

EL CULTIVO DE LA PAPA EN ECUADOR



Manuel Pumisacho y Stephen Sherwood
Editores



El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) es una institución ecuatoriana encargada de generar, validar y transferir tecnologías apropiadas orientadas al incremento de la producción y la productividad de los sistemas de producción medianos y grandes. Propiada al uso adecuado de los recursos de suelos, hídricos y agroecológicos así como la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente. A fin de contribuir al desarrollo sostenible del sector agropecuario.



El Centro Internacional de la Papa (CIP) es una institución científica sin fines de lucro, dedicada a incrementar la producción sostenible de la papa, el camote, y otros raíces y tubérculos en el mundo en procesos de desarrollo, y a mejorar el manejo de los recursos naturales en los Andes y en otras zonas de montaña. El CIP forma parte de la red global de investigación agrícola conocida como el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR).

EL CULTIVO DE LA PAPA EN ECUADOR



E L C U L T I V O D E L A P A P A E N E C U A D O R

EL CULTIVO DE LA PAPA EN ECUADOR

Manuel Pumisacho y Stephen Sherwood

Editores

EDICIÓN 2002
INIAP-CIP

EL CULTIVO DE LA PAPA EN ECUADOR

Editores

Manuel Pumisacho y Stephen Sherwood

Comité Técnico

Patricio Espinosa, Greg Forbes, Pedro Oyarzún, Iván Reinoso

Revisión de texto

Isabel Iturialde, Jorge Gómez, Emma Martínez

Diseño y Diagramación

José Jiménez

Ilustraciones

Luis Zumárraga

Fotografías

CIP e INIAP

PRIMERA EDICIÓN

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)
Estación Experimental Santa Catalina
Panamericana Sur Km. 18
Casilla: 17-21-1977
Quito-Ecuador
Tlf: +593-2-269-4922/0364
Fax: +593-2-269-0992
E-mail: fpapa@fpapa.org.ec
Web: www.fpapa.org.ec

Centro Internacional de la Papa (CIP)
Apartado 1558
Lima 12, Perú
Tlf: +51 1 349 6017
Fax: +51 1 317 5326
E-mail: cip@cgiar.org
Web: www.cipotato.org

AUTORES

CAPÍTULO 1 LA PAPA EN ECUADOR

*Héctor Andrade**
Odilie Bastidas
Stephen Sherwood

CAPÍTULO 2 BOTÁNICA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO

*Xavier Cuesta**
Héctor Andrade
Odilie Bastidas
Rodrigo Quevedo
Stephen Sherwood

CAPÍTULO 3 MANEJO AGRONÓMICO

*Pedro Oyarzún**
Fernando Chamorro
Juan Córdova
Fausto Merino
Franklin Valverde
José Velázquez

CAPÍTULO 4 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Pedro Oyarzún (enfermedades)* *Patricio Gallegos* (plagas)*
César Asaquibay
Greg Forbes
José Ochoa
Betty Paucar
Marcelo Prado
Jorge Revelo
Stephen Sherwood
Fausto Yumisaca

CAPÍTULO 5 POSCOSECHA

*Hernán Naranjo**
Nicola Mastrocola
Manuel Pumisacho

CAPÍTULO 5 SOCIOECONOMÍA

*Patricio Espinosa**
Luis Mendoza
Fabián Montesdeoca
Marcelo Racines

* Coordinador del capítulo

CONTENIDO

Lista de cuadros	13
Lista de figuras	14
Agradecimiento	15
Presentación	17
Introducción	19

Capítulo 1
LA PAPA EN ECUADOR

Origen e importacia	21
Consumo	24
Ecosistemas de la sierra	24
Aspectos agroecológicos y climáticos	25
Suelos	27
Zonas productoras de papa	28

Capítulo 2
BOTÁNICA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO

Botánica	33
La planta	33
La flor	34
El fruto	35
Los tubérculos	36
Mejoramiento genético	37
Estrategias de mejoramiento tradicional	37
Variedades de papa cultivadas	42

Capítulo 3
MANEJO AGRONÓMICO

Selección y preparación del suelo	51
Labranza	52
Época de preparación	52
Labores de preparación	52
Sistemas de labranza	53
Conservación	53
El Sistema de Wachu rozado	54

Fertilización	54
Características generales de los suelos	55
Requerimientos nutrimentales	56
Nitrógeno (N)	57
Fósforo (P)	60
Potasio (K)	63
Azufre (S)	65
Compatibilidad química de los fertilizantes	66
Abonos foliares	68
Abonos orgánicos	68
Respuesta de la papa a la aplicación de abonos orgánicos	69
Análisis químico del suelo	69
Fertilización de acuerdo con el análisis	71
Interpretación del análisis y cálculo de fertilizantes	71
Siembra y semilla	76
Siembra y densidad de siembra	76
Densidad de siembra y rendimientos	78
Cálculo de las distancias de siembra y la cantidad de semilla requerida	79
Profundidad y ubicación de la siembra en el suelo	80
Prácticas culturales	81
Cosecha	82

Capítulo 4

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Aspectos generales	85
Cómo enfrentar enfermedades y plagas según el MIP	86
Estrategias generales de MIP	87
Instrumentos de apoyo para la toma de decisiones	88
Métodos de manejo	90
Prácticas culturales	90
Medidas sanitarias preventivas	92
Control Biológico de Enfermedades	93
Enfermedades	
Enfermedades foliares causadas por hongos	98
Tizón tardío, lancha	98
Tizón temprano, lancha temprana o café	105
Oidiosis, oidium o mildiu polvoso	106
Roya	107
Septoriosis	107
Moho gris	108
Enfermedades causadas por hongos del suelo	109
Carbón	109
Lanosa o torbo	110
Rhizoctoniasis o costra negra	111
Pudrición seca	113

Marchitez	114
Marchitez por verticillium	115
Pudrición basal	115
Esclerotiniosis	116
Roña o sarna polvorienta	117
Pudrición acuosa	118
Enfermedades causadas por nematodos	119
El nematodo del quiste	119
Utilización de los niveles de tolerancia	122
Cultivos no-hospedantes	123
Barbecho	124
Enfermedades causadas por bacterias	125
Pierna negra o pie negro	125
Sarna común	126
Marchitez bacteriana	127
Enfermedades causadas por virus	128
Amarillamiento de las venas de la papa (PYVV)	129
Virus del enrollamiento de las hojas (PLRV)	129
Virus leves o latentes (PVX, PVYS)	130
Mosaico severo (PVY)	131
Plagas	
Plagas del tubérculo	132
Gusano blanco	132
Polilla de la papa	136
Pulgón	139
Plagas del follaje	139
Pulguilla	139
Trips	140
Mosca minadora	140
Gusano tungurahua	141
Malezas	
Estrategias de manejo integrado	144
Recomendaciones generales de manejo	145
Antes de la siembra	145
Durante el cultivo	146
Aspectos importantes para la aplicación de los herbicidas	148
Manejo de malezas después del cultivo de papa	149
Factores abióticos en el cultivo de papa	
Heladas	149
Altas temperaturas	150
Granizo	150
Sequía	150
Grietas y magulladuras del tubérculo	151
Nudosidad y formas irregulares	151
Corazón marrón y corazón hueco	151
Punta translúcida, punta blanda (gelatinosa)	152
Puntas marrones o necrosis por calor	152

Puntas marrones o necrosis por calor	152
Lenticelosis	152
Corazón negro	152
Deficiencias nutricionales	152
Uso de plaguicidas	
Costos verdaderos de plaguicidas.	153
Insecticidas	154
Clasificación de los insecticidas	155
Fungicidas	156
Absorción y transporte.	157
Fungicidas protectantes (preventivos)	157
Fungicidas sistémicos (curativos).	160
Resistencia a fungicidas	161
Herbicidas	161
Selectividad	161
Modo de acción	162
Mecanismos de acción	162
Época de aplicación	163
Grupo químico	163
Formulaciones	163
Manejo y aplicación de plaguicidas	164
Etiqueta	165
Toxicidad del producto	165
Compra y almacenamiento	165
Dosificación	166
Preparación de la dilución	166
Preparación de mezclas	166
Manejo de derrames	166
Equipos de aplicación	167
Aspersor de mochila	167
Aspersor movido por tractor	167
Nebulizadores	167
Espolvoreos	167
Aplicación en el campo	168
Primeros auxilios	168
Manejo de envases usados	169

Capítulo 5
POSCOSECHA

Pérdidas	171
Factores físicos	171
Factores fisiológicos	172
Factores patológicos	173
Estrategias generales de reducción de pérdidas	175

Fisiología y manejo de la papa	176
Respiración y transpiración	176
Factores que influyen en la respiración y transpiración	177
Estados fisiológicos del tubérculo-semilla	177
Actividades poscosecha de papa consumo	179
Almacenamiento	179
Procesamiento de la papa en el Ecuador	181
Volumen y modalidades de procesamiento	181
Características para la industria	182
Almacenamiento y manejo de tubérculo-semilla	183
Principios	183
Factores que afectan la calidad del tubérculo-semilla almacenado	184
Actividades poscosecha y almacenamiento de tubérculo-semilla	185

Capítulo 6
SOCIOECONOMÍA

Hábitos de compra	189
Preferencias y consumo	189
Uso del análisis sensorial para medir la aceptación de clones promisorios	192
Análisis sensorial	192
Selección de clones según parámetros físicos y químicos	192
Evaluación de los clones a través del panel interno	193
Evaluación de la aceptación de los clones a través del panel externo	193
Experiencias con la implementación de esta metodología	193
Evidencia de impacto económico	194
Costos de producción	196
Requerimientos generales de información	197
Contabilidad de costos	197
Matrices y hojas de cálculo	197
Registro de información	198
Cálculo y análisis	206
Bibliografía	213

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Producción de papa en América del Sur (1995-1997)
- Cuadro 2. Producción de papa en 1993 y proyección de crecimiento para el año 2020
- Cuadro 3. Temperatura de las ciudades principales de la Sierra
- Cuadro 4. Distribución de la radiación solar
- Cuadro 5. Principales limitantes de la producción de papa y fuentes de resistencia
- Cuadro 6. Variedades de papa sembradas por zonas de cultivo
- Cuadro 7. Principales características de las variedades mejoradas de papa cultivada en Ecuador
- Cuadro 8. Principales características de las variedades nativas de papa cultivada en Ecuador
- Cuadro 9. Extracción total de nutrientes por el cultivo de papa para diferentes niveles de producción
- Cuadro 10. Fuentes de nitrógeno
- Cuadro 11. Rendimiento de papa en diferentes épocas de aplicación de fósforo, en cuatro localidades de la provincia Chimborazo, 1996
- Cuadro 12. Fuentes de fertilizantes potásicos más comunes
- Cuadro 13. Principales fuentes de azufre
- Cuadro 14. Cantidad de nutrientes presentes en diversas fuentes de MO.
- Cuadro 15. Interpretación del análisis químico de suelos y recomendaciones generales de fertilización.
- Cuadro 16. Hoja de entrega de muestra de suelo
- Cuadro 17. Reporte de análisis de suelos
- Cuadro 18. Cálculo de la cantidad de fertilizante compuesto a aplicar usando 18-46-00
- Cuadro 19. Recomendaciones de fertilización
- Cuadro 20. Días de madurez de las variedades cultivadas en Ecuador
- Cuadro 21. Algunas enfermedades de la papa cuya intensidad disminuye tras la incorporación o enmienda con materia orgánica de ciertos orígenes
- Cuadro 22. Relaciones entre antagonistas y patógenos de papas y su probable mecanismo de acción
- Cuadro 23. Fungicidas y adherentes más comunes para el control del *Tizón tardío*
- Cuadro 24. Efecto de los fungicidas más importantes para el control de la lancha, (causado por *P. infestans*) en Ecuador.
- Cuadro 25. Escala para estimación del *Tizón* en el follaje
- Cuadro 26. Escala de severidad de la infección basado en el grado de cobertura con esclerocios en el tubérculo
- Cuadro 27. Escala para la valoración de sarna de pradera y sarna polvorienta
- Cuadro 28. Umbral de daño y nivel de equilibrio del nematodo del quiste de la papa
- Cuadro 29. Resumen de los principales tipos de nematodos que atacan los cultivos en suelos livianos
- Cuadro 30. Esquema de manejo integrado de *Globodera pallida* por niveles de población
- Cuadro 31. Principales malezas según zonas de cultivo
- Cuadro 32. Grado de nocividad de las malezas que se presentan en el cultivo de papa
- Cuadro 33. Herbicidas recomendados para el manejo de las malezas en papa
- Cuadro 34. Clasificación de insecticidas relacionados con el cultivo de la papa
- Cuadro 35. Fungicida protectores usados en campo para controlar *P. infestans*
- Cuadro 36. Fungicidas sistémicos usados en papa para controlar *P. infestans*
- Cuadro 37. Clasificación de los herbicidas utilizados en la producción de papa
- Cuadro 38. Grado de toxicidad de los plaguicidas
- Cuadro 39. Peso de tubérculos por tamaño
- Cuadro 40. Volumen de procesamiento de papa por la industria y los restaurantes, 1997-1998
- Cuadro 41. Porcentaje de materia seca de las principales variedades utilizadas por la industria
- Cuadro 42. Preferencia de tubérculos por grupos de edad

- Cuadro 43. Compra per cápita anual de raíces y tubérculos (kg)
- Cuadro 44. Beneficio neto al pasar de la tecnología local a la tecnología mejorada
- Cuadro 45. Registro de uso de mano de obra
- Cuadro 46. Registro de uso de insumos
- Cuadro 47. Inventario y depreciación de materiales, equipos de campo y construcciones
- Cuadro 48. Registro de uso de maquinaria agrícola para la producción de papa
- Cuadro 49. Registro de la producción de papa
- Cuadro 50. Registro de ventas
- Cuadro 51. Ejemplo de costos de producción de papa comercial en Carchi

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Tasas de crecimiento proyectadas para los cultivos alimenticios en los países en desarrollo para el año 2020
- Figura 2. Patrón de producción vegetal a diferentes latitudes
- Figura 3. Zonas productoras de papa
- Figura 4. Esquema de mejoramiento del INIAP
- Figura 5. Efectos del pH en la disponibilidad de nutrientes y otros elementos en el suelo
- Figura 6. Dosis óptima fisiológica (DOF) y dosis óptima económica (DOE), en función del precio del producto y los costos del fertilizante (nitrógeno) 2000
- Figura 7. Dosis óptima fisiológica (DOF) y dosis óptima económica (DOE), en función del precio del producto y los costos del fertilizante (fósforo) 2000.
- Figura 8. Compatibilidad química de algunos fertilizantes
- Figura 9. Diagrama de la forma de muestreo de suelos
- Figura 10. Elementos para el cálculo de tallos productivos
- Figura 11. Ciclo de vida del nematodo
- Figura 12. Ciclo biológico del gusano blanco
- Figura 13. Comportamiento del adulto de gusano blanco.

AGRADECIMIENTOS

Los editores desean reconocer a todos los agricultores, experimentadores e investigadores profesionales que han dedicado su creatividad y mística para la generación de ideas y prácticas a fin de mejorar el manejo del cultivo de papa en nuestro país. Extendemos un especial agradecimiento a los numerosos autores de este libro, investigadores de los programas y departamentos del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Nuestro reconocimiento al Centro Internacional de la Papa (CIP), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). En total, cerca de 30 expertos nacionales e internacionales, en diversas áreas de producción y mercadeo, se involucraron en los talleres para compartir e integrar sus experiencias acumuladas a través de muchos años de trabajo con el cultivo.

El trabajo demandó el apoyo especial de un comité técnico que merece reconocimiento particular:

Dr. Pedro Oyarzún, fitopatólogo y Asesor Técnico del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos rubro Papa del INIAP.

Ing. Iván Reinoso, economista agrícola y Líder del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos rubro Papa del INIAP.

Dr. Gregory Forbes, fitopatólogo y Jefe de Misión del CIP en Ecuador.

Ing. Patricio Espinosa, economista agrícola, CIP.

Deseamos reconocer a las principales entidades que apoyaron la realización de esta iniciativa, especialmente a:

La Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE), por el financiamiento brindado al proyecto FORTIPAPA que lideró los talleres y la producción del libro, así como al Proyecto Papa Andina por el aporte económico para la producción final.

Global IPM Facility y el Proyecto PCT/ECU/0067 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) por su apoyo técnico y financiero.

PRESENTACIÓN

La papa ha sido por milenios un cultivo de alta prioridad en el Ecuador. Hoy en día, los agricultores del país siembran anualmente cerca de 66.000 hectáreas de este cultivo. Las condiciones modernas de producción han contribuido a que el cultivo enfrente muchos problemas que ponen en peligro el bienestar económico de los productores y la seguridad alimentaria del país. Por ejemplo, debido en parte al intenso uso de pesticidas, han surgido plagas secundarias como la mosca blanca y la mosca minadora, constituyéndose en problemas y amenazas graves. Además, las migraciones de organismos como la polilla guatemalteca, han contribuido a crear nuevos problemas fitosanitarios.

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y el Centro Internacional de la Papa (CIP), entre otros actores, conjuntamente con numerosos agricultores y colaboradores se dedican a buscar alternativas para responder a la cambiante situación agrícola del país. En el año 1984, el INIAP publicó un recurso exclusivo sobre el cultivo de la papa en Ecuador. Entonces, la orientación del Instituto se centraba en el uso de agroquímicos. Con el tiempo hemos adoptado enfoques que integran cada vez más factores socioeconómicos y ecológicos de la producción en el campo, así como otros elementos más amplios de la cadena agroalimentaria.

Desde la última publicación, el INIAP y sus colaboradores han logrado muchos avances en procesos y tecnologías para el cultivo de la papa. A través de las metodologías de investigación participativa, se han liberado en forma más eficiente y efectiva ocho variedades mejoradas de acuerdo con las demandas de los mercados de consumo en fresco y de la agroindustria. También, los programas de investigación han progresado en la comprensión de los diversos factores limitantes de la producción y han contribuido a generar nuevas recomendaciones para el manejo integrado del cultivo, incluyendo el uso de semilla de calidad y el manejo integrado de suelos, plagas y enfermedades.

La agricultura es altamente dinámica. Las nuevas condiciones de los mercados, plagas y otros factores demandan una innovación continua de parte de los agricultores. Dada esta situación, el trabajo dedicado y constante de las instituciones de investigación como el INIAP, CIP y universidades busca ofrecer aportes puntuales que beneficien directamente a los agricultores. Para el INIAP y el CIP es muy grato poner al servicio de los profesionales, técnicos, estudiantes y productores el libro *El Cultivo de papa en Ecuador*. Esperamos que sirva como una fuente de consulta y que contribuya al desarrollo del rubro papa en el país.

Gustavo Enríquez
Director General INIAP

Hubert Zandstra
Director General CIP

INTRODUCCIÓN

El Cultivo de Papa en Ecuador aspira presentar los actuales conocimientos del país en los diversos aspectos técnicos de producción y manejo del cultivo. Fue el producto de dos años de talleres y reuniones de edición para compilar e integrar la experiencia de cerca de 30 técnicos de laboratorio y de campo, provenientes de diversas instituciones.

Gran parte de la información presentada proviene de estudios realizados en Ecuador. Para los casos en los que no existía estudios en el país, los autores consideraron las experiencias de países vecinos. Organizamos equipos de expertos de acuerdo con seis temas relacionados con la planta, su siembra y desarrollo en el campo hasta la cosecha y comercialización. Cada grupo fue liderado por un coordinador que se responsabilizó por el desarrollo del capítulo. Trabajamos en una serie de talleres para diseñar capítulos y sistematizar experiencias e información externa. Posteriormente, un Comité Técnico, compuesto por cuatro expertos a nivel nacional e internacional revisó los contenidos.

Los primeros dos capítulos presentan información general sobre el cultivo de papa en el país. El Capítulo 1 presenta el origen del cultivo en el Ecuador y su importancia actual. Además, describe los distintos ecosistemas de la sierra y sus correspondientes sistemas de producción. El Capítulo 2 presenta la fisiología de la planta, las estrategias de mejoramiento genético del INIAP y las características de las variedades nativas y mejoradas más comúnmente cultivadas.

Los Capítulos 3 y 4 presentan el proceso de manejo de la papa en el campo. El Capítulo 3 incluye información sobre los sistemas de labranza, siembra, fertilización, prácticas culturales y la cosecha de papa. Después de presentar bases conceptuales del Manejo Integrado de Plagas/Pestes (MIP), el capítulo 4 describe las principales plagas del país y comparte experiencias sobre su manejo. Incluye una sección sobre los pesticidas más comunes, sus efectos en la salud humana y en la productividad, tanto como el manejo adecuado de los mismos.

Los últimos dos capítulos se centran en aspectos socioeconómicos del cultivo en Ecuador y asuntos de poscosecha. El Capítulo 5 presenta temas relacionados con el procesamiento y almacenamiento de papa para el consumo y de tubérculo-semilla. El Capítulo 6 describe los hábitos de compra y el impacto económico de distintas variedades y tecnologías diseminadas. Además, éste incluye una explicación de cómo calcular los costos de producción.

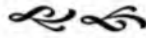
Incluimos al final una bibliografía de los estudios realizados sobre el cultivo en el país. Las fuentes están organizadas de acuerdo con el diseño del libro; se puede encontrar la mayoría de estas referencias en las bibliotecas del INIAP y CIP, en la Estación Experimental Santa Catalina.

El reto de compilar y sintetizar las diversas experiencias con respecto al manejo de papa en Ecuador ha sido formidable. Estamos conscientes de que esta primera edición puede ser complementada y nos responsabilizamos por los posibles errores y ausencia de información. Esperamos recibir sus comentarios para enriquecer futuras ediciones. Nuestra esperanza es que el libro se considerado un recurso válido para estudiantes, extensionistas y otras personas interesadas en el cultivo de papa.

Manuel Pumisacho y Stephen Sherwood
Editores

CAPÍTULO 3

MANEJO AGRONÓMICO



Selección y preparación del terreno

La selección cuidadosa del terreno es particularmente importante para el éxito del cultivo de papa. Se debe tomar en cuenta diversos criterios, como la presencia de plagas y enfermedades, presencia de distintos tamaños de agregados de suelo y que tengan una capa arable por arriba de los 30 cm. Estos factores permiten un buen desarrollo de raíces y la formación de tubérculos. Debido al grado de movimiento de suelo que demanda el cultivo, para evitar la erosión de suelos, no se recomienda utilizar terrenos con pendientes mayores al 20%.

La preparación de la parcela depende del tipo de suelo, condiciones climatológicas, humedad y riesgo a la erosión. Comúnmente el cultivo de papa conlleva un alto riesgo de erosión de acuerdo al sistema que se use. En el Ecuador, la mayoría de los agricultores practican un sistema de labranza que invierte y remueve los primeros 30 cm de superficie. Por lo general, este trabajo se realiza en forma manual o con la ayuda de un arado de tracción animal o maquinaria agrícola.

El movimiento del suelo causa cambios en sus condiciones de estructura, porosidad, rugosidad y microtopografía que pueden afectar la capacidad de infiltración, almacenamiento superficial, escurrimiento superficial y la cohesión de las partículas. El laboreo del suelo a través de muchas generaciones comúnmente provoca la destrucción de su estructura, favoreciendo la erosión hídrica y eólica y afectando las condiciones físicas y la capacidad productiva. Frecuentemente los suelos sobre trabajados son más sensibles al encostrado causado por el impacto de gotas de lluvia que afecta la emergencia y desarrollo del cultivo.

Investigadores en diferentes partes de las Américas están promoviendo sistemas de labranza con fines de conservación de suelos y agua. Experiencias realizadas en Nariño, Colombia, han logrado mejores rendimientos de papa al preparar el suelo con tres pases de rastra que con la labranza convencional (dos a tres aradas y una a dos rastras), mientras que con la siembra sin labranza los rendimientos disminuyeron. Sin embargo, el beneficio neto fue similar debido a menores costos en la preparación del suelo. La reducción de las labores de labranza es generalmente deseable pero solo factible si las condiciones del suelo (textura, humedad, contenido de materia orgánica, tipo y cantidad de malezas) lo permite.

Labranza

La labranza es una manipulación física del suelo para cambiar su estructura y mejorar las condiciones de aireación, balance hídrico y control de malezas. La operación de labranza depende de diversos factores que incluyen:

- **Textura:** Suelos de textura liviana y media, tales como los negro andino, permiten un bajo número de operaciones de labranza para establecer condiciones ideales para el crecimiento de las raíces, en tanto que los suelos pesados requieren de un mayor número de operaciones.
- **Malezas:** Un terreno que ha estado ocupado con pasturas permanentes presenta mejores características físicas, mayor grado de agregación y menor densidad aparente. Pastos con sistemas radiculares de rizomas, como el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), requieren medidas especiales.
- **Humedad:** Con una humedad cercana a la capacidad de campo se requiere de menor energía para romper el suelo durante la labranza. Suelos saturados pueden compactarse con la entrada de equipos pesados y bueyes.
- **Pendiente:** Se corre el riesgo de erosión cuando se cultiva papa en pendientes superiores al 20%. Este problema se torna aún más grave cuando se ara con tractor en sentido de la pendiente. De hecho, esta es la causa principal de erosión de los suelos negro andinos en Ecuador.
- **Herramienta:** Debido a su capacidad de arrastre en ladera, se debe restringir el uso del arado de discos a terrenos planos. En lotes ondulados y pendientes se recomienda utilizar tracción animal o herramientas manuales.

Época de preparación

La preparación oportuna del suelo es un factor importante para el desarrollo de tubérculos. Para terrenos en descanso (potrero viejo o barbecho) los agricultores generalmente incorporan al suelo materia verde existente para su adecuada descomposición. La velocidad de descomposición depende de diversos factores, especialmente la textura y humedad del suelo y la presencia y actividad de micro organismos. En la mayoría de casos bajo las condiciones de las zonas paperas de la sierra ecuatoriana, este proceso dura aproximada dos a tres meses. En caso de rastros, el proceso de descomposición es menor (tres a cuatro semanas). No es aconsejable trabajar cuando existe exceso de humedad, para evitar una compactación del suelo, o deficiencia de humedad, para evitar la pulverización de agregados.

Labores de preparación

Las principales labores convencionales de preparación de suelo en el país son: la arada y rastra. La arada consiste en la roturación de la capa superficial a fin de aflojar el suelo, incorporar los residuos vegetales y controlar malezas. Esta labor

puede incluir uno o varios pases con el arado. Una arada profunda en suelos “pesados” (de alto contenido de arcilla) puede mejorar la estructura. No obstante, la mezcla del subsuelo con la capa arable puede interferir con la presencia y disponibilidad de nutrientes al cultivo. Es aconsejable esperar 15 a 30 días entre aradas, a fin de permitir una adecuada descomposición de los residuos vegetales incorporados en cada labor.

La rastra involucra pases cruzados del campo para desmenuzar los terrones del suelo, a fin de obtener una cama superficial suelta. Se debe realizar las labores de rastra a una profundidad de 10 a 15 cm para establecer condiciones favorables para la germinación y crecimiento del cultivo.

Sistemas de labranza

Generalmente los papicultores del país usan sistemas de labranza manual y mecanizados. La labranza manual se basa en el trabajo del hombre y la tracción animal. Normalmente se aplica en lotes de gran inclinación (superior a 20% de pendiente) que impiden la mecanización. La tracción animal utiliza principalmente el arado nacional para las labores de aradura. En algunos casos es necesario complementar este trabajo con labores manuales, tales como tolas y sacudidas de los terrones del suelo. En ciertas ocasiones se emplea una rastra de clavos, a fin de dar mayor soltura a la capa superficial.

La labranza mecanizada en el país opera con maquinaria mediante equipos de arados de discos y vertedera. No obstante, el arado de discos y rastra de discos tiende a sobretrabajar al suelo, ocasionando su degradación. El arado de vertedera y rastra de discos son efectivos para romper potreros viejos. El arado de vertedera incorpora en forma eficiente el material vegetal que se encuentra en la superficie del suelo.

Conservación

La labranza de conservación o labranza reducida consiste en reducir al mínimo la labranza del suelo a fin de preservar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Como resultado, se protege la superficie de las gotas de agua, incrementando la materia orgánica por los residuos vegetales y manteniendo los agregados, conservando la humedad y la tasa de infiltración. En otros países de América Latina, en especial Brasil y Argentina, más de un millón de hectáreas están bajo sistemas de labranza reducida usando arados de cincel, rotavator y herbicidas.

No obstante, hasta la fecha su aplicación en papa ha sido limitada. El CIP e INIAP han comenzado a explorar oportunidades de reducir la labranza en papa en Ecuador, con resultados iniciales promisorios.

El Sistema de *Wachu rozado*

El *wachu rozado* es un sistema pre-Colombino de labranza reducida, originario del norte de los Andes. Literalmente, *wachu rozado* significa “camellón cortado”, y hoy en día es practicado por un 20% de agricultores de la provincia del Carchi y un menor porcentaje en Bolívar. CORPOICA, de Colombia, reporta más de 9.000 ha del sistema en el Departamento de Nariño. El *wachu rozado* consiste en construir un camellón de chambas cortadas y viradas. De siete a 15 días se siembra la semilla de papa colocándola entre las chambas, donde la semilla germina y las raíces crecen dentro de una cobertura vegetal en estado de descomposición. El sistema de *wachu rozado* se aplica generalmente para convertir un pastizal en cultivo de papa, y parece producir igual o mejor en comparación con labranza convencional. Típicamente, después del *wachu rozado* los agricultores continúan con uno o dos cultivos consecutivos de papa, seguido por uno a tres años de pasto.

Por ser un sistema tradicionalmente manual, que conserva la cobertura del suelo, el *wachu rozado* previene la erosión y compactación del suelo. Aunque los surcos corren por la pendiente del lote, debido a las raíces de las chambas que tapan la superficie, los agricultores han visto que el suelo no se erosiona por escurrimiento. Además de fomentar la actividad microbiana y crear un ambiente antagónico al gusano blanco y otras plagas del suelo, parece que la pudrición de la chamba provee nutrimentos al cultivo de manera eficiente. Dado sus impactos limitados en el suelo, parece que el sistema del *wachu rozado* es agronómicamente más sostenible a largo plazo que la labranza completa, un hecho confirmado por su larga duración.

Fertilización

El grado de fertilidad de un suelo se mide normalmente en función de la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Sin embargo, un suelo con alta cantidad de nutrientes no es necesariamente fértil, ya que diversos factores, como la compactación, mal drenaje, sequía, enfermedades o insectos pueden limitar la disponibilidad de nutrientes. Por ello, el concepto de fertilidad debería incluir criterios químicos, físicos y biológicos. El cultivo intensivo, erosión continua y pobre manejo agronómico, entre otras prácticas pueden contribuir a la pérdida de fertilidad de un suelo.

Este capítulo se centra en la provisión de nutrientes al cultivo de papa, a través de aplicaciones de fertilizantes químicos y orgánicos. En general los cultivos extraen grandes cantidades de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K) y algunos micronutrientes como zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (Bo). La fertilización de la papa es una práctica generalizada en el país y muy variada en cuanto a dosis, fuentes y épocas de aplicación. En algunas zonas, en particular en Carchi, se usan cantidades de fertilizantes químicos, provocando desbalances iónicos que afectan la absorción de otros nutrientes. Los papicultores del país utilizan un promedio de 30.000 t de fertilizantes cada año.

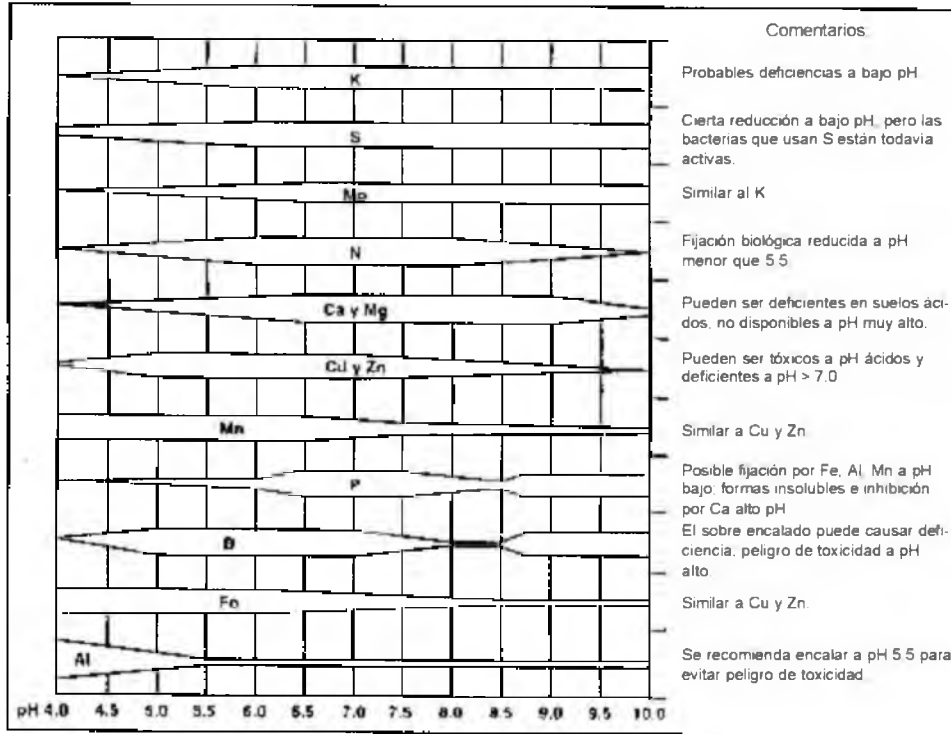
Características generales de los suelos

En Ecuador, alrededor del 80% de los suelos cultivados con papa son de origen volcánico (Andisoles). Son negros con materiales amorfos, tienen alta capacidad de fijación de fósforo y altos contenidos de materia orgánica MO (8 a 16% por volumen). Son suelos localizados en zonas frías, lo que debido a una baja actividad microbiana retarda la descomposición de la materia orgánica y promueve su acumulación a través de los años. Generalmente son suelos franco, franco arenoso, franco arcilloso y franco limoso. Por su textura y topografía poseen buen drenaje natural. Generalmente, la porosidad, permeabilidad y capacidad de retención de la humedad son altas.

Con respecto a sus características químicas, aproximadamente el 50% de los suelos tiene contenidos bajos de nitrógeno, a pesar de los altos contenidos de materia orgánica. El 80% tiene contenidos bajos de fósforo y el 70% niveles altos de potasio, calcio y magnesio. El azufre es considerado como un elemento generalmente limitante en la producción de papa, debido a su pérdida por lixiviación y extracción por los cultivos. En el caso de micronutrientes, existen deficiencias comunes para zinc, manganeso y boro.

El pH del suelo expresa la concentración de los iones de hidrógeno (H^+) y está expresada en términos logarítmicos en una escala de 0 a 14. Números bajos de pH (de 0 a 7) significa acidez, siete neutral y números altos (de 8 a 10) alcalinidad. La mayoría de suelos de las zonas paperas tienen valores de pH entre ácidos y ligeramente ácidos (< 6.4). La papa cultivada en un suelo ácido tiene dificultad en absorber la mayoría de nutrientes que demanda la papa (figura 5).

Figura 5. Efectos del pH en la disponibilidad de nutrientes y otros elementos en el suelo



Requerimientos nutrimentales

La extracción de nutrimentos del suelo por el cultivo de papa depende de la variedad, fertilidad del suelo, condiciones climáticas, rendimiento y manejo del cultivo. La extracción total de fósforo es inferior a la de nitrógeno y potasio. Sin embargo, debido al alto grado de fijación del fósforo en los suelos del país, las cantidades de fertilizantes fosfatados aplicados al suelo en Ecuador son mayores a las de nitrógeno y potasio. La mayor demanda nutricional del cultivo de papa se presenta a partir de los 50 días, cuando inician la tuberización y crecimiento del follaje (cuadro 10).

Cuadro 9. Extracción total de nutrientes por el cultivo de papa para diferentes niveles de producción

Rendimiento t/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn
	kg/ha					g/ha				
Ecuador										
17	70	15	140	25	10		400	35	1.050	200
50	220	50	350	95	35		900	60	4.600	550
Colombia										
20	120	40	250		20	10				
40	210	70	430		40	20				
50	300	100	600		60	25				

Nitrógeno (N)

Origen y función

El N del suelo puede provenir de materiales orgánicos, fertilizantes sintéticos y del aire. Debido a su alta movilidad se pierde rápidamente por lixiviación y volatilización. Como resultado, las cantidades disponibles en el suelo son en general insuficientes para cubrir la demanda de la mayoría de los cultivos. La erosión del suelo y la remoción por las cosechas contribuyen a este proceso.

El N es considerado como uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas. Es constituyente de la clorofila y está involucrado en el proceso de fotosíntesis. Es componente de las vitaminas y aminoácidos que forman proteínas. La papa puede absorber N en forma nítrica (NO₃⁻) y amoniacal (NH₄⁺). Sin embargo, la planta presenta mayores tasas de crecimiento cuando hay mayor disponibilidad de nitratos.

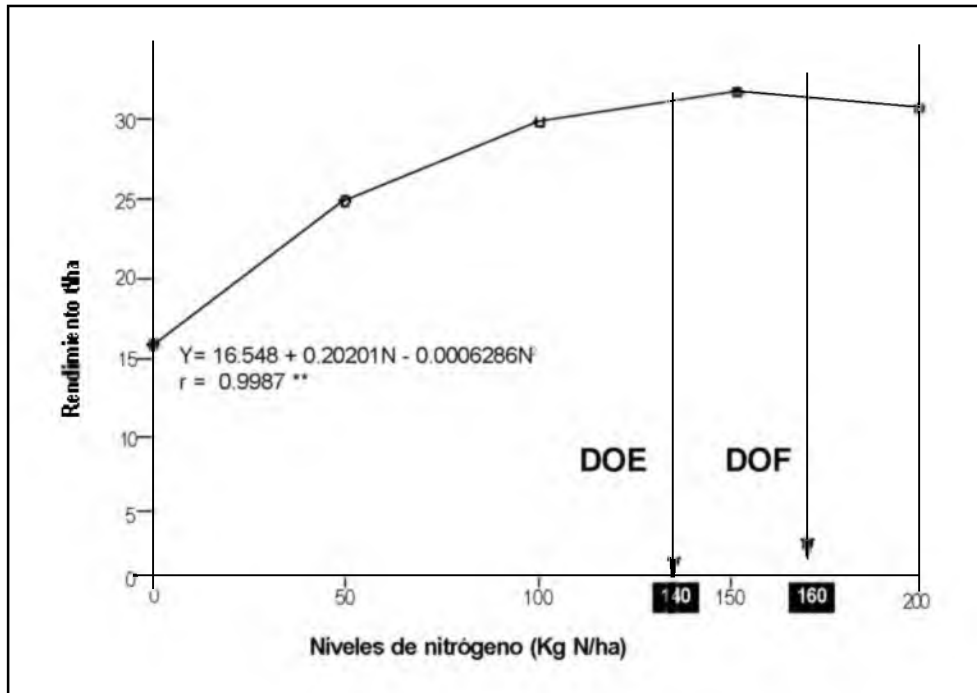
Una deficiencia de N reduce la producción de clorofila y produce clorosis en las hojas viejas de la planta. Según la severidad de la deficiencia, la clorosis avanza a las hojas más jóvenes y finalmente puede afectar el crecimiento total de la planta. Dosis excesivas de nitrógeno en papa pueden prolongar el ciclo vegetativo, reducir el porcentaje de materia seca de los tubérculos, provocar acame y aumentar la susceptibilidad de la planta a enfermedades. En algunos casos favorece el crecimiento exagerado del follaje, reduciendo la producción de tubérculos.

En la figura 6 se presenta los rendimientos promedios de papa obtenidos durante un periodo de diez años en 25 sitios ubicados en las zonas paperas de las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Carchi y Cañar. Para los niveles de rendimiento

observados, la dosis óptima fisiológica (DOF) fue alrededor de 160 kg de N/ha y la dosis óptima económica (DOE) alrededor de 140 kg de N/ha.

La máxima eficiencia del nitrógeno con relación al rendimiento se consiguió con 50 kg de N/ha, al obtener 186 kg de papa por cada kg de nitrógeno aplicado. Al incrementar los niveles de N, su eficiencia tiende a bajar, un efecto conocido como la ley de los rendimientos decrecientes.

Figura 6. Dosis óptima fisiológica (DOF) y dosis óptima económica (DOE), en función del precio del producto y los costos del fertilizante (nitrógeno), 2000



Nota: La respuesta graficada fue obtenida con una fertilización general de 300 kg/ha de P₂O₅ y 100 kg/ha de K₂O.

Fuentes de nitrógeno y formas de aplicación

A continuación, se describen las diferentes fuentes de N disponibles en el país.

- **Fertilizantes compuestos:** El uso de fertilizantes compuestos es muy común en la papa. Normalmente, más del 50% del nitrógeno es aplicado al momento de la siembra o retape (tres a cuatro semanas después de la siembra) con fuentes que tienen N - P₂O₅ y K₂O como: 10-30-10, 18-46-0, 12-36-12, 8-20-



INIAP - Estación Experimental Santa Catalina

20 y 15-15-15. Las tres primeras formulaciones son las más usadas; las otras son comúnmente aplicadas al momento del medio aporque.

- **Urea (46% de N):** Es la fuente de nitrógeno más usada en la papa, y su formulación es granulada. La urea es muy soluble en agua, y en suelos húmedos. En aplicaciones superficiales, parte del N se pierde por volatilización en forma de amonio (NH_3). Por lo tanto se recomienda tapar o incorporar el fertilizante al suelo para evitar pérdidas. Dosis altas colocadas junto a las semillas o partes de las plantas jóvenes, como tallos y hojas, pueden provocar necrosis y muerte de los tejidos, debido a la acidificación de la zona por la formación de amonio y nitratos.
- **Sulfato de amonio (21% de N y 24% de S):** Es menos soluble que la urea. Es recomendado cuando hay deficiencias de azufre. Para aplicar cantidades altas de nitrógeno se puede alternar con urea. El sulfato de amonio es un poderoso acidificante, y no debe ser usado en suelos con bajo pH.
- **Nitrato de amonio (33% de N):** Es higroscópico, tiene buenas cualidades para su manejo. En esta fuente la mitad de N es NH_4^+ y la otra mitad es NO_3^- .
- **Nitrato de calcio, (15.5% de N y 19% de Ca):** Es usado como fuente de N y calcio. El nitrato de sodio tiene menor poder acidificante del suelo que otras fuentes de nitrógeno, debido a su provisión de cationes básicos Ca^{++} y Na^+ .
- **Nitrato de potasio (13% de N y 44% de K_2O):** Esta fuente es utilizada para complementar el N y K en suelos ácidos. Al igual que el nitrato de calcio, el nitrato de potasio tiene una reacción básica en el suelo.

La elección de la fuente de nitrógeno debe ser realizada de acuerdo a las condiciones químicas del suelo, especialmente del pH y contenido de nutrientes, tomando en cuenta las características de las alternativas, como la concentración, la solubilidad, el poder acidificante y el costo. A continuación se describe las diversas fuentes de N disponible en el país (cuadro 10).

Para reducir pérdidas, el N debe ser aplicado en forma fraccionada. Recomendamos aplicar la mitad a la siembra con los fertilizantes compuestos. Se recomienda aplicar a chorro continuo al fondo del surco y cubrir con una capa delgada de tierra para evitar contacto con la semilla.

La otra mitad se aplica a los 45 a 60 días después de la siembra, cuando las plantas tienen de 15 a 20 cm de altura. Se recomienda usar fertilizantes simples. Se aplican en banda lateral, a diez cm de las plantas. Frecuentemente, esta actividad coincide con el medio aporque.

Cuadro 10. Fuentes de nitrógeno

Fuente de N	Fórmula química	Contenido de N (%)
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21
Amoniaco anhidro	NH_3	82
Nitrato de amonio	NH_4NO_3	34
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46
Solución de nitrato de amonio - urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$	28 - 32
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15.5
Nitrato de sodio	NaNO_3	16
Nitrato de potasio	KNO_3	13
Fosfato monoamónico MAP	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	10
Fosfato diamónico DAP	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	18
Fosfato nítrico	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	20
Nitrato cálcico-amónico	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$	26

Fósforo (P)

Origen y función

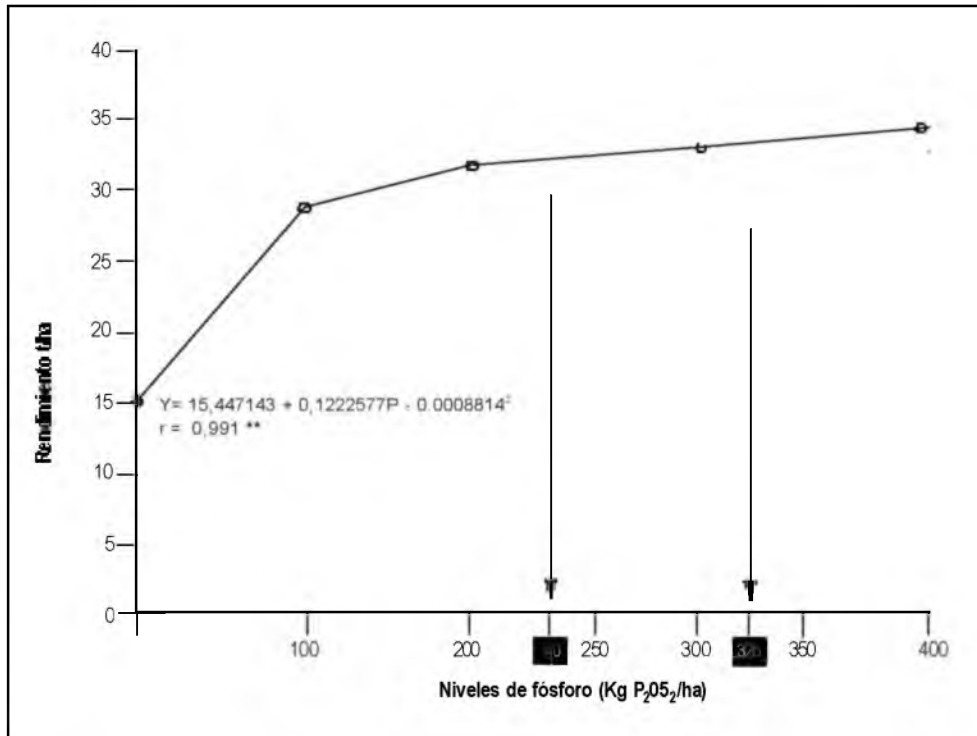
La fuente de fósforo más común para la fabricación de los fertilizantes es la roca fosfórica, acidificada con ácido sulfúrico (H_2SO_4) o fosfórico (H_3PO_4). Debido a la alta capacidad de fijación de P en los suelos, es uno de los elementos más limitantes de la producción de papa, aún cuando los requerimientos del cultivo son relativamente bajos (hasta 100 Kg de $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$).

Las plantas absorben fósforo principalmente en forma de iones ortofosfatos primarios o secundarios (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) que están presentes en la solución del suelo. La cantidad de cada forma depende del pH en la solución del suelo. El P es esencial para la calidad y rendimiento de los cultivos. Contribuye a los procesos de fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división y crecimiento celular, y transferencia genética. El P promueve la rápida formación de tubérculos y crecimiento de las raíces. Mejora la resistencia a las bajas temperaturas, incrementa la eficiencia del uso de agua, contribuye a la resistencia a enfermedades y acelera la madurez.

El fósforo es un elemento crítico durante el periodo inicial de desarrollo de la planta y de tuberización. Una deficiencia de fósforo retarda el crecimiento apical, dando lugar a plantas pequeñas y rígidas. Se reduce la formación de almidón en los tubérculos, contribuyendo a la formación de manchas necróticas de color castaño-herrumbre, distribuidas en forma dispersa en toda la pulpa.

En la figura 7 se presentan los rendimientos promedio alcanzados por el cultivo de papa en 19 ensayos realizados en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Cañar y Carchi. Para el nivel de rendimientos obtenidos en las diferentes zonas agroecológicas, la DOF fue alrededor de 325 kg/ha y la DOE entre 240 kg/ha. La máxima eficiencia del cultivo de papa en el uso de fósforo fue 100 kg/ha, con una producción de 126 kg de papa por cada kg de fósforo aplicado.

Figura 7. Dosis óptima fisiológica (DOF) y dosis óptima económica (DOE), en función del precio del producto y los costos del fertilizante (fósforo), 2000



Nota La respuesta graficada fue obtenida con una fertilización general de 200 y 100 kg/ha de N y K₂O, respectivamente

Al solubilizarse en el suelo, típicamente el P aplicado forma compuestos con el calcio, hierro, aluminio y manganeso. Además en suelos derivados de ceniza volcánica se enlaza con la superficie reactiva de la alofana, imogolita y los complejos de humus-Al. Estas reacciones reducen la disponibilidad de fósforo para las plantas, lo que es conocido como inmovilización o fijación. En suelos de Nariño, Colombia se encontró una eficiencia de utilización del fósforo a partir del superfosfato triple aplicado al suelo de menos del 3%.

En evaluaciones realizadas en dos localidades en Ecuador, se observó una marcada respuesta del cultivo de papa a la aplicación de niveles crecientes de fósforo en todos los ciclos, siendo el mejor nivel el de 300 kg de P_2O_5 /ha. El efecto residual del fósforo es observado en el tercer ciclo, al presentar incrementos en el rendimiento con relación al testigo. Sin embargo, estos rendimientos fueron inferiores a los obtenidos con la aplicación continua de fósforo, lo que demuestra la lenta liberación del nutriente.

Estudios de fijación del P han demostrado que los suelos del norte del país fijan más P que aquellos de las zonas central y sur, lo cual explica el uso de cantidades más altas en la zona norte. La mayor eficiencia del fósforo proveniente del fertilizante fue de 11% para el nivel de 150 kg/ha de P_2O_5 ; mientras que para un nivel de 450 kg/ha de fósforo, la eficiencia fue 4%. La eficiencia del fósforo residual en el segundo ciclo de papa y con 150 Kg de P_2O_5 /ha fue cerca del 8%.

Fuentes de fósforo y formas de aplicación

A continuación, se describe las diferentes fuentes de P en el país.

- **Superfosfato simple o normal (SFS) (20% de P_2O_5 y 12% de S)**: Es fabricado con ácido sulfúrico en forma granulado. Apesar de ser una buena fuente de P y S, no tiene un uso masivo en el país.
- **Superfosfato triple o concentrado (SFT) (46% de P_2O_5)**: Contiene ácido fosfórico en fórmula granulada y es poco usado en papa. Esta fuente puede ser usada en mezcla en conjunto con formulaciones completas para ajustar el fósforo.
- **Fosfato monoamónico (MAP) (10% de N - 30% P_2O_5 - 10% K_2O) (10-30-10)**: Es un granulado en forma de mezclas físicas y complejas.
- **Fosfato diamónico (DAP) (18% de N - 46% P_2O_5 - 0% K_2O) (18-46-0)**: Es granulado, y es la fuente más utilizada en papa.

El MAP y el DAP se fabrican controlando la cantidad de amonio que reacciona con el ácido fosfórico. Como fuente de P, N y K son productos relativamente más baratos, estos son los más usados en papa. Tiene más importancia el uso del 18-46-00 por su mayor concentración de P y N, lo cual facilita su aplicación. En el mercado existen otras fuentes compuestas, en particular 12-36-12, 8-20-20 y 15-15-15.

Se recomienda aplicar el P al momento de la siembra a chorro continuo y al fondo del surco para favorecer el crecimiento de raíces. Sin embargo, los papicultores de Carchi comúnmente aplican el P conjuntamente con el N y K después de la siembra, en las labores conocidas como retape (3 semanas después de la siembra) y medio aporque (8 a 10 semanas después de la siembra).

Considerando que el P tiene baja movilidad, la mejor época de aplicación de fósforo es al momento de la siembra (cuadro 11). Cuando se fracciona el fósforo, los rendimientos son similares a los obtenidos con la aplicación total a la siembra. El aprovechamiento del P después de la siembra es distribuido a la morfología de la planta, la cual emite raíces y estolones en la zona de aporcado. Cuando se ha aplicado todo el P al medio aporque, se ha observado que las plantas presentan síntomas de deficiencia de fósforo (enanismo) y menor rendimiento.

Cuadro 11. Rendimiento de papa en diferentes épocas de aplicación de fósforo en cuatro localidades de la provincia Chimborazo, 1996

Epoocas de aplicación kg P ₂ O ₅ /ha			Rendimiento de papa (t/ha)			
Siembra	Retape	½ aporque	San Juan	Santa Fe de Galán	San Juan	Shobol
0	0	0	17.16 b	22.33 a	7.89 d	19.37 c
300	0	0	30.22 a	23.13 a	42.30 a	48.04 a
0	300	0	26.92 a	26.68 a	36.55 ab	46.05 a
0	0	300	21.85 ab	22.88 a	20.14 c	31.30 b
150	150	0	26.52 a	25.29 a	44.81 a	41.56 ab
0	150	150	26.62 a	24.48 a	30.53 b	41.41 ab
150	0	150	29.79 a	24.14 a	42.50 a	45.34 a
100	100	100	29.07 a	24.35 a	40.18 ab	47.85 a

Potasio (K)

Origen y función

La mayoría de los suelos (70% de suelos analizados) de la sierra ecuatoriana se caracterizan por tener contenidos altos de potasio. El cultivo de papa extrae grandes cantidades de potasio (300 a 600 kg/ha de K₂O), la cual excede la demanda de N. El potasio en las plantas es vital para la fotosíntesis, especialmente en la síntesis de proteínas. Es importante para la descomposición de carbohidratos para producir energía, ayuda a controlar el balance iónico y contribuye a la translocación de metales pesados como Fe. Además da resistencia a enfermedades, como la

fusariosis y la mancha negra del tubérculo. El K es un activador de los sistemas enzimáticos que regulan el metabolismo de la planta, como la apertura y cierre de los estomas lo cual contribuye a la resistencia de sequía.

Cuando existe deficiencia en potasio las hojas superiores son pequeñas, arrugadas y de un color verde más oscuro de lo normal. Ocurre necrosis en las puntas y márgenes y clorosis intervenal en las hojas viejas.

Las plantas toman el potasio de la solución del suelo en forma de iones (K^+). La respuesta del cultivo de papa a aplicaciones iniciales de K es de hasta 67 kg de papa/kg de K_2O . En evaluaciones realizadas con la aplicación de 100 kg/ha de K_2O , se obtuvo incrementos promedio de 1.68 t/ha con rangos de 0.5 a 6.7 t/ha. En algunas localidades se ha observado una disminución en el rendimiento cuando se utiliza KCl.

Fuentes de potasio y formas de aplicación

En el país existen diversas fuentes de potasio a parte de las formulaciones compuestas con N- P_2O_5 - K_2O . Incluyen formulaciones simples y combinaciones con nutrientes secundarios (cuadro 12).

Cuadro 12. Fuentes de fertilizantes potásicos más comunes

Fuente	Fórmula	Contenido de nutrientes (%)				
		K_2O	Mg	S	N	Cl
Cloruro de potasio	KCl	60	—	—	—	45
Sulfato de potasio	K_2SO_4	50	—	18	—	—
Sulpomag	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4$	22	11	22	—	—
Fertisamag	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4$	19	11	15	—	—
Nitrato de potasio	KNO_3	44	—	—	13	—

Según algunos estudios, el sulfato de potasio produce mayores rendimientos que otras fuentes de potasio, seguido por sulpomag y cloruro de potasio. Esta respuesta, en gran parte, se atribuye al azufre incluido en el sulfato de potasio y sulpomag, que contribuye al incremento de almidón en el tubérculo.

El potasio en el suelo tiene una movilidad intermedia entre el N y P. Generalmente, para la papa se aplica el K a la siembra a chorro continuo y al fondo del surco. Es importante cubrir el fertilizante con una capa delgada de suelo para evitar daños a los tubérculos-semilla por altas concentraciones de sales en los productos. En suelos arenosos o franco arenosos con alto potencial de pérdida de K

por lixiviación, se recomienda fraccionar la aplicación de K a la siembra y medio aporque. El K aplicado en cobertera debe ser colocado en banda lateral a diez cm de las plantas e incorporado con la labor de medio aporque.

Azufre (S)

Origen y función

La principal fuente de azufre (S) natural es la materia orgánica, que provee más del 95% del S encontrado en el suelo. En las zonas paperas del país, alrededor del 70% de los suelos son deficientes en (S). Por ello, la probabilidad de respuesta del cultivo a la fertilización con azufre es alta.

El S ayuda a desarrollar enzimas y vitaminas vegetales. Contribuye al proceso de formación de la clorofila, y está presente en varios compuestos orgánicos de la planta.

Los síntomas de deficiencia en S son similares a los de falta de N. Presenta un color verde pálido en las hojas más jóvenes. Cuando la deficiencia de S es severa, la sintomatología se generaliza en toda la planta.

Las fuentes más importantes es S elemental. Este necesita ser oxidado a sulfato (SO_4^{2-}) por acción bacteriana antes de que la planta pueda asimilarlo. Según investigaciones realizadas en campos de agricultores, la adición de 30 kg de S/ha dió un incremento en el rendimiento de papa de hasta 5.76 t/ha, con una eficiencia de 192 kg de papa/kg de S aplicado. En cambio, tres aplicaciones al follaje de 2.5 kg/ha de S micronizado al 80% de floración produjo incrementos en el rendimiento de papa de hasta 3.5 t/ha.

La disponibilidad de S en el suelo se incrementa con su aplicación al suelo. Se ha observado que la fertilización permite corregir deficiencias nutrimentales cinco años después de la aplicación debido a un efecto remanente. Ni las fuentes, ni los niveles de azufre utilizados en el país parecen aportar significativamente a la acidificación del suelo.

Fuentes de azufre y formas de aplicación

Las principales fuentes sintéticas de S son los sulfatos (cuadro 13). Estos varían entre moderadamente a muy solubles en agua.

Se recomienda aplicar azufre al momento de la siembra a chorro continuo y al fondo del surco. Sin embargo, dependiendo de la fuente, puede ser aplicado en forma fraccionada a la siembra o retape y antes del medio aporque en banda lateral a diez cm de las plantas.

Cuadro 13. Principales fuentes de azufre

Material	Fórmula química	Contenido de S (%)
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24
Sulfato de potasio	K_2SO_4	18
Sulfato de potasio - magnesio	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$	22
Azufre elemental	S	85
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12-18
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	14
Azufre de mina (Tixan)	S	33

Compatibilidad química de los fertilizantes

Antes de mezclar fuentes de fertilizantes simples, se debe asegurar que los ingredientes sean compatibles. La incompatibilidad química de los materiales fertilizantes puede generarse por:

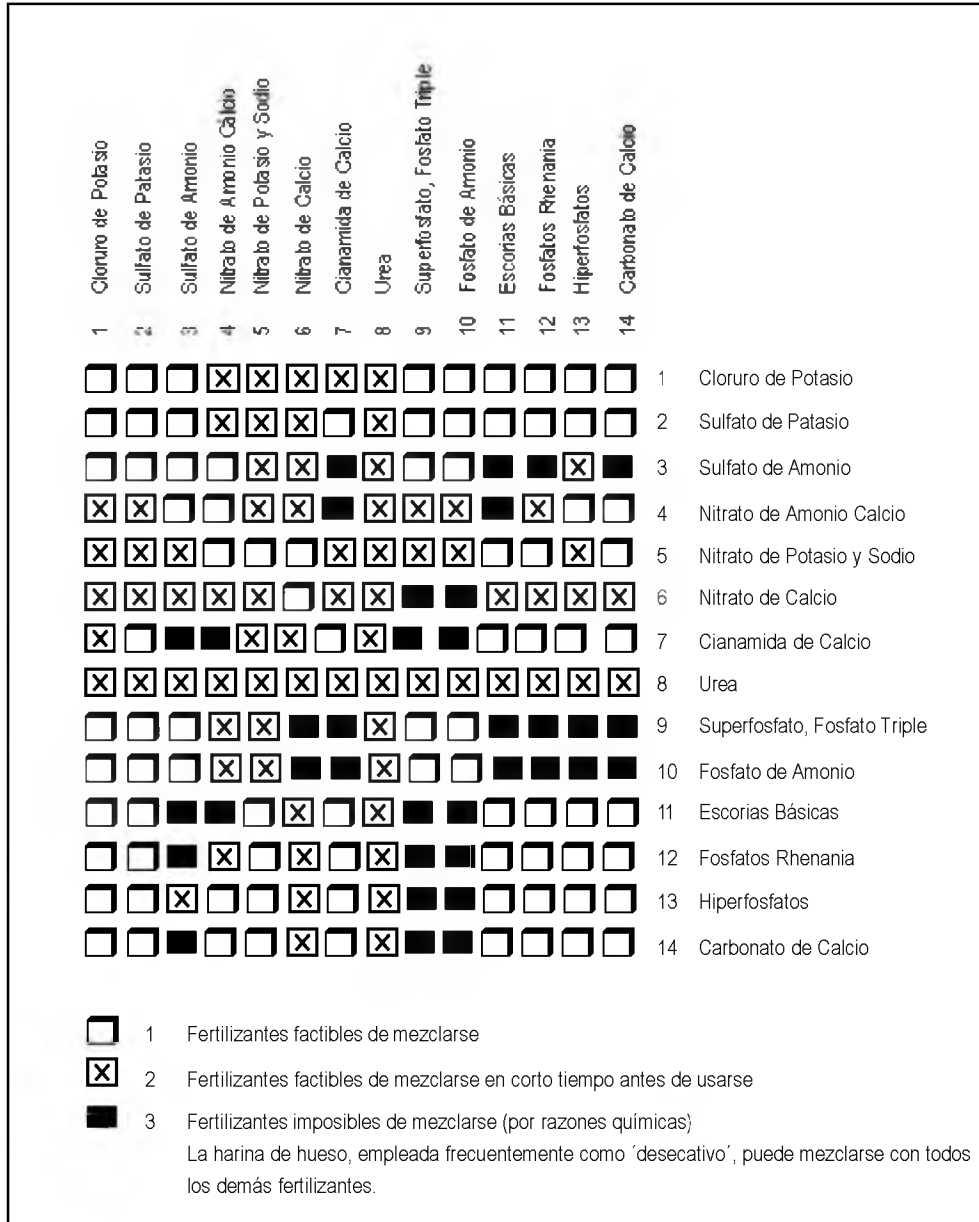
- desarrollo de calor en la mezcla
- producción de gas
- compactación
- aumento de higroscopicidad y desarrollo de humedad

Afortunadamente, solo hay unas pocas combinaciones que producen problemas de compatibilidad (figura 8). La única combinación completamente incompatible es la mezcla de nitrato de amonio con urea, debido a que la humedad relativa crítica de esta mezcla disminuye hasta un nivel sumamente bajo (18%), lo cual dificulta su manejo en estado sólido.

Las combinaciones de urea con superfosfatos se consideran de compatibilidad limitada. Estas mezclas pueden tornarse completamente incompatibles, dependiendo del contenido de humedad del superfosfato. La reacción entre la urea y el fosfato monocálcico libera agua de hidratación y provoca que la mezcla se vuelva severamente pegajosa. De otra parte, la combinación de urea con materiales alcalinos, como es el caso de las cales y las escorias thomas, provoca el desprendimiento de amoníaco desde la urea.

Las mezclas de fosfato diamónico con superfosfatos son de compatibilidad limitada debido a que en un almacenamiento prolongado del producto empacado se genera reacciones que conducen a la compactación en la mezcla. Otro tanto puede ocurrir entre algunos tipos de fertilizantes compuestos y cloruro de potasio. Para evitar reacciones químicas de largo plazo, es recomendable realizar la mezcla de fertilizantes simples solamente momentos antes de su aplicación.

Figura 8. Compatibilidad química de algunos fertilizantes



Abonos foliares

El uso de abonos foliares es recomendado como complemento de la fertilización al suelo para corregir deficiencias de micronutrientes y para promover la recuperación de la planta afectada por condiciones bióticas y abióticas adversas. La eficiencia de su aplicación está en función de la edad del cultivo, área foliar, época y forma de aplicación y movilidad del nutriente en la planta.

Investigaciones realizadas reportan que la aplicación de abonos foliares completos incrementan el rendimiento de papa en 5 t/ha. Al aplicar zinc en forma de quelato, se observó un incremento de rendimiento hasta 2.6 t/ha. La respuesta favorable a la aplicación de abonos foliares se atribuye principalmente a que los suelos tienen contenidos bajos y medios de azufre, zinc y manganeso. Para corregir deficiencias de micronutrientes vía foliar, se recomienda realizar dos a cuatro aplicaciones desde el inicio de la floración y con intervalos de 21 días.

Abonos orgánicos

Como abonos orgánicos se puede usar residuos provenientes de la finca, como estiércol de animales, restos vegetales derivados de cultivos, abonos verdes, o desechos urbanos y subproductos de la agroindustria. Al ser aplicado al suelo, estos materiales se descomponen fácilmente, formando humus y liberando nutrientes para las plantas.

Antes de que los nutrientes de los abonos orgánicos queden disponibles para las plantas, necesitan pasar por un proceso de mineralización (cuadro 14). Esto ocurre mediante un proceso de descomposición por microorganismos. La fermentación y elevación de temperatura por acción de bacterias, hongos y otros organismos producen compuestos inorgánicos de los nutrientes, especialmente humus, un residuo orgánico estable. Algunas ventajas de los abonos orgánicos son:

- disposición de macro y micronutrientes para las plantas
- aumento en capacidad de intercambio catiónico del suelo
- aumento de MO, que ayuda a la capacidad amortiguadora de los suelos, atenuando cambios químicos y biológicos
- formación y estabilización de agregados en el suelo
- retención de agua
- aireación de los suelos
- regulación de temperatura del suelo
- incremento de la población de macro y microorganismos
- protección de erosión del suelo

A pesar de sus diversas contribuciones agronómicas, el uso intensivo de abonos orgánicos es limitado. En comparación con los fertilizantes químicos, poseen bajo contenido de nutrientes y los costos de colección, transporte y aplicación son relativamente altos. Además, los subproductos orgánicos de la industria pueden contener metales pesados que representan un peligro para la salud humana.

Cuadro 14. Cantidad de nutrientes presentes en diversas fuentes de MO

Material	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	kg de elemento / 1000 kg de abono orgánico			
Vaca	20	13	20	12
Oveja	40	20	35	4
Cerdo	20	14	18	5
Gallinaza	25-50	20	50	6
Humus de composta	10	10	10	7
Humus de lombriz	4	5	2	2
Desecho de flores	13	10	3	8
Harina de higuierilla	72	9	17	7

Nota: Los valores presentados son estimados y las cifras reales dependen tanto de la especie animal como de su alimentación, entre otros factores.

Respuesta de la papa a la aplicación de abonos orgánicos

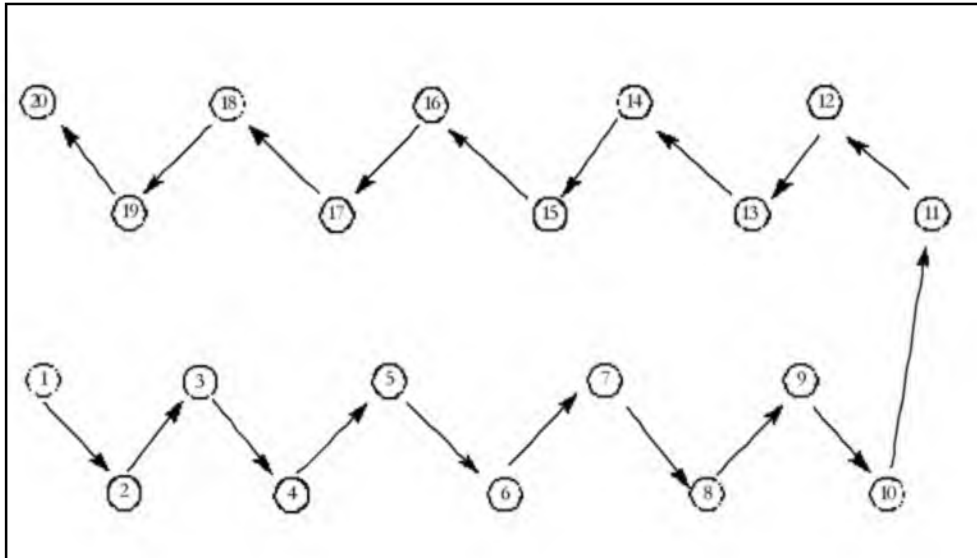
Los resultados de las investigaciones realizadas en campos de agricultores demuestran que con la adición de 20 t/ha de estiércol vacuno la producción se incrementa hasta en 20 t/ha. Para obtener rendimientos altos en siembras comerciales es conveniente aplicar conjuntamente abonos orgánicos y sintéticos. Una dosis generalmente recomendada de estiércol vacuno es 5 t/ha más el 50% de la dosis recomendada de fertilizante químico.

Análisis químico del suelo

Para definir el requerimiento de fertilización de un cultivo, se necesita conocer la diferencia entre la demanda nutricional del cultivo y la disponibilidad de nutrientes del suelo. Para el análisis químico se utiliza una muestra de suelo, tomada en forma representativa del campo. En este sentido, el muestreo puede ser tan importante como el propio análisis.

Se debe tomar la muestra de suelo para el análisis químico dos meses antes de sembrar. Se recomienda tomar varias submuestras (20 a 25 por hectárea) entre diversos sitios, siguiendo la forma de un zig-zag a través de toda el área de terreno (figura 9). La profundidad de muestreo para papa debe ser a 20 cm.

Figura 9. Diagrama de la forma de muestreo de suelos



Si la finca tiene lotes con diferentes características, se debe tomar muestras separadas por lotes homogéneos. No se debe tomar muestras en los siguientes lugares:

- sitios cercanos a caminos, zanjas, cercas, linderos o corrales
- áreas fertilizadas
- sitios de acumulación de residuos orgánicos o quemadas
- lugares de afloramiento de sales o zonas encharcadas

La toma de muestras de suelo se puede hacer con barreno, pala de desfonde, azadón o machete. Además se requiere un balde limpio, cuchillo y bolsas de plástico.

Para el muestreo, se limpia la superficie de residuos orgánicos y se hace un hueco en forma de “V” de 20 cm de profundidad. De un costado se toma una tajada de dos a tres cm de espesor y con un cuchillo se eliminan los bordes laterales dejando en el centro de la pala una tajada de tres a cinco cm de ancho y 20 cm de profundidad, la cual se recolecta en un recipiente. De esta manera se repite la operación en los otros sitios de la parcela.

Se mezcla bien todas las submuestras en el recipiente y se pone un kg de suelo en una funda plástica para enviar al laboratorio para el análisis. Se recomienda poner doble bolsa, entre las cuales se coloca una hoja de información de la muestra (cuadro 16).

Fertilización de acuerdo con el análisis

Un análisis químico de suelo permite identificar la cantidad de fertilizante requerida por el cultivo. Investigaciones realizadas por el INIAP en campos de agricultores en diferentes zonas paperas han generado recomendaciones generales (cuadro 15).

Cuadro 15. Interpretación del análisis químico de suelos y recomendaciones generales de fertilización

Interpretación Análisis de suelo	Fracción disponible en el suelo				Recomendación de fertilización			
	N	P	S	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
	ppm			Meq/100 mi	kg/ha			
Bajo	<30	<10	<12	<0.19	150-200	300-400	100-150	40-60
Medio	31-60	11-20	13-23	0.2-0.38	100-150	200-300	60-100	20-40
Alto	>61	>21	>24	>0.39	60-100	100-200	40-60	0-20

Nota: Estas son recomendaciones generalizadas, basadas en los diversos suelos y variedades de papa de consumo en Ecuador para una producción de 30 a 50 t/ha

Interpretación del análisis y cálculo de fertilizantes

A continuación presentamos un ejemplo práctico sobre cómo calcular la cantidad de fertilizante a aplicar según los resultados de un análisis de suelo. En el ejemplo, el análisis de suelo para N dió el resultado de 40 ppm, lo cual corresponde al nivel medio alto (cuadro 18). Usando la tabla de recomendación para este suelo, le corresponde una fertilización entre 100 a 150 kg/ha de N.

Cuando el reporte del análisis no dispone de gráfico, es necesario relacionar los valores del análisis de suelos con los rangos de la fracción disponible en el suelo y los rangos de recomendación de fertilización para obtener una dosis adecuada (cuadro 15).

En base a las recomendaciones, es conveniente calcular las cantidades de fertilizantes compuestos a usar iniciando con los requerimientos de P, porque es el nutriente que más se aplica y con más contenido de las formulaciones comunes, como por ejemplo el 18-46-0. Después se sigue el cálculo con N, seguido por K y finalmente S. El siguiente cuadro provee un ejemplo.

Cuadro 16. Hoja de entrega de muestra de suelo

**INIAP
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE SUELOS**

INFORMACION DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo: _____
 Propietario: _____ Altitud: _____
 Ubicación geográfica Longitud: _____ Latitud _____
 Remitente: _____
 (Nombre del Técnico) (Nombre de la Institución donde trabaja)

Los resultados serán enviados: Al remitente: FaxNo. Oficina Central:
 Localización _____
 (Nombre de la granja) Parroquia Cantón Provincia

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS

No. Muestra	IDENTIFICACION	SUPERFICIE APROX.	CULTIVOS	
			ANTERIOR	PROXIMO

CARACTERISTICAS DEL TERRENO

No. Muestra Produc- ción	TOPOGRAFIA	RIEGO	DRENAJE	FERTILIZACION Y PRODUCCION		
	1. Plano	1. SI	1. Bueno	FERTILIZANTE	qq/ha	
	2. Ondulado	2. NO	2. Regular			qq/ha
	3. Quebrado		3. Malo			

TIPO DE ANALISIS:

Elemental: N, P, K, Ca, Mg y pH (Al + H ó C.E.)
 Completo: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Fe, Mn, C. E., Na, M. O. y pH (Al +H)

DETERMINACIONES ESPECIALES: Textura CIC N total Salinidad

OTRAS CARACTERISTICAS: _____

 FIRMA REMITENTE

Cuadro 17. Reporte de análisis de suelos

Estación Experimental "Santa Catalina"

Laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas
Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 / Telf.: 690-691 92/93 Fax:690-693

Reporte de Análisis de Suelos

Datos del propietario			
Nombre: Sr. Linderman Burgos			
Dirección: Cotacachi			
Ciudad:	Teléfono:	Fax:	

Datos de la propiedad		
Nombre: Balsapamba Alto		
Provincia: Imbabura		
Contón:	Parroquia:	Ubicación:

Datos del lote	
Cultivo actual: Papas	
Cultivo anterior: Tomate de árbol	
Fertilización Ant.:	Superficie:

Para uso del laboratorio		
Nº Reporte:	Nº Muestra Lab.:	
Fecha de Muestra:	Fecha de Ingreso:	Fecha de Salida:

NUTRIENTES	VALOR	UNIDAD	INTERPRETACION
N	56.00	ppm	
P	4.00	ppm	
S	4.80	ppm	
K	0.22	meq/100 ml	
Ca	4.60	meq/100 ml	
Mg	0.56	meq/100 ml	
Zn	0.70	ppm	
Cu	6.70	ppm	
Fe	272.00	ppm	
Mn	1.60	ppm	
B	0.70	ppm	
pH	5.50		
Acidez Int. (Al + H)	0.70	meq/100 ml	
Al		meq/100 ml	
Na	0.02	meq/100 ml	
CE	0.16	mmhoc / cm	
MO	7.20	%	

Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	%			Clase Textura
Mg	K	K	EBases	N Tot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
8,2	2,5	23,5	6,1			8,2	2,5	23,5	6,1

Cuadro 18. Cálculo de la cantidad de fertilizante compuesto a aplicar usando 18-46-00

Paso 1. Cálculo de P aplicando 18-46-00

46 kg de P_2O_5 hay en 100 kg de 18-46-00
 300 kg de P_2O_5 X

$$X_P = (100 \times 300) / 46 = 652.2 \text{ kg} = 13 \text{ sacos de 18-46-00 de 50 kg.}$$

Paso 2. Cálculo de N aplicado con el 18-46-00 y la diferencia con Urea

En 100 kg de 18-46-00 hay 18 kg de N
 En 650 kg de 18-46-00 X

$$X_N = (650 \times 18) / 100 = 117 \text{ kg de N con el 18-46-00}$$

120 kg de N requeridos - 117 kg de N aplicado con 18-46-00 = 3 kg de N que faltan.
 Para aplicar el 50% de N a la siembra, se recomienda mezclar en este caso, 7 sacos de 18-46-00 y 6 sacos de superfosfato triple (46% de P_2O_5).

En 350 kg de 18-46-00 (7 sacos) hay 63 kg de N
 120 kg de N - 63 kg de N en el 18-46-00 = 57 kg de N que faltan

46 kg de N hay en 100 kg de urea
 57 kg de N X

$$X_N = (100 \times 57) / 46 = 123.9 \text{ kg} = 2.48 \text{ sacos de urea}$$

Paso 3. Cálculo de S y K usando sulphomag y muriato de potasio

22 kg de S hay en 100 kg de sulphomag
 40 kg de S X

$$X_S = (100 \times 40) / 22 = 181.8 \text{ kg} = 3.6 \text{ sacos de sulphomag}$$

Como la cantidad de S es igual a la de K_2O , entonces aplicamos 40 kg de potasio

90 kg de K_2O requerido - 40 kg aplicado con sulphomag = 50 kg de K_2O que faltan

60 kg de K_2O hay en 100 kg de muriato de potasio
 50 kg de K_2O X

$$X_K = (100 \times 50) / 60 = 83 \text{ kg} = 1.66 \text{ sacos de muriato de K}$$

Cuadro 19. Recomendaciones de fertilización

Fecha: 27/04/00 Sr. Linderman Burgos

Muestra No	Cultivo	N	P205	K20	S	Fertilizantes (fuente)	Cantidad Sacos de 50 Kg.	Época y forma de aplicación
				Kg/ha				
48830	Papas	80	300	120	30	18-46-0	13.0	A la siembra aplicar a chorro continuo al fondo del surco todo el fósforo y azufre más la mitad de potasio, tapar el fertilizante con una capa delgada de suelo y sembrar. El resto de potasio aplicar en banda lateral a 10 cm de las plantas, antes del medio aporque. Dependiendo de las condiciones del cultivo puede aplicar 1 saco de urea/ha antes del medio aporque.

OBSERVACIONES

Para corregir deficiencias de micronutrientes principalmente: Zn, B, y Cu aplicar abonos foliares, 3 aplicaciones desde el inicio de la floración con intervalo de 20 días

Según el ejemplo, la recomendación final es:

18-46-00	= 7 sacos
Superfosfato triple	= 6 sacos
Sulpomag	= 3.5 sacos
Muriato de potasio	= 1.5 sacos
Úrea	= 2.5 sacos

En la mayoría de casos es recomendable aplicar todo el fósforo, potasio y azufre más la mitad de nitrógeno al momento de la siembra, a chorro continuo y al fondo del surco. Luego se debe cubrir el fertilizante con una capa delgada de suelo para evitar que la semilla entre en contacto con el fertilizante. El resto de N se debe aplicar a los 45 días después de la siembra, en banda lateral a diez cm de las plantas. Para corregir deficiencias de micronutrientes presentes en el suelo, como Zn, Mn o Bo, se recomienda realizar aplicaciones foliares (cuadro 19).

Siembra y semilla

Comúnmente, la papa es reproducida en forma vegetativa a través de tubérculo-semilla. Después de varios ciclos de uso, la misma semilla pierde su capacidad productiva debido a una degeneración causada por diversas enfermedades fungosas, bacterianas o viróticas. Por eso, es importante renovar periódicamente la semilla, adquiriendo semilla certificada o de buena calidad.

Siembra y densidad de siembra

Algunos mercados exigen tubérculos de tamaño mediano a grande (para consumo y procesos industriales), mientras que otros exigen tubérculos pequeños (semilla o congelados). La densidad de un cultivo se expresa normalmente como el número de plantas por unidad de área. En el caso de la papa, cada planta proveniente de un tubérculo forma un conjunto de tallos. Cada tallo que forma raíces, estolones y tubérculos y se comporta como una planta individual que se conoce como un *tallo principal*. La densidad de tallos por m² influye directamente sobre la cantidad de tubérculos que pueden alcanzar un tamaño comercial, y por eso es un factor agronómico determinante en la producción.

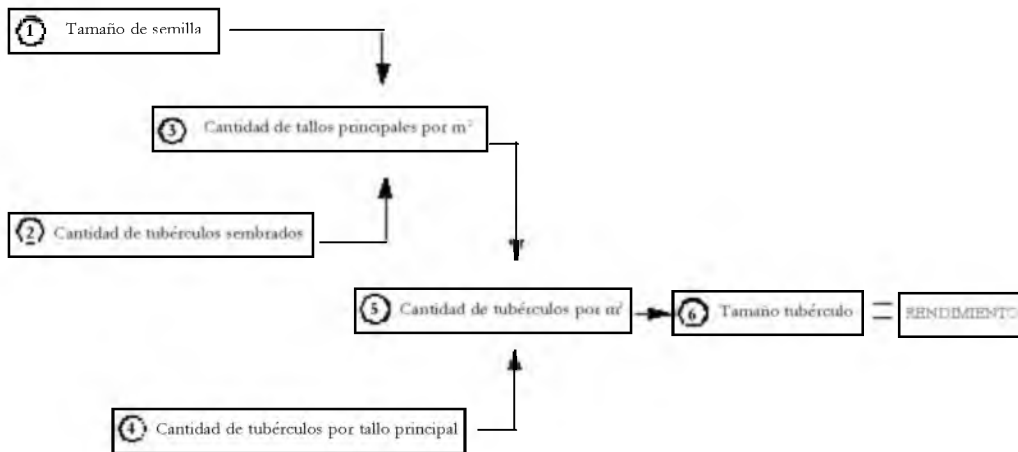
Los tallos laterales son ramificaciones del tallo principal y generalmente son menos productivos. Sin embargo, cuando se originan dentro del suelo, cerca del tubérculo madre, pueden llegar a formar raíces, estolones y tubérculos y ser tan productivos como un tallo principal. El conjunto de tallos principales y laterales formados dentro del suelo se denomina *tallos sobre el suelo*.

La cantidad de tallos producidos por tubérculo es variable. Depende del tamaño de semilla, variedad, número de brotes y método de siembra. Las variedades nativas se caracterizan por generar un gran número de tallos, mientras que las mejoradas tienden a producir de cuatro a tres tallos por tubérculo-semilla. Como resultado, la

efectiva densidad de una parcela de papa equivale a la densidad de plantas, multiplicada por el número de tallos por planta.

Para calcular la densidad de tallos o densidad de población sobre el suelo, se toma en cuenta los tallos principales más los laterales que se originan dentro del suelo, cerca del tubérculo madre. Una planta de papa puede constar de tres tallos principales, cuatro tallos sobre el suelo (productivos), y tres tallos laterales superficiales adicionales (poco productivos) (figura 10).

Figura 10. Elementos para el cálculo de tallos productivos



La densidad de tallos se puede calcular con más precisión al momento de la madurez fisiológica, cuando es más fácil separar los tallos principales de los secundarios. Para calcular la densidad de tallos, se cuenta el número de tallos sobre el suelo existentes en diez metros de surco, en lugares diferentes del cultivo seleccionados al azar. Para obtener el número de tallos por m² se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de tallos} = \frac{\text{Número total de tallos}}{(n \times 10\text{m de surco}) \times (\text{distancia entre surcos})}$$

n = número de sitios muestreados

Se presenta el siguiente caso como ejemplo:

Datos		
Tallos en cuatro sitios seleccionados al azar (10 m c/u) (105 + 109 + 110 + 116):		440 tallos
Área muestreada (4 sitios x 10 m c/u):		40 m
Distancia entre surcos:		1.10 m
Cálculo		
Densidad de tallos:	$\frac{440 \text{ tallos}}{40 \text{ m} \times 1.10 \text{ m}}$	= 10 tallos / m ²

De acuerdo con este ejemplo, la densidad de siembra es de diez tallos por m².

El número de brotes producido por tubérculo depende de la variedad, tamaño de la semilla, edad fisiológica, manejo y tratamiento de la semilla. Una eliminación del brote apical para romper la dominancia y corte parcial de tubérculos vigorosos puede incrementar el número de brotes.

Según estudios, el pre-brotamiento en luz difusa causa un desarrollo de brotes vigorosos y firmes, lo cual puede reducir el daño a brotes durante la siembra. Una semilla fisiológicamente más avanzada desarrolla más brotes que una semilla fisiológicamente joven, pero si está muy vieja, los brotes resultan débiles, sin capacidad de emerger del suelo.

Los tubérculos pequeños tienen por unidad de peso más ojos, y por ello, producen más tallos. Sin embargo, los tallos de semilla más grande crecen en general más rápido y poseen mayor capacidad de rebrote, lo que es particularmente ventajoso si las condiciones de campo no son favorables.

Densidad de siembra y rendimientos

La producción por área depende en un buen aprovechamiento del espacio. Si la densidad de plantas es insuficiente como consecuencia de una siembra demasiado amplia, el follaje cubre el suelo tardíamente y una parte importante queda descubierta, dejando mayor oportunidad al crecimiento de malezas. Además, las probabilidades de crecimiento secundario, deformaciones y “corazón hueco” aumentan en un cultivo que cierra tardíamente. La figura 18 del Capítulo 4, resume los factores relacionados a la estructura del cultivo que pueden influir en los rendimientos.

Generalmente, la cantidad de tubérculos por planta es una función de número de tallos. A menor densidad de tallos causa menor competencia. En tal caso se obtiene un número grande de tubérculos por tallo, pero se reduce el número de tubérculos por unidad de área. Con el aumento de la densidad de tallos, disminuye el número



Labranza reducida, paso de arado de cincel



Labranza reducida, siembra



Labranza con yunta



La siembra



Rascadillo o deshierba



La práctica de aporque



La deshierba en wuachu rozado



Cultivo de papa en wuachu rozado



Cosecha en forma manual



Cosecha con yunta



Agricultores de la provincia de Cotopaxi, seleccionando la cosecha



Agricultores de la provincia de Cañar, seleccionando la cosecha

de tubérculos por tallo, pero aumenta el número de tubérculos por unidad de área. Una densidad de tallos alta, conduce a un incremento en el rendimiento por área hasta cierto punto, seguido por una reducción en el promedio del peso del tubérculo. Esto se refleja en una mayor proporción de tubérculos pequeños.

La disponibilidad de nutrientes, humedad en el suelo y densidad e intensidad de luz afectan el tamaño de los tubérculos. La densidad de tallos óptima depende del propósito del cultivo, del ambiente y de la variedad utilizada. Un ambiente de baja intensidad de luz, baja fertilidad del suelo y poca humedad no puede sostener muchos tallos. Para obtener tubérculos del mismo tamaño en condiciones de baja producción, la densidad de tallos debe ser más baja que cuando existen condiciones de alta producción. La densidad de tallos alta en condiciones de baja producción hace reducir el tamaño del tubérculo antes que incrementar el rendimiento. En la producción de papa para semilla, generalmente se busca la reducción del tamaño del tubérculo. Por eso, se usa una densidad de tallos más alta que en la producción de papa para consumo. Investigaciones realizadas han demostrado que los mejores rendimientos para producción de semilla se obtienen con una densidad de 30 a 40 tallos por m² y para papa comercial de 15 a 20 tallos por m².

Las variedades que tienden a producir con mayor área foliar, como Superchola, Gabriela y Uvilla, requieren una menor densidad de tallos que las variedades con follaje moderado, como INIAP-Rosita, INIAP-Fripapa, INIAP-Raymipapa, INIAP-Supreman e INIAP-Papa Pan. La mejor manera de determinar la densidad óptima de tallos para una región específica es experimentar con diferentes distancias de siembra y tamaños de tubérculo, usando para ello variedades comúnmente cultivadas en la zona.

Cálculo de las distancias de siembra y la cantidad de semilla requerida

La distancia entre surcos es un factor determinante de la estructura del cultivo. Las variedades de tipo andígena, como Uvilla, Bolona y Chola, desarrollan estolones largos y por ello en general se les siembra a una considerable distancia entre surcos (más de un metro). Las variedades modernas como INIAP-Fripapa, INIAP-Rosita, INIAP-Gabriela, INIAP-Margarita, INIAP-Soledad, INIAP-Suprema e INIAP-Papa Pan pueden ser sembradas a distancias de un metro o menos. Para calcular la cantidad de semilla de un tamaño y variedad dada, se necesita conocer aproximadamente cuántos tallos se forman por tubérculo y el peso en los diferentes tamaños de tubérculo-semilla.

El siguiente ejemplo presenta el peso en qq/ha de tubérculos semilla de 60g para siembras a diferentes distancias.

Datos	
Densidad de tallos recomendada:	16 tallos / m ²
Distancia entre surcos:	1.0 m
Peso promedio del tubérculo-semilla:	60 g
Promedio de brotes:	4 brotes / tubérculo
Tallos por m de surco (16 tallos / m ² x 1.0):	16 tallos / m
Cálculo	
Tubérculos-semilla/ m de surco =	$\frac{16 \text{ tallos / m}}{4 \text{ brotes / tubérculo}} = 4$
Distancia dentro de cada surco =	$\frac{100 \text{ cm}}{4 \text{ tubérculos}} = 25$
Tubérculos - semilla m ² : =	$\frac{16 \text{ tallos / m}^2}{4 \text{ brotes/tubérculo}} = 4$

Cantidad de semilla requerida: 4 tubérculos / m² x 60 g/ tubérculo = 240 g/m² o 2.4 t/ha

Profundidad y ubicación de la siembra en el suelo

La profundidad de siembra recomendado depende de la humedad del suelo y del tamaño de los tubérculos y de los brotes. Cuando hay humedad suficiente y brotes bien formados, se desea que la siembra se establezca pronto para evitar problemas fitosanitarios. En tales casos, los tubérculos-semilla deben ser tapados con unos cinco cm de tierra. En caso de que la siembra se haga en terrenos secos donde la humedad está más profunda en el suelo, se recomienda colocar la semilla en el fondo del surco y tapar con una capa de tierra de ocho a 12 cm de espesor. Una profundidad de siembra homogénea asegura un cultivo homogéneo y mayor calidad.

Para facilitar los trabajos culturales posteriores, es muy importante que la semilla quede ubicada justo al centro de los surcos. Si no se tiene cuidado en esto, las plantas pueden crecer a los costados del surco donde pueden ser fácilmente dañadas.

Prácticas culturales

Las labores culturales son actividades que se realizan después de que las plantas han nacido. En el país, las principales prácticas culturales asociadas con el manejo agronómico son: el retape, el rascadillo y los aporques. En unos casos incluye el riego.

Retape

Es una labor que se hace comúnmente en la provincia de Carchi entre los 15 y 21 días después de la siembra. Sirve para incorporar el fertilizante complementario tanto como para el control mecánico de malezas. En algunas zonas esta labor sustituye al rascadillo.

Rascadillo

El rascadillo consiste en remover superficialmente el suelo, lograr el control oportuno de malezas y permitir que el suelo se airee. Esta labor se realiza a los 30 o 35 días después de la siembra, cuando las plantas tengan de diez a 15 centímetros de altura. No obstante, el momento del rascadillo puede variar de acuerdo con la calidad de preparación del suelo y de la humedad reinante.

En pequeñas extensiones esta labor puede realizarse en forma manual con azadón. En extensiones grandes, o en áreas de topografía más o menos plana, se puede usar un cultivador *tiller*, el mismo que ayuda a aflojar el suelo a una profundidad de cinco a diez cm. En ambos casos es necesario tomar ciertas precauciones a fin de no dañar el follaje joven y el sistema radicular de la planta.

Medio aporque y aporque

Consiste en arrimar la tierra a las plantas, dejando camellones bien formados. Al igual que en el caso anterior, se realiza en forma manual o mecanizada con yunta o tractor.

Generalmente en el país se practica dos momentos de aporque. Sin embargo, con las variedades modernas de ciclo corto (menos de 100 días), es posible aporcar una sola vez. Si en estos casos existen problemas de drenaje, un segundo aporque puede ser aconsejable.

El periodo óptimo para hacer el aporque depende del desarrollo de la planta, en particular la formación de estolones y la tuberización. En general, el medio aporque debe realizarse entre 50 a 60 días y el aporque a partir de los 70 hasta los 80 días. Al medio aporque se debe incorporar la fertilización complementaria.

Los aporques tienen los propósitos de incorporar una capa de suelo a fin de cubrir los estolones en forma adecuada, ayudando de esta manera a crear un ambiente propicio para la tuberización. Además, sirve para controlar malezas, proporcionar sostén a la planta y facilitar la cosecha.

Riego

Un cultivo de papa localizado a 3.000 msnm necesita entre 600 y 700 mm de agua, distribuida en forma más o menos uniforme a lo largo del ciclo vegetativo. La etapa crítica, durante la cual no debe faltar agua, corresponde al periodo de floración-tuberización. En las condiciones de la sierra, en que por ciclo existen 700 a 800 mm bien distribuidos, el riego no es indispensable excepto en periodos de sequía prolongada. Cuando se realizan cultivos de verano es importante la dotación de agua con riegos frecuentes y ligeros, especialmente en la época de floración-tuberización.

Cosecha

Tradicionalmente, los productores de Ecuador dejan sus cultivos de papa en el campo hasta ver la senescencia de la planta; es decir, cuando los tallos se viran y las hojas se vuelven amarillas. Sin embargo, es recomendable tomar en cuenta el uso eventual de la cosecha.

Para el mercado fresco los tres factores importantes son tamaño, forma y apariencia del tubérculo. Por eso, es importante que el productor revise periódicamente el desarrollo de los tubérculos para determinar cuando hayan alcanzado las características necesarias para el mercado. Si el uso del cultivo no es el mercado fresco, sino otro (p.e., hojuelas o papa frita), se debe realizar la cosecha cuando los tubérculos alcancen las características necesarias de tamaño y contenido de azúcares. El cuadro 20 presenta los días de madurez de variedades más comunes sembradas en el país.

Los tubérculos cosechados deben ser retirados rápidamente del terreno con el objeto de exponerlos lo menos posible a daños ocasionados por el ambiente, plagas y enfermedades. El producto cosechado se clasifica por tamaño de acuerdo al siguiente:

Clases	Peso
Primera, gruesa o chaupi	> 121 g
Segunda o redroja	71 a 120 g
Tercera o redrojilla	51 a 70 g
Cuarta o fina	31 a 50 g
Cuchi o cuambiaca	< 30 g

Cuadro 20. Días de madurez de las variedades cultivadas en el Ecuador

Variedad	Maduración	Días a la cosecha (3000 m.s.n.m.)
Variedades Mejoradas		
Fripapa	Semitemprana	de 151 a 180
Margarita	Temprana	de 121 a 150
Esperanza	Semitemprana	de 151 a 180
María	Semitemprana	de. 151 a 180
Rosita	Semitardía	de 181 a 211
Santa Isabel	Semitardía	de 181 a 211
Gabriela	Semitardía	de 181 a 211
Soledad Cañari	Semitardía	de 181 a 211
Santa Catalina	Semitardía	de 181 a 211
Superchola	Semitardía	de 181 a 211
Variedades Nativas		
Uvilla	Tardía	> 211
Yema De Huevo	Muy Temprana	< 121
Chola	Tardía	> 211
Bolona	Tardía	> 211
Cecilia	Semitemprana	de 151 a 180

Nota: Los días a la madurez dependen de la temperatura y la altitud. La temperatura varía en promedio 0.6° C por cada 100 m de altura y como resultado, en el nicho sierra el ciclo vegetativo se alarga entre 10 a 15 días por cada 100 m de incremento de altitud. Así, Fripapa puede ser cosechada a los 120 días a 2,800 msnm. En la Península de Santa Elena la mayor parte de las variedades pueden ser cosechadas a los 90 días después de la siembra.



INIAP - Estación Experimental Santa Catalina