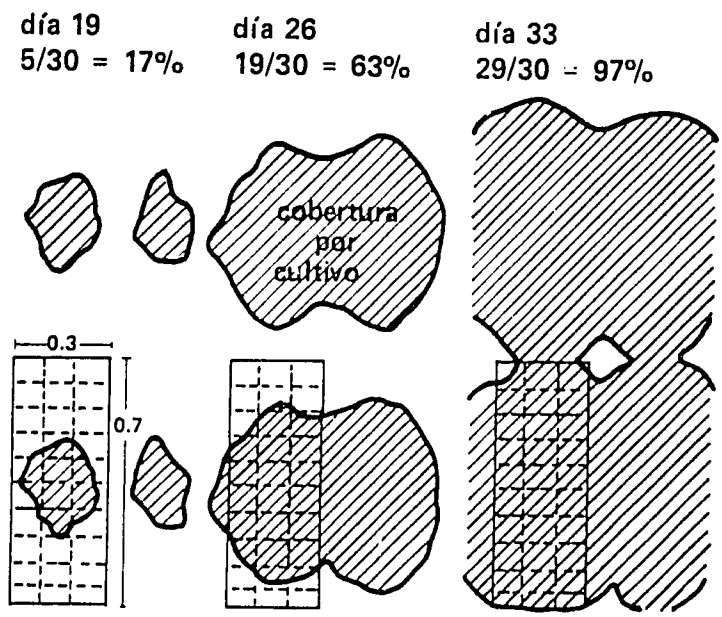
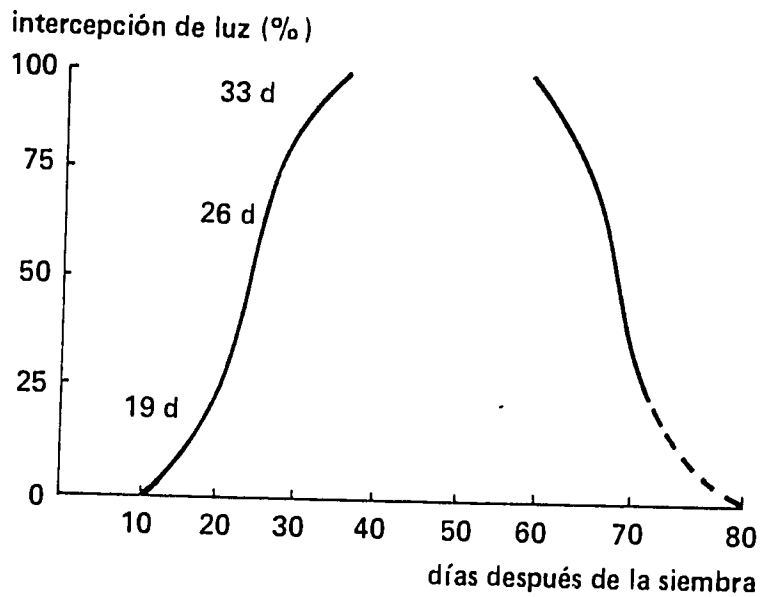


Figura 15. Medida de la intercepción de luz (compare con la Figura 14)



14 BIBLIOGRAFIA

Anon. 1986. Método sencillo para interpretar el crecimiento y rendimiento del cultivo de papa. CIP Circular 14(1): 7-9. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú.

Benz, J. 1988. Producción y utilización de materiales de papa para su siembra en climas cálidos. Guía de Investigación CIP 23. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 37 p.

Impreso por el Departamento de Capacitación y Comunicaciones, CIP, Lima
Abril 1989
300 copias