



# Plan de Manejo Agroclimático Integrado del Sistema Productivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Municipio de Santo Domingo de Silos  
Departamento de Norte de Santander



Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria  
Fondo Adaptación  
Julio de 2016

Este documento presenta información obtenida durante el desarrollo del proyecto MAPA. Se exponen resultados correspondientes al componente 1, “Reducción de la vulnerabilidad de los sistemas de producción agropecuarios a los eventos climáticos extremos, mediante herramientas que permitan tomar decisiones adecuadas para el manejo del riesgo agroclimático”, y al componente 2, “Desarrollo de sistemas de producción resilientes a los impactos de eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías y heladas)”.

Los contenidos del texto se distribuyen mediante los términos de la licencia Creative Commons [Atribución – No comercial – Sin Derivar](#)



La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria no se hace responsable de la interpretación y uso de estos resultados.



Equipo de trabajo	Cargo
Martha Marina Bolaños Benavides	Investigadora Ph. D.
Luis Felipe Castelblanco Rivera	Profesional de apoyo a la investigación
Juan Carlos Rojas Bustos	Profesional de apoyo a la investigación
Jairo Rojas Molina	Investigador máster
Laritz Manosalva	Profesional de apoyo a la investigación
Wilman Orley Londoño Salcedo	Profesional de apoyo a la investigación
Gonzalo Rodríguez Borray	Investigador máster
Jairo Mantilla Blanco	Economista
Andrés Felipe Zabala Perilla	Investigador máster. Economista
Wilman Orley Londoño Salcedo	Profesional de apoyo a la investigación



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Fondo Adaptación por contribuir a la financiación del proyecto Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático-MAPA.

Al productor, no solo por haber dispuesto su predio para la validación de las opciones tecnológicas presentadas, sino también por su disposición, compromiso y dedicación para el buen desarrollo de la parcela de integración. Sus aportes contribuyeron a obtener los resultados que se ven plasmados en este documento.

A los asistentes técnicos, que aportaron al proyecto a partir de sus conocimientos locales.

A todos los integrantes del proyecto MAPA del C. I. La Suiza que participaron en las diferentes actividades del Plan de Manejo Agroclimático Integrado de los sistemas productivos priorizados.

A los integrantes de los distintos productos del proyecto MAPA, quienes realizaron aportes conceptuales para la construcción del Plan de Manejo Agroclimático Integrado.

Finalmente, a todas aquellas personas que participaron en las diferentes actividades del proyecto MAPA.



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Riesgo agroclimático para el sistema productivo .....	3
<b>SECCIÓN 1:</b> Factores que definen el riesgo agroclimático en el departamento y en el municipio ....	4
Amenazas derivadas de la variabilidad climática en el municipio de Silos.....	5
Exposición del sistema productivo de papa a amenazas derivadas de la variabilidad climática en Silos .....	9
Zonas del municipio con mayor o menor riesgo de pérdida productiva para el sistema productivo de papa .....	19
Gestión de la información agroclimática y agrometeorológica para reconocer el riesgo agroclimático en la finca .....	22
<b>SECCIÓN 2:</b> prácticas para reducir la vulnerabilidad del sistema productivo de papa ante condiciones de déficit hídrico del suelo en el municipio de Silos, Norte de Santander .....	24
a. Optimización del uso del recurso hídrico.....	26
b. Incorporación de materia orgánica.....	27
Ventajas comparativas de las opciones tecnologías integradas .....	29
Preparación de abonos orgánicos en la finca.....	31
Análisis de suelos .....	32
Plan de fertilización integrada.....	33
Prácticas que se pueden implementar dentro del sistema productivo de papa en Silos, Norte de Santander, para reducir la vulnerabilidad del sistema a exceso hídrico en el suelo .....	35
Manejo Integrado de Enfermedades .....	35
Gota: <i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary.....	35
<b>SECCIÓN 3:</b> implementación de las opciones tecnológicas entre los productores de papa en el municipio de Silos, Norte de Santander.....	37



Dominio de recomendación.....	37
Determinación de los dominios de recomendación de las opciones tecnológicas para enfrentar los eventos climáticos .....	38
Características de los dominios de recomendación en el sistema productivo de papa en Silos (Norte de Santander) .....	38
Recomendaciones para implementar las opciones tecnológicas en cada dominio .....	39
REFERENCIAS.....	44



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama conceptual del riesgo agroclimático para el sistema productivo de papa en el municipio de Santo Domingo de Silos (Norte de Santander), bajo condiciones de déficit hídrico en el suelo.....	3
<b>Figura 2.</b> Mapas biofísicos del municipio de Silos (Norte de Santander) a. Subzonas hidrográficas b. Altitud. c. Paisaje. ....	5
<b>Figura 3.</b> Precipitación promedio en Silos y en años extremos del periodo 1980 -2011. ....	6
<b>Figura 4.</b> Aptitud de uso de suelos para el sistema productivo de papa en el municipio de Silos. Fuente: Corpoica (2015b).....	12
<b>Figura 5.</b> Escenarios agroclimáticos mensuales para el sistema productivo de papa en el municipio de Silos, bajo condiciones de humedad restrictivas por déficit hídrico entre mayo y diciembre. Fuente: Corpoica (2015b).....	16
<b>Figura 6.</b> Aptitud agroclimática del municipio de Silos para el sistema productivo de papa bajo condiciones de humedad en el suelo restrictivas por déficit hídrico.....	19
<b>Figura 7.</b> a.) Balance hídrico atmosférico y b.) Balance hídrico agrícola en la parcela de integración del sistema productivo de papa en el municipio de Silos, Norte de Santander, entre los meses de julio de 2014 y agosto de 2015. ....	25
<b>Figura 8.</b> Riego por goteo. ....	26
<b>Figura 9.</b> Arreglo de siembra y disposición de los tratamientos con aplicación de materia orgánica sobre los surcos. ....	27
<b>Figura 10.</b> Tubérculos de primera calidad.....	30



<b>Figura 11.</b> Indicadores de sensibilidad (rojo) y capacidad de adaptación (verde) para el dominio de recomendación 1.....	40
<b>Figura 12.</b> Indicadores de sensibilidad (rojo) y capacidad de adaptación (verde) para el dominio de recomendación 2.....	41
<b>Figura 13.</b> Indicadores de sensibilidad (rojo) y capacidad de adaptación (verde) para el dominio de recomendación 3.....	42
<b>Figura 14.</b> Indicadores de sensibilidad (rojo) y capacidad de adaptación (verde) para el dominio de recomendación 4.....	43





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Duración, valor del ONI y anomalías de precipitación en el municipio de Silos durante los eventos El Niño en el periodo 1980 - 2011. ....	8
<b>Tabla 2.</b> Duración, valor del ONI y anomalías de precipitación en el municipio de Silos durante los eventos La Niña en el periodo 1980 - 2011. ....	8
<b>Tabla 3.</b> Calendario fenológico para el sistema productivo de papa en el municipio de Silos. ....	17
<b>Tabla 4.</b> Ventanas temporales de análisis para el sistema de cultivo de papa en el municipio de silos. ....	18
<b>Tabla 5.</b> Diferentes tipos de fertilización utilizados en la parcela de integración. ....	28
<b>Tabla 6.</b> Rendimiento y categorías de la papa obtenidos con la incorporación de materia orgánica. ....	31



## INTRODUCCIÓN

El Plan de Manejo Agroclimático Integrado, construido como concepto novedoso, por el proyecto Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático - Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA), contiene herramientas que soportan la toma de decisiones para enfrentar eventos climáticos limitantes para los sistemas productivos, y contribuir a la reducción de la vulnerabilidad a mediano y largo plazo. Esto constituye una propuesta de gestión de técnicas y tecnologías a escala local, con proyección municipal, que permiten minimizar los impactos que tienen las condiciones restrictivas de humedad del suelo sobre los sistemas productivos.

Con este enfoque, el proyecto MAPA ha realizado un acercamiento espacial y temporal de la exposición a condiciones restrictivas por exceso o déficit hídrico para 54 sistemas de producción, en 69 municipios de 18 departamentos del país. Para ello, se desarrollaron parcelas de integración en 53 sistemas productivos, cuyo objetivo fue validar opciones tecnológicas seleccionadas participativamente con agricultores, e integrar experiencias y conocimientos acerca de estrategias de adaptación para enfrentar condiciones limitantes de humedad en el suelo a escala local. Para el departamento de Norte de Santander fue priorizado, por el Fondo Adaptación, el sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum*) en el municipio de Santo Domingo de Silos.

Este documento expone un conjunto de elementos que permiten orientar la planificación de acciones para mejorar o generar la capacidad adaptativa del sistema productivo de papa a condiciones de déficit hídrico en el suelo, en el municipio de Santo Domingo de Silos (Norte de Santander).



## OBJETIVOS

### Objetivo general

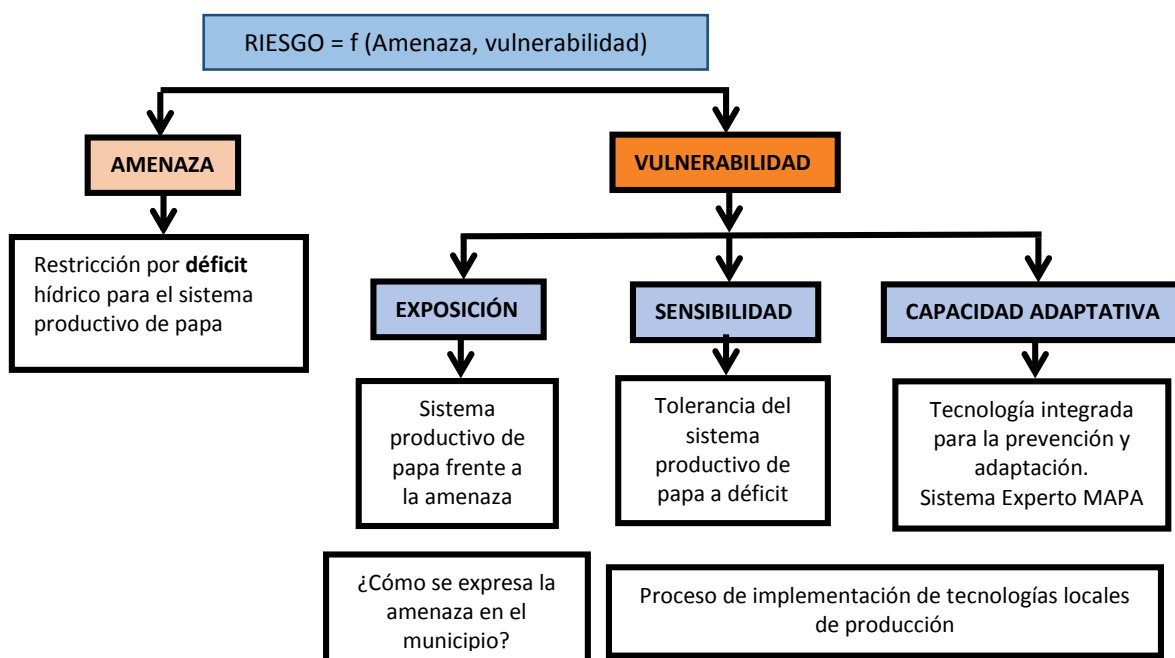
Contribuir a la reducción de la vulnerabilidad del sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum*), variedad parda pastusa, frente al riesgo agroclimático asociado a condiciones restrictivas de humedad en el municipio de Silos (Norte de Santander), mediante la presentación de herramientas para la toma de decisiones y la gestión de la tecnología.

### Objetivos específicos

- Exponer información agroclimática del municipio de Silos (Norte de Santander) para la toma de decisiones en el sistema productivo de papa negra en condiciones de déficit hídrico en el suelo.
- Presentar opciones tecnológicas que permitan reducir la vulnerabilidad del sistema productivo de papa negra a condiciones de déficit hídrico en el suelo, en el municipio de Silos (Norte de Santander).
- Proporcionar criterios de decisión para la implementación de opciones tecnológicas integradas en el sistema productivo de papa en el municipio de Silos.

## Riesgo agroclimático para el sistema productivo

El riesgo agroclimático (IPCC, 2012) está expresado en función de la amenaza (eventos climáticos extremos o limitantes) y la vulnerabilidad del sistema productivo definida por su exposición, la sensibilidad de la especie al estrés hídrico y la capacidad adaptativa del sistema productivo al riesgo agroclimático. En la Figura 1 se exponen los elementos estructurales que determinan el riesgo agroclimático: la amenaza climática y la vulnerabilidad del sistema productivo de papa. Como estrategia para disminuir la sensibilidad y aumentar la capacidad adaptativa del sistema productivo de papa frente a condiciones restrictivas de humedad en el suelo, se presentan opciones tecnológicas para la prevención y adaptación que ingresan a un proceso de implementación en el sistema productivo, acorde con las características socioeconómicas y técnicas de los productores locales.



**Figura 1.** Diagrama conceptual del riesgo agroclimático para el sistema productivo de papa en el municipio de Santo Domingo de Silos (Norte de Santander), bajo condiciones de déficit hídrico en el suelo.



## SECCIÓN 1: Factores que definen el riesgo agroclimático en el departamento y en el municipio

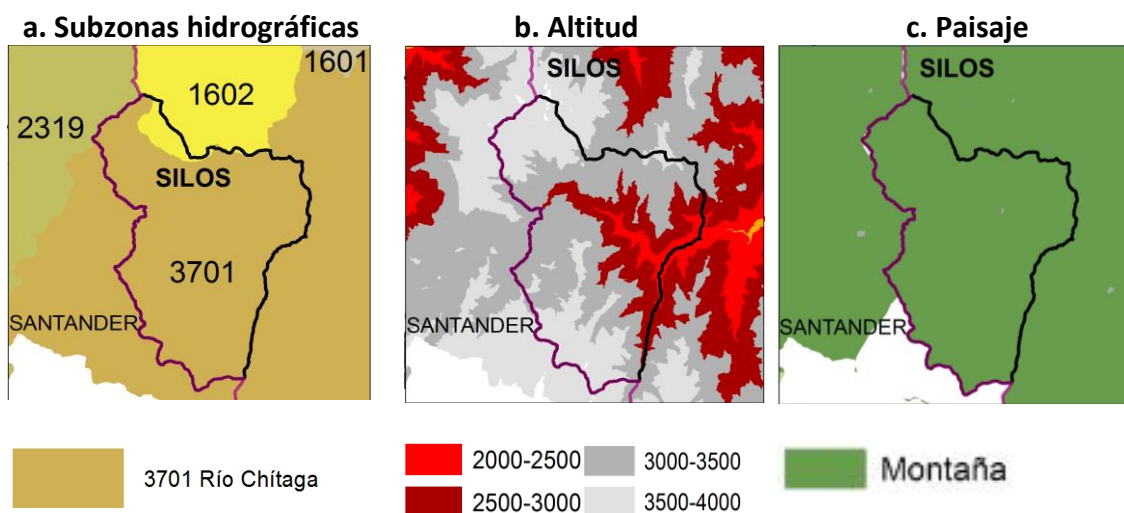
**A escala departamental** es necesario reconocer la expresión de las amenazas derivadas de la variabilidad climática de influencia en el departamento, la cual está dada por variables biofísicas (subzonas hidrográficas) y climáticas (precipitación, temperatura, brillo solar, humedad relativa y evapotranspiración).

**A escala municipal** el riesgo se puede analizar mediante información cartográfica de las variables biofísicas (subzonas hidrográficas, altitud, paisaje) y climáticas (estaciones meteorológicas, distribución de la precipitación media multianual, temperatura promedio, brillo solar, humedad relativa, distribución de la evapotranspiración ( $ET_0$ ), distribución de las anomalías porcentuales de precipitación y temperaturas, susceptibilidad a excesos y a déficit hídrico e inundación). Con esta información se podrán identificar áreas con mayor y menor susceptibilidad a amenazas derivadas de la variabilidad climática.

**Para mayor información el riesgo agroclimático a nivel departamental y municipal consultar el Sistema Experto (SE) - MAPA**

## Amenazas derivadas de la variabilidad climática en el municipio de Silos

Lo primero es identificar o reconocer aquellos aspectos biofísicos que determinan la susceptibilidad del municipio a amenazas climáticas. La altitud y paisaje, entre otras variables, contribuyen al análisis de la susceptibilidad del territorio a eventos de inundación, sequía extrema, temperaturas altas y bajas, que podrían afectar los sistemas de producción agropecuarios (Figura 2).



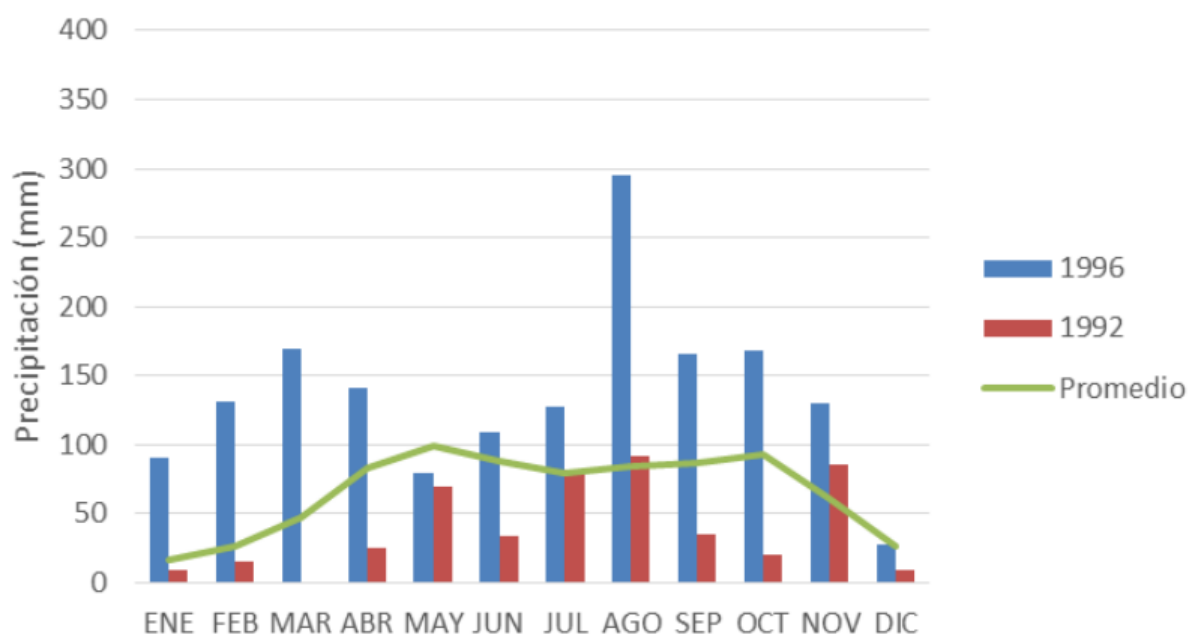
**Figura 2.** Mapas biofísicos del municipio de Silos (Norte de Santander) a. Subzonas hidrográficas b. Altitud. c. Paisaje.

Fuente: Corpoica (2015a).

El municipio de Silos se encuentra influenciado por la subzona hidrográfica del río Chitagá. Está ubicado en un rango altitudinal entre 3.000 y 4.000 m.s.n.m, aunque en la región centro oriental del municipio se presentan altitudes entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m. En este predomina el paisaje de montaña, el cual presenta susceptibilidad a la ocurrencia de heladas causadas por reducción en la precipitación e incremento en la fluctuación de las amplitudes térmicas (Corpoica, 2015a).

Lo segundo es reconocer los patrones climáticos que modulan el clima en la zona, para lo cual se requiere verificar la disponibilidad de datos históricos del clima (1980 - 2011), con el fin de analizar la variabilidad climática, la intensidad y frecuencia de eventos como ENSO y ubicar áreas con mayor o menor fluctuación de variables meteorológicas. Dentro de la información empleada para el análisis climático del municipio de Silos (Norte de Santander), se destaca:

**Precipitación:** En la Figura 3 se muestra la dinámica de la precipitación para el municipio de Silos (Norte de Santander). La línea verde representa la precipitación promedio y las barras rojas y azules son las precipitaciones mensuales durante eventos de variabilidad climática representativos en 32 años de análisis, El Niño de 1992 y La Niña de 1996, respectivamente. La precipitación promedio anual en la zona noroccidental del municipio va desde 300 a 1.100 mm, y en la zona suroriental de tierras más bajas tiene valores promedios entre 1.100 y 1.750 mm.



**Figura 3.** Precipitación promedio en Silos y en años extremos del periodo 1980 -2011.  
Fuente: Corpoica (2015a).



En la Figura 3 se observa que el efecto de reducción de las lluvias durante El Niño de 1992 fue general en todos los meses del año, especialmente en los bimestres marzo - abril y septiembre - octubre, los cuales registran los picos de lluvias del municipio. En contraste, durante el evento La Niña de 1996 se presentan incrementos en las precipitaciones con respecto al promedio multianual; en el trimestre enero - febrero - marzo, considerado como un periodo seco, hubo precipitaciones superiores en comparación con el promedio histórico. Se destaca el aumento en 200 mm durante el mes de agosto en el evento La Niña de 1996.

**Valor del ONI y anomalías climáticas en eventos El Niño o La Niña:** estas variables permiten determinar la intensidad de un fenómeno de variabilidad climática como El Niño o La Niña. Es importante analizar que:

- El valor de la anomalía en porcentaje indica el aumento o disminución de la precipitación.
- El valor del índice oceánico El Niño (ONI)<sup>1</sup> indica qué tan fuerte fue El Niño (valores mayores a 0,5) o La Niña (valores menores a -0,5).

En las Tablas 1 y 2 se presenta el comportamiento de los fenómenos El Niño - Oscilación Sur (ENSO) en los últimos 32 años, constituye información de referencia que permite analizar las posibles reducciones o incrementos de la precipitación en el municipio bajo eventos de variabilidad climática.

En la Tabla 1 se observa que bajo eventos de El Niño, en el municipio de Silos, se han presentado reducciones en la precipitación entre 14% (julio 2009 - abril 2010) y 25% (mayo 1997 - marzo 1998). Los máximos valores ONI registrados fueron 0,9 y 2,5. A pesar de que El Niño se caracteriza por la disminución en la cantidad de lluvias, durante junio de 2004 y febrero de 2005, se registró un aumento del 18% en las precipitaciones promedio del municipio de Silos.

---

<sup>1</sup>Este índice expresa la magnitud de aumento o disminución de la temperatura promedio de la superficie Océano Pacífico ecuatorial. Cuando la variación supera valores de +0,5 °C se habla de un evento El Niño y cuando los valores son menores a -0,5°C es un evento La Niña, durante por lo menos cinco meses consecutivos para ambos casos. El ONI puede monitorearse en la página del Centro de Predicción Climática del Servicio Nacional Meteorológico de Estados Unidos: <http://bit.ly/29LNC2H> y permite conocer el escenario climático que se presentará en la zona.



La duración máxima de un evento El Niño en el municipio fue de 19 meses, entre agosto de 1986 y febrero de 1988. Sin embargo, durante este periodo no hubo reducciones ni aumentos en la precipitación (0%).

**Tabla 1.** Duración, valor del ONI y anomalías de precipitación en el municipio de Silos durante los eventos El Niño en el periodo 1980 - 2011.

Periodo	May 1982 - Jun 1983	Ago 1986 - Feb 1988	May 1991 - Jun 1992	May 1994 - Mar 1995	May 1997 - May 1998	May 2002 - Mar 2003	Jun 2004 - Feb 2005	Ago 2006 - Ene 2007	Jul 2009 - Abr 2010
Duración (meses)	14	19	15	11	13	11	9	6	11
Máximo valor ONI	2,3	1,6	1,8	1,3	2,5	1,5	0,9	1,1	1,8
Anomalía	-14%	-0%	-20%	-11%	-25%	-20%	18%	1%	-14%

Fuente: Corpoica (2015a).

La Tabla 2 muestra que durante eventos La Niña el rango de incrementos de la precipitación en Silos osciló entre 5 y 79%. El último fenómeno de La Niña que se presentó en el país, julio de 2010 y abril de 2011 (ola invernal), se relacionó con un aumento de 79% en las precipitaciones promedio del municipio y el valor del ONI fue de -1,4. Lo anterior contrasta con el evento La Niña que se presentó en el periodo mayo 1988 - mayo 1989, donde el valor ONI fue más negativo (-1,9), incluso, ha sido el enfriamiento del Océano Pacífico más severo durante los últimos 32 años; sin embargo, el aumento de la precipitación en este periodo fue de 21%, muy inferior al de la última ola invernal del país.

**Tabla 2.** Duración, valor del ONI y anomalías de precipitación en el municipio de Silos durante los eventos La Niña en el periodo 1980 - 2011.

Periodo	oct 1984 - sep 1985	may 1988 - may 1989	sep 1995 - mar 1996	jul 1998 - jun 2000	oct 2000 - feb 2001	sep 2007 - may 2008	jul 2010 - abr 2011
Duración	12	13	7	24	5	9	10
Mínimo Valor ONI	-1,1	-1,9	-0,7	-1,6	-0,7	-1,4	-1,4
Anomalía	5%	21%	11%	12%	12%	-9%	79%

Fuente: Corpoica (2015a).

Se debe considerar que en Norte de Santander la temperatura de la superficie del Océano Pacífico no es el único factor que modula el clima, por lo cual, es importante tener en cuenta otros factores como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y las corrientes oceánicas del Lago de Maracaibo.

**Susceptibilidad del municipio a amenazas climáticas:** con la cartografía temática del proyecto MAPA se puede identificar la susceptibilidad a exceso hídrico bajo en eventos La Niña, la susceptibilidad a déficit hídrico bajo eventos El Niño, la susceptibilidad a inundación 2010 - 2011, la susceptibilidad biofísica a inundación, la afectación de la capacidad fotosintética analizada mediante el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) y las áreas que se anegan regularmente cuando se presentan eventos de inundación (expansión de los cuerpos de agua) o de sequía (contracción de los cuerpos de agua).

Para mayor información sobre la susceptibilidad del municipio a amenazas climáticas consulte el SE - MAPA

### **Exposición del sistema productivo de papa a amenazas derivadas de la variabilidad climática en Silos**

Un sistema productivo se encuentra, entre otras, expuesto a limitantes por suelo y por condiciones climáticas y su variabilidad. La exposición del sistema productivo varía en el tiempo y de acuerdo a la ubicación en el municipio. Para el caso del sistema productivo de papa en Silos, la exposición se analizó con base en la aptitud de suelos para el cultivo y la probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico en las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Para evaluar la exposición, se sugiere identificar:

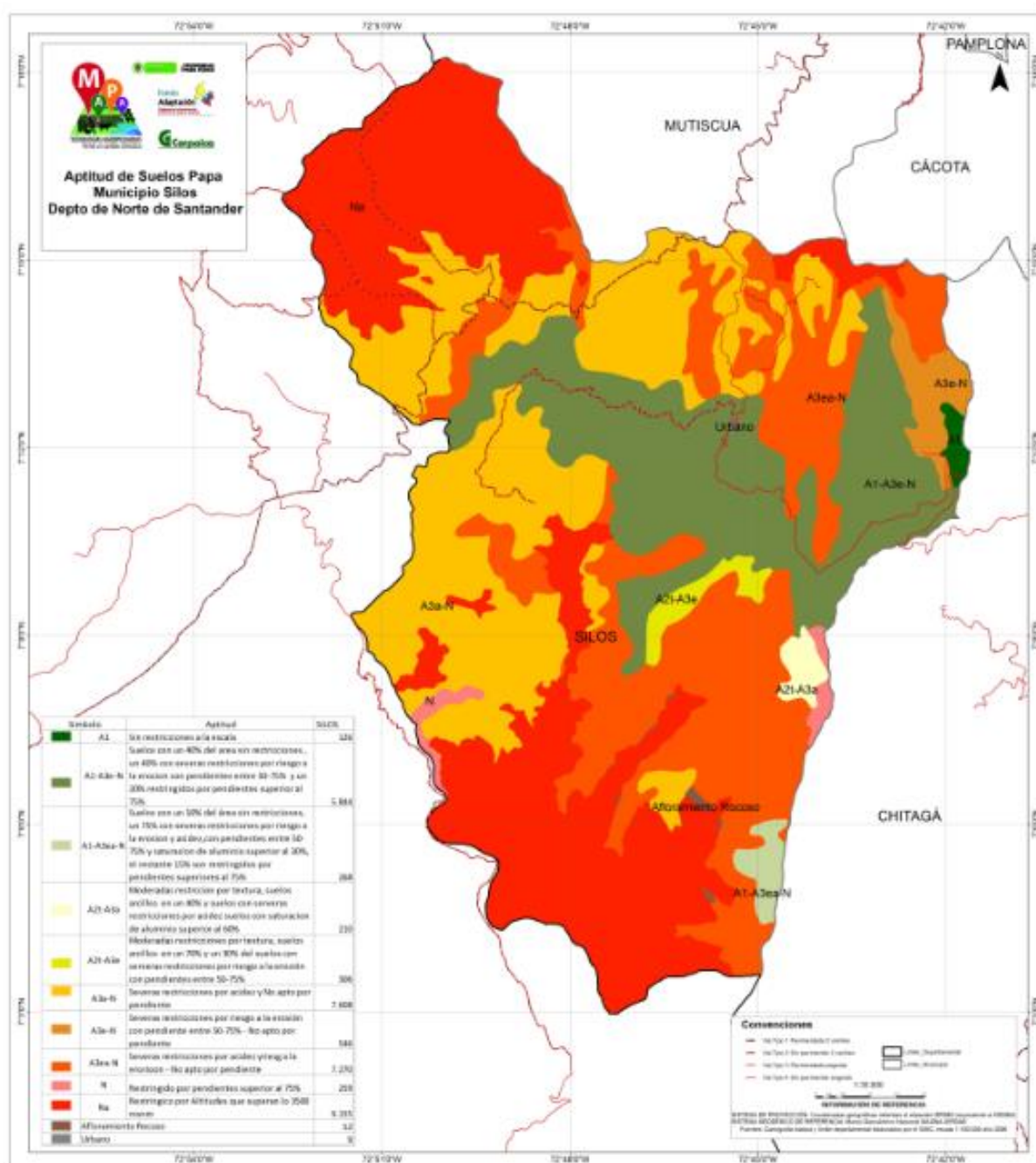
**La aptitud de suelos para el cultivo**, en la cual se presentan las áreas con limitaciones en los suelos para la papa en Silos, por medio de mapas (Figura 4).














Es importante tener en cuenta que esta información indica propiedades físicas o químicas del suelo limitantes para el cultivo a escala 1:100.000; estas pueden manejarse (propiedades químicas del suelo), mientras que otras no pueden modificarse (altitud, pendientes excesivamente inclinadas, texturas, drenaje).

**Para tener en cuenta:** los suelos con mejor aptitud o sin restricciones para el cultivo de papa (A1) en el municipio de Silos se localizan cerca de la cabecera municipal y una pequeña zona al oriente del municipio, en total abarcan casi un 8% del área del municipio. Los suelos A3e-A3ea se encuentran asociados a suelos con restricciones muy marcadas, por pendientes, alto riesgo a erosión, una marcada acidez y alta saturación de aluminio. Los suelos con aptitud moderada (A2t), condicionada especialmente por texturas muy finas que afectan la penetrabilidad de las raíces, corresponden a menos de 2% del municipio.

Un 32% de los suelos presentan condiciones muy restringidas para el uso de papa (A3e), debido a una alta susceptibilidad a erosión por pendientes muy fuertes y suelos superficiales. Algunos presentan alta acidez y alta saturación de aluminio, por lo cual se restringe el uso, especialmente por adaptabilidad. Los suelos no aptos o no recomendados (N) se caracterizan por tener, además de las pendientes más fuertes, suelos muy superficiales y altitud mayor a 3.500 m.s.n.m; estos suelos ocupan casi un 60% del municipio.



Símbolo		Aptitud	Área (ha)
	A1	Sin restricciones a la escala	126
	A1-A3e-N	Suelos con un 40% del área sin restricciones, un 40% con severas restricciones por riesgo a la erosión, con pendientes entre 50-75% y un 20% son restringidos por pendientes superiores a 75%	5.844
	A1-A3ea-N	Suelos con un 10% del área sin restricciones, un 75% con severas restricciones por riesgo a la erosión y a la acidez, con pendientes entre 50-75% y saturación de aluminio superior a 30%, el 15% restante son suelos restringidos por pendientes superiores a 75%	268
	A2t-A3a	Moderada restricción por textura, suelos arcillosos en un 40%, suelos con severas restricciones por acidez, y suelos con saturación de aluminio por encima del 60%	210
	A2t-A3e	Moderada restricción por textura, suelos arcillosos en un 40% y suelos con severas restricciones por riesgo a la erosión con pendientes entre 50-75%	306
	A3a-N	Severas restricciones por acidez y no apto por pendiente	7.608
	A3e-N	Severas restricciones por riesgo a la erosión con pendientes entre 50-75%, no apto por pendientes	546
	A3ea-N	Severas restricciones por acidez y riesgo a la erosión, no apto por pendientes	7.270
	N	Restringidos por pendientes que superan el 75%	259
	Na	Restringidos por altitudes que superan los 3.500 m	9.155
	Afloramiento rocoso		52
	Urbano		9
<b>Total general</b>			<b>31.653</b>

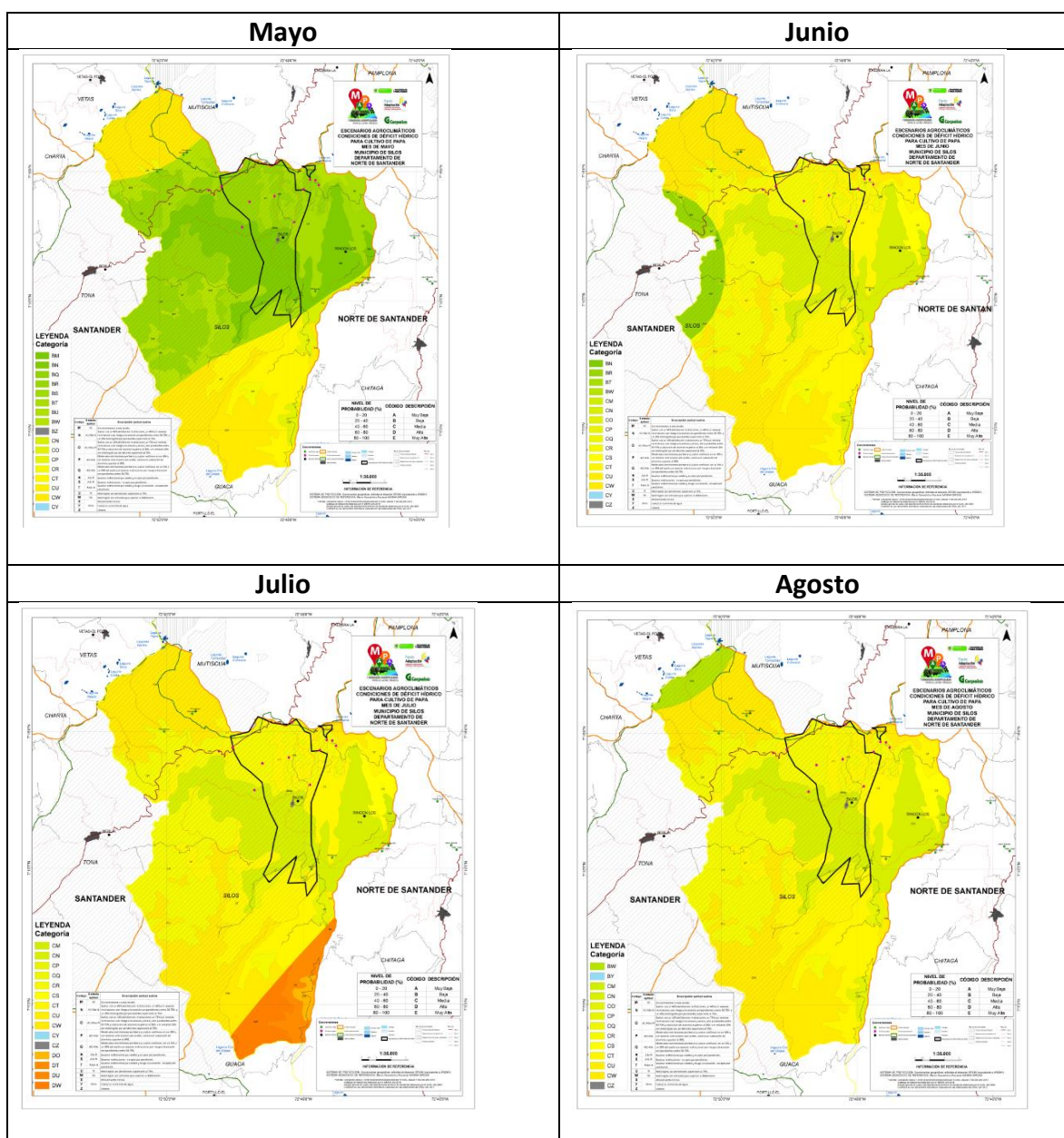
**Figura 4.** Aptitud de uso de suelos para el sistema productivo de papa en el municipio de Silos.

Fuente: Corpoica (2015b).

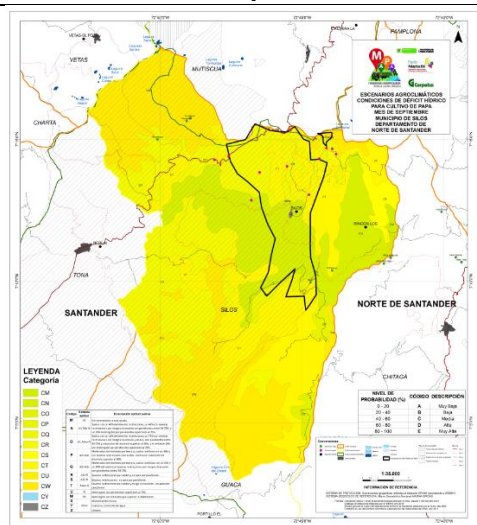


**Mapas de escenarios agroclimáticos (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.):** e acuerdo con el cálculo del índice de severidad de sequía de Palmer (Palmer, 1965), bajo una condición de déficit hídrico en el suelo durante mayo y diciembre, en el municipio de Silos se presentaron probabilidades bajas (tono verde, 20 - 40%), medias (tono amarillo 40 - 60%,) y altas (tono naranja, 60 - 80%) de ocurrencia de condiciones de humedad en el suelo restrictivas por déficit hídrico, con base en el calendario fenológico local y las ventanas de análisis (Tabla 3 y Tabla 4). Esto indica que, en la mayoría de meses analizados, la probabilidad de déficit en el suelo fue menor al 60% para el cultivo de papa.

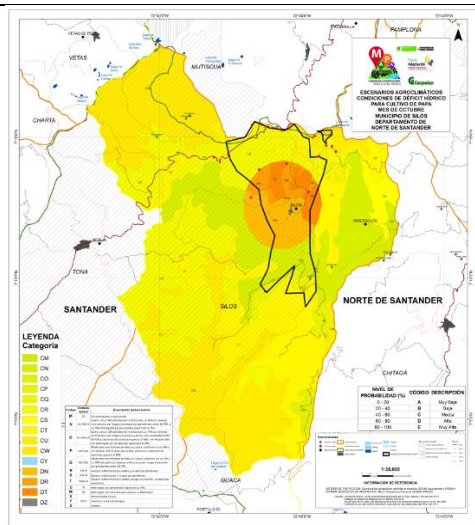




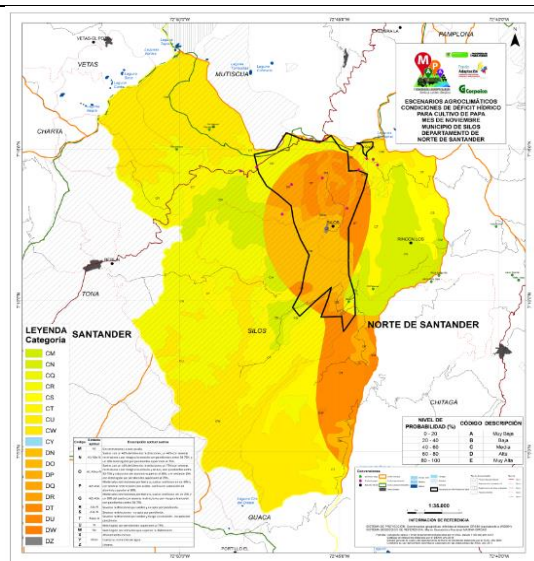
## Septiembre



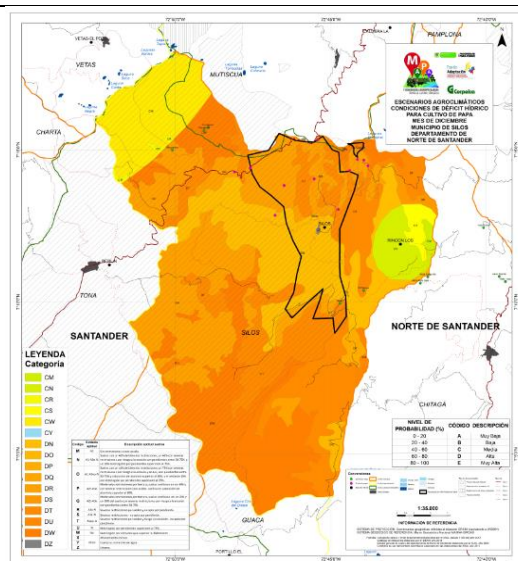
## Octubre



## Noviembre



## Diciembre





Código	Símbolo aptitud	Descripción aptitud suelos
<b>M</b>	A1	Sin restricciones a esta escala.
<b>N</b>	A1-A3e-N	Suelos con un 40% del área sin restricciones, un 40% con severas restricciones por riesgo a la erosión con pendientes entre 50-75% y un 20% restringidos por pendientes superiores al 75%.
<b>O</b>	A1-A3ea-N	Suelos con un 10% del área sin restricciones; un 75% con severas restricciones por riesgo a la erosión y acidez, con pendientes entre 50-75% y saturación de aluminio superior al 30%; y el restante 15% con restringido por pendientes superiores al 75%.
<b>P</b>	A2t-A3a	Moderadas restricciones por textura, suelos arcillosos en un 40% y con severas restricciones por acidez, suelos con saturación de aluminio superior al 60%.
<b>Q</b>	A2t-A3e	Moderadas restricciones por textura, suelos arcillosos en un 70% y un 30% del suelo con severas restricciones por riesgo a la erosión con pendientes entre 50-75%.
<b>R</b>	A3a-N	Severas restricciones por acidez y no apto por pendiente.
<b>S</b>	A3e-N	Severas restricciones - no apto por pendiente.
<b>T</b>	A3ea-N	Severas restricciones por acidez y riesgo a la erosión - no apto por pendiente.
<b>U</b>	N	Restringido por pendientes superiores al 75%.
<b>W</b>	Na	Restringido por altitudes que superan lo 3500 msnm.
<b>X</b>		Afloramiento rocoso.
<b>Y</b>	Otros	Cuerpo o corrientes de agua.
<b>Z</b>		Urbano.

LEYENDA	
Categoría	
BM	DN
BN	DO
BQ	DP
BR	DQ
BS	DR
BT	DS
BU	DT
BW	DU
BZ	DW
CN	DZ
CO	
CP	
CR	
CT	
CU	
CW	
CY	

NIVEL DE PROBABILIDAD (%)	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
0 - 20	A	Muy Baja
20 - 40	B	Baja
40 - 60	C	Media
60 - 80	D	Alta
80 - 100	E	Muy Alta

**Figura 5.** Escenarios agroclimáticos mensuales para el sistema productivo de papa en el municipio de Silos, bajo condiciones de humedad restrictivas por déficit hídrico entre mayo y diciembre.  
Fuente: Corpoica (2015b).

En los meses de mayo y junio se presentaron probabilidades bajas de déficit hídrico. Sin embargo, en la mayor parte del municipio en los demás meses analizados se presentaron probabilidades superiores al 40%. En contraste, el mes de diciembre presentó probabilidades muy altas (superiores al 60%), lo que indica que el cultivo estuvo altamente expuesto y que el riesgo de déficit hídrico en el suelo fue mayor.

**Para tener en cuenta:** en los meses de octubre, noviembre y diciembre se presentan probabilidades medias y altas de deficiencias de humedad en el suelo, coincidiendo con el último mes de maduración y con el periodo de cosecha en el ciclo de cultivo de la primera siembra (Tabla 3).

Para la segunda siembra se ven afectadas las etapas de maduración durante 90 días y la cosecha, siendo mayor la posible afectación para el llenado de los tubérculos. En los demás meses, se presentan condiciones de humedad menos restrictivas para el sistema productivo.

**Tabla 3.** Calendario fenológico para el sistema productivo de papa en el municipio de Silos.

Descripción o Etapa fenológica	Mar				Abr				May				Jun				Jul				Ago				Sep				Oct				Nov				Dic			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1ra Siembra																																								
Emergencia																																								
Formación de brotes laterales																																								
Botón floral																																								
Floración																																								
Maduración																																								
Cosecha																																								
2da Siembra																																								
Emergencia																																								
Formación de brotes laterales																																								
Botón floral																																								
Floración																																								
Maduración																																								
Cosecha																																								

Con base en el calendario fenológico, se definen dos ventanas de análisis, para los periodos críticos correspondientes a floración y producción: 1) mayo-octubre y 2) julio – diciembre (Tabla 4).

**Tabla 4.** Ventanas temporales de análisis para el sistema de cultivo de papa en el municipio de silos.

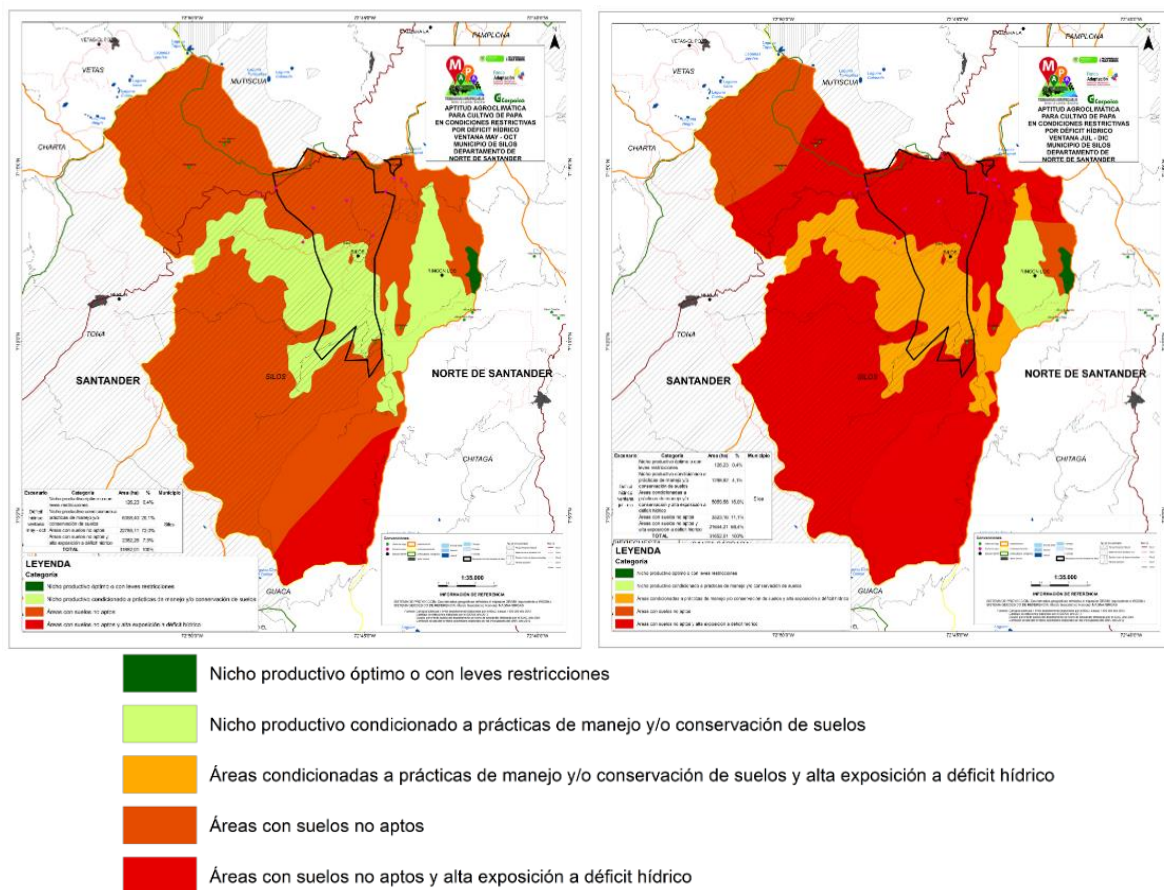
Descripción o Etapa fenológica	Duración (días)	May				Jun				Jul				Ago				Sep				Oct			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1ra Siembra	15																								
Botón floral	15																								
Floración	60																								
Maduración	180																								
Cosecha	30																								
Descripción o Etapa fenológica	Duración (días)	Jul				Ago				Sep				Oct				Nov				Dic			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2da Siembra	15																								
Botón floral	15																								
Floración	60																								
Maduración	180																								
Cosecha	30																								

A partir de los registros climáticos de los últimos 32 años (1980 - 2011) se realizó el cálculo del balance hídrico con el índice de Severidad de Sequía de Palmer, para obtener, mes a mes, la probabilidad de ocurrencia del déficit hídrico. Con base en estos resultados, se realizaron los mapas de escenarios agroclimáticos que indican las áreas con menor y mayor probabilidad a deficiencias de agua en el suelo para el sistema productivo en una ventana de análisis. Cada mapa corresponde a un mes, en el cual se presenta una o varias etapas fenológicas de acuerdo con los calendarios fenológicos locales.

El estrés hídrico causado por deficiencias de agua en el sistema productivo podría generar pérdidas importantes en la producción, ya que la disminución de las lluvias y el aumento de las temperaturas pueden inducir a la disminución del contenido de agua en la planta y en consecuencia, disminución de la biomasa. Un fuerte estrés genera la pérdida de turgencia, marchitamiento, cierre de estomas y disminución de la fotosíntesis. Asimismo, se puede presentar la muerte de las plantas y tubérculos de tamaño pequeño (Ortiz, 2015).

## Zonas del municipio con mayor o menor riesgo de pérdida productiva para el sistema productivo de papa

Para dar esta respuesta, se sugiere revisar el mapa de aptitud agroclimática del municipio de Silos para el sistema productivo de papa (Figura 6). Este mapa resume la exposición mensual a deficiencias hídricas extremas para el sistema productivo y la aptitud de los suelos.



**Figura 6.** Aptitud agroclimática del municipio de Silos para el sistema productivo de papa bajo condiciones de humedad en el suelo restrictivas por déficit hídrico.

Fuente: Corpoica (2015b).

Las aptitudes agroclimáticas identificadas para el municipio de Silos, de forma diferenciada para las dos ventanas de análisis expuestas en la Tabla 4, fueron:

***Ventana de análisis I (mayo - octubre)***

- **Nichos productivos óptimo o con leves restricciones** (tono verde oscuro) con una ocupación del 0,4% (126 ha) del área total del municipio (31.652 ha). En estas áreas los suelos presentan aptitud óptima y condiciones de humedad en el suelo sin restricciones para el cultivo de papa.
- **Nichos productivos condicionados a prácticas de manejo y/o conservación de suelos** (tono verde claro) con una ocupación del 20% (6.358 ha) del área total del municipio. Las condiciones de humedad en el suelo fueron favorables, sin embargo, estas áreas presentan suelos con una aptitud óptima; moderada por texturas finas, alta acidez y aluminio superior al 30%; y marginal por riesgo a la erosión y pendientes entre 50 – 75%.
- **Área con suelos no aptos** (tono naranja oscuro) con una ocupación del 72,0% (22.785 ha) del área total del municipio. En estas áreas los suelos presentan una aptitud marginal por alta acidez, alta saturación de aluminio, riesgo a la erosión; y suelos no aptos por presentar pendientes más fuertes y suelos muy superficiales, alturas mayores a 3500 msnm y afloramientos rocosos. También se incluyeron los cuerpos y corrientes de agua y la zona urbana.
- **Área con suelos no aptos y alta exposición a déficit hídrico** (tono rojo claro) con una cobertura de 7,5% (2.382 ha) del área total del municipio.

***Ventana de análisis II (julio - diciembre)***

- **Nichos productivos óptimo o con leves restricciones** (tono verde oscuro) con una ocupación del 0,4% (126 ha) del área total del municipio. En estas áreas los suelos presentan aptitud óptima y condiciones de humedad en el suelo sin restricciones para el cultivo de papa.



- **Nichos productivos condicionados a prácticas de manejo y/o conservación de suelos** (tono verde claro) con una ocupación del 4,1% (1.299 ha) del área total del municipio. Las condiciones de humedad en el suelo fueron favorables, sin embargo, estas áreas presentan suelos con una aptitud óptima; moderada por texturas finas, alta acidez y aluminio superior al 30%; y marginal por riesgo a la erosión y pendientes entre 50 – 75%.
- **Área con suelos no aptos** (tono naranja oscuro) con una ocupación del 11,1% (3.523 ha) del área total del municipio. En estas áreas los suelos presentan una aptitud marginal por alta acidez, alta saturación de aluminio, riesgo a la erosión; y suelos no aptos por presentar pendientes más fuertes y suelos muy superficiales, alturas mayores a 3500 msnm y afloramientos rocosos. También se incluyeron los cuerpos y corrientes de agua y la zona urbana.
- **Áreas con suelos condicionados a prácticas de manejo y/o conservación de suelos y alta exposición a déficit hídrico** (tono naranja claro) con una ocupación de 16,0% (5.059 ha) del área total del municipio. Las condiciones de humedad en el suelo fueron limitantes, sin embargo, estas áreas presentan suelos con una aptitud óptima; moderada por texturas finas, alta acidez y aluminio superior al 30%; y marginal por riesgo a la erosión y pendientes entre 50 – 75%
- **Áreas con suelos no aptos y alta exposición a déficit hídrico** (tono rojo) con una ocupación del 68,4% (21.644 ha). En estas áreas los suelos presentan una aptitud marginal (por alta acidez, alta saturación de aluminio, riesgo a la erosión) y suelos no aptos (por presentar pendientes más fuertes y suelos muy superficiales, alturas mayores a 3500 msnm y afloramientos rocosos). También se incluyeron los cuerpos y corrientes de agua y la zona urbana.

En general, se puede concluir que los productores de papa del municipio de Silos se encuentran en los “nichos productivos condicionados a práctica de manejo y/o conservación de suelos” y en el “área con suelos no aptos” o no recomendados (Figura 6).

En ambas zonas se presentan condiciones de humedad similares, con riesgo agroclimático medio por déficit hídrico; por lo cual, la aptitud agroclimática para el cultivo de papa en Silos está determinada o modulada, en mayor medida, por la ubicación geográfica del sistema productivo y la aptitud del suelo (Figura 4).

Para mayor información sobre aptitud agroclimática para el sistema productivo de papa en el municipio de Silos, Norte de Santander, consulte el SE - MAPA

### Gestión de la información agroclimática y agrometeorológica para reconocer el riesgo agroclimático en la finca

**Información agroclimática:** la información climática puede emplearse para la toma de decisiones en la planificación agropecuaria, para la identificación de riesgos asociados, para relacionar diferentes sistemas productivos a la climatología de cualquier área y mejorar la planificación del uso y manejo del recurso suelo.

**Información agrometeorológica:** por otro lado, la información puede emplearse para mejorar la toma de decisiones en el manejo de sistemas productivos. La guía de prácticas agrometeorológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011), indica que la información que debe ser proporcionada a los productores agropecuarios para mejorar la toma de decisiones, es la siguiente:

- Datos referidos al estado de la atmósfera (clima): empleando una estación meteorológica que registre precipitación, temperatura, radiación y humedad relativa.
- Datos referidos al estado del suelo: seguimiento de la humedad del suelo, por medios organolépticos, sensores o determinaciones físicas.
- Fenología y rendimiento de los cultivos: seguimiento del desarrollo y crecimiento del cultivo.
- Prácticas agrícolas empleadas: labores culturales, control de plagas, enfermedades y malezas, seguimiento, etc.
- Desastres climáticos y sus impactos en la agricultura: eventos extremos que afectan al cultivo tales como excesos y déficit de agua, heladas, deslizamientos.



- Distribución temporal y de cultivos: periodos de crecimiento, épocas de siembra, cosecha.
- Observaciones, técnicas y procedimientos utilizados en el desarrollo del sistema productivo.

El registro de datos meteorológicos en finca busca conformar una base de datos agrometeorológica (temperatura máxima, mínima, media, precipitación, humedad relativa y radiación) a escala diaria. Estas variables pueden ser analizadas durante el ciclo del sistema productivo (principalmente, en etapas fenológicas críticas) y relacionarse con sus exigencias climáticas, sus necesidades hídricas y sus rendimientos<sup>2</sup>.

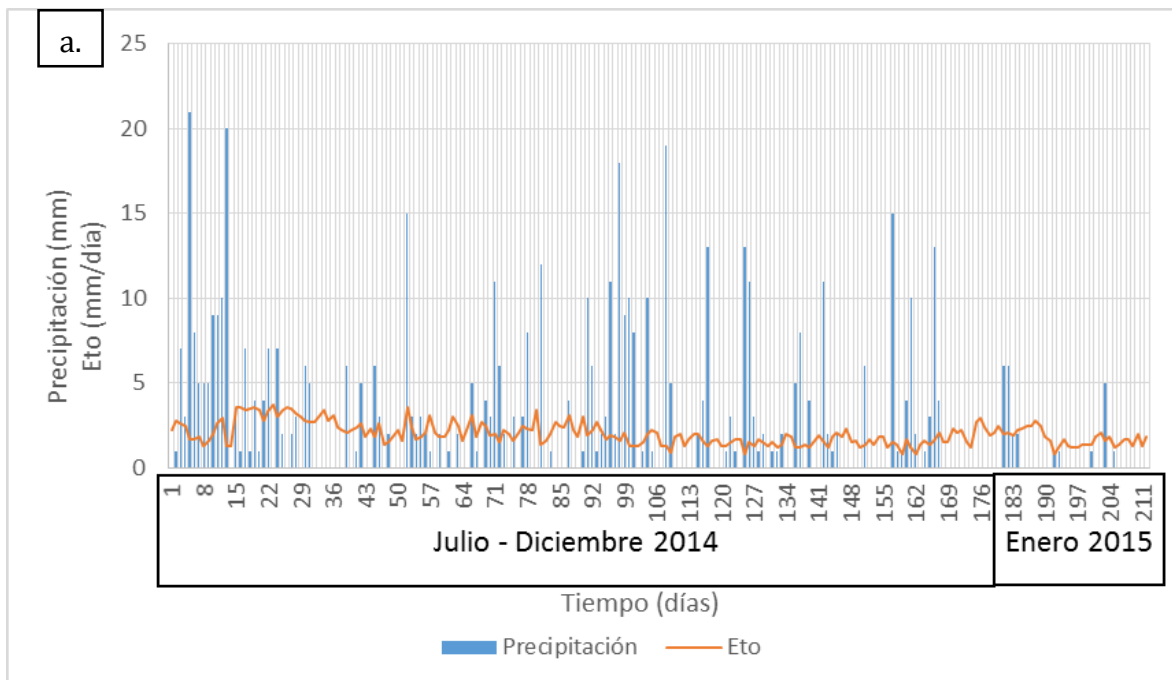
---

<sup>2</sup>En la cartilla *Guía para el uso de la información agroclimática en el manejo de cultivos y frutales* (<http://bit.ly/29P68Zg>) podrá encontrar algunas indicaciones e ideas para llevar a cabo el análisis en su sistema productivo.



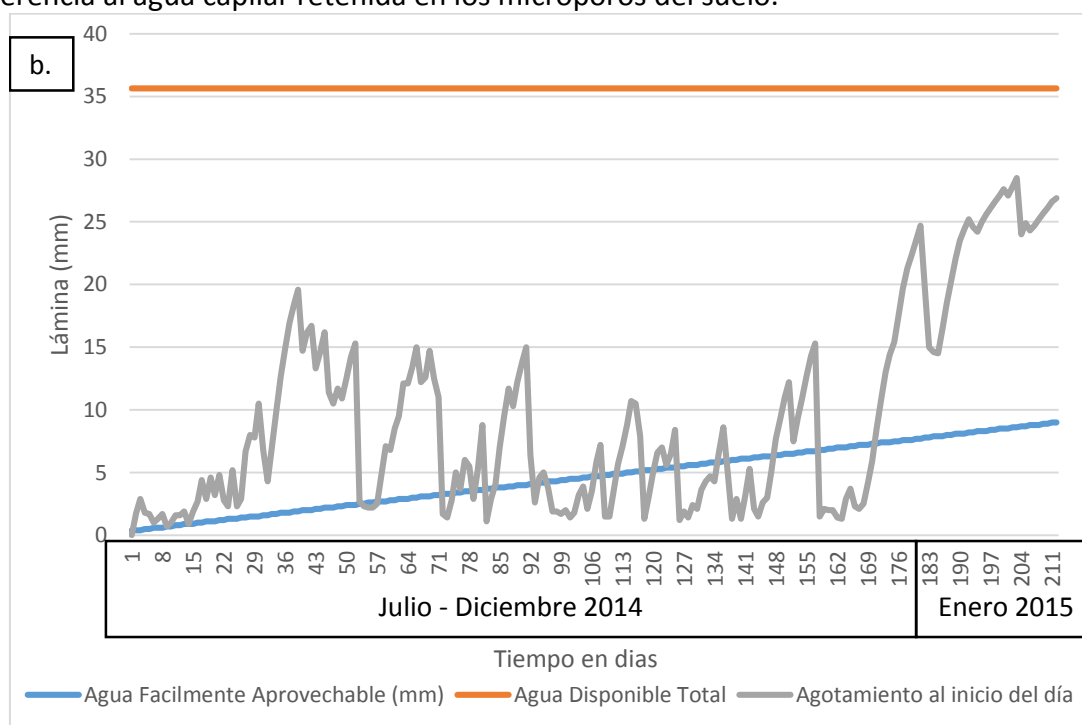
## SECCIÓN 2: prácticas para reducir la vulnerabilidad del sistema productivo de papa ante condiciones de déficit hídrico del suelo en el municipio de Silos, Norte de Santander

En esta sección se presentan recomendaciones sobre opciones tecnológicas integradas y validadas, con potencial para reducir los efectos que tiene el déficit hídrico en el suelo en el sistema productivo de papa, en el municipio de Silos. Estas fueron implementadas entre los meses de julio de 2014 y enero de 2015 en la parcela de integración en el municipio de Silos. El balance hídrico, atmosférico y agrícola, permite analizar la disponibilidad de agua en el suelo para el cultivo de papa, por lo cual, fue utilizado para examinar las variables climáticas registradas en el periodo de análisis de la parcela de integración. La Figura 7a muestra que en los meses de diciembre y enero la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) fue superior a la precipitación, lo que puede indicar la ocurrencia de déficit hídrico.



Por su parte, la Figura 7b presenta el comportamiento de las láminas de agua disponibles, agua fácilmente aprovechable y el agotamiento al inicio del día, en el suelo de la parcela de integración durante el periodo de evaluación.

Si bien, el contenido de agua en el suelo o agua disponible corresponde a la fracción de agua que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, la planta solo puede hacer uso efectivo del agua fácilmente aprovechable, la cual hace referencia al agua capilar retenida en los microporos del suelo.



**Figura 7.** a.) Balance hídrico atmosférico y b.) Balance hídrico agrícola en la parcela de integración del sistema productivo de papa en el municipio de Silos, Norte de Santander, entre los meses de julio de 2014 y agosto de 2015.

En ese sentido, cuando el agotamiento de agua supera el agua fácilmente aprovechable, se presentan condiciones de déficit hídrico del suelo. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que desde finales de diciembre de 2014 hasta el 31 de enero de 2015 (final del periodo de evaluación) se presentó déficit hídrico en el suelo, en la parcela de integración en Silos, coincidiendo con las últimas etapas fenológicas del sistema productivo de papa, que corresponden a la maduración y cosecha de los tubérculos.

Dado que la condición de déficit hídrico es recurrente en esta zona y es un factor restrictivo para el sistema productivo de papa, a continuación, se presentan las recomendaciones para implementar dos opciones tecnológicas integradas, con el fin de disminuir la vulnerabilidad y generar capacidad adaptativa en el sistema productivo de papa en Silos (Norte de Santander) a condiciones de déficit hídrico:

#### a. Optimización del uso del recurso hídrico

Para implementar la opción tecnológica optimización del uso del agua, se estableció un sistema de riego por goteo (**Figura 8**). Esta tecnología de manejo del recurso hídrico consiste en la aplicación de agua directamente a la zona radicular de la planta mediante cintas de goteo, con emisores de caudales bajos y bajas presiones de operación. En estos sistemas de riego, se aplica el agua solamente en zonas específicas en el campo, donde se cultivan las plantas.

Para la implementación se debe tener en cuenta ciertos criterios técnicos:



**Figura 8.** Riego por goteo.

- Conocer las características físicas del suelo.
- Conocer las necesidades hídricas del cultivo.
- Diseño del sistema (tubería principal y ubicación de laterales), su número total, y el caudal requerido para un suelo y el sistema productivo específico.
- Se obtiene una importante reducción de la evaporación del suelo, lo que trae una reducción significativa de las necesidades de agua al hacer uso eficiente, todo gracias a la localización de las pequeñas salidas de agua, donde las plantas más la necesitan.

- Se adapta más fácil en terrenos rocosos o con fuertes pendientes y disminuye el riesgo de erosionarlo.
- Los costos de operación se reducen a diferencia de los sistemas de riego convencional.
- Mayor eficiencia en el uso del agua.
- Su diseño y adecuación requiere la asistencia técnica de un profesional.

#### **b. Incorporación de materia orgánica**

Consiste en la fertilización del sistema productivo de papa incorporando materias orgánicas como la gallinaza compostada y el lombricompost. En la parcela de integración esta práctica se realizó en dos etapas: la primera, a la siembra aplicando el 100% del abono orgánico acorde con los tratamientos; la segunda fue realizada al momento del aporque del cultivo, 45 días después de la siembra, y se aplicó a cada planta 20 g de fertilizante grado 10-20-20 (Figura 9 y Tabla 5).



**Figura 9.** Arreglo de siembra y disposición de los tratamientos con aplicación de materia orgánica sobre los surcos.

**Tabla 5.** Diferentes tipos de fertilización utilizados en la parcela de integración.

Tratamiento	Primera fertilización al momento de la siembra			Segunda fertilización al momento de la deshierba
	Dosis de materia orgánica (g/sitio)	Complemento		Fertilizante químico (g/sitio)
		Micorrizas (g/sitio)	Fertilizante químico (g/sitio)	
Gallinaza cruda	1000	0	20	0
Gallinaza compostada	800	100	20	20
Lombricompuesto	800	100	20	20

En la gallinaza compostada es necesario realizar un proceso de deshidratación donde se presenta fermentación aeróbica, se estabiliza y aumenta la concentración de nutrientes como el potasio, nitrógeno, fósforo y carbono. Para enriquecer la mezcla y mejorar el efecto se le puede agregar a la pila de compostaje otros residuos orgánicos como cáscaras, cascarilla de cereales, virutas de madera y paja.

El lombricompost posee también una alta población microbiana benéfica, por lo que el material final debe mantenerse necesariamente entre 50 y 60% de humedad; además, tiene fitohormonas que estimulan el crecimiento vegetal.

Las enmiendas orgánicas se incorporan en la preparación del terreno, con implementos como el arado de rastras, discos o rotovator.

En cuanto al uso de micorrizas, los beneficios que aportan al suelo y a la planta son múltiples, entre ellos se pueden nombrar: desdoblamiento de las sustancias insolubles para la absorción de fósforo, zinc, magnesio, calcio, azufre, boro; proporcionan hormonas que promueven el crecimiento de las plantas; aumenta el rango de acción radicular para la absorción de agua y nutrientes, lo cual aumenta la tolerancia de las plantas a eventos de déficit hídrico en el suelo (Corpoica, 1998).



Por lo tanto, el uso de micorrizas en los sistemas productivos agrícolas constituye una alternativa para disminuir el uso de fertilizantes y tornar más eficiente la utilización de los mismos.

**Para mayor información sobre la tecnología de riego por goteo consulte el SE - MAPA**

### **Ventajas comparativas de las opciones tecnologías integradas**

A continuación, se describen las ventajas comparativas que presentaron las opciones tecnológicas (OT) implementadas en el sistema productivo de papa, bajo una condición restrictiva de humedad en el suelo por déficit hídrico. Estas OT son prácticas sencillas que junto a un manejo agronómico integrado del cultivo resultan ser una herramienta útil para enfrentar los efectos negativos del déficit hídrico, reducir las pérdidas, disminuir la vulnerabilidad y generar capacidad adaptativa del sistema productivo en el corto, mediano o largo plazo.

Con base en la información obtenida en la parcela de integración, se encontró que un sistema de riego por goteo puede suplir las necesidades hídricas del sistema productivo cuando se presenta déficit hídrico, como ocurrió en el mes de enero y, según las ventanas de análisis de los mapas de escenarios agroclimáticos, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre (Corpoica, 2015c). En general, el sistema de riego por goteo es una herramienta que puede satisfacer las necesidades hídricas del cultivo de papa en los meses que presenten volúmenes de precipitación por debajo de lo normal.





**Figura 10.** Tubérculos de primera calidad.

Con la incorporación de materia orgánica se obtuvo un incremento en el rendimiento (hasta en  $5.382 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), en comparación con el sistema tradicional (gallinaza cruda).

Esta práctica puede disminuir las pérdidas de tubérculos por efecto del ataque de plagas y enfermedades, mejora la retención de humedad del suelo, el crecimiento y desarrollo de la planta. Adicionalmente, aporta y aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo como la estructura, la porosidad, contenido de materia orgánica, aumenta la CIC y proporciona energía para los microorganismos, lo cual incrementa la actividad biológica de los suelos (Julca et al., 2006).

En la parcela de integración se evidenció el aumento en la cantidad de tubérculos de primera calidad ( $3.600 \text{ kg/ha}$ ), y el rendimiento del cultivo estuvo entre  $2.000$  y  $5.000 \text{ kg/ha}$ , según el tipo de fertilizantes utilizados (tabla 6).

**Tabla 6.** Rendimiento y categorías de la papa obtenidos con la incorporación de materia orgánica.

Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	Gallinaza cruda	Gallinaza compostada	Lombricompost
<b>Primera categoría</b>	15.833	16.388	19.444
<b>Segunda categoría</b>	5.465	5.931	6.757
<b>Tercera categoría</b>	3.257	3.078	3.736
<b>Total</b>	24.555	26.027	29.937

Fuente: Corpoica, 2015c.

### **Prácticas complementarias para reducir la vulnerabilidad del sistema productivo de papa en Silos (Norte de Santander) a déficit hídrico en el suelo**

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad del sistema productivo de papa en Silos (Norte de Santander) se pueden desarrollar prácticas culturales y tecnología que aumentan la capacidad adaptativa del sistema. Algunas de estas, con aplicación potencial en condiciones de déficit hídrico en el suelo, se encuentran en el sistema experto (SE).

A continuación, se presentan algunas prácticas con aplicación potencial en condiciones de déficit hídrico en el suelo, y que complementan las opciones tecnológicas descritas anteriormente:

#### **Preparación de abonos orgánicos en la finca**

El abono puede ser obtenido en la finca mediante el compostaje de estiércol vacuno, equino, gallinaza y residuos de cosecha como el tamo de trigo, de arveja o malezas. Se deben seguir procesos rigurosos durante la elaboración del abono, de manera que el producto no se convierta en fuente de contaminación para el suelo y las plantas.

Pasos para elaborar un buen compostaje:

- Preparar los elementos necesarios: residuos de cosecha, malezas, estiércoles, agua y melaza.
- Preparar la cama de compostaje, nivelar el piso, en un área de 2 m de largo x 1 m de ancho.
- Disolver 1 kg de melaza en agua tibia en un recipiente plástico con capacidad de 20 l.



- Colocar una primera capa de residuos vegetales bien picados, hasta una altura de 20 cm y humedecer hasta punto de saturación; seguidamente agregar unos 2 l de la solución de agua, melaza.
- Colocar verticalmente, una vara de 8 a 10 cm de diámetro y 2 m de largo en el centro de la cama.
- Agregar una capa de 10 a 15 cm de estiércol, humedecer suficientemente, sobre esta agregar una delgada capa de cal agrícola o dolomítica y adicionar 2 l de agua y melaza.
- Colocar capas de residuos vegetales, alternadas con capas de estiércoles. Humedecer cada capa a punto de saturación y agregar la solución de agua y melaza.
- La altura de la pila que se va formando, debe alcanzar mínimo 1,5 m.
- Tres días después se retira la vara colocada en el centro de la pila, para favorecer la aireación.
- Con termómetro de varilla registrar la temperatura de la pila, cuando alcance 60 °C, generalmente, esto sucede a los 8 días, después de montar la pila de compostaje, realizar el primer volteo, mezclar completamente los elementos de la pila. Continuar los volteos cada 3 días hasta que enfríe. Después de 45 días aproximadamente, se observará un material con apariencia de tierra negra y desaparecen las características de los materiales utilizados como materia prima.

### Análisis de suelos

- El análisis de suelos es utilizado principalmente para conocer las propiedades físicas y químicas del suelo, y así determinar la disponibilidad de nutrientes en el mismo, además, establecer la estrategia de acondicionamiento del suelo para satisfacer las demandas nutricionales del cultivo.
- La metodología propuesta por Corpoica (2005) para la toma de muestra de suelo, comprende:
  - 1) Toma de submuestras en puntos trazados en zig-zag, que permita cubrir el área total del lote para que el muestreo sea representativo.
  - 2) Para la toma de cada submuestra se debe limpiar un área aproximada de 0,04 m<sup>2</sup> (20 cm x 20 cm) a una profundidad de 3 cm de la superficie, con el fin de eliminar los tejidos vegetales, residuos frescos de materia orgánica y otro tipo de residuos.

- 3) Realizar un hueco en forma “V” del ancho de una pala a una profundidad de 20 a 30 cm.
  - 4) Extraer una muestra de 2 a 3 cm de grosor de la pared del orificio con una pala limpia, descartar el suelo que queda en los bordes de la pala y depositar la muestra en un balde plástico limpio.
  - 5) Una vez tomadas todas las submuestras, se mezclan y, por último, se selecciona 1 kg aproximadamente, el cual se debe empacar en una bolsa plástica bien identificada: nombre del propietario, nombre de la finca, ubicación geográfica, tipo de cultivo y número del lote.
- Esta muestra debe ser enviada a un laboratorio certificado para realizar un correcto análisis. Algunos laboratorios, incluso, realizan las recomendaciones de acondicionamiento para el sistema productivo específico.
  - Las muestras para análisis físico se deben tomar preferiblemente con un barreno, los cilindros se envuelven en gasa y se guardan debidamente etiquetados para enviarlos al laboratorio, con estas muestras se conocerán propiedades como la densidad aparente y real, la conductividad hidráulica y la curva de retención de humedad, datos necesarios para el diseño del sistema de riego.

#### **Plan de fertilización integrada**

- La ejecución del plan de fertilización en campo permite mantener un balance nutricional entre la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la demanda nutricional del cultivo.
- Los cálculos de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, inferidos a través de los análisis de suelo, se basan en los siguientes parámetros:
  - a) Disponibilidad y movilidad de nutrientes en el suelo.
  - b) Requerimiento nutricional de la planta.
  - c) Tasas de mineralización.
  - d) Profundidad efectiva de raíces.
  - e) Eficiencia del fertilizante.

- Durante épocas de déficit hídrico se debe disminuir la aplicación de fuentes amoniacales de nitrógeno. Asimismo, se debe revisar el contenido de los macronutrientes (N, P, K), ya que la baja disponibilidad de agua limita su movimiento hacia y a través de la planta.
- Se deben seguir recomendaciones del técnico o agrónomo, para la definición del tipo de fertilizantes a emplear, cantidades y frecuencias para garantizar que las plantas puedan disponer de los nutrientes necesarios para el óptimo crecimiento, desarrollo y rendimiento.
- Dadas las condiciones de déficit hídrico en el suelo, la fertilización foliar es muy útil, debido a que cuando baja la transpiración de la planta se reduce la absorción de nutrientes. Para realizarla, es fundamental tener precaución y hacer una revisión detallada de las fuentes y la concentración a la cual se aplican los fertilizantes.

**Frente a amenazas potenciales de exceso hídrico en suelo, es importante desarrollar el análisis del riesgo agroclimático con base en la guía metodológica del presente plan, apoyándose en la información disponible en el Sistema Experto MAPA. De tal forma que se pueda llegar a la gestión de opciones tecnológicas adaptativas frente a dichas condiciones climáticas. A continuación, se presenta una práctica que puede ser implementada como estrategia para enfrentar las afectaciones del exceso hídrico, relacionada con el manejo de la gota (*Phytophthora infestans* (Mont.)), enfermedad limitante para el cultivo de papa que aumenta su incidencia cuando se incrementan las precipitaciones.**

## Prácticas que se pueden implementar dentro del sistema productivo de papa en Silos, Norte de Santander, para reducir la vulnerabilidad del sistema a exceso hídrico en el suelo

A continuación, se relaciona una práctica agronómica con potencial de aplicación en el sistema productivo papa cuando se presenta exceso de humedad en el suelo:

### Manejo Integrado de Enfermedades

El Manejo Integrado de Enfermedades (MIE) permite a los productores de papa, implementar prácticas para mantener las poblaciones fitopatógenas por debajo de umbrales de daño económico; enfocando las acciones hacia la conservación del medio ambiente; planificando la producción anual; y valorando la disponibilidad y limitación de recursos humanos, técnicos y naturales.

#### Gota: *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.

La principal enfermedad que se presenta en el cultivo de papa en época húmeda es la gota causada por el hongo *Phytophthora infestans*. Las condiciones favorables para el desarrollo de la gota son temperaturas entre 12 a 18 °C, alta humedad (>75%), niebla, lluvias matinales y sol intenso por la tarde, así como la siembra escalonada de papa durante todo el año y uso de variedades susceptibles al patógeno (Corpoica, 2010).

Con una estrategia de manejo integrado de enfermedades, el productor debe proceder sistemáticamente, identificando y priorizando las prácticas, técnicas y metodologías integradas para aplicar las que permitan manejar la enfermedad. El éxito en el manejo de la gota *P. infestans*, consiste en observar constantemente el cultivo y las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la gota, y en función de esto realizar el manejo. Como la enfermedad es altamente destructiva y las variedades comerciales son susceptibles al patógeno, se recomienda evitar su llegada o mantenerla en los niveles de daño más bajos posibles, con las siguientes prácticas:

- Usar semilla certificada o libre de la enfermedad.
- Destruir las fuentes de inóculo en el campo como las toyas, residuos de cosecha anterior y otras plantas susceptibles.
- Sembrar en épocas adecuadas, con el fin de evadir las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad, durante el ciclo del cultivo.

- No exceder los niveles de fertilización, especialmente de nitrógeno, ya que este favorece el crecimiento exuberante de la planta, facilitando así la presencia de infecciones en la misma.
- Hacer un seguimiento constante al cultivo en busca de la presencia de manchas de la gota en las hojas, especialmente por debajo de las mismas, con el fin de aplicar el producto adecuado para su control.
- Tener en cuenta que los días húmedos, lluviosos en la mañana y soleados en la tarde y cambios bruscos de temperatura, son propicios para el desarrollo de la gota.
- Calibrar y mantener en buen estado el equipo de aspersión.
- Elegir y aplicar correctamente los fungicidas. Cuando se utilicen fungicidas de contacto, hay que cubrir el 100% del cultivo, especialmente asperjando la parte inferior de la hoja, donde se localiza la fuente de inóculo de la enfermedad.

**Para mayor información sobre opciones tecnológicas con aplicabilidad en el sistema productivo de papa en Silos, Norte de Santander, consulte el SE - MAPA**

Como se expuso en la sección 1 y 2, la amenaza y la vulnerabilidad son los dos determinantes del riesgo agroclimático. El primero se refiere a la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas restrictivas y el segundo, a la interacción entre el grado de exposición a la amenaza, la sensibilidad del sistema productivo y la capacidad adaptativa del mismo. Esta última, se aumenta con la implementación de opciones tecnológicas integradas que reducen la vulnerabilidad del sistema productivo frente al riesgo agroclimático. Es importante considerar que la viabilidad de adopción de dichas opciones tecnológicas no solo responde a criterios técnicos, sino también económicos, dado que un sistema productivo está determinado, además, por las características socioeconómicas de los productores.

A continuación, se presentan algunos criterios técnico-económicos para la implementación de las opciones tecnológicas presentadas en la primera parte de la sección 2, basados en dominios de recomendación.

### SECCIÓN 3: implementación de las opciones tecnológicas entre los productores de papa en el municipio de Silos, Norte de Santander

#### Dominio de recomendación

Un dominio de recomendación corresponde a un grupo de agricultores relativamente uniformes, quienes pueden recibir las mismas recomendaciones tecnológicas (Lores et al., 2008). A partir de los dominios de recomendación se pueden diseñar modelos de optimización productiva, en los cuales, se propone un plan de producción en función de los recursos disponibles en cada grupo. En el marco del proyecto MAPA, la recomendación sobre la adopción de las tecnologías propuestas para cada tipo de productores o dominio, se basa en los resultados de viabilidad de los modelos microeconómicos, en la exposición agroclimática del área donde se encuentran localizados y en los indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de los sistemas productivos ante los eventos climáticos críticos de exceso o déficit hídrico.

**Para cada uno de los dominios (grupo de productores) se formulan recomendaciones de acuerdo con los resultados del análisis socioeconómico, con el fin de identificar la viabilidad financiera de las tecnologías propuestas y la forma de implementarlas según las diferentes características de los productores (tamaño del predio, mano de obra, acceso a crédito, etc.). Estas recomendaciones apoyan la toma de decisiones de los asistentes técnicos, las cuales se ajustan a las particularidades de cada zona.**

## **Determinación de los dominios de recomendación de las opciones tecnológicas para enfrentar los eventos climáticos**

Para determinar los dominios de recomendación se usa la información de encuestas aplicadas a productores. Luego se hace un proceso de agrupamiento estadístico o tipificación (agrupamiento por tipos) de productores con características socioeconómicas y productivas similares. Los resultados se emplearon en el análisis de vulnerabilidad de las unidades productivas frente a eventos climáticos extremos, mediante la construcción de indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa, acordes con las condiciones biofísicas, técnicas y socioeconómicas del sistema productivo. Por otro lado, se desarrolló un modelo microeconómico para evaluar la viabilidad financiera de las opciones tecnológicas que se proponen para enfrentar la condición climática limitante, el cual se calculó para cada uno de los grupos resultantes de la tipificación, generando diferentes alternativas de viabilidad dependiendo de las características de cada grupo. A partir de la información climática de los municipios, se generan mapas de exposición a los riesgos agroclimáticos de déficit o excesos hídricos y esta información se cruza con la tipificación y los resultados de la modelación. Los dominios entonces, se definieron teniendo en cuenta el grado de exposición al evento climático y el grupo de la tipificación socioeconómica y técnica al que pertenece cada productor. La recomendación para cada dominio respecto a la adopción de las tecnologías se basa en el análisis de vulnerabilidad y la solución del modelo, dando como resultado el análisis de la viabilidad de las tecnologías, la prioridad de su implementación y la forma de implementarse en el tiempo (Corpoica-CIAT, 2015).

### **Características de los dominios de recomendación en el sistema productivo de papa en Silos (Norte de Santander)**

En la Tabla 6, se presentan los dominios de recomendación con sus respectivas características de agrupación. En las columnas dos, tres y cuatro, se presentan el grado de exposición, el grado sensibilidad y la capacidad adaptativa ante un evento climático limitante para cada dominio. Se puede apreciar que la exposición a la condición climática de déficit hídrico es, en general, media para los productores de este sistema, exceptuando el dominio uno para el cual es muy baja. El grado de sensibilidad que presentan los dominios dos, tres y cuatro es medio y bajo para el dominio uno ante este evento climático. Por su parte, la capacidad adaptativa es media para los dominios dos y tres y alta para los dominios uno y cuatro.



Finalmente, la última columna de la tabla muestra los resultados del modelo microeconómico, el cual evalúa la viabilidad financiera del uso de materia orgánica, asociada al uso de riego por goteo, de acuerdo a las características de los productores de cada dominio y, además, establece proporciones y posibles restricciones para la implementación. En este caso las opciones son viables para todos los dominios.

**Tabla 6.** Caracterización de los dominios de recomendación para el sistema productivo de papa en el municipio de Silos (Norte de Santander).

Dominio	Exposición	Sensibilidad	Capacidad de adaptación	Viabilidad financiera de opción tecnológica
1. Productores con áreas cultivadas pequeñas, propietarios de tierra y sin acceso a asistencia técnica	Muy baja	Baja	Alta	Viable
2. Propietarios medianos, dueños de tierra y sin acceso a asistencia técnica	Media	Media	Media	Viable bajo restricciones
3. Productores grandes, arrendatarios de tierra y con acceso a asistencia técnica	Media	Media	Media	Viable bajo restricciones
4. Productores medianos, dueños de tierra y con acceso a asistencia técnica	Media	Media	Alta	Viable

## Recomendaciones para implementar las opciones tecnológicas en cada dominio

### Dominio 1

El dominio de recomendación uno incluye productores que se encuentran ubicados en zonas con suelos óptimos para la producción agrícola, lo que los sitúa en un grado de exposición muy bajo ante un evento de déficit hídrico. Por otra parte, debido a las condiciones y las adecuadas medidas de control de plagas y enfermedades, los productores de este dominio tienen un grado de sensibilidad bajo ante un evento de déficit hídrico. Los productores de este dominio tienen un alto grado de capacidad adaptativa ante un evento de déficit hídrico, ya que cuentan con buen acceso a créditos bancarios, son propietarios de los predios y poseen buena asistencia técnica en campo (Figura 11).



**Figura 11.** Indicadores de sensibilidad (rojo) y capacidad de adaptación (verde) para el dominio de recomendación 1.

De acuerdo con el análisis microeconómico, la adopción del uso de gallinaza compostada y suelo micorrizado como fertilizantes orgánicos, en conjunto con sistema de riego por goteo; es viable de acuerdo al comportamiento del capital asociado a este esquema de producción (el cual es creciente en el tiempo). La recomendación se sugiere para la totalidad del predio, en el cual se estima que, se tendrán incrementos de alrededor del 15% en rendimiento. Se resalta que si bien estos productores tienen una muy baja exposición ante un evento de déficit hídrico, las tecnologías pueden mejorar financieramente la actividad productiva.

## Dominio 2

El dominio de recomendación dos incluye productores que se encuentran ubicados en suelos con leves restricciones para la producción agrícola, lo que los sitúa en un grado exposición medio ante un evento de déficit hídrico. Por otra parte, debido a las condiciones, las inadecuadas medidas de control de plagas y enfermedades y la baja disponibilidad de sistemas de riego; los productores de este dominio tienen un grado de sensibilidad medio ante dicho evento climático. Finalmente, por tener acceso a créditos bancarios y ser propietarios de los predios, pero no poseer buena asistencia técnica en campo, los productores de este dominio tienen un grado de capacidad adaptativa medio ante un evento de déficit hídrico (Figura 12).



**Figura 12.** Indicadores de sensibilidad (rojo) y capacidad de adaptación (verde) para el dominio de recomendación 2.

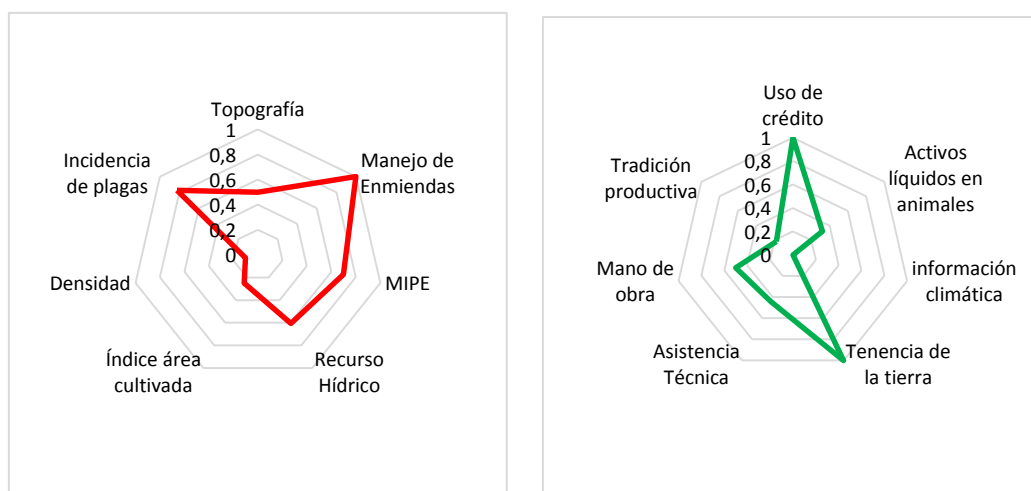
De acuerdo con el análisis microeconómico, la adopción del uso de gallinaza compostada, suelo micorrizado y sistema de riego por goteo, es viable con respecto al capital financiero asociado al esquema productivo. En específico, para un productor representativo de este dominio (con 4 hectáreas cultivadas en papa), se deben destinar en el primer ciclo productivo 1,4 ha (un 35% del área disponible en proporción) al esquema de manejo tradicional y 2,6 ha (un 65% del área en proporción) con la tecnología propuesta. A partir del segundo ciclo, el productor podrá sembrar la totalidad del área disponible con dicha tecnología.

Aunque se sugiere la implementación del sistema de riego por goteo, estos productores tienen problemas con la disponibilidad de agua, este podría ser un obstáculo importante para la implementación tecnológica, se recomienda que se exploren soluciones de corto y mediano plazo para garantizar la disponibilidad de agua para estos productores. Adicionalmente, se recomienda que la implementación tecnológica sea paulatina, para lo cual se espera que la totalidad del área cultivada con la opción tome como mínimo 2 años y que esta genere incrementos productivos de alrededor del 5%.

### Dominio 3

El dominio de recomendación tres incluye productores que se encuentran ubicados en suelos con leves restricciones para la producción agrícola, lo que los sitúa en un grado exposición medio ante un evento de déficit hídrico. Por otra parte, debido a las condiciones,

las insuficientes medidas de control de plagas y las dificultades de disponibilidad de recurso hídrico; los productores de este dominio tienen un grado de sensibilidad medio ante dicho evento climático. Finalmente, por tener acceso a créditos bancarios y ser propietarios de los predios, pero no poseer buena asistencia técnica en campo ni acceso a información agroclimática, los productores de este dominio tienen un grado de capacidad adaptativa medio ante un evento de déficit hídrico (Figura 13).



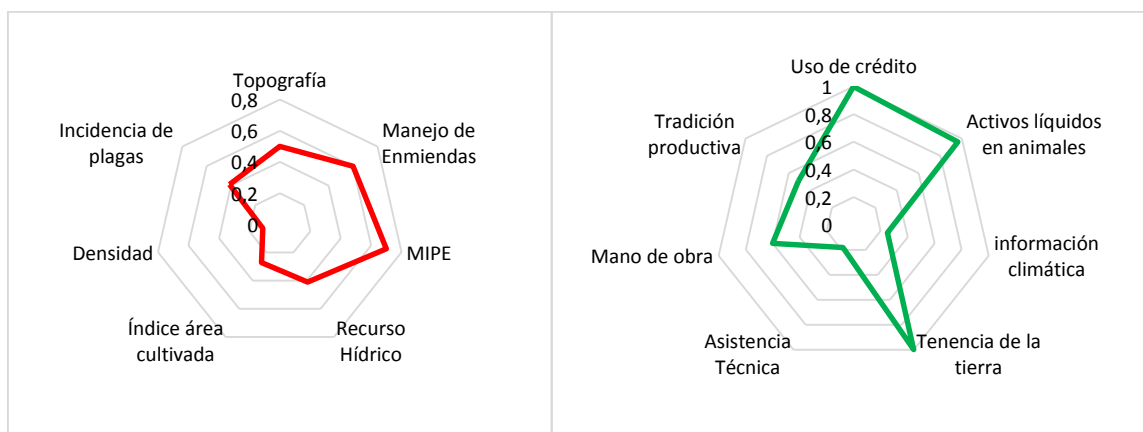
**Figura 13.** Indicadores de sensibilidad (rojo) y capacidad de adaptación (verde) para el dominio de recomendación 3.

De acuerdo con el análisis microeconómico, la adopción del uso de gallinaza compostada, suelo micorrizado y sistema de riego por goteo, es viable con respecto al capital financiero asociado al esquema productivo. En específico, para un productor representativo de este dominio (con 5,7 hectáreas cultivadas en papa), se deben destinar en el primer ciclo productivo 1,1 ha (un 20% del área disponible en proporción) al esquema de manejo tradicional y 4,6 ha (un 80% del área en proporción) con la tecnología propuesta. A partir del segundo ciclo, el productor podrá sembrar la totalidad del área disponible con dicha tecnología. Aunque se sugiere la implementación del sistema de riego por goteo, estos productores tienen problemas con la disponibilidad de agua, este podría ser un obstáculo importante para la implementación tecnológica, se recomienda que se exploren soluciones de corto y mediano plazo para garantizar la disponibilidad de agua para estos productores.

Adicionalmente, se recomienda que la implementación tecnológica sea paulatina, para lo cual se espera que la totalidad del área cultivada con la opción tome como mínimo 2 años y que esta genere incrementos productivos de alrededor del 15%.

#### Dominio 4

El dominio de recomendación cuatro incluye productores que se encuentran ubicados en zonas con suelos levemente restrictivos para la producción agrícola, lo que los sitúa en un grado exposición medio ante un evento de déficit hídrico. Por otra parte, debido a las condiciones, las insuficientes medidas de control de plagas; los productores de este dominio tienen un grado de sensibilidad medio ante dicho evento climático. Finalmente, por tener acceso a créditos bancarios, ser propietarios de los predios y tener disponibilidad de activos líquidos representados en animales, los productores de este dominio tienen un grado de capacidad adaptativa alto ante un evento de déficit hídrico (Figura 14).



**Figura 14.** Indicadores de sensibilidad (rojo) y capacidad de adaptación (verde) para el dominio de recomendación 4.

De acuerdo con el análisis microeconómico, la adopción del uso de gallinaza compostada, suelo micorrizado y sistema de riego por goteo, es viable con respecto al capital financiero asociado al esquema productivo. Se recomienda disponer la totalidad del predio, bajo la tecnología propuesta desde el primer periodo, para lo cual se espera se generen incrementos productivos de alrededor del 15%.



## REFERENCIAS

- Corpoica. (1998). *Las micorrizas como alternativa para el manejo sostenible de los agroecosistemas tropicales*. Villavicencio, Meta. 26p.
- Corpoica. (2005). *Análisis de suelos y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera*. En Manual técnico, producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones de caribe y valles interandinos (pp. 1-10). Mosquera, Cundinamarca: Produmedios.
- Corpoica. (2010). *Manejo técnico del cultivo de papa criolla con fines industriales. Experiencias en el departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia: Libra Corpoica. 106p.
- Corpoica (2013). Plan para el manejo de los impactos en el sector agropecuario ocasionados por la emergencia invernal. Bogotá: Universidad Tecnológica Pedagógica de Colombia – UPTC, 4D Elementos consultores y Corporación colombiana de investigación agropecuaria, Corpoica, Sede C.I Tibaitatá.
- Corpoica-CIAT. (2015). *Informe de dominios de recomendación para los sistemas productivos de Norte de Santander y Nariño en el marco de la carta de entendimiento 002-2013 1806-1 entre Corpoica y CIAT (N.º 002-2013)*. Derivado del convenio entre Fondo Adaptación y Corpoica.
- Corpoica. (2015a). *Informe del producto 1: Caracterización de la variabilidad climática zonificación de la susceptibilidad territorial a los eventos climáticos extremos, Departamento de Norte de Santander*. Corpoica, Cundinamarca, Mosquera. 94 p.
- Corpoica. (2015b). *Informe del producto 2: Mapas de aptitud agroclimática e identificación de nichos productivos por eventos de variabilidad climática para cebolla (Ocaña y La Playa), lulo (Ábrego y Teorama) y papa (Silos y Mutiscua)*. CORPOICA, Cundinamarca, Mosquera. 127 p.
- Corpoica. (2015c). *Informe final de la parcela de integración del sistema productivo de papa, municipio de Silos, Departamento de Norte de Santander*. Proyecto reducción del riesgo y adaptación al cambio climático. 32 p.





IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate*. Cambridge, UK.: Cambridge University Press. 594 p.

Julca, A., Meneses, L., Sevillana, R. y Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de uso en la agricultura. IDESIA. 1(24), 49-61

Lores, A.; Leyva, A. y Varela, M. (2008). *Los dominios de recomendaciones: Establecimiento e importancia para el análisis científico de los agroecosistemas. Cultivos tropicales*. 29(3), 5-10p.

Palmer, W. (1965). Meteorological Drought. Department of Commerce. *Res. Paper* (45). 58p.

OMM. (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Ginebra, Suiza. Organización Meteorológica Mundial. 128 p.

Ortiz, R. (2015). *El cambio climático y la producción agrícola. Notas técnicas*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?document=36736182>



**Para mayor información consulte el sistema experto-MAPA.**

**Ingresa por:**

[www.corpoica.org.co](http://www.corpoica.org.co) » sección Microsites » Link MAPA Pestaña Sistema Experto

<http://www.corpoica.org.co/site-mapa/sistexp>