

**DISEÑO DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN DE CULTIVOS PARA
MEJORAR EL DESEMPEÑO DE PEQUEÑOS Y MEDIANOS
PRODUCTORES DE PAPA, EN EL MUNICIPIO DE PASTO -
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

FERNANDO ANDRÉS MOSQUERA NAVIA

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
CHÍA, CUNDINAMARCA**

2011

**DISEÑO DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN DE CULTIVOS PARA
MEJORAR EL DESEMPEÑO DE PEQUEÑOS Y MEDIANOS
PRODUCTORES DE PAPA, EN EL MUNICIPIO DE PASTO -
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

FERNANDO ANDRÉS MOSQUERA NAVIA

Trabajo de grado sometido a la consideración de la Facultad de Ingeniería,
Maestría en Diseño y Gestión de Procesos como requisito para optar al grado

De:

Magíster en Diseño y Gestión de Procesos.

Director de Tesis

Cesar López Bello M.Sc

Asesor

I.A. Jorge Fernando Navia Estrada Ph. D.

UNIVERSIDAD DE LA SABANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS

CHÍA, CUNDINAMARCA

2011

NOTAS DE ACEPTACION

Presidente de Tesis

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

A Dios por iluminar mi camino y bendecir mis pasos;

Al regalito de Dios que viene en camino, te esperamos

Y todos los logros que alcance serán para ti.

A mis padres por su ejemplo de lucha y trabajo;

A mi esposa Marcela por su apoyo silencioso;

*A mi abuela quien soñó con este logro, se que
desde donde estés lo disfrutarás*

A mi tío Jorge Fernando por su orientación;

A mis hermanos y familia por su amor.

Andrés Mosquera Navia.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, a mis padres, a mis hermanos, a Marcela, a Juan, al bebito o bebita que viene en camino, a mis tíos, primos, por todo su apoyo, por sus palabras de aliento, por el amor que me brindaron en cada momento de este trabajo.

Mis más sinceros agradecimientos al Comité Regional FEDEPAPA Nariño, a sus afiliados productores de papa y especialmente a todo el equipo de trabajo por su apoyo durante la investigación.

Especial agradecimiento al Profesor Cesar López Bello M.Sc., por su orientación, asesoramiento, colaboración y apoyo durante la realización de este trabajo.

Agradecimientos especiales a la Profesora Clementina Cueto M.Sc., Directora de la Maestría en Diseño y Gestión de Procesos e igualmente a su equipo de Coordinación por su apoyo a lo largo de este trabajo de investigación.

Al Ingeniero Agrónomo Edison Gaviria por su orientación técnica.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Nariño, por su direccionamiento técnico durante este trabajo.

CONTENIDO

0. INTRODUCCION.....	14
1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	17
2. JUSTIFICACIÓN.....	18
3. OBJETIVO GENERAL.....	19
3.1. Objetivos específicos.....	19
4. MARCO REFERENCIAL.....	20
4.1. Experiencias previas.....	20
4.2. Planificación de cultivos.....	22
4.3. El Sistema Productivo Papa.....	24
4.3.1. Generalidades del Cultivo de papa.....	24
4.3.2. Etapas de la producción del Cultivo de papa.....	25
4.3.2.1 Siembra.....	25
4.3.2.2 Brotación.....	26
4.3.2.3. Desyerbe.....	26
4.3.2.4. Aporque.....	26
4.3.2.5. Floración.....	26
4.3.2.6. Inicio de tuberización.....	26
4.3.2.7. Madurez fisiológica del cultivo.....	26
4.3.2.8. Madurez comercial.....	26
4.4. Sistemas de producción.....	26
4.5. Factores biofísicos en la producción del cultivo de papa.....	27
4.6. Modelo de pronóstico de precios con componente cíclico.....	28
4.7. Optimización para planificación de la producción.....	29
5. DISEÑO METODOLÓGICO.....	31
5.1 Área de Estudio.....	31

5.2. Revisión de Fuentes Secundarias.....	32
5.3. Definición de las variables de análisis.....	32
5.4. Fase de Campo.....	33
5.4.1. Encuesta Prueba.....	33
5.4.2. Aplicación del Premuestreo.....	33
5.4.3. Estimación de la muestra.....	33
5.5. Sistematización y análisis de la información.....	34
5.6. Modelo de pronóstico de precios con componente cíclico.....	35
5.7. Optimización.....	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
6.1. Análisis Cuantitativo.....	37
6.1.1. Análisis de componente principal.....	38
6.1.2. Análisis de clasificación para datos cuantitativos (Clúster).....	40
6.2. Análisis Cualitativo.....	43
6.2.1. Análisis de correspondencias múltiples (ACM).....	45
6.2.2. Análisis de clasificación para datos cualitativos (Clúster).....	46
6.3. Modelo de pronóstico de precios con componente cíclico	47
6.3.1. Objetivo del modelo de pronóstico de precios	47
6.3.2. Conjunto de referencia modelo pronóstico	47
6.3.3. Variables de Decisión modelo pronóstico	48
6.3.4. Parámetros modelo pronóstico	48
6.3.5. Función de Pronóstico	48
6.3.6 Función Objetivo	48
6.3.7. Restricciones	49
6.3.8. Transformación del modelo	49
6.3.9. Materiales y Métodos.....	49

6.3.10. Resultados y Discusión.....	50
6.3.10.1. Pronóstico de precios Suprema	50
6.3.10.2. Pronóstico de precios Capiro	52
6.3.10.3. Pronóstico de precios Criolla.....	53
6.3.11 Validación de los datos obtenidos.....	54
6.4. Procesos de optimización en el sistema productivo papa.....	56
6.4.1. Objetivo de la optimización.....	56
6.4.2. Conjuntos referenciales.....	56
6.4.3. Variables de decisión.....	56
6.4.4. Parámetros.....	57
6.4.5. Función objetivo.....	57
6.4.6. Restricciones.....	57
6.4.7. Materiales y métodos.....	59
6.4.8. Resultados y discusión.....	60
6.4.8.1. Utilidad.....	60
6.4.8.2. Planificación de la producción.....	61
6.4.9. Conclusiones de la Optimización.....	63
7. CONCLUSIONES.....	65
8. RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS.....	74

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Encuesta aplicada para la caracterización de sistema productivo de papa.

Anexo B. Consolidado y Análisis de las Encuestas Aplicadas

Anexo C. Ubicación de Fincas con Sistema de Información Georeferencial.

Anexo D. Matriz de datos para el procesamiento de los análisis multivariado ACP y ACM.

Anexo E. Costos de producción sistema productivo de papa Capiro en el departamento de Nariño

Anexo F. Costos de producción sistema productivo de papa Suprema en el departamento de Nariño

Anexo G. Costos de producción sistema productivo de papa Criolla en el departamento de Nariño.

Anexo H. Código fuente del modelo de optimización y resultados generados en GAMS.

Anexo I. Serie histórica de precipitaciones de los años 2004 a 2009

Anexo J. Serie histórica de precios de los años 2004 a 2009

Anexo K. Serie histórica de Área Sembrada mensual de los años 2004 a 2009

GLOSARIO

ACP: Análisis de Componente Principal

ACM: Análisis de Correlaciones Múltiples

Agroinsumos: Insumos para el desarrollo de un proceso agrícola.

AIP: Año Internacional de la Papa, se refiere al año 2008 que fue dedicado a la importancia del cultivo de la papa en el mundo por la FAO.

Amediero: Socio que aporta tierra o capital para la implementación de una unidad productiva del cultivo de papa

BPA: Buenas Prácticas Agrícolas

Brotación: Hace referencia al proceso en el cual un tuberculo pasa a su etapa de propagación o uso como semilla.

Censo: Recuento de elementos de una población

Centroide: Representación del promedio en un espacio multidimensional

Clúster: Conjunto o grupo de productores que comparte características similares.

Commodity: Producto primario sustituible con valor agregado mínimo o nulo

Correlación: Grado de asociación entre dos variables medidas de -1 a 1

Dendrograma: Diagrama en forma de árbol que organiza los datos en subcategorías de acuerdo a las subdivisiones, grupos o conjuntos de un sistema.

Desyerbe: Acción de eliminar las arvenses o plantas no benéficas para el desarrollo del cultivo de papa

Ecorregiones: Regiones ecológicas que tienen características biofísicas similares

Encuesta: Estudio observacional de un proceso mediante una herramienta que permita capturar información representativa y del interés del observador de la muestra o población.

Estandarización: normalización, hace referencia a la realización de procesos de forma similar.

Error de estimación: Es el resultado de la comparación de la muestra con la población total.

Factor: vector generado a partir de la linealización y posterior proceso de ortogonalización de las variables de un sistema.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación

FEDEPAPA: Federación Colombiana de Productores de Papa

Frecuencia: La cantidad de veces que se repite un evento

Inercia: Representación de la varianza en un espacio multidimensional

ODM: Objetivos de Desarrollo del Milenio

ONU: Organización de las Naciones Unidas

Muestra: Subconjunto de casos o individuos de una población

MADR: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

M.S.N.M.: Metros Sobre el Nivel del Mar

MAS: Muestreo Aleatorio Simple

Portafolio: Conjunto de elementos similares.

Precipitación: Hace referencia a la caída de agua en estado sólido o líquido, normalmente se mide en cantidad de milímetros de agua en un periodo de tiempo.

Programación lineal: Algoritmo que permite optimizar una función lineal, sujeto a una serie de restricciones representadas por inecuaciones.

Promedio: Es una medida que permite establecer un referente dentro de un conjunto de datos a partir de la suma de todos los valores de un conjunto dividida entre el número de datos.

Pronóstico: Predicción, o prognosis o conocimiento anticipado de algún suceso.

Protocolo: Describe los objetivos, diseño, metodología y consideraciones tomadas en cuenta para la implementación y organización de una investigación o experimento científico.

Rendimiento: Producción en kilogramos por hectárea sembrada de papa

Investigación de operaciones: Disciplina científica que emplea modelos matemáticos, estadística y algoritmos con el fin de realizar procesos que permitan la toma de decisiones.

Valor Propio: Son las transformaciones lineales del espacio vectorial asociado a la dimensionalidad del espacio propio asociado.

Varianza: es una medida de su dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

pH: hace referencia a la cantidad de iones hidrogeniones que se encuentran presentes en cualquier solución la cual dan origen a la acidez o basicidad .

Vector: Conjunto de números reales o elementos de un mismo cuerpo.

ZAE: Zona Agro Ecológica

RESUMEN

La investigación se realizó con datos de 82 fincas de pequeños y medianos productores de papa en el municipio de Pasto. El objetivo fue diseñar una herramienta de decisión para la planificación de los cultivos y para optimizar el rendimiento de los pequeños y medianos productores. Se identificó y caracterizó las variables de producción biofísicas, socioeconómicas y tecnológicas, se realizó un análisis multivariado y construyó un modelo de programación lineal para el pronóstico de los precios y la optimización de la investigación de operaciones, el modelo ofrece información para decidir y planificar las siembras. Incluye ciclos de siembra, rotación y los precios para determinar las políticas de producción. Permite determinar el tiempo óptimo de siembra, según la disponibilidad de tierras, para maximizar la utilidad de acuerdo a los paquetes tecnológicos.

Los estudios futuros deben extender el modelo a la información sobre el mercado regional y nacional, incluyendo el precio, se recomienda actualizar la información de manera permanente en el modelo de programación lineal.

Palabras clave: Planificación, papa, optimización, pronóstico cíclico, Programación lineal, clúster.

ABSTRACT

The research was conducted with data from 82 farms of small and medium potato farmers in the municipality of Pasto. Was aimed to design a decision tool for crop planning and to optimize the performance of small and medium producers, was identified and characterized biophysical, socioeconomic and technological production variables, was performed a multivariate analysis and constructed a linear programming model for price forecasting and optimization with operations research, the model gives information to decide and to plan the crops of potatoes. Includes planting cycles, rotation and prices to determine production policies. The model allows to determine the optimum time of sowing and planting according the availability of land, to maximize utility according to the technology packages.

Future studies should extend the modeling to the regional and national market information, including pricing, it is recommended to update the information permanently in the linear programming model.

Keywords: Planning, potato, optimization, cyclical forecast linear programming, cluster.

0. INTRODUCCIÓN

El Primer Censo de productores del Cultivo de Papa en el departamento de Nariño¹ realizado en 2005, muestra que en el departamento se cultivan 26.460 hectáreas de papa, por parte de 18.594 productores y 11.300 amedieros lo que hace un total de 29.894 productores en 40.173 lotes, esto demuestra la prevalencia del pequeño productor y la economía campesina en los 26 municipios encuestados.

De igual forma el MADR – Observatorio Agrocadenas (2006)², aseguran que el cultivo de la papa es la actividad agropecuaria que más empleo e ingresos genera, constituyéndose en eje fundamental de la economía del Departamento. El censo de 2005, mostró que el 95% de los productores son pequeños y reveló que los productores rotan los cultivos con ganadería de leche, hortalizas, leguminosas y cereales, conformándose así un sistema productivo que conforma su portafolio agropecuario y genera los ingresos de estas familias.

Cabe resaltar que el Departamento de Nariño es el tercero a nivel nacional en área y producción de papa, con un total de 504.132 toneladas producidas en el 2008 (Gráfica 1), en 27.254 hectáreas; entre el 2000 y el 2008, la producción de papa en el departamento ha crecido un 4%, el área cosechada ha aumentado 1,4% y el rendimiento en 2,7%³ (Gráfica 2), esta información de carácter muestral realizada año a año por diferentes entidades, sumada al único censo del departamento, permiten recalcar la importancia del cultivo en la economía del departamento, no solo en el ámbito rural, sino urbano por estar ligado a otros procesos de encadenamiento que se ven beneficiados por el cultivo.

¹ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) –CENTRO VIRTUAL DE INVESTIGACIÓN DE LA CADENA AGROALIMENTARIA DE LA PAPA (CEVIPAPA). I Censo del Cultivo de Papa año 2005, Departamento de Nariño. Mayo 2006. 55p.

² MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Op. Cit, p.38.

³ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia . Disponible desde internet en versión html:<<http://www.agronet.gov.co>> , ultima visita abril 2010

Gráfico 1. Producción de papa total por departamento

Producción Total por Departamento

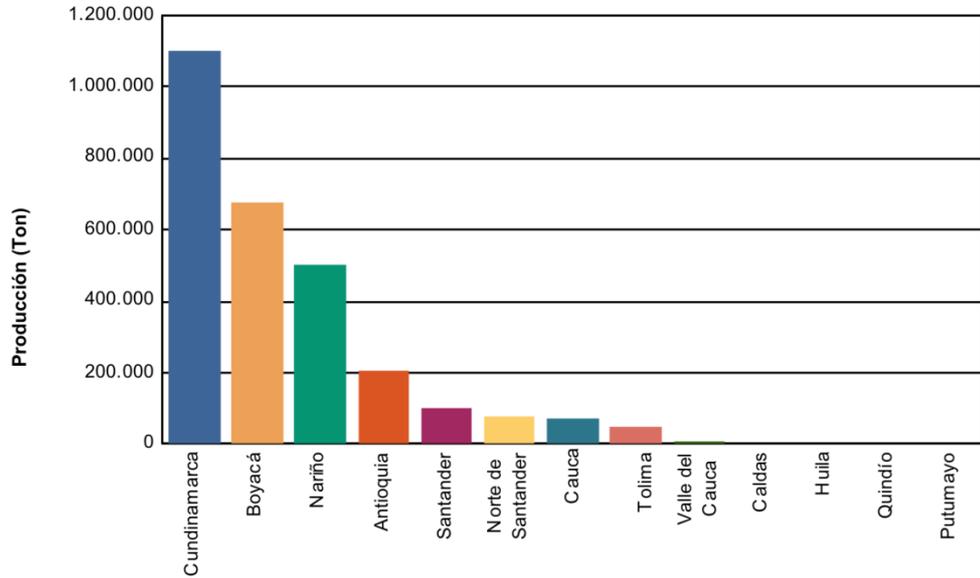
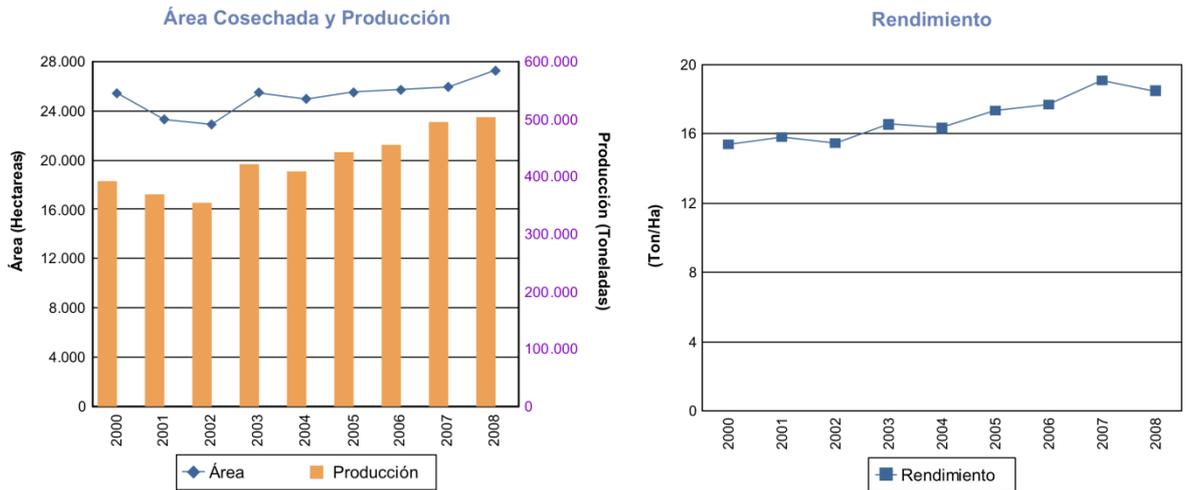


Gráfico 2. Área cosechada, Producción y rendimiento de la papa en Nariño, 2008³.



MADR – Observatorio Agrocadenas 2006⁴, afirma que tradicionalmente el pequeño productor de papa no cuenta con las habilidades, la experiencia o la infraestructura para realizar procesos de coordinación de las operaciones productivas en coordinación con otros productores, esta desventaja implica que su capacidad de gestión comercial es limitada, poniéndolo en desventaja al no estar en capacidad de realizar integración vertical u horizontal en la cadena productiva. Igualmente es incipiente la conformación de alianzas para estabilizar precios u otras condiciones de venta que a su vez generen un negocio más rentable, eficiente y sostenible, de tal forma que permita mejorar la calidad de vida de los núcleos familiares que dependen del cultivo. Estos precedentes repercuten sobre la economía local y Departamental, generando atraso y estancamiento económico ya que el sistema productivo papa a pesar de ser la actividad agropecuaria más importante, no tiene actualmente desarrollado el eslabón de transformación que permita agregar valor a este proceso, y promover procesos de comercialización por el contrario la producción primaria se envía a centros de consumo e industrialización como el Valle del Cauca y Bogotá D.C.

Este escenario plantea que de forma urgente se avance en procesos de organización de las comunidades de base, a través de capacitación y formación en gestión empresarial. FEDEPAPA (2006)⁵ expresa que se ha avanzado con pilotos productivos asociativos, gestiones comerciales conjuntas, búsqueda de economías de escala en compra de insumos, consolidación de oferta y acceso a mercados especializados, uno de los ejemplos más relevante es el proyecto Papa Pastusa Suprema Calidad Natural Carrefour, que se desarrolló entre 2005 y 2007, vinculó más de 300 productores del municipio de Pasto, comercializando más de 2500 toneladas, en presentaciones de 2,5 kilos de papa seleccionada, cepillada y producida siguiendo protocolos concertados con Carrefour en cuanto a manejo agronómico, prácticas agrícolas adecuadas, manejo más limpio, periodos de carencia, uso racional de agroinsumos, manejo y conservación de agua y suelo y que se realizaron ventas a las tiendas de Cali, Pereira, Medellín, Bogotá D.C.

Este piloto permitió identificar debilidades de carácter técnico, principalmente requerimientos en el proceso de agregación de valor que permitan mayor aceptación por parte del mercado, en cuanto a procesamiento y se observó como indispensable mejorar el proceso. Como complemento se identificó el

⁴ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Op. Cit, 55 p.

⁵ FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA(FEDEPAPA). Memorias del Convenio Fedepapa - Asohofrucol CO-035, Apoyo al Desarrollo del Mercado de Nuevas Variedades de Papa con Pequeños y Medianos Productores del Departamento de Nariño, Pasto, Colombia 2006. 75p.

vacío principal que es la falta de procesos de gestión que permitan la coordinación de la capacidad productiva colectiva o de un “clúster” de productores, es indispensable la generación de la estandarización de operaciones de la producción agrícola y de la asignación de recursos técnicos, físicos, económicos y humanos para lograr una actividad productiva, eficiente y rentable.

Se identificó entonces la falta de herramientas que permitan la gestión empresarial agropecuaria, para generar procesos de planificación de actividades, asignación oportuna de recursos, coordinación de operaciones y toma de decisiones que de forma colectiva logrando la eficiencia del clúster de productores y consolidar la toma de decisiones y efectividad. El manejo adecuado de esta información favorecerá la articulación de las ecoregiones productivas del Departamento de Nariño y fortalecer ventajas competitivas como la mitigación de los riesgos agroclimáticos asociados a las actividades del campo por la dispersión de las fincas.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

La importancia de la papa en el mundo tiene que ver con los volúmenes transados y con la seguridad alimentaria. Esta situación se corrobora frente a los planteamientos realizados por las Naciones Unidas a través de la FAO⁶, que designaron al 2008 como el Año Internacional de la Papa con el lema “promoviendo seguridad alimentaria y aliviando la pobreza”, debido a la importante función de la papa, para afrontar cuestiones de interés mundial, como la malnutrición y la pobreza⁷.

A nivel nacional el Departamento de Nariño es el tercero en importancia en el cultivo de papa, con el 18% del área y el 17,2% de la cantidad total producida, el primer lugar es ocupado por Cundinamarca y el segundo lugar por Boyacá, en estos tres departamentos se concentra el 82% tanto de la producción como del área sembrada⁸.

El cultivo de la papa es la actividad agrícola más importante del departamento, el 45,6% del total producido en el sector proviene del cultivo de la papa, y se

⁶ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Año Internacional de la Papa: Nueva Luz Sobre un Tesoro Enterrado, Reseña de Fin de Año. Roma: 2008. 144p.

⁷ Bigio, Isaac (2007). 2008: Año mundial de la papa, Disponible en http://www.articuloz.com/article_290396.html.

⁸ Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia 2009.

dedica el 16,3% del área agrícola al cultivo; La mayoría de los productores son pequeños y son el 93% del total, con áreas de minifundio entre 500 metros cuadrados y 3 hectáreas, en Nariño hay más de 28.000 unidades productivas y representan 27.000 hectáreas.

Adicional a las áreas de minifundio que trabaja la mayoría de los productores, se suma los niveles de desarrollo tecnológico limitados, este gran número de productores no cuenta con sistemas de riego, no recibe asistencia técnica y manejan paquetes basados en el uso intensivo de pesticidas. MADR – CEVIPAPA 2006⁹.

Teniendo en cuenta lo anterior, los cultivadores se enfrentan a un problema complejo, pequeñas unidades productivas que no permiten proveer de forma individual a los mercados por los bajos volúmenes, pocas cosechas al año, dispersión de la producción en miles de unidades productivas, estacionalidad de las siembras por estar directamente relacionadas con los regímenes de lluvias y sumado a esto lejanía geográfica lo que dificulta el acceder a información sobre el sector, mecanismos de comercialización y asesoría tecnológica.

Por lo tanto esta propuesta de investigación se inclina por generar herramientas que permitan mejorar el desempeño de los productores, teniendo en cuenta la dificultad de acceder a nuevas tecnologías por los limitantes económicos, y que apunten a mejorar el acceso a información adecuada para la toma de decisiones, sobre el momento oportuno de siembra y los niveles adecuados de áreas a cultivar y de esta forma generar beneficios de forma generalizada.

2. JUSTIFICACION

Bonilla (2009)¹⁰. Caracterizaron a los productores de Nariño, expresando que estos obtienen la semilla tubérculo a través de propagación propia, el control de malezas se realiza en la mayoría de las ocasiones con azadón; aunque no se asocia el cultivo de papa con otra especie sí se realiza rotación con arveja, maíz y haba. Los productores de Nariño no realizan análisis de suelo debido a su alto costo; los insumos los compran de contado o crédito a 30 días con la

⁹ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Op. Cit, p. 55.

¹⁰ BONILLA, María; CARDOZO, Fernando y MORALES, Alexis. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la papa en Colombia con énfasis en papa criolla. Giro ed. Ltda. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Proyecto Transición de la agricultura. 2009. 174p.

particularidad de que no acarrea cobro de intereses. La asistencia técnica es proporcionada por Fedepapa, proveedores de insumos y las subsecretarías de Asistencia Técnica.

La producción es vendida sin lavar en un 80% a la plaza local o regional y el restante a acopiadores rurales. En todos los casos el pago es en efectivo, entre 15 y 30 días después de entregado el producto. Los criterios de compra más exigidos son tamaño y color. La producción es vendida a un precio que oscila entre \$10.000 y \$50.000 la carga (que oscila entre 120 y 125 kg), el porcentaje de ganancia estimado es de un 5%, el rechazo de producto es menor a un 20% y es utilizado para consumo animal.

Lo anterior expresa que los agricultores manejan en Nariño un paquete tradicional o con muy bajo nivel de tecnificación, igualmente los productores carecen de sistemas de información que permitan articular la producción a la demanda, no se realizan siembras organizadas o planeadas, ya que no existe un proceso de articulación que permita realizar esta gestión, cada productor siembra con libertad y de acuerdo a su capacidad en el periodo de siembras, el cual se rige por los periodos de lluvias. Se debe tener en cuenta que en Nariño se siembra papa durante todo el año, y los mayores momentos de siembra son los meses de agosto a noviembre lo que coincide con los picos de precipitación, esto muestra que las decisiones de siembra no están relacionadas con un proceso de comercialización o con mercados con demanda claramente identificados; Por lo tanto en el aspecto comercial el panorama es igualmente desalentador, el precio es puesto por la plaza, basado en el estado de abastecimiento del mercado.

3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una herramienta de planificación de cultivos del sistema productivo papa, mediante modelos de optimización que permitan tomar decisiones para mejorar el desempeño de un clúster de pequeños y medianos productores de papa del Departamento de Nariño

3.1 Objetivos específicos.

1. Identificar y caracterizar el sistema productivo papa, determinando características biofísicas, socioeconómicas y tecnológicas del sistema, buscando interrelaciones que permitan la optimización mediante la

planificación.

2. Desarrollo del modelo de optimización para la planificación de cultivos, aplicado a un clúster de pequeños y medianos productores de papa en el municipio de Pasto, departamento de Nariño.

3. Validar el prototipo del modelo y tomar decisiones para la planificación de cultivos, mediante el análisis e interpretación de los resultados.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Experiencias previas.

Empresarios en Cundinamarca y Nariño¹¹ buscando garantizar el suministro con pequeños productores asociados, determinaron las variables del éxito de la cadena de suministro, y se encontraron las siguientes oportunidades para desarrollar un modelo agroindustrial, basado en la planeación productiva y la generación de valor por los productores:

- Generar procesos para garantizar disponibilidad de semilla certificada de buena calidad disponible para siembras industriales, en lo cual se ha avanzado por parte de los productores vinculados al proyecto en la primera fase.
- Aprovechar la dispersión geográfica como ventaja para minimizar el riesgo y unificar procesos de siembra (paquete tecnológico).
- Fomentar el manejo sostenible de los recursos naturales, cuidado del suelo, rotación de cultivos. evitando plagas, enfermedades y deterioro de las características edáficas.
- Promover una cultura de gestión empresarial de las pequeñas unidades productivas.
- Fomentar la agroindustrialización de la papa e identificar las potencialidades de uso de los subproductos de los rechazos de papa.

Estos elementos están impulsando el desarrollo de los paperos en el

¹¹ FEDEPAPA, Op., cit. p. 16.

Departamento de Nariño, y Fedepapa inició un programa de proyectos que involucran la investigación de nuevas variedades en trabajo conjunto con el Grupo de Investigación del Sistema Productivo Papa de la Universidad Nacional Sede Bogotá¹², transferencia tecnológica, organización y capacitación integral de agricultores y planificación productiva; El programa consta de tres fases:

- La primera etapa denominada de cultivo, pretende la planeación productiva haciendo énfasis en dos aspectos fundamentales el primero un proceso de capacitación en Escuelas de Campo y organización de productores para generar procesos socioempresariales. Y el segundo fomentar la producción de semillas de variedades con vocación industrial para garantizar que los procesos agroindustriales cuenten con un abastecimiento continuo de papa con la calidad requerida, generando procesos de trazabilidad y Buenas Prácticas Agrícolas.
- MADR – Observatorio Agrocadenas (2006)¹³; en una segunda etapa de identificación y acercamiento a los mercados de consumo de papa en fresco, en ésta se han desarrollado actividades y alianzas comerciales con supermercados de grandes superficies, aportando valor a la producción primaria, el protocolo permitió acordar el paquete tecnológico, las herramientas de trazabilidad y las BPA a utilizar, haciendo énfasis en mejores condiciones para las familias de pequeños productores y un manejo sostenible. Actualmente se está avanzando en la implementación de una línea de poscosecha que agregue mayor valor a la papa, con procesos de lavado y nuevos empaques para entrar a mercados cumpliendo con los requerimientos del cliente, basados en las experiencias dejadas por estos procesos comerciales previos y teniendo en cuenta que la papa es uno de los productos agrícolas de mayor consumo por habitante en el país.
- La tercera etapa será el inicio de actividades de transformación agroindustrial de las producciones de papa y los subproductos que se generen. Se buscará transformar agroindustrialmente un porcentaje de la producción de papa criolla, producida por las familias involucradas, lo anterior se fundamenta en las investigaciones logradas para promover a la papa criolla dentro de la Apuesta Exportadora, por ser un producto

12 Liberación de Cinco variedades con aptitud industrial para diferentes procesos denominadas Criolla Latina (Enlatada), Criolla Galeras (consumo en fresco), Criolla Colombia (precocido congelado, encurtido, envasado), Criolla Guaneña (frita en hojuelas, bastones), Criolla América (envasado).

13 MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) -, IICA, Observatorio Agrocadenas - La Cadena de la Papa En Colombia Una Mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991-2005. Enero, 2006.

candidato idóneo para lograr reconocimiento y certificación de origen por sus singularidades en requerimientos para su producción y características organolépticas únicas aportadas por los suelos nariñenses, siendo este departamento el principal centro de biodiversidad. La comercialización internacional de los productos agroindustrializados se enfocará en sus primeras etapas en los países vecinos como Ecuador y Perú, gracias a los beneficios arancelarios que tiene la Comunidad Andina.

4.2. Planificación de cultivos.

La papa es un commodity perecedero, está sujeto a grandes variaciones de precio, el 30% de del año los precios pagados al productor están por debajo de los costos de producción¹⁴, los pequeños productores tradicionalmente cultivan de forma independiente, sin tener en cuenta las producciones de otros agricultores, lo cual ocasiona superproducciones y esto a su vez en excesos de oferta que obliga a que bajen los precios. Los precios bajos ocasionan pérdida de la capacidad productiva por deteriorar el capital de trabajo y como consecuencia en los ciclos productivos posteriores déficit de oferta, lo que aumenta los precios. Este efecto de precios altos afecta la economía nacional por ser el cuarto producto más importante en la canasta familiar de Colombia las alzas en el precio de la papa aumenta la inflación para las familias colombianas.

Ramírez et al, (2005)¹⁵, encontraron que la elasticidad precio de oferta de la papa en Colombia es positiva, esto significa que los productores toman sus decisiones de siembra de forma rápida ante los cambios en los precios, igualmente tanto las áreas como las cantidades producidas son una respuesta a los estímulos económicos ya sean positivos o negativos. No obstante, en el cultivo de la papa, la elasticidad del área (0,51) y la elasticidad de la producción (0,84) muestran que ante incrementos en los precios, los agricultores actúan mejorando la productividad (más producción en la misma superficie) y menos con aumentos en área cultivada. En otras palabras, la demanda por tierra de los agricultores de papa es inelástica, mientras que la producción es elástica, esta última aumenta ante al estímulo de los precios.

14 Corporación Colombia Internacional. Costos de Producción y Precios en Plazas Mayoristas de Bogotá y Cali, para papa Pastusa Suprema año 2008 y 2009. Disponible en: <http://www.cci.org.co>.

15 RAMÍREZ, Manuel; Martínez, Héctor; Ortiz, Lila; González, Freddy y Barrios, Camilo. Observatorio Agrocadenas Colombia IICA - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Documento No 49. Respuestas de la oferta y la demanda agrícola en el marco de un TLC con Estados Unidos. Bogotá D.C., Mayo.2005.

Lo anterior plantea un problema muy típico de la económica agropecuaria, cuyo comportamiento es similar a lo que ocurre en el teorema de la telaraña formulado por Ezekiel (1938)¹⁶, este pretende explicar el modelo general para la formación de los precios de los productos cuya oferta se establece en función del precio observado en el período inmediatamente anterior.

El gremio de productores de papa, FEDEPAPA, ha identificado que la falta de planificación del cultivo y la falta de información que tienen los pequeños y medianos productores sobre el mercado, son dos grandes limitantes que no permiten generar avances significativos hacia la estabilización de precios. MADR (2006)¹⁷, indicó que el grueso de la actividad se realiza en el sector primario, lo que demuestra que son escasos los avances en materia de integración hacia adelante en la cadena, este panorama no ha cambiado en los últimos cuatro años y es completamente válido el escenario encontrado en el estudio adelantado por el Observatorio Agrocadenas y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.

El Proyecto Zonas Agro ecológicas (ZAE; FAO, 1978)¹⁸, fue un primer ejercicio en la aplicación de la evaluación de tierras a una escala continental. La metodología usada fue innovadora en caracterizar extensiones de tierra por medio de información cuantificada de clima, suelos y otros factores biofísicos, que se utilizan para predecir la productividad potencial para varios cultivos de acuerdo a sus necesidades específicas de entorno y manejo. Las zonas agroecológicas se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola.

La metodología ZAE se puede considerar como un conjunto de aplicaciones básicas, que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras, y un conjunto de aplicaciones avanzadas o periféricas, que se pueden construir sobre los resultados de los estudios ZAE. Los resultados de las aplicaciones básicas incluyen mapas que muestran zonas agroecológicas y aptitud de tierras, la cantidad estimada de las áreas de cultivo potenciales, cosechas y producción. Tal información proporciona las bases para aplicaciones avanzadas tales como la evaluación de la degradación de tierras,

¹⁶ EZEKIEL, Mordecai. "The cobweb theorem"; Quarterly Journal of Economics. Cambridge. vol 52: p255-280.1938.

¹⁷ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) -, IICA, Op. cit., p. 21.

¹⁸ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). La metodología ZAE/SIRT de la FAO: Herramientas para el manejo integrado y sostenible de los recursos de tierras. Taller Regional sobre Aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agro-Ecológica y los Sistemas de Información de Recursos de Tierras en América Latina y El Caribe. Roma: FAO. Santiago – Chile (Latinoamérica). 1996.

modelos de producción ganadera, evaluación de la capacidad de sostenimiento de la población y modelos de optimización de usos de tierras.

4.3. El Sistema Productivo Papa

El cultivo de papa en Colombia aporta con el 23% a la producción total de alimentos básicos, es el segundo cultivo transitorio más importante después del arroz que tiene el 30% y seguido de la yuca con 13,46% y maíz con el 13,41%. Lo anterior resalta la importancia del cultivo en la canasta familiar, y su importancia como fuente de alimento para el país y se observó también que el 98% de la producción de papa es consumida a nivel interno¹⁹.

A la actividad productiva de la papa están vinculadas más de 100.000 familias rurales, se generan 20 millones de jornales, lo cual en estimaciones realizadas por Espinel y Martínez (2003)²⁰, expresan que en todo el país el cultivo de la papa genera más de 105.000 empleos directos, y con una relación de 2,5 empleos indirectos por cada empleo directo, generados en la cadena: en actividades de distribución de insumos, empaques, maquinaria, semillas, procesamiento y comercialización

4.3.1. Generalidades del Cultivo de papa

El período de crecimiento de la papa varía de acuerdo a diferentes parámetros, entre los cuales se destacan las condiciones climáticas (Tabla 1) y la variedad; siendo esta última la que mayores repercusiones presenta en la producción. De esta manera; variedades como la Pastusa Suprema, Roja Nariño, Parda Pastusa y Diacol Capiro tienen un período de cultivo de seis (6) meses, y la papa criolla tiene un periodo vegetativo de cuatro (4) meses.

¹⁹ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) -, IICA, Op. cit., p. 25.

²⁰ ESPINEL, Carlos y MARTÍNEZ, Héctor. La cadena de papa en Cundinamarca frente a las negociaciones comerciales hemisféricas. Ed. Corporación Latinoamericana, Misión Rural, Gobernación de Cundinamarca. Dirección de Planeación. Bogotá D. C., Septiembre. 2003.

Tabla 1. Generalidades del cultivo de papa

	Varietades	
Variables	Parda patusa, Pastusa Suprema y Diacol Capiro²¹.	Phurejas (Criollas)²²
Adaptación	Su adaptación está comprendida entre los 2.000 y 3.500 metros de altitud, se adapta bien a los climas fríos y de páramo o sea altitudes entre los 2.700 y 3.500 metros. Requiere de una buena precipitación y suelos fértiles no muy laborados.	Su adaptación está comprendida entre los 1800 y 3200 msnm, siendo óptimas las condiciones para su producción entre los 2300 y 2800 msnm.
Periodo de cultivo	Variedad tardía, tiene un ciclo de cultivo de 6 a 7 meses, dependiendo de la altitud donde se cultive.	Variedad con comportamiento precoz, 3,5 a 4 meses dependiendo de la zona.
Rendimiento	Bajo condiciones normales de lluvia es de 30 t/ha. El tamaño de tubérculo predominante es el de segunda (mediana).	Bajo condiciones normales de lluvia es de 20 t/ha
Temperatura	6° a 18° C	6° C a 20° C
Precipitación	Mínimo 900 mm/año	Mínimo 900 mm/ año
Suelo	Textura franca, suelta y profunda, Pendiente máxima de 30% y PH de 5,2 a 5,9	Textura franca, suelta y profunda, Pendiente máxima de 30% y PH de 5,2 a 5,9

4.3.2. Etapas de la producción del Cultivo de papa

Según ÑUSTEZ, et, al (2009)²³, las etapas del cultivo son:

4.3.2.1. Siembra: La siembra se realiza antes de iniciarse la época de lluvias con el fin de aprovechar sus aguas para la germinación y desarrollo del cultivo. La semilla que más se utiliza es la seleccionada de cultivos de la misma finca o de cultivos vecinos de zonas más altas. La labor de tapar la semilla y aplicar el fertilizante se realiza en forma manual.

²¹ FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA(FEDEPAPA). Memorias del Convenio Fedepapa - Asohofrucol CO-035, Apoyo al Desarrollo del Mercado de Nuevas Varietades de Papa con Pequeños y Medianos Productores del Departamento de Nariño, Pasto, Colombia 2006. 75p.

²² ÑUSTEZ, Carlos; NAVIA, Sonia y MOSQUERA, Alvaro. Ajuste Agronómico para las Varietades Criolla Latina, Criolla Colombia y tres Clones Promisorios de Papa Criolla, Para el Departamento de Nariño. 2009.

²³ ÑUSTEZ, Carlos; NAVIA, Sonia y MOSQUERA, Alvaro. Op. Cit. p. 24.

La calidad de la semilla garantiza altos rendimientos, esta debe presentar uniformidad en tamaño, pureza varietal y sanidad, cuando el tubérculo-semilla está en brotación óptima (3 a 5 brotes cortos y verdeados), garantiza germinación vigorosa, uniforme y con abundante número de tallos, lo que no es posible obtener sembrando tubérculo-semilla en estado de dominancia apical o vejez del tubérculo-semilla.

4.3.2.2 Brotación: aparición de los brotes del cultivo sobre la superficie del suelo.

4.3.2.3. Desyerbe: Durante la etapa de crecimiento vegetativo inicial se realiza un control de arvenses o plantas que limitan el desarrollo del cultivo de forma normal.

4.3.2.4. Aporque: Se realiza un acercamiento de suelo a los tallos de las plantas del cultivo en la etapa de crecimiento vegetativo próxima a la reproductiva, se realiza a lo largo del surco en la base de la planta para favorecer la formación de los tubérculos, protegerlos de la luz y de los daños de los insectos, conservar la humedad en las zonas de raíces, facilitar la aireación y el drenaje, incorporar nutrientes y controlar las arvenses. El aporque debe realizarse entre el primero y el segundo mes después de que emergen las plántulas ya que, de lo contrario, se pueden afectar el sistema de raíces y los estolones.

4.3.2.5. Floración: se presenta cuando el 75% de las plantas han emitido botones florales.

4.3.2.6. Inicio de tuberización: inicio de la formación de tallos de almacenamiento (tubérculos).

4.3.2.7. Madurez fisiológica del cultivo: cuando los tubérculos se han formado por completo y no dependen del suministro de nutrientes de la planta para su desarrollo.

4.3.2.8. Madurez comercial: cuando los tubérculos pueden ser cosechados dado que su piel se ha adherido firmemente y no se presenta riesgo de que se maltrate el tubérculo durante la labor de cosecha.

4.4. Sistemas de Producción

MADR, (2006)²⁴ clasificó en su estudio a los productores en tres categorías:

Pequeños productores: Siembran hasta 3 hectáreas y utilizan tecnologías simples y en terrenos generalmente no aptos para la mecanización, en alturas

²⁴ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) -, IICA. Op. Cit., p. 25.

entre 2.700 y 3.500 m.s.n.m. Constituyen cerca del 90% de los cultivadores y producen alrededor del 45% del total de la papa en el país.

Medianos productores: (Semitecnificados) siembran entre 3 y 10 hectáreas. Constituyen el 7% de los cultivadores y participan con cerca del 35% del total de la producción.

Grandes productores. Siembran más de 10 hectáreas, representan alrededor del 3% de los productores y participan con el 20% de la cosecha de papa en el país. Estos agricultores poseen capacidad financiera y adelantan el proceso productivo en forma tecnificada.

4.5. Factores biofísicos en la producción del cultivo de papa.

La disponibilidad de agua en el suelo, influye directamente en el crecimiento, fotosíntesis y absorción de nutrientes, si existe poca disponibilidad provoca clorosis y marchitamiento, por consiguiente disminución en el rendimiento, un exceso de humedad favorece el desarrollo de enfermedades, un rango óptimo de humedad del suelo es cuando éste se mantiene en un 60 a 80 % de la capacidad de campo, principalmente en la etapa de formación de tubérculos.

Es importante tener en cuenta que una de las características principales del cultivo de la papa en Colombia es la dependencia casi total del régimen de lluvias, lo cual se traduce en una muy definida estacionalidad en su producción, por eso, sólo un pequeño porcentaje de la producción se adelanta bajo condiciones de riego artificial, por lo que, en general, la cosecha depende de los dos períodos de lluvias que se presentan en el año. El primer período de siembras ocurre de marzo a junio, época de cosecha y producción regular, y por consiguiente, la de mayor oferta del producto y menores precios. El segundo período se presenta de septiembre a noviembre, época de mayor distribución y abundancia de lluvias

HERNÁNDEZ (1993)²⁵, describe que el factor agua interviene como constituyente de las células vivas; como elemento indispensable del metabolismo; en el aprovisionamiento de los vegetales en elementos minerales extraídos del suelo; en los intercambios con el medio ambiente por evapotranspiración; sobre el estado sanitario de plantas y animales; sobre la estructura física y bioquímica del suelo y en su estado hídrico. Por ello es indispensable para poder determinar las necesidades de agua de las plantas,

²⁵ HERNANDEZ, NAVARRO, María. La agroclimatología, instrumento de planificación agrícola. En: Geographicalia No. 30: p213-228. 1993. ISBN:0210-8380

los recursos hidrológicos o el número de días disponibles para los trabajos agrícolas.

4.6. Modelo de pronóstico de precios con componente cíclico.

ALVAREZ y MARTÍNEZ 1984, nos ayudan a corroborar lo expresado por Fedepapa con respecto a que el productor agropecuario del campo, no cuenta con la información y los elementos tecnológicos para llegar a ella, y ven como alternativa el mejorar la información sobre los precios de los mercados agrícolas y ganaderos, ofreciendo predicciones sobre los mismos con anticipación, en su estudio, tuvieron en cuenta las características de los mercados agropecuarios. Expresaron que en los mercados agrícolas y ganaderos, concurren productores individuales, no agrupados en ninguna asociación de producción o distribución, y se encuentran que los precios imperantes en el mercado son establecidos unilateralmente por unos pocos compradores, los cuales manejan no solo la red de almacenamiento, sino también información sobre la situación del mercado en la zona y en los mercados donde finalmente se distribuye el producto. En esta situación el productor no suele tener otra alternativa que aceptar el precio que se le ofrece.

Este tipo de mercado es denominada oligopolio de la demanda por la teoría económica, se caracteriza por la existencia de unos pocos compradores con información acerca de la oferta del mercado. La oferta viene caracterizada por la afluencia de muchos vendedores sin peso relativo para imponer sus condiciones en el mercado. En esta situación la posición de los compradores por ser ventajosa en información, disponibilidad de capital, redes de almacenamiento y transporte, les permite presionar a la baja los precios, obteniendo beneficios adicionales a los que accedería un comprador normal en un mercado de competencia perfecta; esto repercute en ineficiencia del mercado y en el caso específico de la papa no solo afecta al productor sino también a las familias en la cual el tubérculo es importante dentro de la canasta familiar.

Por lo tanto ALVAREZ y MARTÍNEZ proponen ofrecer al productor información sobre los precios que dada las condiciones del mercado y las épocas del año, se puedan esperar en un tiempo próximo. Bajo el supuesto que con esta información el productor podría emplearla como referencia para guiar una oferta dispersa formada por muchos productores. Los cuales podrían formular con base a la misma y a sus propias condiciones su estrategia de venta para un futuro a corto plazo, en vez de esperar a ver qué precios se encuentran en la próxima cosecha.

LÓPEZ y GONZÁLEZ 2002, expresaron que los modelos de pronóstico con componente cíclico son poco estudiados, para lo cual propusieron el uso de la programación lineal para la estimación de parámetros en un modelo de pronóstico con componente cíclico basado en series de Fourier.

4.7. Optimización para planificación de la producción.

ROBINSON 1999, resalta la importancia de la modelación científica para mejorar la efectividad de las operaciones, decisiones y gestión; La complejidad de los sistemas productivos agrícolas, radica en que a las múltiples variables como la disponibilidad del capital, especialmente en área o terreno disponible, los paquetes tecnológicos, los rendimientos por variedad y el tiempo, se incorporan variables exógenas que tienen comportamientos aleatorios como por ejemplo los factores biofísicos; Por su parte GLEN 1987²⁶, expresa que la planeación de las fincas se ha hecho más compleja y que normalmente la agricultura se ha visto limitada en investigaciones desde la economía agrícola, y proponen una diversidad de abordajes a los problemas agrícolas desde la investigación de operaciones. A lo largo de esta investigación se ha mencionado la relevancia que tienen las limitantes de producción como las plagas y enfermedades, así como el desgaste del suelo que obligan a la rotación de los cultivos y que no sea posible una producción intensiva, también la precipitación como factor de inicio de los periodos de siembra y otros factores biofísicos que influyen de forma positiva o negativa en el desempeño del sector y afectan de forma directa los resultados de los ejercicios productivos.

RAMOS et al 2010²⁷, expresan que la generación de modelos que permitan predecir y comparar resultados de diversas estrategias son herramientas fundamentales para la toma de decisiones, y así determinar políticas para la aplicación de los recursos disponibles y por ende permitan conseguir la satisfacción óptima de un objetivo específico; Para lo cual se propone la creación de un modelo de optimización que tenga en cuenta las restricciones por variables controlables y no controlables, se realizara la modelación en un horizonte de tiempo de 24 meses, con base en la información de las 82 fincas productoras de papa que han sido objeto de estudio, teniendo en cuenta su disponibilidad de terreno, la tecnología que implementan actualmente, las variedades que se siembran en estas fincas, los rendimientos de cada variedad de acuerdo a los paquetes tecnológicos usados por cada cultivador, se

²⁶ GLEN, JOHN J. - Mathematical Models in Farm Planning: A Survey Operations Research September - October 1987 35:641-666;doi:10.1287 - opre.35.5.641

²⁷ RAMOS, Andrés, et al;. Modelos Matemáticos de Optimización, Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de Organización Industrial, Septiembre 2001, 53 Páginas.

ROBINSON, R., Welcome Operations Research Territory; OR/MS Today, Agosto1999, pp 40-43.

incorporó al modelo los precios generados mediante un modelo de pronóstico con componente cíclico para los veinticuatro meses, los costos de producción de cada variedad, de tal forma que se pueda maximizar la utilidad del conjunto de productores.

5. DISEÑO METODOLOGICO

5.1 Área de Estudio:

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el departamento de Nariño, en el municipio de San Juan de Pasto, en las veredas Campanero, Catambuco, Cruz de Amarillo, Cubijan Alto, Cubijan Bajo, Guadalupe, Gualmatan, San Antonio de Acuyuyo y Alto San Pedro, pertenecientes a los Corregimientos de Catambuco, Gualmatan y La Laguna (Tabla 2), localidades de vocación agrícola en las que el sistema productivo papa es la actividad predominante.

Tabla 2. Localización del área de estudio, San Juan de Pasto.

País	Colombia
Departamento	Nariño
Región	Andina
Ubicación del municipio de pasto	Latitud 1°12'52.48"N
	Longitud 77°16'41.22"O
Temperatura de las fincas	6° a 12° C
Altitud de las fincas	2.800 msnm a 3200 msnm
Superficie	1.181 km ²

Se trabajó con una base a 82 fincas con vocación agropecuaria con énfasis en el sistema productivo papa del municipios de San Juan de Pasto, SAGAN (2006)²⁸; Estableciéndose un total de 82 fincas que cumplieron con las características necesarias para este estudio. Teniendo en cuenta que las fincas no se puede manejar de forma intensiva por su condicionamiento necesario de rotación de cultivos.

En primer lugar se buscó analizar el sistema productivo de la papa en el municipio de Pasto, determinando las variables necesarias para desarrollar planificación de cultivos, diseñando los indicadores de desempeño, para completar el diagnóstico biofísico, socio – económico y agronómico,

²⁸ SAGAN, 2005. Base de datos de agricultores y ganaderos del Municipio de Pasto. 2005

Para lo cual se siguió la metodología planteada por Montagnini et al. (1992)²⁹ y Navia (1999)³⁰, incorporando algunos elementos de la metodología de Martínez (1988)³¹, para la dinámica de sistema y planificación regional.

5.2. Revisión de Fuentes Secundarias

Se evaluó información de fuentes secundarias, Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO, el IDEAM, el Primer Censo Nacional del Cultivo de Papa para el departamento de Nariño 2005, El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR, la Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia y el Servicio de Información Para el Sector Agropecuario SIPSA manejado por la Corporación Colombia Internacional CCI.

Se buscaron identificar factores, socioeconómicos, tecnológicos y biofísicos, que tengan incidencia directa en la toma de decisiones del productor al momento de iniciar el proceso productivo del sistema productivo objeto de esta investigación.

5.3. Definición de las variables de análisis:

Para determinar las características del sistema productivo papa, se tuvo en cuenta variables biofísicas, socioeconómicas y tecnológicas de interés para la investigación:

- a) **Variables biofísicas:** Parámetros ambientales principalmente altura, temperatura, precipitación y otras condiciones biofísicas inherentes a la ubicación de la finca.
- b) **Variables socioeconómicas:** Área total del finca, área de la finca dedicada a cultivar papa, distribución del área de acuerdo a los cultivos, orientación productiva, distribución del área en variedades de papa, disponibilidad y distribución del trabajo, valor de los jornales.
- c) **Variables tecnológicas:** Uso de información para toma de decisiones, manejo del cultivo en cuanto a fertilización, uso de riego, preparación de terreno, curvas a nivel, control de rendimientos, entre otras.

²⁹ MONTAGNINI, F y et al. Sistemas Agroforestales Principios y Aplicaciones en los Trópicos. 1992.622p.

³⁰ NAVIA, Jorge. Sistema experto para la aplicación de metodologías de generación y transferencia de agrotecnología con enfoque integral de producción. Turrialba: CATIE, Costa Rica, Trabajo de grado (Mg. Sc Agroforestería). 1994. 156p.

³¹ MARTÍNEZ, Silvio, Op., cit. p.28.

5.4. Fase de Campo

5.4.1. Encuesta Prueba

Se realizó una encuesta prueba con 5 fincas, con el fin de ajustarla y establecer la funcionalidad de las preguntas para esta investigación, por lo cual se trabajó con la encuesta consistente de 32 preguntas. (Ver Anexo A).

5.4.2. Aplicación del Premuestreo

Se obtuvo la varianza a partir de un tamaño de muestra general de 45 fincas que equivalen al 5% de la población, se realizó un muestreo preliminar sin reemplazo, siendo la unidad de muestreo las unidades productivas, con un máximo error admisible de 1,65, y una confiabilidad del 95%.

5.4.3. Estimación de la muestra

Para determinar el número total de encuestas a realizar, a través del muestreo aleatorio simple, se utilizó la varianza de mayor valor y el número de unidades muestrales, aplicando la fórmula citada por Castillo (2002)³².

$$n \geq \frac{N \times s^2}{N \left[\frac{d}{Z_{1-\alpha/2}} \right]^2 + s^2}$$

Donde:

$n =$ *Tamaño de la muestra para la media*

$N =$ *Total de unidades de muestreo*

$S^2 =$ *Varianza de la muestra*

$d =$ *Máximo error admisible*

$Z_{1-\alpha/2} =$ *Valor de la distribución normal al $1 - \alpha / 2$, con una probabilidad del 95%.*

Se consideraron doce (12) variables más eficientes y concluyentes, se utilizó muestreo aleatorio simple (MAS) para definir cuántas encuestas se deberían

³² CASTILLO, Luis. Elementos de muestreo de poblaciones. México, Universidad Autónoma de Chapingo, 2002. p18-25.

realizar en la zona, estableciéndose un total muestral de 82 fincas a encuestar. (Ver Anexo B).

5.5. Sistematización y análisis de la información

La información se digitalizó, sistematizó y codificó (Cuadro 1 y 2) con la ayuda del paquete ofimático EXCEL(Microsoft Office.®), para posteriormente incorporarse al programa de análisis multivariado SPAD-Win versión 5,6³³, con la ayuda de este paquete se generó un análisis de componentes principales (ACP) para variables cuantitativas y uno para variables cualitativas ACM (análisis de correspondencias múltiples); efectuando la respectiva interpretación para cada una de las variables y su clasificación jerárquica (Clúster)³⁴.

Para este análisis de información se utilizaron estadísticos descriptivos, complementados con análisis de multivariados con el Análisis de Componente Principal, Análisis de Correspondencias múltiples y un análisis de clasificación gráfico (dendrograma).

Cuadro 1. Codificación de las variables cuantitativas

ATF	Área total de la finca
ACP	Área de la finca dedicada a cultivar papa
REND	Rendimiento promedio por hectárea en papa
PVP	Porcentaje vendido cultivo 1
PCF	Porcentaje consumo familiar cultivo 1
PMC	Porcentaje de muro obtenido por cosecha

Cuadro 2. Codificación de las variables cualitativas.

PSP	Principal sistema de producción fuente de ingreso de la familia
1	AGRÍCOLA
2	GANADERA
OP	Orientación productiva
1	AGRÍCOLA
2	GANDERIA
3	AGRÍCOLA Y GANDERIA

³³ BÉCUE, B. Mónica. Manual de introducción a los métodos factoriales y clasificación con SPAD. Departamento Estadística e Investigación Operativa Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España. 68p.

³⁴ LEMA, Alvaro de J. Elementos de Estadística Multivariada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ciencias Forestales. 2001. 340p.

OAP	Otras actividades del productor
1	SI
2	NO
TP	TIPOS DE PAPA
1	SUPREMA, PARDA, CAPIRO, ROJA
2	AMARILLA
3	PARDAS Y AMARILLAS
ESP	Mejor época para sembrar papa
1	SEMESTRE A
2	SEMESTRE B
3	SEMESTRE A Y B
TPT	Tipo de preparación del terreno
1	Manual
2	Animal y manual
3	Mecánico

5.6. Modelo de pronóstico de precios con componente cíclico.

Para el diseño del modelo se tomó en cuenta la metodología planteada por LÓPEZ y GONZÁLEZ en 2002, para la estimación de los parámetros del modelo de pronóstico, quienes concluyeron que la programación lineal es utilizable como técnica de estimación de parámetros para modelos de pronósticos con componente cíclico desarrollados por regresión usando el criterio de la minimización de la suma absoluta del error.

1. Generar el objetivo del modelo
2. Formular una función objetivo
3. Determinar variables de decisión
4. Determinar parámetros
5. Generar una función de pronóstico
6. Desarrollar las restricciones a las cuales está sujeto el modelo.
7. Correr el modelo
8. Interpretación de los datos

Se tomó los resultados del análisis estadístico y la información recolectada de las fuentes secundarias, para identificar el peso que tienen las variables del sistema que se está analizado, de igual forma se trabajo con las series históricas de precios por variedad en la plaza de mercado de Pasto, por ser esta la que indica el precio de referencia para los productores del estudio, teniendo en cuenta que el 94% de las producciones en Nariño comercializan el

producto de forma local, lo cual nos indica que los precios de referencia funcionan para la mayoría de los productores.

Con el fin de determinar un plan de producción, se buscó pronosticar precios mediante este modelo, para que posteriormente estos alimenten el modelo de optimización que se desarrollará mediante investigación de operaciones.

5.7. Optimización

Se planteo mediante investigación de operaciones un modelo matemático que permita tomar la mejor alternativa al combinar, las áreas disponibles por cada agricultor, las variedades empleadas, los paquetes tecnológicos, en un periodo de tiempo, para lo anterior se tomo la secuencia planteada por Ramos 2001³⁵ y Robinson, R (1999)³⁶.

1. Generar un objetivo de las operaciones a investigar.
2. Formulación de la función objetivo.
3. Identificación de los conjuntos referenciales
4. Variables de decisión
5. Parámetros
6. Conjunto de Restricciones
7. Correr el modelo
8. Interpretar los datos
9. Generar políticas de decisión con base en los resultados

SALLES SCARPARI³⁷, Maximiliano (2010), El planeamiento agrícola óptimo es una actividad fundamental en la sostenibilidad económica del negocio porque éste puede incrementar los ingresos a partir de tener bajos costos adicionales de operación, para el caso de optimizar cultivos de caña de azúcar, el lenguaje de programación usado fue General Algebraic Modeling System (GAMS) pues este sistema es visto como una herramienta excelente que permite la obtención de la maximización de la ganancia y la optimización del plan de las fechas de cosecha.

Teniendo en cuenta que resolver un problema de optimización consiste en identificar los valores que deben tomar las variables para hacer optima la función objetivo, se propuso maximizar el valor de la utilidad que pueden obtener un conjunto de productores; Sujetos a: el área disponible para producir, el paquete tecnológico al que pueden acceder para el cultivo de las

³⁵ RAMOS, Andrés, et al;. Modelos Matemáticos de Optimización, Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de Organización Industrial, Septiembre 2001, 53 Páginas.

³⁶ ROBINSON, R., Welcome Operations Research Territory; OR/MS Today, Agosto 1999, pp 40-43.

³⁷ SALLES SCARPARI, Maximiliano, GOMES FERREIRA DE BEAUCLAIR, Edgar, Optimized Agricultural Planning of Sugarcane using Linear Programming, Investigación Operacional, Vol. 31, N° 2, 2010, pages. 126-132

variedades, los niveles de rendimiento por hectárea y por variedad, los precios de venta , costos de producción, con base en un periodo de tiempo de 24 meses, como horizonte para la instalación de cultivos.

ABDEL ASÍS, (2007)³⁸, Expresa que la programación lineal ha tenido un rol importante en las últimas dos décadas, tanto a nivel regional como a nivel nacional, para el desarrollo de las actividades agrícolas y el incremento en la producción, expresa que se pueden usar modelos de programación lineal para 1. La planificación productiva y las actividades comerciales de estos productos, 2. Para determinar la mezcla óptima de producción agrícola y 3. Con un modelo más avanzado de programación lineal puede ser empleado para generar alternativas que sean congruentes para el análisis de los problemas agrícolas en países en desarrollo, que incluye el buscar soluciones óptimas de producción y utilidades incluyendo los costos de producción. Se planea la presentación de un modelo avanzado como este, que permita identificar el plan de producción para las 82 fincas, y que a su vez permita mejorar el desempeño del conjunto de las fincas productoras.

QUINGZHEN y otros en 1991³⁹, avanzaron en la creación de modelos complejos para los problemas agrícolas y pecuarios en la provincia de Chang Qing en China, estos modelos involucran la incorporación de series de tiempo para precios, factores climáticos y una gran cantidad de restricciones, se demostró que con el uso de esta herramienta es posible incrementar los ingresos netos de los sectores agropecuarios desde la perspectiva macroeconómica.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Análisis Cuantitativo

El análisis de la información cuantitativa logro establecer que el promedio general en cuanto al área total de las finca es 7.116 hectáreas, llegando hasta valores de 60 hectáreas, siendo en su mayoría orientadas productivamente a un sistema diversificado, caracterizado como papa-bovinos/leche con un 81,88% de su área total dedicada de forma anual a bovinos de leche y un 18.12% dedicada únicamente al cultivo de la papa.

³⁸ ABDEL ASÍS, El Sayed, (2007), Parametric and Multiobjective Optimisation Applied in Agriculture: The Study of Cropping Pattern in the Ameriya Region in Winter Crops, Department of Engineering Mathematics and Physics, Faculty of Engineering , Cairo University, Revista Investigación Operacional Vol. 28, No.1, 17-24,

³⁹ QINGZHEN, ZHAO, et Al. The Application of Operations Research in the Optimization of Agricultural Production Operations Research March - April 1991 39:194-205; doi:10.1287 - opre.39.2.194

Los rendimientos promedios se mantienen en valores de 7.895.12 kilogramos por hectárea; llegando a toques máximos de 24000 kg/ha; de las cuales un 80% se llevan a comercialización y un 19.756% se mantiene en consumo interno de las familias; y en producto no apto para plaza por su tamaño (muro o richi) se mantiene un promedio de 23.23% los cuales son utilizados tanto para alimentación humana como para alimentación animal.

Quintero *et al*, (2004)⁴⁰ encontró que los costos de producción por hectárea para la papa varían dependiendo de la rotación del cultivo, también influye sí la siembra fue manual o mecanizada y del uso de semilla certificada o tradicional. Los menores costos son de lotes que se siembran con semilla certificada de forma mecanizada, y los mayores costos, son de lotes nuevos donde se siembra manualmente con semilla no certificada.

Lo anterior deja ver claramente, la importancia que tiene para el cultivo de papa la rotación y complementación con otros sistemas productivos, también la importancia de la tecnología implementada en el cultivo.

Igualmente se puede tener en cuenta que la información recolectada tiene el mismo comportamiento encontrado en el primer censo del cultivo de papa para Nariño, MADR – CEVIPAPA (2006)⁴¹, en el caso del destino que le dan los productores a su cosecha en donde el resultado que se obtuvo fue que el 92% de la cosecha se comercializa, que la mayoría es comercializada en la finca y también que el 22% de las áreas son dedicadas al cultivo de la papa, cifras que al compararlas con la información obtenida en este estudio, con el 80% de Porcentaje Vendido de Papa (PVP) y 18% de Área Cultivada en Papa (ACP), permite observar que el comportamiento de los productores del municipio de Pasto es muy similar al comportamiento de los productores del Departamento de Nariño en el censo del año agrícola de 2005.

6.1.1. Análisis de componente principal.

El análisis de componente principal para las seis variables en estudio, encontró que los 3 primeros componentes explican un 80.83% de la varianza acumulada en el sistema (Tabla 3), explicando el primer componente un 43.19% de la variabilidad; un 19.31% por el segundo componente y el tercero el 18.34% de la variabilidad.

Tabla 3. Valores propios y porcentajes acumulados explicados por el componente principal.

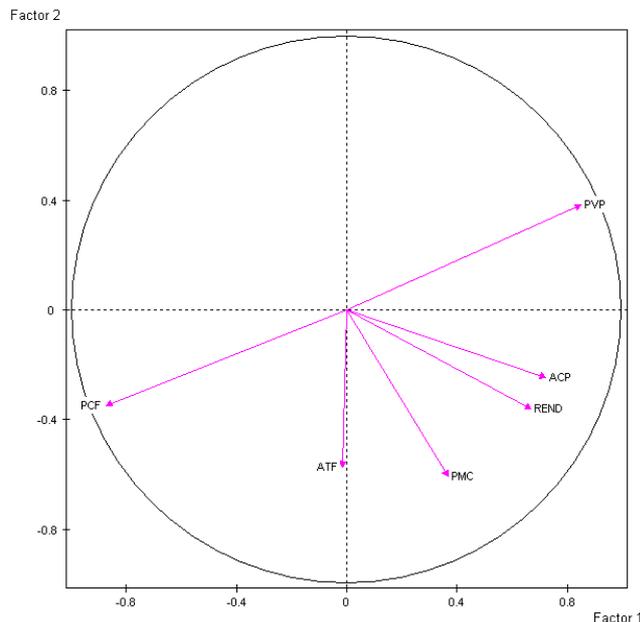
⁴⁰ QUINTERO, Luis Eduardo et. al.. Documento de Trabajo No 40. Observatorio de Agrocadenas IICA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Costos de producción de papa en Colombia. Febrero 2004.

⁴¹ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) -, IICA. Op., cit. p. 26.

Numero	Valor Propio	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
1	2,5911	43,19	43,19
2	1,1586	19,31	62,5
3	1,1002	18,34	80,83
4	0,7673	12,79	93,62
5	0,3483	5,81	99,43
6	0,0345	0,57	100

El grafico vectorial (Grafico 3), muestra que existe un gran acercamiento o relación fuerte entre las variables: Área Cultivada en Papa (ACP) y Rendimiento (REND), explicado con una correlación de 0.64, lo cual indica que a medida aumentan las áreas cultivadas en papa los rendimientos se mejoran. De igual forma sucede con el rendimiento (REND) y el porcentaje vendido de papa (PVP), a medida se incrementan los rendimientos el porcentaje de papa vendido se incrementa explicado con una correlación de 0.29.

Gráfico 3. Grafico vectorial de correlaciones de los dos primeros componentes principales del sistema papa.



En el caso de las correlaciones (Cuadro 3), del Porcentaje de Consumo Familiar (PCF) comparado con las variables área cultivada en papa (ACP), rendimiento (REND) y porcentaje de papa vendida (PVP), en lo cual en los tres casos se presenta una relación negativa, lo cual indica que a medida aumenta el área cultivada en papa, el consumo familiar se reduce, explicado con una

correlación de -0.40; de igual forma sucede con el rendimiento -0.31 y el porcentaje vendido de papa con una correlación de -0.96, esto se debe a que el consumo familiar no aumenta en igual proporción a las áreas cultivadas y los rendimientos mayores, porque el tamaño de la familia no se incrementa en el momento de tomar la decisión de sembrar un área menor o mayor.

Cuadro 3. Correlaciones de las variables cuantitativas del sistema papa, San Juan de Pasto.

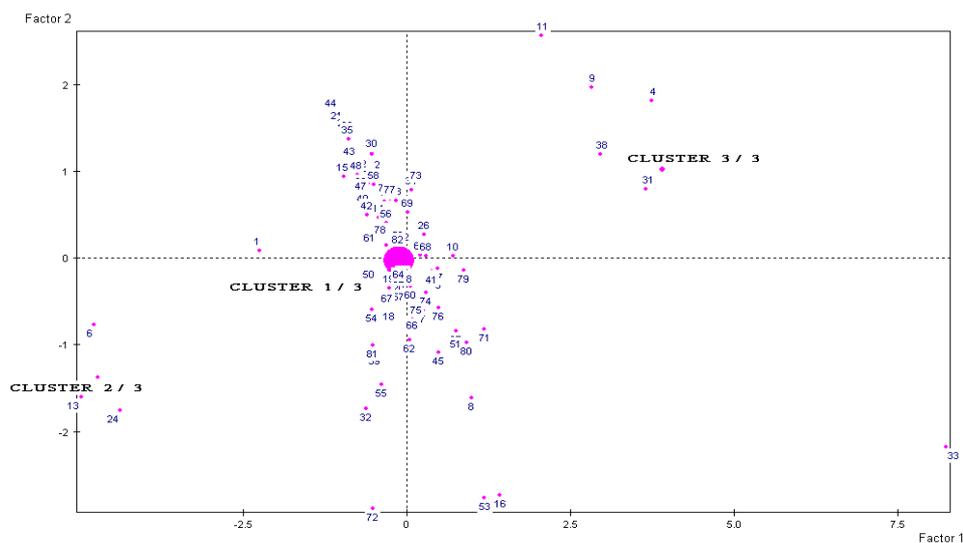
	ATF	ACP	REND	PVP	PCF	PMC
ATF	1					
ACP	-0,03	1				
REND	-0,05	0,64**	1			
PVP	-0,02	0,37**	0,29	1		
PCF	0,02	-0,40**	-0,31**	-0,96**	1	
PMC	0,17	0,17	0,24	0,15	-0,20	1

*Variables significativas (p<0.05) - **Variables significativas (p<0.01))

6.1.2. Análisis de clasificación para datos cuantitativos (Clúster)

Se pudieron establecer a partir de las variables cuantitativas, tres (3) tipologías muy generalizadas en la zona (Grafico 4 y Cuadro 7); la primer tipología o clúster constituida por 73 individuos (89.024% de la población total), en el cual las variables que más aportan (P<0.05) en la conformación de esta tipología son rendimiento (REND) y área cultivada en papa (ACP) con valores promedio de 7652.060 kg/ha. y 1.15 has, respectivamente. Las variables que presentan un menor aporte son el área total (ATF) (7.65 has en promedio), el porcentaje de consumo familiar (PCF) (20.137%) y el porcentaje del papa vendida (PVP) del 79.589% (Cuadro 4).

Gráfico 4. Agrupación de las fincas en el plano factorial a partir del clúster generado.



A pesar de presentar las áreas mayores no presenta los mayores rendimientos, esto posiblemente se deba a que no tienen un uso adecuado de los factores tecnológicos.

La segunda tipología presentada en la zona (Gráfico 5 y Cuadro 7), constituida por tres (3) fincas (3.65% del total de las fincas encuestadas), el cual se caracteriza principalmente por las variables porcentaje de consumo familiar (PCF) de 50%, porcentaje de muro en la cosecha PMC de 16.667% y porcentaje vendido de papa (PVP) de 50%; las variables que presentan un menor aporte son: aérea total de la finca (ATF) de 3 has, de las cuales el 14.43% son dedicadas al cultivo de papa (ACP) (0.433 has) y rendimientos promedios de papa (REND) de 6600 kg/ha (Cuadro 5). En general estas fincas se caracterizan por manejar sistemas de producción dedicados al consumo familiar, por tanto su manejo no es tecnificado y no representa una gran inversión en su consecución.

La tercera tipología representada por 6 fincas (Gráfico 5 y Cuadro 7) correspondientes al 7.31% del total de fincas encuestadas), caracterizadas por presentar áreas dedicadas al cultivo de la papa ACP de 3.383, no presentar un consumo interno (PCF), dedicar su producción a la venta (PVP) 100%, y manejar rendimientos en papa (REND) de 11.500 kg/ha. Las áreas totales no presentan valores representativos a la conformación del clúster (2.667 has) al igual que el porcentaje de muro obtenido en la cosecha (PMC) 24,167% (Cuadro 6). En general estas fincas se caracterizan por manejar sistemas de producción dedicados especialmente al cultivo de papa tecnificada y semitecnificada, lo cual incide directamente en los altos rendimientos.

Cuadro 4. Variables que presentan mayor influencia para la conformación del grupo o clúster 1.

Variables Características	Promedio del Clúster	Promedio General	Desv. T Clúster	Desv. T General	Probabilidad
ATF	7,651	7,116	10,829	10,35	0,093
PCF	20,137	19,756	1,162	7,96	0,11
PMC	23,425	23,232	5,606	5,758	0,195
PVP	79,589	80	2,585	8,264	0,101
REND	7652,06	7895,12	2270,73	2875,16	0,015*
ACP	1,152	1,289	0,757	1,302	0,004**

*Variables significativas ($p < 0.05$) - **Variables significativas ($p < 0.01$)

Cuadro 5. Variables que presentan mayor influencia para la conformación del grupo o clúster 2.

Variables Características	Promedio del Clúster	Promedio General	Desv. T Clúster	Desv. T General	Probabilidad
PCF	50	19,756	0	7,96	0,000**
ATF	3	7,116	2,828	10,35	0,243
REND	6600	7895,12	1697,06	2875,16	0,215
ACP	0,433	1,289	0,094	1,302	0,125
PMC	16,667	23,232	4,714	5,758	0,023*
PVP	50	80	0	8,264	0,000**

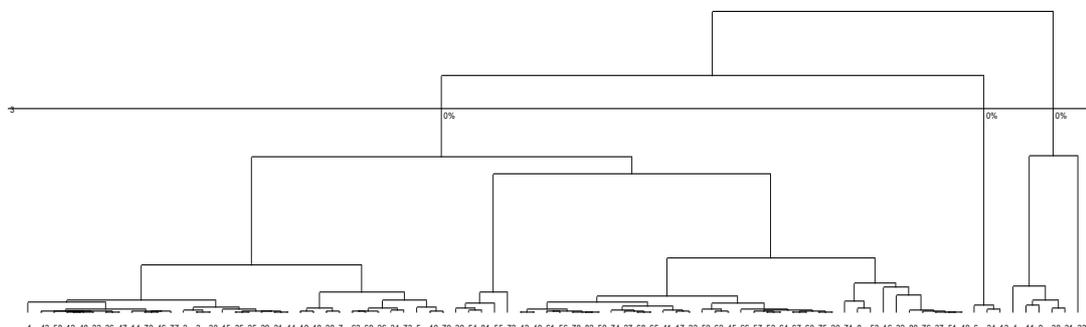
*Variables significativas ($p < 0.05$) - **Variables significativas ($p < 0.01$)

Cuadro 6. Variables que presentan mayor influencia para la conformación del grupo o clúster 3.

Variables Características	Promedio del Clúster	Promedio General	Desv. T Clúster	Desv. T General	Probabilidad
PVP	100	80	0	8,264	0,000**
ACP	3,383	1,289	3,347	1,302	0,000**
REND	11500	7895,12	5852,35	2875,16	0,001*
PMC	24,167	23,232	6,067	5,758	0,341
ATF	2,667	7,116	1,247	10,35	0,139
PCF	0	19,756	0	7,96	0,000**

*Variables significativas ($p < 0.05$) - **Variables significativas ($p < 0.01$)

Gráfico 5. Dendrograma y agrupación de las fincas encuestadas del sistema productivo de papa.



Cuadro 7. Clasificación de las fincas según el clúster de conformación.

No. CLUSTER	FINCA															
CLUSTER 1 (89.024%)	1	2	3	5	7	8	10	12	14	15	16	17	18	19	20	
	21	22	23	25	26	27	28	29	30	32	34	35	36	37	39	
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82			
CLUSTER 2 (3.65%)	6	12	24													
CLUSTER 3 (7.31%)	4	9	11	31	33	38										

6.2. Análisis Cualitativo

Para el análisis cualitativo, se tuvieron en cuenta aspectos socioeconómicos y tecnológicos, se codificaron y caracterizaron las variables para poder procesar la información (Cuadro 2).

En cuanto a las características cualitativas se pudo establecer que en la zona el 81.71% tienen como principal sistema de producción y de ingresos un sistema agropecuario y un 18.29% exclusivamente agrícola, además complementan en un 79.26% los sistemas productivos diversificados con especies menores y un 20.73 no tienen incluyen otras actividades al sistema. En cuanto a la producción de papa el 71.95% cultiva Papas Guatas (Parda Pastusa, Pastusa Suprema, Roja Nariño, Roja Huila y Capiro), un 10.97% cultiva papa amarilla únicamente, y 17.07% cultiva papa amarilla y papas guatas. Cultivando 6.09% de fincas únicamente en el segundo semestre del

año y en los dos semestres 93.90%, no se encontraron fincas que cultivaran únicamente en el segundo semestre del año (Tabla 4); lo anterior permite corroborar que el sistema productivo esta ligado al régimen de lluvias y son muy similares con las cifras encontradas en el primer censo del cultivo de la papa en Nariño. MADR - CEVIPAPA (2006)⁴², encontraron que el 14,28% de las fincas no disponen de una fuente de agua y solo el 3,33% de las fincas disponen de la infraestructura y de los permisos que se requieren para el montaje de sistemas de riego. La preparación más utilizada es la manual con un 81.70%, preparación con yunta y manual (semitecnificada) 8.2% y 6.09% con preparación mecánica, cifra que es muy similar a los datos encontrados en el estudio elaborado por MADR en 2006, sobre la cadena de la papa, en el cual se encontró que hay en el país cerca del 90% de los productores utilizan tecnologías simples para el manejo del cultivo en cuanto a preparación de suelos, lo que influye directamente sobre los costos de producción y más aún sobre los rendimientos.

El estudio también permitió encontrar similitudes con el I Censo del Cultivo de Papa, en cuanto a las preferencias de variedades a sembrar por los productores MADR – CEVIPAPA (2006)⁴³, se encontró que el 65% sembrado son papas de consumo directo como la variedad parda pastusa, el 29% son para variedades de uso industrial como la variedad Capiro y solo el 6% se especializan en Papa Criolla, este estudio encontró que el 11% siembra Papa Criolla o Amarilla, el 17% Papas Criollas y Guatas como Capiro y Parda y el 72% Papas Pardas.

Tabla 4. Tabla de frecuencias de las variables cualitativas

VARIABLE	CATEGORÍA	No. FINCAS	%
SISTEMA DE PRODUCCIÓN (FUENTE DE INGRESO)	AGRÍCOLA	15	18,29
	GANADERA	67	87.21
ORIENTACIÓN PRODUCTIVA	AGRÍCOLA	13	15.85
	AGRÍCOLA Y GANADERÍA	69	84.15
OTRAS ACTIVIDADES DEL PRODUCTOR	SI	65	79,27
	NO	17	20,73

⁴² MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) -, IICA. Op., cit. p. 33.

⁴³ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) -, IICA. Op., cit. p. 41.

TIPOS DE PAPA	SUPREMA, PARDA, CAPIRO, ROJA (PARDAS)	59	71,95
	AMARILLA	9	10,98
	PARDAS Y AMARILLAS	14	17,07
MEJOR ÉPOCA PARA SEMBRAR PAPA	SEMESTRE B	5	6,1
	SEMESTRE A Y B	77	93,9
TIPO DE PREPARACIÓN DEL TERRENO	MANUAL	67	81,71
	ANIMAL Y MANUAL	10	12,2
	MECÁNICO	5	6,1

6.2.1. Análisis de correspondencias múltiples (ACM)

El análisis de correspondencias múltiples ACM (Tabla 5), muestra que los tres primeros componentes explican el 62.42% de la inercia total, el primer componente explicando el 34%, el segundo el 14.86% y el tercero de 13.56%

Tabla 5. Tabla de valores propios para las variables cualitativas en el Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM)

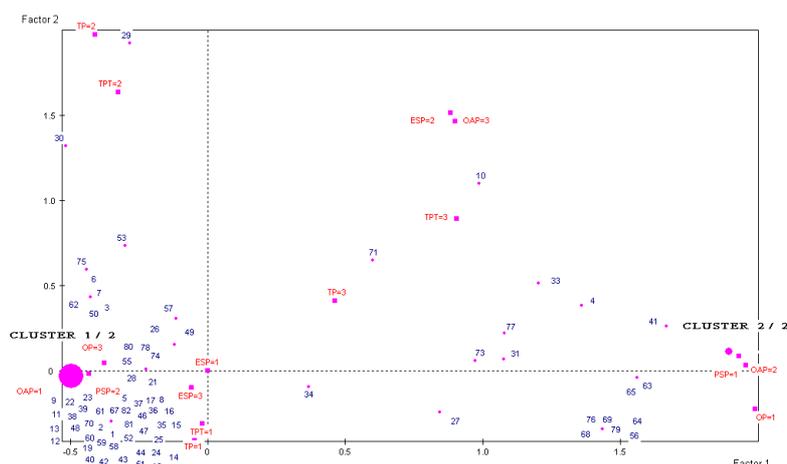
No.	Valor Propio	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
1	0,4534	34	34
2	0,1981	14,86	48,86
3	0,1808	13,56	62,42
4	0,1643	12,32	74,74
5	0,147	11,02	85,76
6	0,1277	9,58	95,34
7	0,055	4,12	99,46
8	0,0072	0,54	100

6.2.2. Análisis de clasificación para datos cualitativos (Clúster)

El análisis por clúster, estableció la existencia de 2 tipologías (Gráfico 6 y 7), la primera tipología caracterizada por presentar como principal sistema de producción fuente de ingreso de la familia (PSP) al sistema agropecuario con 81.71% y un 18.29% agrícola, teniendo dentro de estos sistemas un 79.27% de las fincas con otras actividades productivas y como época de siembra al semestre A (Cuadro 7).

La segunda tipología caracterizada por presentar caracterizada por presentar como orientación productiva al sistema agrícola (OP) (70.59%), y como principal sistema de ingresos familiar (OAP) al sistema agrícola (94.12%) y como semestre de cultivo al semestre A principalmente (Cuadro 8).

Gráfico 6. Agrupación de las fincas en el plano factorial para características cualitativas partir del clúster generado.



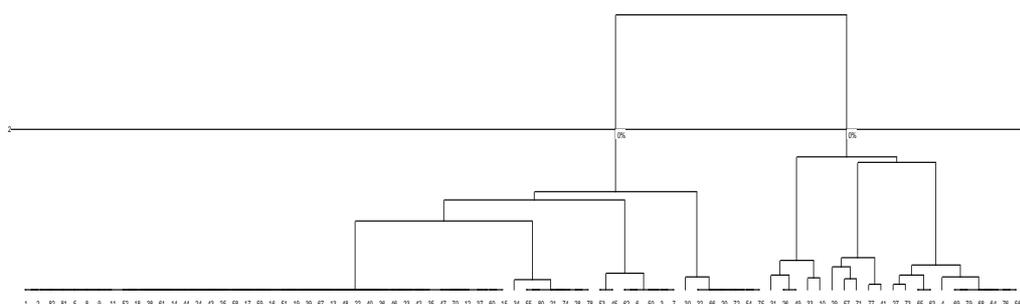
Cuadro 8. Variables que presentan mayor influencia para la conformación del grupo o clúster 1.

VARIABLE	CATEGORÍAS CARACTERÍSTICAS	% CATEGORÍA GRUPO	% CATEGORÍA CONJUNTO	% GRUPO CATEGORÍA	PROB.
OAP	OAP=1 (SI)	100	79,27	100	0,000**
PSP	PSP=2 (Ganadería)	100	81,71	97,01	0,000**
OP	OP=3 (Agrícola y ganadero)	98,46	84,15	92,75	0,000**
OP	OP=1 (Agrícola)	1,54	15,85	7,69	0,000**
PSP	PSP=1 (Agrícola)	0,00	18,29	0,00	0,000**
OAP	OAP=2 (NO)	0,00	19,51	0,00	0,000**
ESP	ESP=1 (Semestre A)	0,00	0,00	0,00	0,000**
OP	OP=2 (Ganadero)	0,00	0,00	0,00	0,000**

Cuadro 9 Variables que presentan mayor influencia para la conformación del grupo o clúster 2.

VARIABLE	CATEGORÍAS CARACTERÍSTICAS	% CATEGORÍA A GRUPO	% CATEGORÍA CONJUNTO	% GRUPO CATEGORÍA	PROB
OAP	OAP=2 (No)	94,12	19,51	100	0,000
PSP	PSP=1 (Agrícola)	88,24	18,29	100	0,000
OP	OP=1 (Agrícola)	70,59	15,85	92,31	0,000
OP	OP=3 (Ganadero y Agrícola)	29,41	84,15	7,25	0,000
PSP	PSP=2 (Ganadero)	11,76	81,71	2,99	0,000
OAP	OAP=1 (SI)	0	79,27	0	0,000
ESP	ESP=1 (Semestre A)	0,00	0,00	0,00	0,000
OP	OP=2 (Ganadero)	0,00	0,00	0,00	0,000

Gráfico 7: Dendrograma distribución de fincas con relación a variables cualitativas



6.3. Modelo de pronóstico de precios con componente cíclico.

6.3.1 Objetivo del modelo de pronóstico de precios

Determinar los coeficientes paramétricos de una función de pronósticos que contempla ciclicidad, tendencia y estacionalidad, con el objeto de generar los precios futuros de 3 variedades de papa.

6.3.2 Conjunto de referencia modelo pronóstico

- t Índice que identifica la observación del precio en el periodo 1 al 72, $t=1,2,\dots, M$
- j Índice que identifica los coeficientes del polinomio desde 0 hasta 5, a, b,c,d,f,g .

6.3.3 Variables de Decisión modelo pronóstico

D_t = Desviación de la observación t con respecto al valor estimado para ese periodo, donde $t = 1, 2, \dots, n$

$e_t^{(+)}$ = Desviación positiva de la observación t , donde $t = 1, 2, \dots, n$

$e_t^{(-)}$ = Desviación negativa de la observación t , donde $t = 1, 2, \dots, n$

a, b, c, d, f, g : Parámetros de la función de la regresión.

6.3.4 Parámetros modelo pronóstico

P_1, P_2 : Periodo de Ciclicidad

t = índice que identifica el número de la observación donde $t = 1, 2, \dots, n$

Y_t = Valor Real de la variable dependiente en la observación t , donde $t = 1, 2, \dots, n$

6.3.5 Función de Pronóstico

$$\hat{Y}_t = a + bt + (c + dt) \sin \left[\frac{2\pi t}{P_1} \right] + (f + gt) \cos \left[\frac{2\pi t}{P_2} \right]$$

Donde:

\hat{Y}_t = Valor estimado de la observación t , donde $t = 1, 2, \dots, n$

$(a + bt)$: Componente de tendencia

$\left[(c + dt) \sin \left[\frac{2\pi t}{P_1} \right] \right]$ = Componente de ciclicidad

$\left[(f + gt) \cos \left[\frac{2\pi t}{P_2} \right] \right]$ = Componente de estacionalidad

6.3.6 Función Objetivo

$$\text{Min } F = \sum_{t=1}^n |D_t|$$

6.3.7 Restricciones

Sujeto a:

$$a, b, c, d, f, g, D_t \in \mathbb{R}. \quad t = 1, 2, \dots, n$$

6.3.8 Transformación del modelo

Para poder resolver el problema dado que la función objetivo es no lineal, entonces se sustituyen las variables de decisión "D", por la suma de dos variables positivas $e_t^{(+)}$ y $e_t^{(-)}$, para cada $t = 1, 2, \dots, n$ de tal manera que de cada par de variables, una sola variable asuma valor donde una represente una desviación por encima y la otra una desviación por debajo del valor estimado con respecto al valor real) basado en la relación $e_t^{(+)}$. $e_t = 0$ para cada $t = 1, 2, \dots, n$ de tal manera que el modelo transformado sea

$$\text{Min } F = \sum_{t=1}^n (e_t^{(+)} + e_t^{(-)})$$

Sujeto a:

$$e_t^{(+)} + e_t^{(-)} + a + bt + (c + dt) \sin \left[\frac{2\pi t}{P_1} \right] + (f + gt) \cos \left[\frac{2\pi t}{P_2} \right] = Y, \text{ para cada } t \\ = 1, 2, \dots, n$$

a, b, c, d, f, g: no restringidas

En cuanto a la información recolectada el sistema contará con series de precios de los años 2004 a 2010 tomados del Sistema de Información Agropecuaria SIA, para la simulación del sistema se tomó también los costos de producción de tres variedades, Pastusa Suprema/Parda, Capiro y Criolla, con el fin de evaluar las tres variedades más importantes que se producen en la región con base en la información de la Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET⁴⁴ Colombia, la estructura de costos se trabajó con los costos del primer semestre del 2010.

6.3.9 Materiales y Métodos

Para el desarrollo del modelo se empleó el programa GAMS; por sus siglas en inglés: Sistema de Modelado Algebraico General versión 23.5.2, el cual es un

⁴⁴ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia . Disponible desde internet en versión html: <http://www.agronet.gov.co> , ultima visita abril 2010

paquete que permite generar modelados de alto nivel para programación matemática y optimización. Se trata de un compilador de lenguaje y un paquete de solucionadores de alto rendimiento. En este GAMS se adapta al sistema complejo y al paquete de restricciones y permitió construir un modelo que pueden adaptarse rápidamente a nuevas situaciones; La gran ventaja de este modelo es que puede actualizar información relacionada a precios, rendimientos, nuevas variedades o un número mayor o menor de productores.

Con base en el modelo matemático y cada uno de los conjuntos, parámetros, variables de decisión, etc., se generó el lenguaje en GAMS que permita correr el modelo.

El modelo buscó maximizar la Función Objetivo F, usando el solucionador CPLEX de GAMS, con esto se pretendió combinar las capacidades de alto nivel para modelar de GAMS, con el poder de optimización de CPLEX que están diseñados para resolver problemas grandes y difíciles de forma rápida, se empleó Programación Entera Mixta o MIP, teniendo en cuenta que el modelo combina variables enteras y binarias.⁴⁵

6.3.10. Resultados y Discusión

Con base en las series de tiempo se estimaron los parámetros para generar modelos de pronóstico con componente cíclico para tres variedades de papa como son capiro, criolla y parda suprema, con el objeto de obtener modelos de pronóstico de precios, que permitan ofrecer a los productores información de precios futuros e incorporarlos en un modelo de optimización para planificación productiva.

6.3.10.1. Pronóstico de precios Suprema

En el caso de la variedad Parda Suprema, se obtuvieron los siguientes parámetros con un ciclicidad de 30 meses, con un periodo de datos de 48 meses, debido a que periodos más largos no son recomendables para el análisis de series de precios, ya que como lo expresan Alvarez y Martínez 1984, los precios de productos agrícolas tienen cambios estacionales bruscos, lo que hace que en periodos largos sea más complejo predecir para varios periodos próximos futuros.

Cuadro 10 Parámetros modelo de pronóstico con componente cíclico, mediante programación lineal.

⁴⁵ CASTILLO, Enrique. et al., Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia. Ciudad Real, España. 2002. 574p.

Ciclo 30 meses	
a	530.881
b	-5.731
c	-272.661
d	5.453
f	40.165
g	-1.612

Con estos parámetros se obtuvieron precios para un periodo de 24 meses, que nos permite tener precios próximos para 4 periodos de siembra de papa aproximadamente, teniendo en cuenta las condiciones de la finca, altura, temperatura, ciclo de lluvias, humedad, etc.

Cuadro 11 Precios generados por el modelo de pronóstico con componente cíclico para la variedad de papa suprema para 24 meses.

Periodo/Mes	Precio Suprema
1	412
2	300
3	234
4	246
5	300
6	330
7	272
8	244
9	241
10	273
11	321
12	361
13	384
14	401
15	429
16	471
17	513
18	541
19	552
20	554

21	555
22	554
23	547
24	530

6.3.10.2. Pronóstico de precios Capiro

En el caso de la variedad capiro, se obtuvieron los siguientes parámetros con una ciclicidad de 30 meses.

Cuadro 12 Parámetros modelo de pronóstico con componente cíclico, mediante programación lineal.

Ciclo 30 meses	
a	606.16
b	-8.264
c	-259.993
d	5.230
f	-109.292
g	2.857

Con estos parámetros se obtuvieron precios para un periodo de 24 meses, que nos permite tener precios próximos para 4 periodos de siembra de papa teniendo en cuenta las condiciones de la finca.

Cuadro 13 Precios generados por el modelo de pronóstico con componente cíclico para la variedad de papa capiro para 24 meses.

Periodo/Mes	Precio Capiro
1	492
2	540
3	538
4	444
5	315
6	247
7	282
8	366
9	413
10	384
11	326
12	316

13	385
14	486
15	549
16	542
17	505
18	497
19	541
20	602
21	625
22	592
23	533
24	495

6.3.10.3. Pronóstico de precios Criolla

En el caso de la variedad criolla, se obtuvieron los siguientes parámetros con una ciclicidad de 30 meses.

Cuadro 14 Parámetros modelo de pronóstico con componente cíclico, mediante programación lineal.

Ciclo 30 Meses	
a	3.499
b	-41.146
c	-2.779
d	-36.582
f	0.619
g	295.864

Con estos parámetros se obtuvieron precios para un periodo de 24 meses, que nos permite tener precios próximos para 6 periodos de siembra de papa criolla aproximadamente, dependiendo de la variedad y la ubicación geográfica de la finca.

Cuadro 15 Precios generados por el modelo de pronóstico con componente cíclico para la variedad de papa criolla para 24 meses.

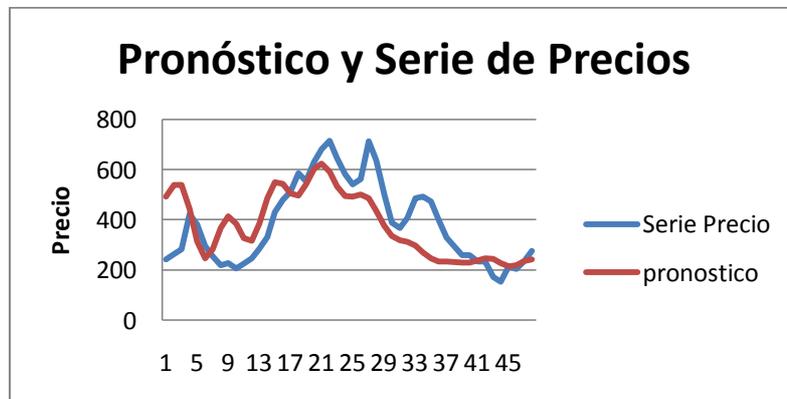
Periodo / Mes	Precios Papa Criolla
1	272
2	302
3	312

4	288
5	249
6	229
7	244
8	277
9	295
10	286
11	266
12	265
13	296
14	342
15	376
16	383
17	378
18	387
19	420
20	462
21	488
22	486
23	470
24	461

6.3.11 Validación de los datos obtenidos

Con el ánimo de validar los datos obtenidos, se reemplazaron en la función de pronóstico los parámetros obtenidos y se pronosticaron precios para las tres variables, se puede observar que los datos mantienen las tendencias, como se puede ver en el gráfico 8

Gráfico 8: tendencia de las series de precios con relación al pronóstico



Igualmente se puede observar que la función elegida ajusta a las proyecciones simuladas.

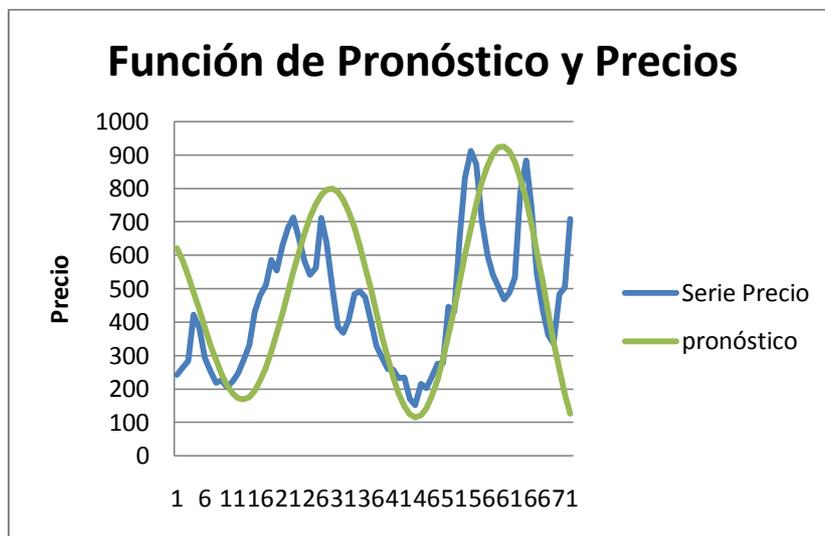


Gráfico 9: Función de pronóstico

Y por lo tanto se puede concluir que el modelo con base en la información obtenida, puede ser empleado como una herramienta para pronóstico de precios, teniendo en cuenta que es recomendable emplea ciclos cortos

6.4. Proceso de optimización en la producción del sistema productivo de papa.

6.4.1. Objetivo de la optimización.

Determinar un plan de producción integral para las fincas de un clúster de productores en el municipio de Pasto, con el propósito de maximizar la utilidad⁴⁶.

6.4.2 Conjuntos referenciales

- i = Índice que identifica a cada cultivador del clúster del 1 al 82, $i= 1,2, \dots, M$
- j = Índice que identifica las variedades de papa, Suprema, Capiro, Criolla, $j= 1,2, \dots, J$
- k = Índice que identifica los paquete tecnológicos, Tradicional, Semitecnificado y Tecnificado, $k= 1,2,\dots K$
- t = Índice que identifica el periodo de tiempo del cultivo, $t=1,2, \dots T$

6.4.3. Variables de Decisión:

X_{ijkt} = Cantidad de hectáreas a sembrar de papa variedad " j ", en el cultivo tipo " i ", con el paquete tecnológico tipo " k ", en el periodo " t "; $i=1,2,\dots M$, $j=1,2,\dots J$, $k=1,2,\dots K$, $t=1,2,\dots T$

Y_{it} = Variable que indica la diferencia en hectáreas entre las hectáreas sembradas en un periodo y otro, un semestre después lo cual puede ser positivo o negativo.

$$Y_{it} \in R; \text{ para cada } i = 1,2, \dots M; t = 1,2, \dots T$$

Entonces: es necesario expresarla como la diferencia de dos variables positivas.

$$Y_{it} = Y_{it}^{(+)} - Y_{it}^{(-)}; \text{ Para cada } i = 1, 2 \dots M; t = 1, 2, \dots T$$

$$Y_{it}^{(+)}, Y_{it}^{(-)} \geq 0; \text{ Para cada } i; \text{ Para cada } t$$

$Y_{it}^{(+)}$: Variable que indica si se siembra más en el periodo del segundo semestre que en el primero.

$Y_{it}^{(-)}$: Variable que indica si se siembra más en el periodo del primer semestre que en el periodo del segundo.

⁴⁶ MEGGIDO, N. "Pathway to the Optimal Set in Linear Programming," in Progress in Mathematical Programming: Interior Point and Related Methods, Springer Verlag, New York, 1989, p131–158.

6.4.4. Parámetros:

P_{jt} = Precio de venta de la variedad de papa "j" en el periodo "t"; Para cada $i=1,2,\dots,M$, $t=1,2,\dots,T$;

R_{jkt} = Rendimiento por hectárea de la variedad "j", con el paquete tecnológico "k", en el periodo "t"; Para cada $j=1,2,\dots,J$, $k=1,2,\dots,K$, $t=1,2,\dots,T$;

C_{jkt} = Costo de producción por hectárea si se siembra la variedad "j", con el paquete tecnológico "k", en el periodo de tiempo "t"; Para cada $j=1,2,\dots,J$, $k=1,2,\dots,K$, $t=1,2,\dots,T$;

a_{ik} = Matriz binaria que indica si el cultivador "i" puede acceder al paquete tecnológico "k";

$TdInicial_i$ = Matriz que indica el terreno disponible por cada cultivador "i" al iniciar. Para cada $i=1,2,\dots,M$;

6.4.5. Función Objetivo

Maximizar F

$$Max F = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M P_{jt} * R_{jkt} * X_{ijkt} - \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M C_{jkt} * X_{ijkt}$$

6.4.6. Restricciones:

Sujeto a:

R.1.1. Restricción de disponibilidad de terreno, para la cantidad de área a sembrar, esta no puede ser mayor al terreno que cada cultivador tiene disponible para el cultivo de papa.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijkt} \leq Td_{it}; \quad i = 1,2 \dots M; t = 1,2 \dots T$$

R.1.2. Restricción de disponibilidad inicial, tomando el terreno disponible de cada agricultor, el terreno inicial en el momento 1 es el disponible para cada cultivador, se toma el parámetro de terreno disponible.

$$Td_{1=1} = TdInicial_i$$

Restricciones de disponibilidad de siembra

R.2. Restricción para los primeros seis meses

$$Td_{it} = Td_{it-1} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t-1} ; \text{ Para cada } i = 1,2 \dots M; t = 1,2 \dots 6$$

R.3. Restricciones para el segundo semestre

$$Td_{it} = Td_{it-1} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t-1} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t-6} ; \text{ Para cada } i = 1,2 \dots M; t = 7,8 \dots 12$$

$$Y_{it}^{(+)} - Y_{it}^{(-)} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t-6} ;$$

Para Cada $i = 1,2 \dots M ; t = 6,7, \dots 12$

R.4. Restricciones para el tercer semestre

$$Td_{it} = Td_{it-1} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t-1} + Y_{it-6}^{(+)} ; \text{ Para cada } i = 1,2, \dots M; t = 12,13, \dots 18$$

R.5. Restricción de terreno disponible en cuarto semestre.

$$Td_{it} = Td_{it-1} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t-1} \text{ Para cada } i = 1,2, \dots M; t \geq 18$$

El terreno disponible es igual al terreno disponible más el excedente del periodo anterior.

$$Y_{it}^{(+)} - Y_{it}^{(-)} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk,t-6} ; \text{ Para cada } i = 1,2, \dots M; t = 7,8 \dots 12$$

$$Y_{it}^{(+)} \leq M * z_{it} ; \text{ Para cada } i = 1,2, \dots M; t = 7,8 \dots 12$$

$$Y_{it}^{(-)} \leq M * 1 - z_{it}; \text{ Para cada } i = 1,2, \dots M; t = 7,8 \dots 12$$

Restricción de Factibilidad

R.6. Restricción tecnológica de cada cultivador, la factibilidad con la que el área total se puede dar, teniendo en cuenta que cada cultivador cuenta con un paquete tecnológico “k”, que le permite producir cada variedad “j”

$$X_{ijkt} \leq a_{ik} * M; \text{ Para cada } i = 1,2, \dots M; j = 1,2, \dots J; k = 1,2, \dots K; t = 1,2, \dots T$$

Restricciones de variación de la producción

R.7.1. Restricción de variación de producción más diez por ciento

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijkt} \leq 1,1 * \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijkt-1}$$

R.7.2. Restricción de variación de producción menos diez por ciento

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijkt} \geq 0,9 * \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijkt-1}$$

6.4.7. Materiales y Métodos

Para el desarrollo del modelo se empleó el programa GAMS; por sus siglas en inglés: Sistema de Modelado Algebraico General versión 23.5.2, el cual es un paquete que permite generar modelados de alto nivel para programación matemática y optimización. Se trata de un compilador de lenguaje y un paquete de solucionadores de alto rendimiento. En este GAMS se adapta al sistema complejo y al paquete de restricciones y permitió construir un modelo que pueden adaptarse rápidamente a nuevas situaciones; La gran ventaja de este modelo es que puede actualizar información relacionada a precios, rendimientos, nuevas variedades o un número mayor o menor de productores.

Con base en el modelo matemático y cada uno de los conjuntos, parámetros, variables de decisión, etc., se genero el lenguaje en GAMS que permita correr el modelo.

El modelo buscó maximizar la Función Objetivo F, usando el solucionador CPLEX de GAMS, con esto se pretendió combinar las capacidades de alto nivel para modelar de GAMS, con el poder de optimización de CPLEX que están diseñados para resolver problemas grandes y difíciles de forma rápida,

se empleo Programación Entera Mixta o MIP, teniendo en cuenta que el modelo combina variables enteras y binarias.⁴⁷

6.4.8. Resultados y Discusión

6.4.8.1. Utilidad

Al maximizar la Función Objetivo de la utilidad, se encontró que la mejor solución posible que arroja el modelo, teniendo en cuenta los precios pronosticados mediante simulación, los rendimientos de cada variedad, los costos de producción por hectárea de acuerdo al paquete tecnológico empleado y los terrenos disponibles, se pueden obtener una utilidad total para 82 cultivadores en un total de 105 hectáreas de terreno disponible en 24 meses es \$ 1.654.223.573 como se puede observar en el Anexo H, esto quiere decir que una hectárea de terreno generaría una utilidad de \$ 15.754.510 pesos en los próximos 24 meses, teniendo en cuenta las diferentes variedades y paquetes tecnológicos, esto quiere decir que un agricultor que acceda a información de precios y emplee planificación de cultivos podría en promedio obtener de utilidades, luego de cubrir sus costos de producción \$ 656.437 pesos mensuales, lo que equivale a 1.3 SMMLV.

```

SOLVE SUMMARY

MODEL PAPA          OBJECTIVE F
TYPE MIP            DIRECTION MAXIMIZE
SOLVER CPLEX        FROM LINE 285

**** SOLVER STATUS  1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS  1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE 1654223576.7811

RESOURCE USAGE, LIMIT    0.561    1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT  5317     10000

GAMS/Cplex WIN.CP.CP 22.4 033.036.041.VIS For Cplex 10.1
Cplex 10.1.1, GAMS Link 33
Cplex licensed for 1 use of lp, qp, mip and barrier, with 4 parallel threads.

Proven optimal solution.

MIP Solution: 1654223573.451016 (2479 iterations, 0 nodes)
Final Solve: 1654223576.781073 (2838 iterations)

Best possible: 1654223573.451016
Absolute gap:    0.000000
Relative gap:    0.000000

```

Gráfico 9: Sumario de solución del modelo papa, maximización de la utilidad.

⁴⁷ CASTILLO, Enrique. et al., Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia. Ciudad Real, España. 2002. 574p.

---- 286 VARIABLE X.L Cantidad de hectáreas a sembrar de papa tipo "j" en cultivo tipo "i" con el paquete tecnológico tipo "k" en el periodo "t"

INDEX 1 = 1				
	1	2	3	4
Suprema.Tradicional	0.107			
Criolla.Tradicional		0.096	0.086	0.078
+	5	6	7	8
Suprema.Tradicional	0.07	0.063	0.065	
Criolla.Tradicional				0.071
+	9	10	11	12
Suprema.Tradicional			0.095	0.104
Criolla.Tradicional	0.078	0.086		
+	13	14	15	16
Suprema.Tradicional	0.115	0.126	0.139	0.153
+	17	18	19	20
Suprema.Tradicional	0.168	0.185	0.203	0.224
+	21	22	23	24
Suprema.Tradicional	0.246	0.271	0.298	0.328

Gráfico 10: Sumario de solución del modelo papa, maximización de la utilidad.

6.4.8.2. Planificación de la producción

Para desarrollar el plan de producción se propuso un agrupamiento de los datos de acuerdo a la concentración de cultivadores por la variable Td = Terreno Disponible y los paquetes tecnológicos de esta forma se conformaron tres grupos y se cruzó la información de acuerdo a la cantidad de área disponible, y con esta información se realizó un plan de producción por grupos representativos, mostraremos los resultados del plan para 66 cultivadores con terrenos disponibles de 0,5 has., 1 ha., y 2 has., equivalentes al 80% del total.

Cultivador	Terreno Disponible	Plan de Producción
1, 2, 6, 9, 10, 12, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 35, 36, 40, 43, 44, 47, 75	0,5 Has	Para este grupo de 22 productores, se propone un plan de producción de siembras con dos variedades Suprema y Criolla sembrando el 15% en criolla y el 85% en suprema, se debe emplear sistema productivo tradicional, las siembras deben hacerse haciendo énfasis en la siembra de suprema en el segundo año, durante el primer año se sembrará criolla durante tres periodos con el paquete tecnológico Tradicional, con siembras a lo largo de los 2 años, sembrando el 29% en el primer año y el 71% en el segundo año, las siembras deben ser más intensas en el 4 semestre desde los meses 18 a 24, las áreas promedio de siembra deben ser de 1440 M2, con áreas máximas de 3200 M2.

Tabla 9. Plan de Producción productores con 0,5 Hectárea

En esta tabla se presenta el plan de producción para productores con un hectárea de terreno disponible.

Cultivador	Terreno Disponible	Plan de Producción
3, 11, 13, 16, 29, 30, 32, 33 37, 38, 41, 46, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 66, 67, 70, 76, 77, 78, 82	1 Ha	Para este grupo de 32 productores se propone un plan de producción implementando la variedad Suprema 88%, capiro 8% y criolla 4% con paquete productivo semitecnificado, se debe sembrar todo el año, se propone un plan de siembra en el cual durante el primer semestre se siembre el 14% y el 15% durante el segundo semestre, durante el 3 tercer semestre el 26% y el 45% en el semestre cuatro, las áreas deben oscilar en promedio los 2900 M2, y el área máxima puede ser de 6500 M2, el plan de siembras debe ser más intenso en el segundo año, sobre todo en los meses 18 a 24.

Tabla 10. Plan de Producción productores con 1 Hectárea

Por último se presentarán los planes de producción para productores con dos hectáreas,

Cultivador	Terreno Disponible	Plan de Producción
5, 27, 28, 32, 34, 39, 65, 68, 69, 72, 80	2 Has	Para este grupo de 11 productores se propone un plan de producción implementando la variedad Suprema, con un paquete productivo tradicional, se debe sembrar todo el año, se propone un plan de siembra en el cual durante el primer semestre se siembre el 14% y el 15% durante el segundo semestre, durante el 3 tercer semestre el 26% y el 45% en el semestre cuatro, las áreas deben oscilar en promedio los 5750 M2, y el área máxima puede ser de 1310 M2, el plan de siembras debe ser más intenso en el segundo año, sobre todo en los meses 18 a 24.
7	2Has	Para este cultivador se propone la siembra de papa variedad suprema con un paquete tecnológico semitecnificado, se pueden sembrar en promedio durante todo el año áreas de 5760 M2m con áreas máximas de 1,3 Hectáreas y mínimas de 2600 M2, se pueden realizar siembras durante los venticuatro meses, se propone que las siembras sean mayores en los meses 13 a 24, y durante el primer año en los meses 1 a 6.
26	2 Has	Para el cultivador 26 se propone un plan de producción sembrando dos variedades, Criolla 14% y Suprema 86%, con paquete productivo tecnificado, se debe sembrar Criolla en los meses 1 a 3, 5,9,13 a 17 y 21, las áreas promedio a sembrar deben ser de media hectárea, con áreas maxmas de una hectárea. El plan de siembras debe hacerse sembrando el 26% en el primer semestre, el 6 % en el segundo, el 50% en el tercero y el 18% en el semestre cuarto. Para la variedad suprema con el paquete tecnológico tecnificado, se propone un plan de siembras en los meses 4, 6 al 8, 10 al 12, 18 a 20 y 22 a 24, sembrando áreas promedio de 6400 M2, no sembrar áreas mayores a 1,3 Hectáreas, se debe sembrar el 64% en el semestre 4, y el 20% en el semestre 2, lo restante en los semestres 1 y 3 con el 9% y 7% respectivamente

Tabla 11. Plan de Producción productores con 2 Hectáreas

6.4.9. Conclusiones de la optimización

Teniendo en cuenta los pronósticos de precios y el sistema de ecuaciones y restricciones planteadas mediante programación lineal se obtuvieron planes estratégicos de producción para el clúster de productores y de esa forma maximizar la utilidad.

Se observa como la planeación de cultivos permite maximizar la utilidad, sin realizar cambios tecnológicos, esto genera una alternativa adicional para mejorar el desempeño del sistema productivo papa, lo anterior tiene gran relevancia como política de gestión del subsector papa teniendo en cuenta que los altos costos que implica hacer que los productores escalen de un sistema tradicional a un sistema semitecnificado o de un semitecnificado a un sistema tecnificado, dificultarían esta transición de tecnología.

Como política dentro de la organización de productores, se propone que con un porcentaje de los excedentes generados por las utilidades, se pueda iniciar un proceso sistemático para incorporar en cada unidad productiva variedades y paquetes tecnológicos que permitan mejorar los rendimientos, con esto se pretende plantear alternativas para el mejoramiento del sector.

7. CONCLUSIONES

Se logró determinar por medio del Análisis de Componente Principal ACP y el Análisis de Correlaciones Múltiples ACM, que las variables más relevantes desde el punto de vista tecnológico y socioeconómico para la conformación de un clúster que agrupe a la mayor cantidad de agricultores del Sistema Productivo Papa, son el rendimiento (REND), el área cultivada en papa (ACP), y si la Preparación de Terreno es manual, mecánica o semitecnificada; Éstas variables inciden de forma directa en el desempeño del productor y por tanto estos factores son determinantes para la toma de decisiones

La caracterización por métodos estadísticos a los datos capturados en la zona, permitió establecer la existencia de tres grupos de productores definidos, los cuales se asocian por variables como los rendimientos, área cultivada en papa, el porcentaje de papa vendido al mercado y el porcentaje de consumo familiar; Lo anterior corrobora las clasificaciones y características de los productores en Nariño y los tipos de productores encontrados en la literatura de referencia.

Se logró establecer con los resultados del análisis estadístico, una jerarquización de variables y generar modelos mediante investigación de operaciones con programación lineal para pronóstico de precios con componente cíclico y de optimización, con variables que tengan alta significancia para el estudio, de tal forma que los resultados obtenidos son apropiados para la toma de decisiones.

Se genera mediante la interacción de modelos de investigación de operaciones con de programación lineal para pronóstico y optimización, paquetes que permiten optimizar la utilidad para el proceso productivo de un grupo de productores, teniendo en cuenta, las áreas disponibles, los paquetes tecnológicos a los que cada cultivador accede actualmente, las variedades teniendo en cuenta sus costos de producción y los rendimientos por hectárea, adicionalmente se tuvo en cuenta las restricciones a la producción, como son la rotación de terreno, el área, los precios y el nivel de tecnificación necesario para producir; En resumen se cuenta con un modelo que contempla las condiciones reales en las que se desempeña un productor y que brinda elementos para la toma de decisiones en búsqueda del logro de los objetivos del proyecto.

8. RECOMENDACIONES

El modelo permitirá a los tomadores de decisiones basados en herramientas de planificación para el cultivo de la papa, generar estrategias y políticas de producción que promuevan mejorar la calidad de vida de las familias productoras de papa en Colombia y también de los consumidores colombianos, ya sea por equilibrio en los precios de un producto de la canasta familiar o por ingresos estables de los productores, por lo tanto se recomienda generar una línea de investigación en el planificación de cultivos integrando modelos de pronóstico de precios con componente cíclico y optimización, incorporando datos de los departamentos productores del país, es importante para esto que en Colombia, se siga promoviendo al interior del DANE, la CCI y el MADR el desarrollar Censos de la producción para actualizar información del cultivo de forma constante, así mismo que la información que se genere sea más detallada, en cuanto a áreas, precios y costos de producción mensuales, rendimientos y producciones por mes, de tal forma que se puedan construir series de tiempo más amplias y esto a su vez permitirá mejorar la interpretación de los datos y la construcción de modelos con mayor grado de precisión.

Se recomienda en futuras investigaciones, generar un modelo ampliado, regional, hasta lograr un modelo nacional, que refleje de forma real el comportamiento de la producción y comercialización de la papa, teniendo en cuenta la interacción de las diferentes plazas de mercados y los precios que se manejan en estas por variedad y características de calidad, también se deben tener en cuenta las distorsiones en los precios, que se presentan al entrar en el panorama otros actores tales como la intermediación y la industria.

Actualmente mediante el convenio 00086 de 2011 gestionado por FEDEPAPA – SENA – SAC⁴⁸, se ha iniciado un proceso de capacitación en 19 municipios de Nariño, mediante dos acciones de formación para un total de 4097 cultivadores de papa, las cuales pretenden: Acción de formación # 1: Capacitación a productores en herramientas para la planeación de cultivos para la comercialización y el suministro organizado a la agroindustria de la papa y Acción de formación # 2: Seminario en manejo racional, eficiente y competitivo del cultivo de papa y su pos cosecha, en los cuales los resultados de este trabajo de investigación se han incluido como temática de trabajo y discusión mediante acciones de formación. Adicionalmente se recomienda gestionar con FEDEPAPA nuevos espacios de divulgación de los resultados de la investigación tales como seminarios de actualización sobre el cultivo de la papa, cartillas de información para agricultores y manuales para técnicos y extensionistas que permitan la aplicación práctica de la planeación aplicada a los cultivos

⁴⁸ FEDEPAPA 2011, Equipo Técnico del Comité Regional Nariño y el autor de la investigación.

Por último se recomienda incluir en el modelo las series históricas de la mayor cantidad de estaciones meteorológicas como sea posible, para tener una mejor interpretación e inclusión en el modelo los factores aleatorios generados por la naturaleza.

BIBLIOGRAFÍA

ABDEL ASÍS, El Sayed, (2007), Parametric and Multiobjective Optimization Applied in Agriculture: The Study of Cropping Pattern in the Ameriya Region in Winter Crops, Department of Engineering Mathematics and Physics, Faculty of Engineering , Cairo University, **Revista Investigación Operacional** Vol. 28, No.1, 17-24,

ÁLVAREZ GARRIDO, Fernando, MARTÍNEZ VICENTE, Joaquín- Silvio. (1984) "Predicción de precios en los mercados agrícolas y ganaderos: un ejemplo para las series de precios de cordero en el mercado de Baza", Agricultura y sociedad, ISSN 0211-8394, N° 30, pags. 9 - 36.

BALLESTEROS, William. La agroforestería como alternativa para el desarrollo sostenible en Rosa Morada, Nayarit. Trabajo de grado Msc. Agroforestería, México. Universidad Autónoma de Chapingo. 2002. 67p.

BÉCUE, B. Mónica. Manual de introducción a los métodos factoriales y clasificación con SPAD. Departamento Estadística e Investigación Operativa Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España. 68p.

BERTALANFFY, Lunwing. Teoría General de los Sistemas. Fondo de Cultura Económica Ltda. Santa Fé de Bogotá. 1968, 296p. ISBN 958-38-0011-2.

BRENES, Carlos. y VAN DER POEL, Paul. Diagnóstico Rural Rápido en asentamientos IDA de la Región Chorotega. Proyecto Forestal IDA-FAO Holanda. Liberia. Guanacaste, Costa Rica.1990. 138p.

BIGIO, Isaac (2007). 2008: Año mundial de la papa, Disponible en http://www.articuloz.com/article_290396.html

BONILLA, María; CARDOZO, Fernando y MORALES, Alexis. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la papa en Colombia con énfasis en papa criolla. Giro ed. Ltda. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Proyecto Transición de la agricultura. 2009. 174p. ISBN 978-958-8536-07-1.

CASTILLO, Enrique., et., al. Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia. Ciudad Real, España. 2002. 574p.

CASTILLO, Luis. Elementos de muestreo de poblaciones. México, Universidad Autónoma de Chapingo, 2002. p18-25.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE). Turrialba: CATIE, Costa Rica. Diagnóstico integral para el análisis y evaluación de sistemas agropecuarios. 1980. 23p.

CHAMBERS, Roberth. Rural appraisal: rapid, relaxed and participatory. Revista Red Forestal para el Desarrollo Rural,(documento de discusión 311). Universidad de Sussex, Reino Unido, 1992. 31 p.

Corporación Colombia Internacional. Costos de Producción y Precios en Plazas Mayoristas de Bogotá y Cali, para papa Pastusa Suprema año 2008 y 2009. Disponible en: <http://www.cci.org.co>.

DEATON, A., and LAROQUE, G., (2003). A model of commodity prices after Sir Arthur Lewis. Journal of Development Economics, 71: 289– 310.

DEATON, A., and LAROQUE, G., (1996). Competitive storage and commodity price dynamics. Journal of Political Economy, 104: 896–923

ESPINEL, Carlos y MARTÍNEZ, Héctor. La cadena de papa en Cundinamarca frente a las negociaciones comerciales hemisféricas. Ed. Corporación Latinoamericana, Misión Rural, Gobernación de Cundinamarca. Dirección de Planeación. Bogotá D. C., Septiembre 2003.

EZEKIEL, Mordecai. "The cobweb theorem"; Quarterly Journal of Economics. Cambridge. vol 52: p255-280.1938.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). La metodología ZAE/SIRT de la FAO: Herramientas para el manejo integrado y sostenible de los recursos de tierras. Taller Regional sobre Aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agro-Ecológica y los Sistemas de Información de Recursos de Tierras en América Latina y El Caribe. Roma: FAO. Santiago – Chile (Latinoamerica). 1996.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Año Internacional de la Papa: Nueva Luz Sobre un Tesoro Enterrado, Reseña de Fin de Año. Roma: 2008. 144p.

FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA (FEDEPAPA)
Papas Colombianas con el Mejor Entorno Ambiental. Serie Agroindustria
2010.Ed. G. Robayo, Comunicaciones y Asociados Ltda. Bogotá, Colombia.
1996.

FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA (FEDEPAPA).
Manual de Manejo de Papa Pastusa Suprema, Proyecto Fedepapa -
Asohofrucol CO-035, Apoyo al Desarrollo del Mercado de Nuevas Variedades
de Papa con Pequeños y Medianos Productores del Departamento de Nariño.
Pasto, Colombia, 2005, 135p.

FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA(FEDEPAPA).
Memorias del Convenio Fedepapa - Asohofrucol CO-035, Apoyo al Desarrollo
del Mercado de Nuevas Variedades de Papa con Pequeños y Medianos
Productores del Departamento de Nariño, Pasto, Colombia 2006. 75p.

FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA, FEDEPAPA -
CAN 2009. Federación Colombiana de Productores de Papa, Comunidad
Andina de Naciones – Proyecto COL 081-1. Colombia, 10 p.

FORRESTER, Jay W., 1961. Industrial Dynamics, Portland, OR: Productivity
Press. 464 pp.

FORRESTER, Jay W., 1968. Principles of Systems, (2nd ed.). Portland, OR:
Productivity Press. 391 pp.

GARCÍA, Hernán. Análisis Multivariado de Datos. Facultad de Ciencias
Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas y Estadística.
Universidad de Nariño. Pasto. Colombia. 1998. 72p.

GLEN, JOHN J. - Mathematical Models in Farm Planning: A Survey Operations
Research September - October 1987 35:641-666;doi:10.1287 – **Operations
Research Journal** 35.5.641

HERNÁNDEZ, NAVARRO, María. La agroclimatología, instrumento de
planificación agrícola. En: Geographicalia No. 30: p213-228. 1993. ISBN: 0210-
8380.

IDEAM; Caja de Herramienta, Caja de Herramientas sobre Zonificación Ambiental en la Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas, 2006, 50p,

LEMA, Álvaro de J. Elementos de Estadística Multivariada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ciencias Forestales. 2001. 340p.

LOPEZ BELLO, C; GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, L Estimación de los parámetros de un modelo de pronóstico con componente cíclico con programación lineal Colombia, **Revista Ingeniería** ISSN: 0121-750X, 2002 vol:7 fasc: 2 págs: 12 - 20

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) -, IICA, Observatorio Agrocadenas - La Cadena de la Papa En Colombia Una Mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991-2005.Enero, 2006.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Colombia. Disponible desde internet en versión html: <<http://www.agronet.gov.co>>, última visita abril 2010.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR) – CENTRO VIRTUAL DE INVESTIGACIÓN DE LA CADENA AGROALIMENTARIA DE LA PAPA (CEVIPAPA). I Censo del Cultivo de Papa año 2005, Departamento de Nariño. Mayo 2006. 38p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Sistema de Información de la Oferta Agropecuaria, Forestal, Pesquera y Acuícola - Encuesta Nacional Agropecuaria ENA – CCI.2009. 194p.

MASCARENHAS, J; Shah, P; Joseph, S; Jayakaran, R; Devavaram, J; Ramachamran, V; Fernandez, A; Chambers, R; Pretty, J. 1991. Land Tenure and Agroforestry Development in the Western Highlands of Cameroon. Proceedings of the February 1991 PRA Trainers' Workshop, IIED. Londres. 27p.

MEGGIDO, N. "Pathway to the Optimal Set in Linear Programming," in Progress in Mathematical Programming: Interior Point and Related Methods, Springer Verlag, New York, 1989, p131–158.

MONTAGNINI, F y et al. Sistemas Agroforestales Principios y Aplicaciones en los Trópicos. 1992.622p.

NAVIA, Jorge. Sistema experto para la aplicación de metodologías de generación y transferencia de agrotecnología con enfoque integral de producción. Turrialba:CATIE, Costa Rica, Trabajo de grado (Mg. Sc Agroforestería). 1994. 156p.

ÑUSTEZ, Carlos; NAVIA, Sonia y MOSQUERA, Alvaro. Ajuste Agronómico para las Variedades Criolla Latina, Criolla Colombia y tres Clones Promisorios de Papa Criolla, Para el Departamento de Nariño. 2009.

ONU, Organización de las Naciones Unidas, 2000, Declaración del Milenio.

PLA, Laura. E. Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. Secretaria General de los Estados Americanos OEA, Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 1986. 94p.

QUINTERO, Luís Eduardo et. al.. Documento de Trabajo No 40. Observatorio de Agrocadenas IICA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Costos de producción de papa en Colombia. Febrero 2004.

RAMÍREZ, Manuel; Martínez, Héctor; Ortiz, Lila; González, Fredy y Barrios, Camilo. Observatorio Agrocadenas Colombia IICA - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Documento No 49. Respuestas de la oferta y la demanda agrícola en el marco de un TLC con Estados Unidos. Bogotá D.C., Mayo.2005.

RAMOS, Andrés, et al;. Modelos Matemáticos de Optimización, Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de Organización Industrial, Septiembre 2001, 53 Páginas.

ROBINSON, R., Welcome Operations Research Territory; OR/MS Today, Agosto1999, pp 40-43.

RUTH, Matthias, HANNON, Bruce. (1997). Modeling Dynamic Economic Systems, Springer-Verlag New York, ISBN: 978-0-387-94849-2, 339 p.

SALLES SCARPARI, Maximiliano, GOMES FERREIRA DE BEAUCLAIR, Edgar, Optimized Agricultural Planning of Sugarcane using Linear Programming, **Revista Investigación Operacional**, Vol. 31, N° 2, 2010, pags. 126-132

SOMARRIBA, Eduardo, Planificación agroforestal de fincas. Manual preparado para el curso de Maestría del CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001. 80p

QINGZHEN, ZHAO, et Al. The Application of Operations Research in the Optimization of Agricultural Production Operations Research March - April 1991 39:194-205; doi:10.1287 – **Operations Research Journal**.39.2.194

ANEXOS

Anexo A. Encuesta aplicada para la caracterización de sistema productivo de papa.

ENCUESTA No._____

FECHA._____

OBJETIVO: Determinar las características socio-económicas y biofísicas de las fincas ganaderas del municipio de_____

A. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

1. Nombre del encuestado_____

2. Nombre de la finca_____

3. Municipio_____

4. Vereda_____

B. INFORMACIÓN DE LA FINCA

5. Área total de esta finca (Lote 1) _____(hectáreas).

6. Teléfono _____

7. ¿Cuál es la población más cercana a la finca?_____

8. Nombre del Propietario _____

9. Es el encuestado 1.administrador ___ 2. Propietario ___ 3. Ambos _____

4. Arrendatario___ 5 Amediero ___ 6. Otro_____

10. Posición geográfica de la finca x _____ y _____

11. Orientación productiva: 1. Agricultura_____ 2. Agricultura y ganadería_____

3. ganadería

12. ¿Vive en la finca? 1. (si/no) ___

13. Otras actividades del productor _____

14. ¿Hace cuánto tiene esta finca? _____ Años.

C. PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

15. ¿Qué área de la finca dedica a cultivos? _____

16. Distribución del área de cultivos

Cultivo	Área (has)	Producción por ha.	Porcentaje vendido	Porcentaje consumo familiar	Porcentaje consumo animal	Excedentes (destino)

17. Qué área de la finca dedica a cultivar papa? _____(has)

18. Distribución del área en variedades de papa?

VARIEDAD	ÁREA

19.Cuál es la mejor época para sembrar papa _____

20.Cuál es el rendimiento promedio por hectárea en papa _____

21. Utiliza fertilización orgánica en el cultivo de papa Si _____ No _____
Cual _____

22. Utiliza fertilización Química en el cultivo de papa Si _____ No _____

¿Cuál? _____

23. Cada cuanto realiza la fertilización _____

24. Utiliza riego para cultivo de papa Si ___ No.
___Cuál? _____

25. Qué tipo de preparación utiliza para el establecimiento del terreno?
Mecánico _____ Yunta _____ Azadón _____ Otro _____

26. Utiliza curvas a nivel Si _____ No _____

27. Para que utiliza el muro o richi (desperdicio de la papa). Consumo animal _____
Consumo familiar _____ Semilla _____ Otro _____

28. Qué porcentaje de muro obtiene por cosecha? _____

29. Deja el muro en la finca Si _____ No _____

D. DISPONIBILIDAD Y DISTRIBUCION DEL TRABAJO

30. ¿Cuántas personas mayores de 16 años trabajan en la finca? 1. De la familia __ 2. Contratados __

31.Cuál de los sistemas de producción de la finca es la principal fuente de ingreso de la familia? _____

32. ¿Cuál es el valor del jornal? _____

RESPONSABLE _____

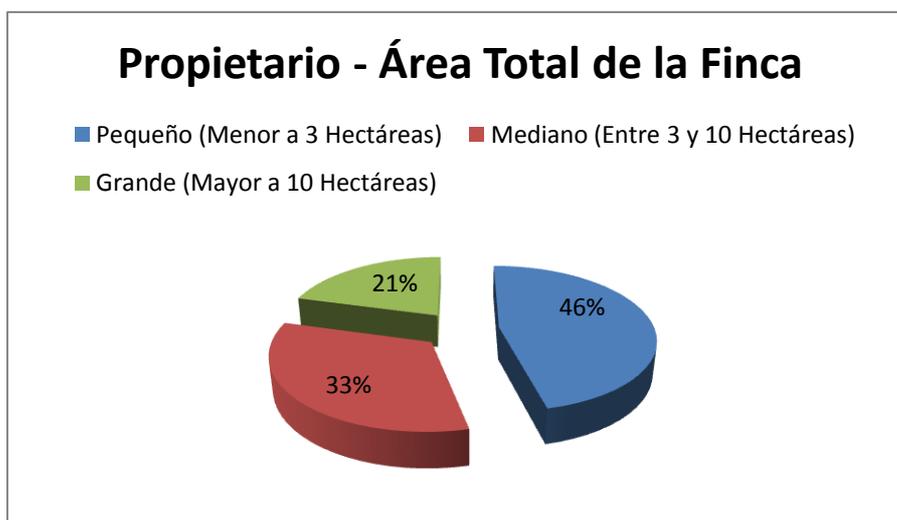
Anexo B. Consolidado y Análisis de las Encuestas Aplicadas.

I. Información de la Finca

Propietario – Área Total de la Finca:

El total de los encuestados es propietario y administra la finca, de estos el 46% son pequeños propietarios con áreas menores a 3 hectáreas, el 33% son medianos con áreas entre 3 y 10 hectáreas, y el 21% son grandes propietarios, por tener áreas mayores a 10 hectáreas, aunque toda el área no se dedique a la producción de papa.

Gráfico Área Total de la Finca



Orientación Productiva:

Del total de las fincas encuestadas, el 84% tiene una vocación productiva agrícola y ganadera, el 16% es netamente agrícola

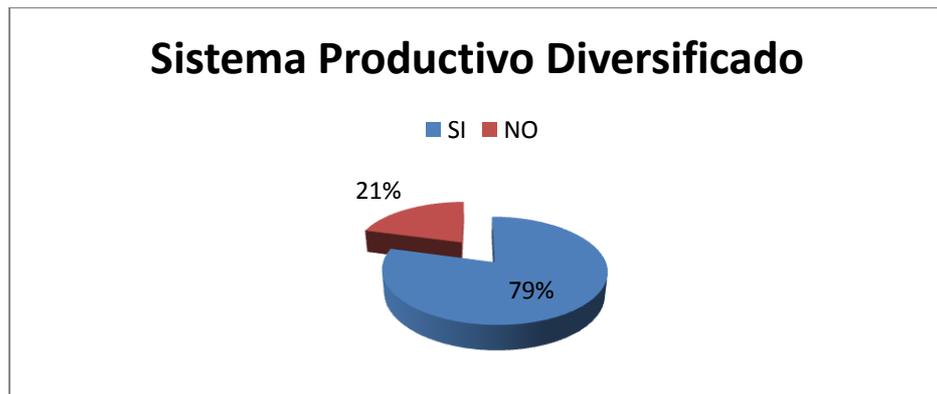
Gráfico Orientación Productiva de las fincas de los productores.



Producción Diversificada:

Los productores encuestados adicionalmente a su vocación productiva, pueden realizar otro tipo de actividades del sector tales como la producción de especies menores que en la zona son muy comunes, adicionalmente la siembra de hortalizas, forestales, etc., ante esta situación se encuentra que del total de los productores el 79% tiene un sistema productivo diversificado, con otras actividades adicionales y el 21% son principalmente agricultores y ganaderos.

Gráfico Productores con Sistema Productivo Diversificado.

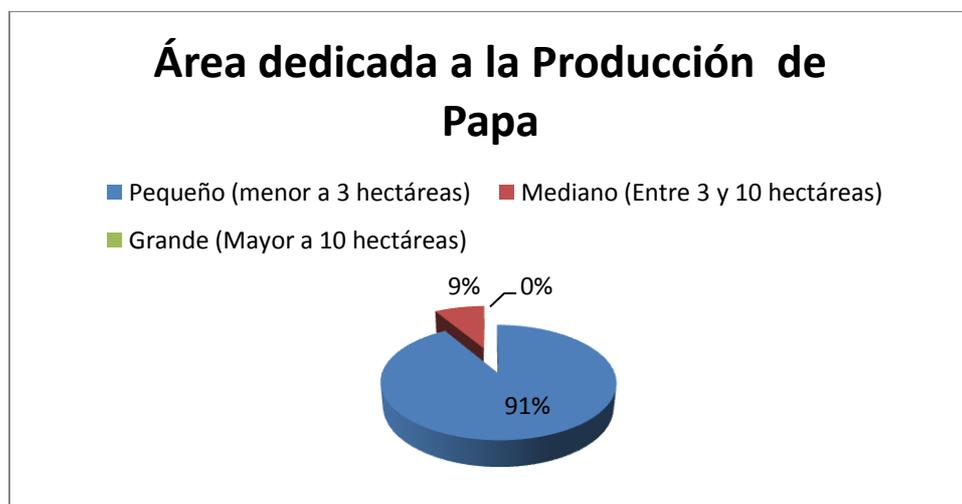


II. Producción Agrícola

Área dedicada al Cultivo de papa.

De los productores encuestados el 91% dedica menos de 3 hectáreas a la producción de papa y el 9 % dedica entre 3 y 10 hectáreas, clasificando a estos productores como pequeños al 91% y medianos al 9%, no se evidencia presencia de productores que dediquen de su área productiva áreas mayores a 10 hectáreas.

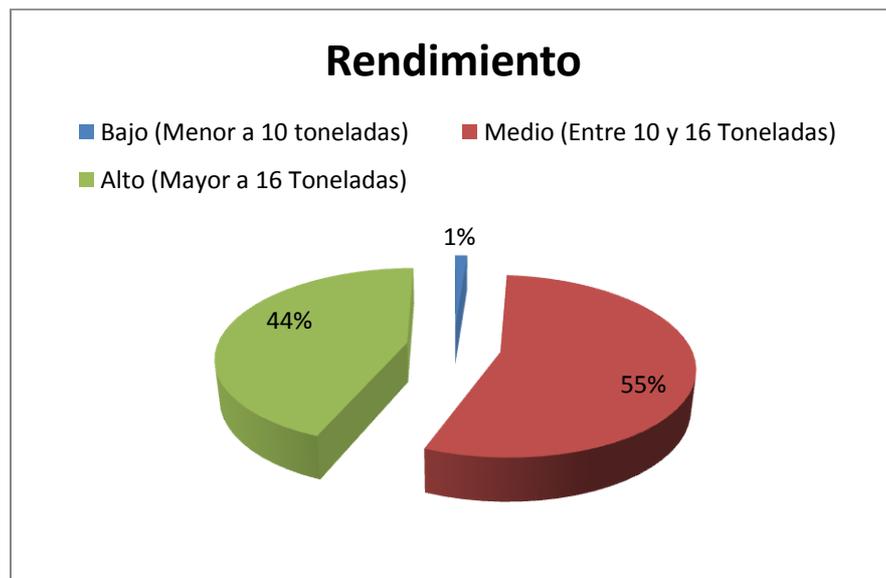
Gráfico Área dedicada a la producción de papa por los productores.



Rendimiento por Hectárea

El rendimiento en promedio de las fincas para el momento de la encuesta fue de 16,34 toneladas por hectárea, el 1% presentó rendimientos menores a 10 toneladas, el 55% presentó rendimientos entre 10 y 16 toneladas por hectárea, y el 44% rendimientos superiores a 16 toneladas.

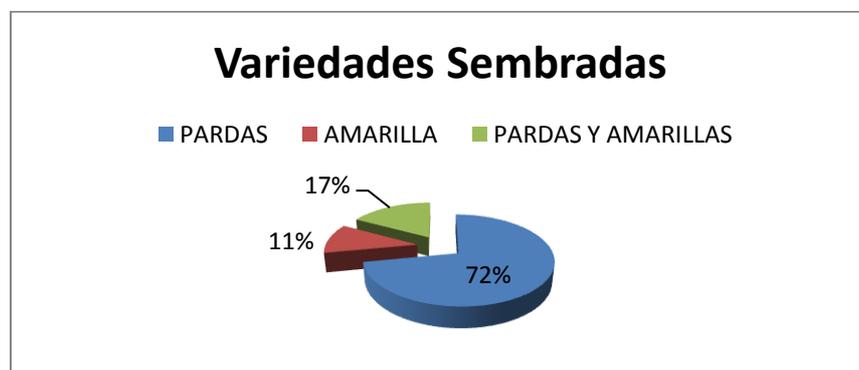
Gráfico Rendimiento por hectárea para las fincas de los productores.



Variedades Sembradas en la Finca

Los productores en un 72% producen papas pardas (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*), incluidas dentro de estas capiro, pastusa suprema, de pieles rojas como la roja Nariño y otras, el 17% de los productores siembran tanto pardas como amarillas o criollas y el 11% siembran Amarillas o criollas (*Solanum phureja*).

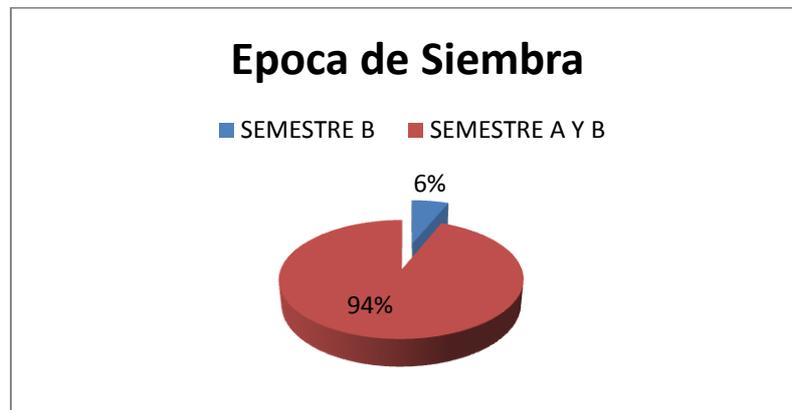
Gráfico Variedades sembradas en las fincas por los productores



Época de Siembra

Teniendo en cuenta los datos arrojados por la encuesta, el 94% de los productores realiza siembras durante todo el año, intensificando sus siembras en los meses de febrero y marzo en el semestre A y octubre en el semestre B, para los productores que siembran en el semestre B principalmente correspondientes al 6%, son productores que el régimen de lluvias es intenso en el mes de julio, razón por la cual sus siembras son en este mes del año, con siembras en el mes de octubre.

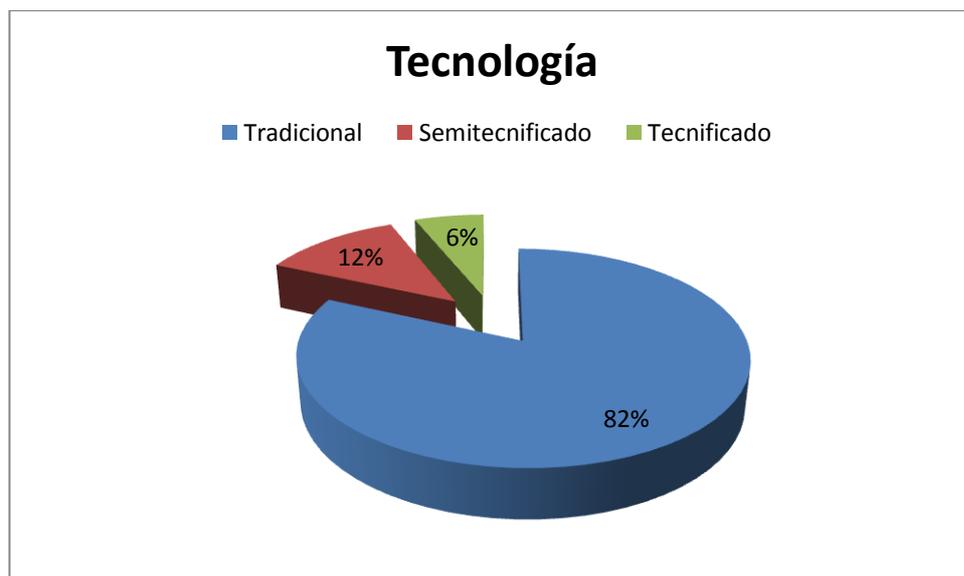
Gráfico Época elegida para la siembra por el productor.



Paquete Tecnológico empleado en la Finca

El 82% de los productores siembran con un sistema Tradicional, el 12% con un sistema semitecnificado y el 6% con un sistema tecnificado.

Gráfico. Tecnología empleada en la Finca por los productores.

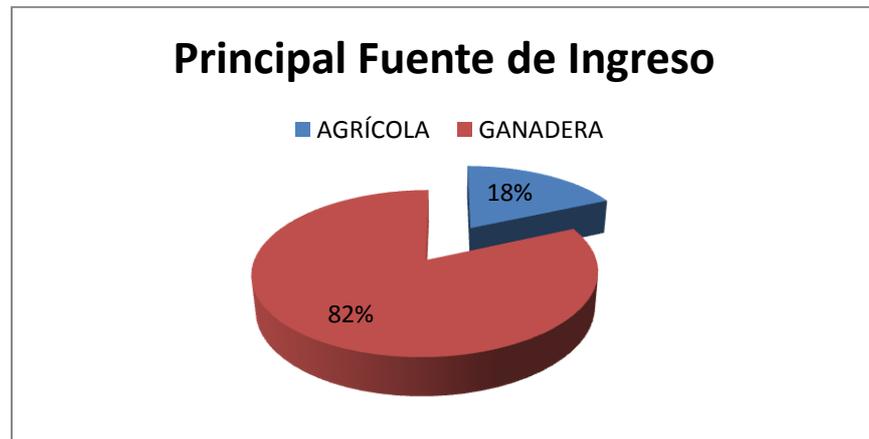


III. Disponibilidad y Distribución de Trabajo

Principal Fuente de Ingreso

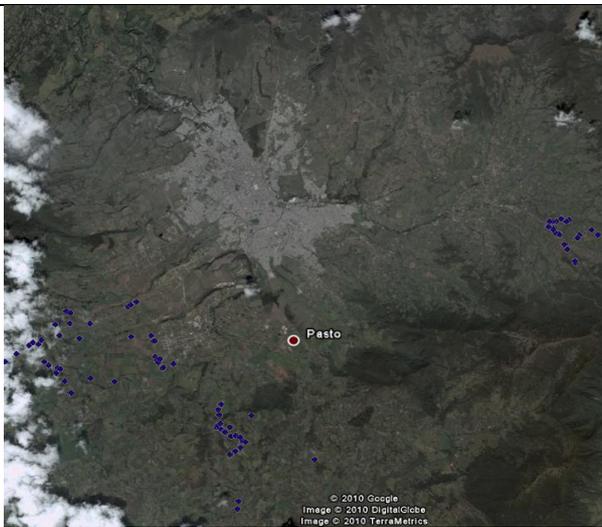
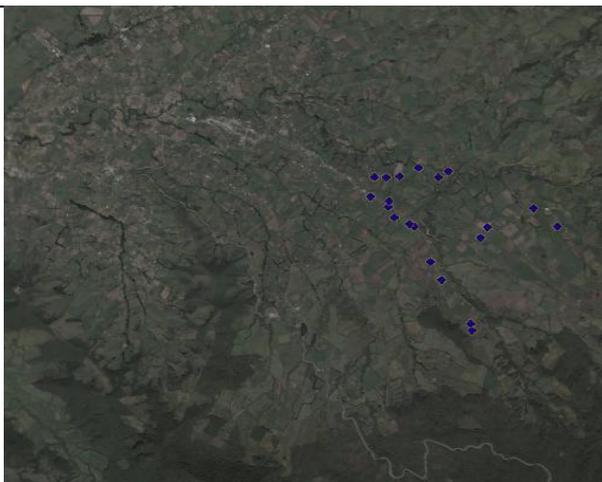
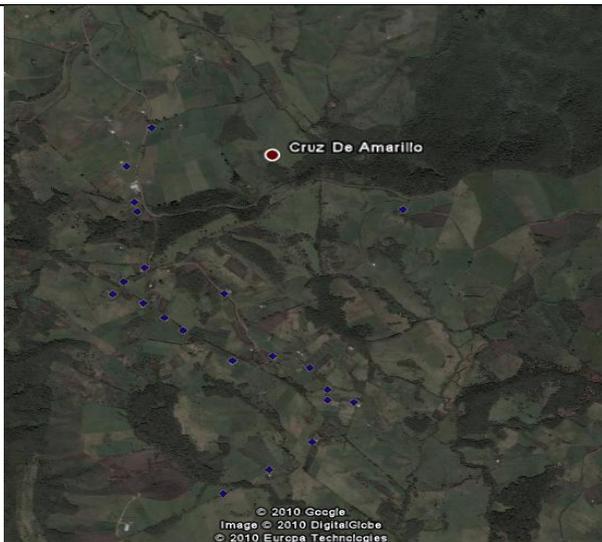
El 82% de los productores obtiene los ingresos de la ganadería teniendo en cuenta que esta actividad permite el acceso a recursos de forma diaria por venta de leche, adicionalmente la venta de terneros, el uso de subproductos permite generar ingresos adicionales, el 18% tiene como única actividad generadora de ingresos la agricultura que permite por rotación de cultivos tener ingresos mensuales.

Gráfico Principal fuente de Ingreso de los Productores



Anexo C. Ubicación de Fincas con Sistema de Información Georeferencial.

Tabla detalle de localización mediante SIG de las fincas del estudio.

 <p>© 2010 Google Image © 2010 DigitalGlobe Image © 2010 TerraMetrics</p>	<p>82 Fincas Ubicadas en la zona rural del Municipio de Pasto</p>
	<p>20 Fincas Ubicadas en el Corregimiento de la Laguna (Vereda Alto San Pedro)</p>
 <p>© 2010 Google Image © 2010 DigitalGlobe © 2010 Europa Technologies</p>	<p>21 Fincas en Corregimiento de Catambuco (Veredas Cruz de Amarillo y Guadalupe)</p>

	<p>30 Fincas en Corregimiento de Catambuco (Veredas San Antonio de Acuyuyo, Campanero, Catambuco, Cubijan Alto y Bajo) y 11 en Corregimiento Gualmatán (Vereda Gualmatán)</p>
---	---

Cuadro Distribución de Fincas, por Corregimiento y Vereda

Vereda	Corregimiento	Fincas
Campanero	Catambuco	1
Catambuco	Catambuco	11
Cruz de Amarillo	Catambuco	1
Cubijan Alto	Catambuco	14
Cubijan Bajo	Catambuco	2
Guadalupe	Catambuco	20
Gualmatán	Gualmatán	11
San Antonio de Acuyuyo	Catambuco	2
Alto San Pedro	La Laguna	20
	Total	82

Anexo D. Matriz de datos para el procesamiento de los análisis multivariado ACP y ACM.

ID	ATF	ACP	REND	PVP	PCF	PMC	PSP	OP	OAP	TP	ESP	TPT
1	5,5	0,3	4800	70	30	20	2	3	1	1	3	1
2	4	0,5	9000	80	20	15	2	3	1	1	3	1
3	2	1	7200	80	20	15	2	3	1	1	3	2
4	5	5	9000	100	0	15	1	1	2	1	3	2
5	15	2	12000	80	20	15	2	3	1	1	3	1
6	1	0,5	7800	50	50	10	2	3	1	1	3	2
7	20	2	9000	80	20	20	2	3	1	1	3	2
8	17	3	9000	80	20	30	2	3	1	1	3	1
9	1	0,5	12000	100	0	20	2	3	1	1	3	1
10	1	2	12000	80	20	20	1	3	2	2	3	3
11	2	0,8	6000	100	0	20	2	3	1	1	3	1
12	1	0,5	6000	80	20	20	2	3	1	1	3	1
13	7	0,3	4200	50	50	20	2	3	1	1	3	1
14	7	0,5	7800	80	20	20	2	3	1	1	3	1
15	12	0,3	6000	80	20	15	2	3	1	1	3	1
16	28	1	16800	80	20	30	2	3	1	1	3	1
17	5	0,5	9000	80	20	25	2	3	1	1	3	1
18	20	0,5	9000	80	20	20	2	3	1	1	3	1
19	16	0,5	9000	80	20	20	2	3	1	1	3	1
20	3	0,5	7200	80	20	30	2	3	1	2	3	1
21	2,5	0,5	4800	80	20	15	2	3	1	3	3	1
22	1	0,5	9000	80	20	25	2	3	1	1	3	1
23	2	0,5	6600	80	20	20	2	3	1	1	3	1
24	1	0,5	7800	50	50	20	2	3	1	1	3	1
25	2	0,3	6000	80	20	15	2	3	1	1	3	1
26	3	2	9000	80	20	20	2	3	1	1	3	3
27	1	2	9000	80	20	25	1	3	2	1	3	1
28	15	2	7200	80	20	20	2	3	1	3	3	1
29	3	1	4800	80	20	15	2	3	1	2	2	2
30	1,5	1	7200	80	20	15	2	3	1	2	3	2
31	3	3	9000	100	0	30	2	1	2	1	3	3
32	6	2	9000	60	20	30	2	3	1	2	3	1
33	3	10	24000	100	0	30	1	3	2	3	3	3
34	2,5	2	9000	80	20	15	2	1	1	3	3	1
35	3	0,5	6000	80	20	15	2	3	1	1	3	1
36	5	0,5	6000	80	20	20	2	3	1	1	3	1
37	2	1	12000	80	20	30	2	3	1	1	3	1
38	2	1	9000	100	0	30	2	3	1	1	3	1
39	25	0,5	4800	80	20	30	2	3	1	1	3	1
40	2	0,5	4800	80	20	25	2	3	1	1	3	1
41	1	1	10800	80	20	25	1	1	2	1	2	1
42	2,5	0,4	5400	80	20	25	2	3	1	1	3	1
43	1	0,5	4800	80	20	20	2	3	1	1	3	1
44	1	0,5	4200	80	20	15	2	3	1	1	3	1
45	12	1,5	9000	80	20	30	2	3	1	3	3	2
46	3	1	7200	80	20	20	2	3	1	1	3	1
47	6	0,5	6000	80	20	20	2	3	1	1	3	1
48	2	0,3	6000	80	20	20	2	3	1	1	3	1
49	3	1	12000	80	20	30	2	3	1	1	3	3
50	14	1	6000	80	20	25	2	3	1	1	3	2
51	3	1	12000	80	20	30	2	3	1	1	3	1
52	2	1	6000	80	20	30	2	3	1	1	3	1
53	30	3	9000	80	20	35	2	3	1	3	3	2
54	30	1	6000	80	20	20	2	3	1	2	3	1
55	45	1,5	6000	80	20	20	2	3	1	3	3	1
56	1	1	6000	80	20	25	1	1	2	1	3	1
57	6	1	6000	80	20	30	2	3	1	1	2	1
58	2	1	6000	80	20	20	2	3	1	1	3	1
59	3	1	7200	80	20	25	2	3	1	1	3	1
60	3	1	7200	80	20	30	2	3	1	1	3	1
61	6	1	6000	80	20	25	2	3	1	1	3	1
62	15	1	7200	80	20	30	2	3	1	1	3	2
63	1	1,5	7200	80	20	20	1	1	2	3	3	1
64	1	1	6000	80	20	30	1	1	2	1	3	1
65	2	2	7200	80	20	25	1	1	2	3	3	1
66	3	1	6000	80	20	35	2	3	1	2	3	1
67	2	1	7200	80	20	30	2	3	1	1	3	1
68	1	2	7800	80	20	25	1	1	2	1	3	1
69	2	2	7200	80	20	20	1	1	2	1	3	1
70	2	1	7200	80	20	20	2	3	1	1	3	1
71	1	4	7800	80	20	30	1	3	2	3	2	1
72	60	0,5	4800	80	20	30	2	3	1	2	3	1
73	2	3	7200	80	20	15	1	3	2	3	3	1
74	8	1,5	9000	80	20	25	2	3	1	3	3	1
75	5	0,5	7800	80	20	30	2	3	1	2	3	1
76	1	1	10200	80	20	30	1	1	2	1	3	1
77	1	1	7800	80	20	20	2	1	2	1	2	1
78	1,5	1	7200	80	20	25	2	3	1	3	3	1
79	2,5	2,5	12000	80	20	20	1	1	2	1	3	1
80	4	2	10800	80	20	30	2	3	1	3	3	1
81	30	0,5	6000	880	20	25	2	3	1	1	3	1
82	4	1	7200	80	20	25	2	3	1	1	3	1

Fuente: 2010, Datos Procesados en esta investigación.

ANEXO E. Costos de producción sistema productivo de papa Capiro en el departamento de Nariño

CAPIRO TECNIFICADO		CAPIRO TRADICIONAL		CAPIRO SEMITECNIFICADO	
ITEM	VALOR/HECTAR EA	ITEM	VALOR/HECTAR EA	ITEM	VALOR/HECTAR EA
INSUMOS	4389609	INSUMOS	2591923	INSUMOS	2034577
MANO DE OBRA	2743124	MANO DE OBRA	1619727	MANO DE OBRA	1651229
ADECUACION TERRENO	510088	ADECUACION TERRENO	301191	ADECUACION TERRENO	361500
SIEMBRA	125340	SIEMBRA	74009	SIEMBRA	102000
MANTENIMIENTO CULTIVO	976906	MANTENIMIENTO CULTIVO	576832	MANTENIMIENTO CULTIVO	665000
COSECHA	1130790	COSECHA	667695	COSECHA	522729
OTROS	636769	OTROS	375992	OTROS	264002
EMPAQUE	636769	EMPAQUE	636769	EMPAQUE	264002
SEMILLA	1359200	SEMILLA	802564	SEMILLA	1140000
COSTOS DIRECTOS	9128702	COSTOS DIRECTOS	5390205	COSTOS DIRECTOS	5089808
COSTOS INDIRECTOS	1302304	COSTOS INDIRECTOS	768969	COSTOS INDIRECTOS	957185
TOTAL	10431006	TOTAL	6159174	TOTAL	6046993

Fuente: 2010, Federación Colombiana de Productores de Papa, FEDEPAPA, Servicio de Información Agropecuaria SIA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

ANEXO F. Costos de producción sistema productivo de papa Suprema en el departamento de Nariño

SUPREMA TECNIFICADO		SUPREMA TRADICIONAL		SUPREMA SEMITECNIFICADO	
ITEM	VALOR/HECTAREA	ITEM	VALOR/HECTAREA	ITEM	VALOR/HECTAREA
INSUMOS	1941488	INSUMOS	3141293	INSUMOS	1789471
MANO DE OBRA	1213261	MANO DE OBRA	1963035	MANO DE OBRA	1118264
ADECUACION TERRENO	225608	ADECUACION TERRENO	225608	ADECUACION TERRENO	225608
SIEMBRA	55437	SIEMBRA	55437	SIEMBRA	55437
MANTENIMIENTO CULTIVO	432078	MANTENIMIENTO CULTIVO	432078	MANTENIMIENTO CULTIVO	432078
COSECHA	500139	COSECHA	500139	COSECHA	500139
OTROS	281638	OTROS	455685	OTROS	259586
EMPAQUE	636769	EMPAQUE	636769	EMPAQUE	636769
SEMILLA	601163	SEMILLA	972671	SEMILLA	554093
COSTOS DIRECTOS	4037551	COSTOS DIRECTOS	6532683	COSTOS DIRECTOS	3721414
COSTOS INDIRECTOS	575998	COSTOS INDIRECTOS	931955	COSTOS INDIRECTOS	530898
TOTAL	4613549	TOTAL	7464638	TOTAL	4252312

Fuente: 2010, Federación Colombiana de Productores de Papa, FEDEPAPA, Servicio de Información Agropecuaria SIA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

ANEXO G. Costos de producción sistema productivo de papa Criolla en el departamento de Nariño

CRIOLLA TECNIFICADO		CRIOLLA TRADICIONAL		CRIOLLA SEMITECNIFICADO	
ITEM	VALOR/HECTAREA	ITEM	VALOR/HECTAREA	ITEM	VALOR/HECTAREA
INSUMOS	1601667	INSUMOS	1993930	INSUMOS	1774698
MANO DE OBRA	1000903	MANO DE OBRA	1246033	MANO DE OBRA	1109032
ADECUACION TERRENO	186119	ADECUACION TERRENO	231702	ADECUACION TERRENO	186119
SIEMBRA	45734	SIEMBRA	56934	SIEMBRA	45734
MANTENIMIENTO CULTIVO	356450	MANTENIMIENTO CULTIVO	443749	MANTENIMIENTO CULTIVO	356450
COSECHA	412599	COSECHA	513649	COSECHA	412599
OTROS	232342	OTROS	289245	OTROS	257443
EMPAQUE	636769	EMPAQUE	636769	EMPAQUE	636769
SEMILLA	495941	SEMILLA	617401	SEMILLA	549518
COSTOS DIRECTOS	3330852	COSTOS DIRECTOS	4146610	COSTOS DIRECTOS	3690690
COSTOS INDIRECTOS	475181	COSTOS INDIRECTOS	591557	COSTOS INDIRECTOS	526515

Fuente: 2010, Federación Colombiana de Productores de Papa, FEDEPAPA, Servicio de Información Agropecuaria SIA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Anexo H. Código fuente del modelo de optimización y resultados generados en GAMS

Programación Lineal en GAMS para Maximizar la Utilidad.

```

VARIABLE
X(i,j,k,t)  Cantidad de hectáreas a sembrar de papa tipo "j" en cultivo tipo "i" con el paquete tecnológico tipo "k" en el periodo "t"
Td(i,t)     Terreno disponible del cultivador "i" en el periodo "t"
Ymas(i,t)   Si se siembra más en el segundo semestre que en el primero
Ymenos(i,t) Si se siembra más en el primer semestre que en el segundo
z(i,t)
F           Valor de la función objetivo;

POSITIVE VARIABLES
X(i,j,k,t),Td(i,t),Ymas(i,t),Ymenos(i,t);

FREE VARIABLE
F;

BINARY VARIABLE
z(i,t);

UTILIDAD..
DISPON1(i)..
DISPONIBILIDAD(i,t)..
TERRENO1(i,t)$ (ord (t) gt 1 and ord (t) le 6)..
TERRENO2(i,t)$ (ord (t) gt 6 and ord (t) le 12)..
TERRENO3(i,t)$ (ord (t) gt 12 and ord (t) le 18)..
TERRENO4(i,t)$ (ord (t) gt 18)..
TERRENOS(i,t)$ (ord (t) gt 6 and ord (t) le 12)..
FACTIBILIDAD(i,j,k,t)..
res1(i,t)$ (ord (t) gt 6 and ord (t) le 12)..
res2(i,t)$ (ord (t) gt 6 and ord (t) le 12)..
res3(i,t)$ (ord (t) gt 1)..
res4(i,t)$ (ord (t) gt 1)..

MODEL PAPA /all/;

SOLVE PAPA USING MIP MAXIMAZING F;
DISPLAY x.l;

F=e*sum((j,k),P(j,k,t)*R(j,k,t)*X(i,j,k,t))-sum((i,j,k,t),C(j,k,t)*X(i,j,k,t));
Td(i,"1")=e=TdInicial(i);
sum((j,k),X(i,j,k,t))=1=Td(i,t);
Td(i,t)=e=Td(i,t-1)-sum((j,k),X(i,j,k,t-1));
Td(i,t)=e=Td(i,t-1)-sum((j,k),X(i,j,k,t-1))+sum((j,k),X(i,j,k,t-6));
Td(i,t)=e=Td(i,t-1)-sum((j,k),X(i,j,k,t-1))+Ymas(i,t-6);
Td(i,t)=e=Td(i,t-1)-sum((j,k),X(i,j,k,t-1));
Ymas(i,t)-Ymenos(i,t)=e=sum((j,k),X(i,j,k,t))-sum((j,k),X(i,j,k,t-6));
X(i,j,k,t)=1=a(i,k)*M;
Ymas(i,t)=1=N*z(i,t);
ymenos(i,t)=1=N*(1-z(i,t));
sum((j,k),X(i,j,k,t))=1=1.1*sum((j,k),X(i,j,k,t-1));
sum((j,k),X(i,j,k,t))=g=0.9*sum((j,k),X(i,j,k,t-1));

```

Fuente: 2010 Datos Procesados en esta investigación.

Anexo I. Serie histórica de precipitaciones de los años 2004 a 2009

Tabla Serie de Datos Históricos de Precipitación Zona de Influencia 2004 - 2009

MES	AÑO					PROMEDIO
	2004	2005	2006	2007	2008	
ENERO	68,3	72,2	60,6	50,9	119,3	74,3
FEBRERO	15,5	75,4	66,6	39,8	111,3	61,7
MARZO	69,1	114	162,0	98,1	135,8	115,8
ABRIL	75,7	89	130,0	63,0	89,1	89,4
MAYO	51,7	79,3	26,5	40,5	141,9	68,0
JUNIO	34,2	43,1	41,4	36,7	39,9	39,1
JULIO	25	40,1	77,1	42,9	17,9	40,6
AGOSTO	10,1	31,6	30,0	43,8	34,5	30,0
SEPTIEMBRE	26,4	60,7	11,7	10,9	33,3	28,6
OCTUBRE	155	143,7	88,3	182,5	111,0	136,1
NOVIEMBRE	94,9	105,3	111,4	116,6	91,0	103,8
DICIEMBRE	64	170,8	112,5	149,1	138,7	127,0

Fuente: IDEAM, 2010, Departamento de Nariño, Municipio de Pasto. Estacion Obonuco: 5204501.

Anexo J. Serie histórica de precios de los años 2004 a 2009

Tabla Serie de Precios Histórica 2004 - 2009

MES	AÑOS					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ENERO	242	285	541	328	277	489
FEBRERO	264	331	563	295	446	534
MARZO	283	430	712	260	432	787
ABRIL	422	479	637	259	653	884
MAYO	381	511	500	233	832	744
JUNIO	294	586	388	234	912	543
JULIO	255	554	368	171	873	436
AGOSTO	219	631	407	152	708	362
SEPTIEMBRE	227	681	485	215	601	337
OCTUBRE	206	714	493	203	541	485
NOVIEMBRE	224	646	474	236	506	503
DICIEMBRE	247	582	400	276	469	709

Fuente: 2010, Servicio de Información Agropecuaria SIA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Anexo K. Serie histórica de Área Sembrada mensual de los años 2004 a 2009

MES	AÑOS					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ENERO	2797	2300	3492	3223	2888	2558
FEBRERO	2427	2413	3317	3061	2742	2430
MARZO	1265	1546	1926	1777	1593	1411
ABRIL	1067	1178	1538	1420	1272	1127
MAYO	889	975	1277	1178	1056	935
JUNIO	1460	1339	1920	1772	1588	1407
JULIO	2297	1837	2833	2614	2342	2075
AGOSTO	2953	2904	4015	3705	3320	2941
SEPTIEMBRE	2548	2988	3794	3501	3137	2779
OCTUBRE	2318	2495	3299	3044	2727	2416
NOVIEMBRE	4549	4837	6432	5936	5319	4712
DICIEMBRE	1892	1649	2426	2239	2006	1777

Fuente: 2010, Federación Colombiana de Productores de Papa, FEDEPAPA, Servicio de Información Agropecuaria SIA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Proyecciones esta investigación.