



**METODOLOGÍA MULTICRITERIO PARA LA PROGRAMACIÓN EFICIENTE
DEL CULTIVO DE PAPA EN UNA ZONA DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

ANDRÉS CAMILO VÉLEZ ESCUDERO
CHRISTIAN JESSIE YÉPEZ RENGIFO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI, 2021



**METODOLOGÍA MULTICRITERIO PARA LA PROGRAMACIÓN EFICIENTE
DEL CULTIVO DE PAPA EN UNA ZONA DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

ANDRÉS CAMILO VÉLEZ ESCUDERO
CHRISTIAN JESSIE YÉPEZ RENGIFO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTORES:

JUAN JOSÉ BRAVO BASTIDAS, Ph.D
DAYHANNA STEPHANIA VARGAS MESA, M.Sc

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI, 2021

Programa: Ingeniería Industrial

Sede: Cali (Melendez)

Resumen: En Colombia el departamento de Boyacá es uno de los principales productores de tubérculos como la papa, siendo este el segundo departamento con mayor producción a nivel nacional de este producto. En Boyacá aún predomina una economía campesina de bajo impacto en la competitividad de la región y contribuye parcialmente a reducir los altos índices de pobreza presentes en la cotidianidad del departamento. Las explotaciones agropecuarias que actualmente vienen desarrollando los pequeños productores carecen de tecnología, asistencia técnica, planificación de siembras y controles fitosanitarios adecuados que inciden en los altos costos de producción. Adicionalmente, la falta de recursos económicos y una precaria presencia del Estado en muchas zonas se ve reflejado en una insuficiente infraestructura de riego y drenaje, como también en la falta de implementación de paquetes tecnológicos que mejoren los rendimientos, la rentabilidad y competitividad de este departamento.

Este documento busca identificar los elementos que permitirán a los agricultores una mejor programación en el futuro, con el fin de generar un beneficio en cuanto a la calidad de la papa, el cuidado del suelo y la productividad del cultivo. Para ello se propone una metodología multicriterio basada en los elementos claves de su ciclo de producción y su entorno, evaluando el desempeño de la herramienta en un caso hipotético inspirado en el contexto de Boyacá. El modelo se distribuye en tres fases, en la fase inicial del modelo se hace una revisión de la literatura con el fin de determinar y caracterizar la zona del departamento seleccionada, se definen los criterios relevantes al caso y se determinan las alternativas a evaluar. Posteriormente se desarrolla la segunda fase, esta comprende la ejecución del modelo con su respectivo proceso de priorización tanto de los criterios como de las alternativas de acuerdo a la metodología Analytic Hierarchy Process (AHP) y por último, la tercera fase consiste en la presentación de los resultados arrojados por el modelo y las conclusiones aplicables al caso.

Palabras clave: Minifundistas, modelo multicriterio, Boyacá, AHP, cultivo de papa, criterios, alternativas, proceso productivo, erosión, labranza, riego, desinfección, rendimiento de cultivo, calidad del cultivo, recurso hídrico, riesgo fitosanitario, expertos AHP, coeficiente de consistencia, método delphi.

Siglas y abreviaturas

AHP = Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process)

PIB = Producto Interno Bruto

UPRA = Unidad de Planificación Rural Agropecuaria

DANE = Departamento Administrativo Nacional de Estadística

FEDEPAPA = Federación Colombiana de Productores de Papa

IGAC = Instituto Geográfico Agustín Codazzi

FAO = Food and Agriculture Organization

DNP = Departamento Nacional de Planeación

IDEAM = El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

CORPOCHIVOR = Corporación Autónoma Regional de Chivor

UMATA = Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria

FAOSTAT = Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database

UDCA = Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales

CCB = Cámara de Comercio Bogotá

IICA = Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

NTC = Norma Técnica Colombiana

Contenido

Introducción	6
Planteamiento del problema	8
Objetivos	10
Objetivo General	10
Objetivos específicos	10
1. Problemática de programación de cultivos de papa departamento de Boyacá	11
1.1. Factores y variables relevantes	11
1.2 Características del entorno municipio Ventaquemada	14
1.2.1 Generalidades	14
1.2.2 Temperatura	15
1.2.3 Precipitaciones	15
1.2.4 Sector Agrícola	16
1.2.5 Hidrografía	17
1.2.6 Uso de la tierra	17
2. Metodología	18
2.1 Selección de metodología	18
2.2 Metodología seleccionada	22
2.3 Consolidación de respuestas	26
2.4 Objetivo del AHP	27
2.5 Identificación y selección de alternativas	27
2.5.1 Selección de tipo de labranza	29
2.5.2 Selección sistema de riego	30
2.5.3 Selección tipo de desinfección del tubérculo	30
2.5.4 Elección del aspecto físico del tubérculo	31
2.6 Identificación y selección de criterios	31
2.7 Seleccin de Expertos	35
3. Resultados	37
3.1 Consistencia de los resultados obtenidos	37
3.2 Resultados criterios	38
3.3 Resultados alternativas	39
4. Conclusiones	41
Bibliografía	42

Introducción

En Colombia la papa se sitúa como uno de los principales productos agrícolas, siendo el segundo cultivo de mayor importancia a nivel nacional. La producción de este tubérculo ocupa el 3.3% del PIB agropecuario de este país. Esta producción se concentra en 9 departamentos: Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Santander, Norte de Santander, Cauca, Tolima y Caldas, los cuales se encuentran ordenados de manera descendente de acuerdo a su nivel de producción (DANE, 2018). Más de 100.000 familias productoras subsisten del cultivo a nivel nacional, que en su gran mayoría son terrenos de extensión reducida denominados minifundios. El 95% de los productores siembran menos de 3 hectáreas y el 80% menos de 1 hectárea, esto indica que los minifundistas son un grupo relevante en el sector de la agricultura a nivel nacional (Fedepapa, 2019).

A pesar de su gran aporte a la agricultura nacional, los minifundistas no logran explotar todo el potencial que puede dar esta actividad y uno de los factores principales que no permiten mejorar la productividad es el uso ineficiente del suelo en actividades agropecuarias. Según los cálculos del IGAC, en Colombia el 13,1% del territorio nacional (14.946.997 hectáreas) se encuentra sobreutilizado y el 15,6% (17.847.401 hectáreas) en algún grado de subutilización. Adicionalmente, el 40% (45.379.058 hectáreas) de la superficie continental e insular, presenta algún grado de degradación de suelos por erosión, siendo el 3% (3.063.203 has) erosión severa y 0,2% (271.390 ha) erosión muy severa. De las tierras que se encuentran en usos agropecuarios, el 88% (6.650.821 has) presentan algún grado de erosión en los suelos. A su vez, el 60% del área de suelos con aptitud para desarrollo agropecuario están afectados por erosión, de las cuales 4,6% presentan grados severos, es decir, se han perdido cerca de un millón de hectáreas. De las tierras en uso agrícola, el 93% (1.929.733 has) presenta algún grado de erosión. Por otro lado, del 0,3% de las tierras en distritos de riego, el 94% (301.833 ha) presentan algún grado de erosión (IDEAM-UDCA, 2015).

La región oriental del país es la principal proveedora de alimentos a nivel nacional. Boyacá, caracterizado históricamente por tener un territorio con una vocación agrícola en un área rural dispersa de 2'277.667 hectáreas, de las cuales el 27 % se encuentran en bosques naturales, el 67 % están destinadas al uso agropecuario, el 3,6% son de uso no agropecuario y el 1.5% se encuentran destinadas a otros usos y coberturas de la tierra. Del territorio agropecuario de este departamento, 307.793 hectáreas son para uso agrícola donde el 11,42% está destinado para el cultivo de papa (DANE, 2016).

Según los resultados por PIB Departamental en el departamento de Boyacá las actividades agropecuarias representan el 11% de la economía total de esta región (DANE, 2018). El cultivo de papa situado como uno de los principales productos agropecuarios convierte a

este departamento en un productor papero ayudado de su disponibilidad hídrica y bajas temperaturas, elementos clave para el óptimo desarrollo del cultivo (Fedepapa, 2019).

A pesar de las virtudes geográficas y la disposición de los recursos que presenta el departamento, es evidente una problemática que afecta la actividad comercial de los cultivadores de papa e impide tener un óptimo proceso de producción. Es decir, para lograr obtener una gestión eficiente del ciclo productivo de este tubérculo se deben controlar diversas variables que actúan de manera directa sobre él, sin embargo, se ha encontrado que la mayoría de estos productores no tienen un proceso de planeación previo, puesto que lo hacen de manera empírica basados en su experiencia. (FAO. Food and Agriculture Organization, 2017).

Por lo anterior, este documento busca identificar los elementos que permitirán a los agricultores una mejor programación en el futuro, con el fin de generar un beneficio en cuanto a la calidad de la papa, el cuidado del suelo y la productividad del cultivo. Para ello se propone una metodología multicriterio basada en los elementos claves de su ciclo de producción y su entorno, evaluando el desempeño de la herramienta en un caso hipotético inspirado en el contexto de Boyacá. La fase inicial del modelo se divide en tres partes. En primera instancia se hace una revisión de la literatura con el fin de determinar y caracterizar la zona del departamento seleccionada. La segunda parte consiste en definir los criterios relevantes al caso. Y la tercera parte con la que se culmina la fase inicial supone la identificación de las alternativas a evaluar.

Posteriormente se desarrolla la segunda fase, esta comprende la ejecución del modelo con su respectivo proceso de priorización tanto de los criterios como de las alternativas de acuerdo a la metodología Analytic Hierarchy Process (AHP).

Por último, la tercera fase consiste en la presentación de los resultados arrojados por el modelo y las conclusiones aplicables al caso.

Planteamiento del problema

Colombia es un país con condiciones geográficas y climáticas favorables para la producción agrícola, esto facilita el desarrollo de proyectos para la generación de productos esenciales para el consumo humano que se encuentran en la canasta básica familiar, lo que ha representado alrededor del 6% del valor agregado al PIB nacional (Banco Mundial, 2019). Su aumento en la participación al PIB se debe a que desde el año 1990 se ha presentado un incremento en el área sembrada en cultivos permanentes, pasando de 2.333.471 hectáreas a 3.339.278 hectáreas en 2016 que representan el 43,10% de aumento (Departamento Nacional de Planeación-DNP, 2016); sin embargo, no se puede decir lo mismo en cuanto a la productividad, pues el país presenta importantes rezagos en los rendimientos productivos agrícolas. Por ejemplo, en maíz y papa la producción promedio del país se ubica en 3,6 t/ha y 19,3 t/ha respectivamente, mientras que en Estados Unidos el rendimiento promedio es de 11 t/ha en maíz y 49 t/ha en papa (FAOSTAT, 2018).

En Colombia los departamentos de Boyacá y Cundinamarca son los principales productores de tubérculos como la papa, en el caso de Boyacá es el segundo departamento con mayor producción a nivel nacional de este producto (Ministerio de Agricultura & UPRA, 2018). Sin embargo, se han presentado problemas en la planeación de los productores primarios ocasionando una sobre utilización del suelo disponible (Gobernación de Boyacá, 2018), y en consecuencia, el territorio Boyacense presenta un impacto negativo en el suelo por sobreexplotación donde 686.000 ha tienen vocación agropecuaria (30%) y 1.073.303 ha (47%) están en producción agropecuaria, lo que hace que el 44% se encuentra en conflicto de sobre-uso, mientras un 10% se encuentra en sub-uso. El 75% del total del área departamental presenta procesos erosivos de los cuales un 8% tiene erosión severa (Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, 2019).

Aún predomina una economía campesina de bajo impacto en la competitividad de la región y contribuye parcialmente a reducir los altos índices de pobreza presentes en la cotidianidad del departamento. Las explotaciones agropecuarias que actualmente vienen desarrollando los pequeños productores carecen de tecnología, asistencia técnica, planificación de siembras y controles fitosanitarios adecuados que inciden en los altos costos de producción, Adicionalmente, la falta de recursos económicos y una precaria presencia del Estado en muchas zonas, se ve reflejado en una insuficiente infraestructura de riego y drenaje, como también en la falta de implementación de paquetes tecnológicos que mejoren los rendimientos, la rentabilidad y competitividad del departamento de Boyacá. Finalmente, la sobreutilización del uso de los suelos y la fuerte deforestación de las cuencas para el establecimiento de cultivos ha propiciado un escenario de deterioro de los recursos naturales y bajo desarrollo social del campesino.

Con el propósito de hacerle frente a esta problemática, se propone el uso de una herramienta multicriterio que permita priorizar alternativas relevantes en el proceso productivo del cultivo de papa, evaluándose respecto a una serie de criterios previamente seleccionados por su relevancia en este proceso agrícola y teniendo en cuenta las condiciones geográficas, ambientales y disponibilidad de recursos de la zona caso de estudio.

Objetivos

Objetivo general

Proponer una metodología multicriterio que apoye la programación eficiente del cultivo de papa en una zona del departamento de Boyacá que mejore la productividad del cultivo, la calidad del producto cosechado y mitigue la sobreutilización del suelo.

Objetivos específicos

- Estudiar la problemática de programación de cultivos de papa del departamento de Boyacá con el fin de conocer sus factores, variables relevantes y condiciones del entorno seleccionado.
- Seleccionar una herramienta multicriterio y determinar las alternativas y los criterios relevantes para la toma de decisiones de la programación del cultivo de papa.
- Evaluar las alternativas conforme a los criterios definidos y según la metodología de la herramienta multicriterio seleccionada.

1. Problemática de programación de cultivos de papa departamento de Boyacá

1.1. Factores y variables relevantes

La problemática del departamento Boyacense radica en el sector rural donde la mayoría de su población se encuentra categorizada en el grupo de los minifundistas los cuales presentan dificultades para el acceso a los factores productivos, puesto que dependen en su totalidad del ingreso de sus unidades productivas tales como autoconsumo, abastecimiento de mercados locales y regionales y competitivas para cubrir mercados a nivel nacional e internacional. A pesar de que existen algunos productos que tienen altos volúmenes de producción, se evidencia la falta de especialización y planificación de esta actividad, y adicionalmente se presenta escasez de mano de obra y abandono del campo por parte de la población joven.

En Boyacá existen múltiples variables por la cual el precio de la papa en el mercado puede variar, dando como resultado márgenes de ganancia mínimos o incluso en algunos casos, pérdidas al final de la operación para los campesinos productores.

A lo largo de la historia se ha evidenciado una alta intermediación en la cadena de valor de los cultivos (Ilustración 1) lo cual repercute en un aumento del precio final del producto cosechado.

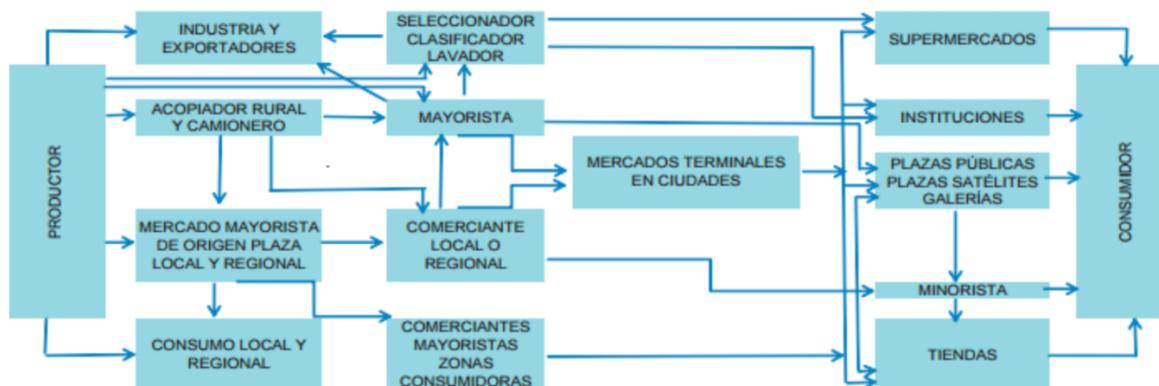
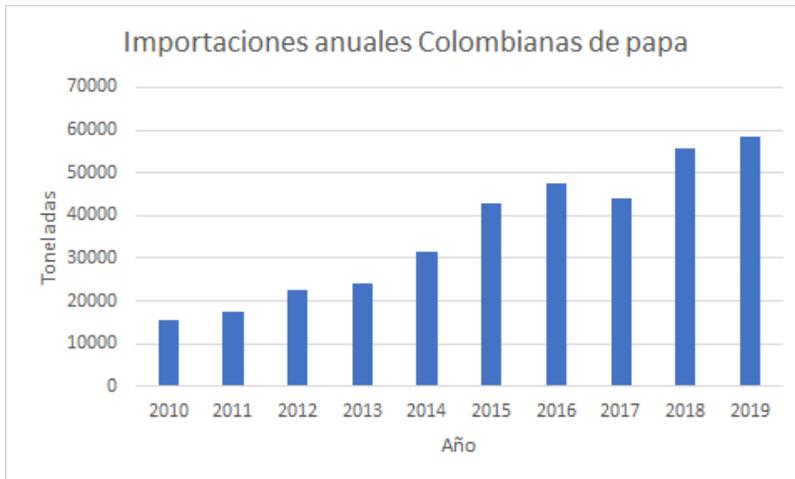


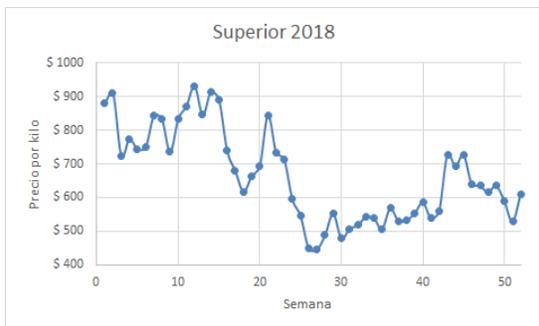
Ilustración 1. Estructura de comercialización de la papa en Colombia, Fuente. (FedePapa, 2018.)

Adicionalmente, otro factor implicado a esta problemática está ligado a las importaciones de papa en Colombia, las cuales muestran una tendencia de crecimiento anual (Gráfica 1). Los agricultores colombianos tienen una gran desventaja con respecto a productores extranjeros, debido a que en su gran mayoría los minifundistas y pequeños productores no poseen capacitación suficiente, ni asistencia técnica y muchas veces los productos no cumplen con los requisitos fitosanitarios.

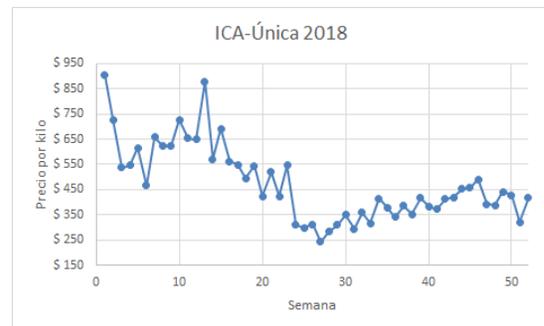


Gráfica 1. Importaciones anuales colombianas de papa
Fuente. (FedePapa,2020.)

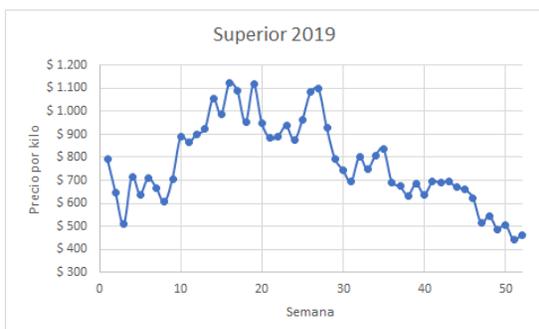
Tener una baja calidad en las tierras genera a su vez una baja calidad del cultivo, este es uno de los factores que produce una variación constante de los precios de la papa durante el tiempo (DANE, n.d.). Esta variación se ve evidenciada en el histórico de precios (2018 - 2020) de las variedades de papa “ICA - Única” y “Superior”, las cuales tienen gran presencia en el departamento de Boyacá (Gráfica 2-7).



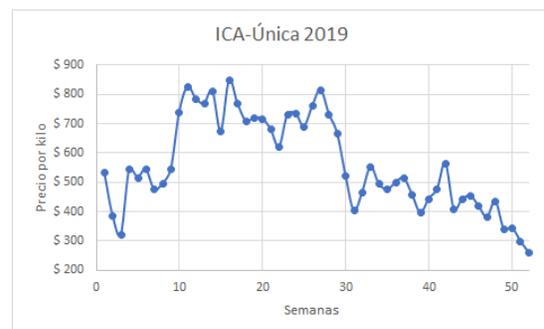
Gráfica 2. Precio de venta variedad Superior (COP) en el primer canal de comercialización Fuente. (SIPSA-DANE,2018.)



Gráfica 3. Precio de venta variedad ICA-Única (COP) en el primer canal de comercialización Fuente. (SIPSA-DANE,2018.)

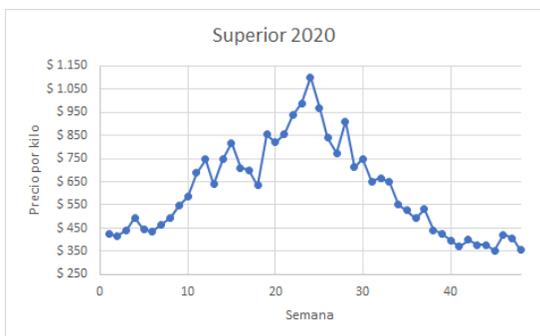


Gráfica 4 Precio de venta variedad Superior (COP) en el primer canal de comercialización Fuente. (SIPSA-DANE,2019.)



Gráfica 5. Precio de venta variedad ICA-Única (COP) en el primer canal de comercialización Fuente. (SIPSA-DANE,2019.)

)



Gráfica 6. Precio de venta variedad Superior (COP) en el primer canal de comercialización Fuente. (SIPSA-DANE,2020.)



Gráfica 7. Precio de venta variedad ICA-Única ((COP) en el primer canal de comercialización Fuente. (SIPSA-DANE,2020.)

Teniendo en cuenta los datos de las gráficas anteriores, se logra evidenciar que el precio medio de ambas variedades de papa tendían al alza hasta el año 2020, en donde se presenta una caída debido a la coyuntura presentada por la pandemia la cual afectó los mercados tanto nacionales como internacionales, sin embargo, para este año el constante aumento en la variabilidad de los precios se hizo más notorio y se ve reflejado de igual manera en el incremento de la desviación estándar de los precios (*Tabla 1*).

Año	Variedad	Media	Desviación estandar
2018	ICA-Única	\$ 474	\$ 148,56
	Superior	\$ 666	\$ 136,18
2019	ICA-Única	\$ 561	\$ 157,39
	Superior	\$ 774	\$ 180,65
2020	ICA-Única	\$ 427	\$ 170,08
	Superior	\$ 611	\$ 196,80

Tabla 1. Media y desviación de datos en COP
Fuente: Elaboración propia

Las tierras se pueden agrupar en 8 clases agrológicas de acuerdo a sus características. La clase número 1 agrupa las tierras con condiciones ideales para la producción agrícola, y a medida que las tierras presentan menos condiciones para el cultivo, su número de clase aumenta hasta quedar agrupadas en la clase 8 la cual se considera solamente apta para la preservación de la vida silvestre y los recursos naturales. (IGAC; 2005).

En el departamento de Boyacá no se encuentran tierras con clases agrícolas 1 y 2, esto da lugar a que el proceso productivo de la agricultura deba realizarse con prácticas que conserven el estado de los suelos con el fin de evitar que este se degrade o erosione y pierda su fertilidad para la producción del cultivo. Cabe resaltar que el departamento de Boyacá es principalmente montañoso en aproximadamente el 70% de la totalidad de su área, el resto del territorio se compone de relieves suaves. (IGAC; 2005).

La actividad que genera más empleo en el departamento de Boyacá es la agricultura, no obstante, esta se desarrolla de una forma tradicional que no permite obtener todo el potencial que la tierra de esta zona puede dar, por lo tanto, esto genera una baja en los rendimientos, afecta la calidad de la tierra y hace que el cultivo sea más propenso a plagas y enfermedades. Una de las principales causas de lo mencionado se debe al modelo minifundista de tenencia de tierras que se maneja en la zona, ya que estos pequeños productores se basan en su conocimiento empírico y tradicional para la producción de su cultivo y son ellos los que representan la mayor población de agricultores del departamento. (Gobernación de Boyacá, 2018).

Basados en lo anterior, se hace importante centrar la problemática en esta categoría de productores, los minifundistas, pues es aquí donde yace en mayor medida los problemas en torno a los precios de la papa, erosión de la tierra y baja productividad, por tanto hay una gran posibilidad de mejora. Al tratarse de un tema importante para el departamento Boyacense, se debe buscar generar la mejora en la zona que represente mayor producción de este cultivo y bajo esta categoría de agricultores. La zona elegida en este trabajo de grado que cumple con los lineamientos del problema y también con la facilidad para obtener información, es el municipio de Ventaquemada.

1.2 Características del entorno municipio Ventaquemada

1.2.1 Generalidades

Ventaquemada es un municipio colombiano ubicado en la Provincia del Centro, en el departamento de Boyacá. Está situado sobre la Troncal Central del Norte, a unos 29 km de la ciudad de Tunja, capital del departamento. El municipio limita al norte con Tunja y Samacá, al sur con Turmequé, Villapinzón y Lenguzaque, al oriente con Boyacá, Jenesano y Nuevo Colón y al occidente con Guachetá, Lenguzaque y Villapinzón (Ilustración 2). Actualmente el municipio de Ventaquemada cuenta con 16.093 habitantes y conforme al último censo realizado en el año 2018, representa el 1.290% del total de la población del departamento de Boyacá. (PDM Ventaquemada, 2020-2023).

La extensión territorial del Municipio de Ventaquemada es de 159.32 km² de los cuales el 99.68 % es decir 158.82 km² corresponde al área rural y el 0.32% equivalente a 0.50 km² corresponde al área urbana. (PDM Ventaquemada, 2020-2023).

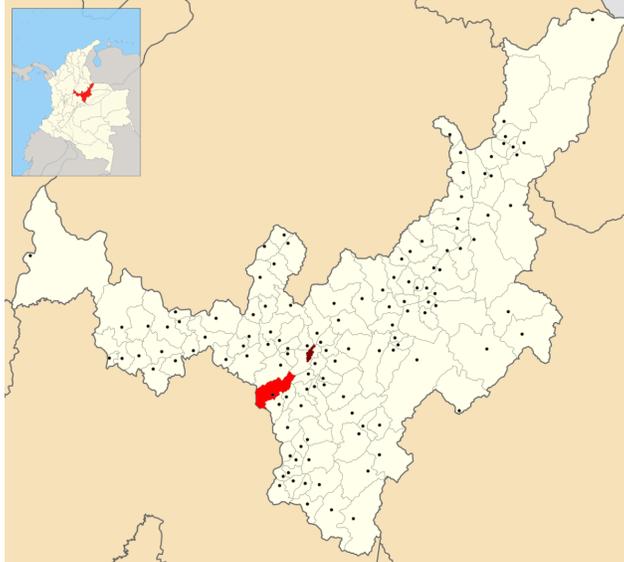


Ilustración 2 -Municipio de Ventaquemada, departamento de Boyacá.

1.2.2 Temperatura

La temperatura presente en la región y teniendo en cuenta los datos de estación Nuevo Colón fluctúa de 12,0 °C temperatura mínima promedios mensuales, valor medio de 14,4°C anual y máxima de 16,5 °C valor anual; los meses que registran incremento en la temperatura son : febrero, marzo y abril, octubre, noviembre y diciembre; mientras que los meses que registran bajas temperaturas son mayo, junio, julio, agosto y septiembre como se registra en la gráfica correspondiente, coincidiendo con la época de lluvias. El municipio se encuentra entre los pisos térmicos frío y páramo. (PDM Ventaquemada, 2020-2023).

1.2.3 Precipitaciones

La precipitación para Ventaquemada manifiesta gran heterogeneidad a pesar de la ubicación altitudinal de las estaciones, en la zona tiene presencia el régimen unimodal contemplando periodos lluviosos en los meses de junio y julio, seguido de un gran descenso de lluvias en agosto y septiembre que incrementan un poco en octubre, y finalmente una temporada de baja pluviosidad entre los meses de noviembre y marzo. (Tabla 2) (PDM Ventaquemada, 2020-2023).

Estación Ventaquemada	Ener	feb	mar	Abr	may	Jun	jul	agt	sep	oct	nov	dic
Medios	17,9	33,8	51,8	85,2	102,1	110,6	123,1	95,7	65,1	94,6	69,0	36,0
Máximos	63,8	69,4	121,3	186,0	218,0	207,0	176,5	168,5	117,8	170,3	131,0	95,4
Mínimos	0,0	0,0	6,8	24,7	43,0	54,9	79,1	52,1	21,5	20,4	34,0	1,5

Tabla 2. Precipitaciones valores mensuales (mm) municipio de Ventaquemada

Fuente: IDEAM

1.2.4 Sector Agrícola

El municipio de Ventaquemada se destaca por su vocación agrícola, donde los sistemas de producción en su gran mayoría son tradicionales siendo la papa el principal producto y renglón económico del mismo, ocupando el segundo lugar a nivel nacional; otros cultivos que se destacan en el municipio son: zanahoria, arveja, cebolla de bulbo, frijol, habas, maíz tradicional y la uchuva. Además, el municipio cuenta con microempresas que se dedican a la transformación de la producción de papa precocida y transformación de lácteos.(PDM Ventaquemada, 2020-2023).

El municipio tiene una cobertura asociada a la producción agrícola, principalmente basada en la presencia de cultivos transitorios que son aquellos cultivos cuyo ciclo vegetativo por lo regular es menor a un (1) año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses y cultivos permanentes herbáceos. El cultivo de papa es la principal fuente de empleo rural en el municipio. Una hectárea genera entre 90 y 100 jornales (Jornal: Cantidad de dinero que gana un trabajador por cada día de trabajo) durante el ciclo del cultivo, de este producto viven cerca de 2800 agricultores; se siembran aproximadamente 5.000 hectáreas de papa con una producción cercana a 100.000 toneladas al año (Gráfico 8). (PDM Ventaquemada, 2020-2023).

Las épocas de siembra están enmarcadas por el régimen lluvioso. Las dos grandes siembras se hacen en dos periodos, el primero en los meses de febrero y marzo, denominado año grande y la segunda en el mes de junio o San Pedruna, otras siembras se hacen en menor escala a lo largo del año. Las dos variedades que más se cultivan son la pastusa superior, para consumo en fresco y la Diacol Capiro (R12) para procesos industriales. Este cultivo es rotado con pastos o zanahoria en su gran mayoría en las zonas altas del municipio y en la parte baja con pastos, maíz, haba, frijol, arveja y arracacha. (PDM Ventaquemada, 2020-2023).

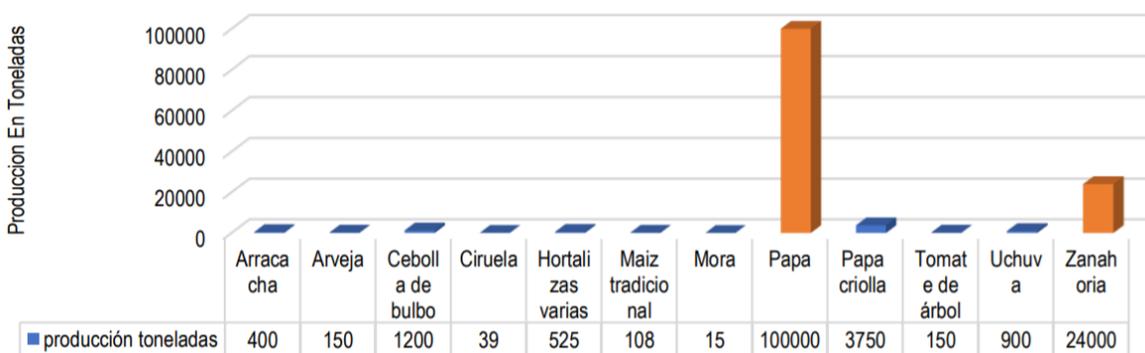


Gráfico 8 -Producción Agrícola de Ventaquemada para el Año 2018.
Fuente. Gobernación de Boyacá 2018

1.2.5 Hidrografía

Las cuencas hídricas correspondientes al municipio de Ventaquemada son la subcuenca del río Ventaquemada, microcuenca del río Albarracín, Subcuenca del río Teatinos y microcuenca de la quebrada Cortadera.

El tema biofísico es muy importante para el municipio de Ventaquemada, sin embargo, aspectos como la deforestación y las actividades agropecuarias llevan a disminuir y extinguir los recursos naturales, se evidencian hechos como la tala de bosques nublados con el fin de usar más terrenos para la producción de papa, esto genera más utilización del recurso hídrico que repercute en el deterioro en las riveras, la contaminación de las aguas por material de arrastre y la disminución del caudal de los ríos que son principalmente el cauce del río Albarracín, río Ventaquemada, la subcuenca del río Teatinos y la microcuenca Quebrada Cortaderal. Debido al aumento en la demanda del agua para consumo doméstico, agricultura, industria, entre otros, se presentan en el municipio racionamientos de este recurso vital, situación que irá empeorando al pasar del tiempo y conlleva a buscar otras alternativas para aprovechamiento de aguas, como por ejemplo las aguas subterráneas que se observan como una buena opción, no obstante, el incremento en el uso de agroquímicos en los cultivos y pastos se convierte en una amenaza para esta opción ya que la infiltración de dichos químicos en la tierra pueden contaminar el agua a tal punto que ya no sea aprovechable. Adicionalmente, los bajos rendimientos en los cultivos ocasionados por la falta de riego hacen de la agricultura una actividad costosa pues los agroinsumos elevan su precio constantemente. (PDM Ventaquemada, 2020-2023).

1.2.6 Uso de la tierra

La falta de reglamentación del uso de la tierra a nivel municipal es un problema que ha generado serias complicaciones que afectan negativamente el ecosistema y los suelos. (ampliación franja agrícola, sembrados en alturas inadecuadas, deterioro de los páramos, explotaciones de canteras, otros).

La autoridad ambiental de la jurisdicción es CORPOCHIVOR, entidad que a través de la UMATA de Ventaquemada vigila que los recursos naturales de la localidad estén siendo bien utilizados, sin embargo la amplia extensión del municipio impide una acción eficaz.

En cuanto a la frontera agrícola se evidencia una problemática, debido a que se hacen sembrados de acuerdo a las necesidades particulares. Situación que tiende a mantenerse afectando los sitios de cobertura hídrica y alterando factores ambientales propios del municipio, dado que los suelos de páramo son susceptibles de degradación por sobre uso. Ventaquemada presenta pérdida de suelos por erosión y procesos de remoción en masa, disminución de áreas cultivables, contaminación del paisaje y empobrecimiento de los pobladores, por lo anterior, el agricultor amplía su área de cultivo dejando descansar la tierra. (EOT Ventaquemada Boyacá, 2001 - 2010)

2. Metodología

Tanto los animales como los seres humanos tenemos algo en común, en mayor o menor medida, poseemos cierta capacidad de decisión que condiciona la forma en la que actuamos a la hora de hacer frente a diversas situaciones. No obstante, lo que nos diferencia a unos de otros, es la complejidad con la que planteamos y evaluamos los problemas. Mientras que los animales deciden de una forma más simple e instintiva, los seres humanos unas veces generamos decisiones mediante un proceso simple y otras veces, el proceso goza de notable complejidad, principalmente cuando las decisiones marcan momentos importantes en nuestra vida. No es lo mismo decidir que color de camiseta comprar, a determinar qué estudios profesionales se van a cursar. (Cabello, 2016).

La opinión autocrática en la toma de decisión puede tornarse insuficiente cuando se analizan problemas complejos, sobre todo aquellos problemas en donde la solución puede afectar a muchas otras personas (Munda, 2004; Mendoza & Martins, 2006; Dou, Zhu & Simon, 2012). Debido a lo anterior, se debe propender por generar discusiones e intercambio de ideas y opiniones entre expertos, quienes por su experiencia y conocimiento pueden ayudar a estructurar el problema y a evaluar las posibles soluciones (Hernández, Fernández & Baptista, 2006; Dalalah, Hayajneh & Batieha, 2011).

Por lo anterior, el desarrollo del presente trabajo consiste en la selección y construcción de un modelo multicriterio con el fin de definir alternativas que otorguen mayores beneficios en los aspectos económico, ambiental y técnico asociados al cultivo de papa, promoviendo así una programación eficiente del cultivo en torno al municipio de Ventaquemada, en el departamento de Boyacá. Para casos de estudio de este tipo es muy importante hacer una caracterización de la zona implicada con el fin de seleccionar los criterios de decisión adecuados y las alternativas más relevantes.

2.1 Selección de metodología

Escoger el método a emplear se convierte a su vez en un problema decisional complejo, dado que cada método tiene ventajas como desventajas y campos de aplicación diferentes, por lo que no se puede establecer orden de dominio de uno sobre los otros (Lee & Chang, 2018). Sin embargo, el mismo problema y su estructura contribuyen para poder inclinarse sobre aquel que mejor se adapta a lo que se quiere lograr (Romero, 1996).

Dentro de las metodologías multicriterio más relevantes encontradas en la literatura se encuentran las siguientes:

VIKOR

El método VIKOR proporciona para el conjunto de alternativas una o varias soluciones de compromiso. El método VIKOR es apropiado para resolver problemas de decisión con criterios en conflicto y no conmensurables, es decir, con distintas unidades, o en el caso de

que haya criterios cuantitativos y cualitativos. La solución de compromiso viene determinada como aquella que se encuentra a una distancia más corta de la solución ideal

El método VIKOR es una herramienta eficaz como método de decisión multicriterio en aquellos casos en los cuales el decisor no es capaz, o no sabe, expresar sus preferencias al inicio del proceso de diseño. La solución de compromiso obtenida podría ser aceptada por el decisor, ya que proporciona la máxima utilidad de grupo a la mayoría, representado por el mínimo “S”, y una oposición mínima individual representada por el mínimo “R”. (Muñoz y Romana 2019).

ELECTRE

El método ELECTRE I (Elimination and Choice Translating Algorithm), desarrollado por Benayoun, Roy y Sussman (1966) ha sido objeto de muchas mejoras a lo largo de la historia. En primer lugar, fue mejorado al ELECTRE II [Roy y Bertier (1971)], después al ELECTRE III [Roy (1978)] y al ELECTRE IV [Roy y Hugonnard (1982)].

ELECTRE se puede considerar uno de los métodos más usados durante estas últimas décadas. Este procedimiento permite reducir el tamaño del conjunto de soluciones eficientes mediante una partición del conjunto eficiente en dos subconjuntos. Uno de alternativas muy favorables para el decisor y otro de alternativas menos favorables. En referencia al procedimiento, partiendo de una matriz de decisión, se utiliza la relación de subclasificación con el fin de obtener una matriz de superación. Una alternativa sobre clasifica a otra y pasa a formar parte del conjunto de alternativas más favorables cuando es al menos igual de buena, teniendo en cuenta el conjunto de atributos considerados. Para ello, es necesario que la concordancia entre ambas supere un índice, y la discordancia no supere otro, ambos establecidos previamente. (Cabello, 2016)

TOPSIS

El análisis TOPSIS, “Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution” (Hwang & Yoon, 1981) se basa en que la alternativa escogida (la más preferida) debe tener la menor distancia respecto a la solución positiva ideal (SPI) que minimiza los costos y maximiza los beneficios y la mayor distancia a la solución negativa ideal (SNI), que maximiza los costos y minimiza los beneficios. (Zhao & Fang, 2016).

PROMETHEE

Los Métodos PROMETHEE son métodos de decisión multicriterio discreta (Brans y Mareschal, 1994; Brans y Vincke, 1995; Goumans y Lygerou, 2000). Estos métodos se basan en las relaciones de superación entre las diferentes alternativas comparadas de dos en

dos. Se supone que el decisor compara cada alternativa con otra cuando son evaluadas bajo diferentes criterios, los cuales pueden venir expresados en diferentes unidades de medida, así como, diferentes ponderaciones. Para poder determinar el ordenamiento parcial (PROMETHEE I) u ordenamiento completo (PROMETHEE II) entre las diferentes alternativas es necesario el cálculo de la matriz de índices de preferencia. Para poder calcular esta matriz es necesario conocer cuál es el criterio generalizado bajo el cual se evalúa cada uno de los criterios. (Palomo, Fernandez, Gutierrez, 2012).

MAUT

La base de los métodos MAUT es el uso de la función de utilidad. Estos métodos parten del supuesto de que el decisor trata de maximizar una función de utilidad que agrega los distintos criterios que intervienen en el problema. Cuando el problema es discreto y no existe una situación de incertidumbre, esta función se denomina función valor. MAUT asume que un problema de decisión puede modelizarse mediante funciones valoradas reales que pueden ser maximizadas/minimizadas entre las alternativas.

Los métodos basados en la función de valor consisten en construir una función (v) que asocia un número real a cada una de las alternativas posibles. Este número refleja el valor o la utilidad que cada alternativa tiene para el decisor. La principal dificultad de estos métodos consiste precisamente en encontrar dicha función de valor, pero una vez obtenida, el problema de decidir la mejor de las alternativas se reduce a obtener el máximo/mínimo de todos los valores calculados. (Muñoz, Romana, 2016).

En el proceso de optar por una de estas metodologías, se hizo uso de un estudio realizado por Mardani, A., Jusoh, A., MD Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015) donde se muestra la frecuencia de utilización de las metodologías de decisión multicriterio en la literatura tomando un total de 393 estudios, sus resultados reflejan (sin contar con resultados híbridos y métodos de agregación) que la técnica más empleada es el AHP con una cifra de 128 apariciones, seguido por la metodología TOPSIS con 45 apariciones y ELECTRE con 34 apariciones. La totalidad de resultados del estudio se presentan en la Tabla 3.

Técnica Usada	Frecuencia de aplicación	Porcentaje
AHP	128	32,57
MCDM híbrido	64	16.28
Métodos de agregación	46	11,7
TOPSIS	45	11,4
ELECTRE	34	8,65
ANP	29	7.38
PROMETHEE	26	6,62
VIKOR	14	3,56
DEMATEL	7	1,78
Total	393	100

Tabla 3 - cantidad de apariciones de diferentes técnicas multicriterio

Fuente. Mardani, A., Jusoh, A., MD Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015)

Para definir la metodología a emplear se utiliza la Tabla 4 realizada por Nesticó y Somma en 2019 en la cual se hace una comparación entre las 3 metodologías multicriterio seleccionadas anteriormente, la tabla resalta ciertas peculiaridades o características propias de cada metodología que facilitan la elección de un método acorde al contexto del caso estudio. En primera instancia, el sector de la agricultura maneja una extensa cantidad de factores y criterios que intervienen y están presentes en el ciclo de producción de los cultivos, como se puede observar en las Directrices de evaluación de la tierra para la agricultura publicado por Food and Agriculture Organization (FAO) en 1985. En él se presentan 13 principales factores agronómicos que intervienen en el proceso que a su vez se desglosan y ramifican en más subfactores, dando muestra de la gran cantidad de criterios implicados en este proceso, por ende se justifica la necesidad de contar con una metodología que sea apta para tratar una amplia cantidad de criterios.

Respecto a las alternativas, se debe tener en cuenta que la problemática que se está tratando en el presente trabajo se encuentra en un contexto determinado geográficamente, lo que implica que sus variables están definidas de acuerdo a los aspectos sociales, climáticos, económicos y culturales de la zona. Por tal motivo, la cantidad de alternativas que se definan para ser evaluadas en la metodología se reducen ya que deben ser seleccionadas únicamente las que sean viables y vayan acordes a lo anteriormente mencionado, por consiguiente, se torna conveniente utilizar una metodología adecuada para manejar una cantidad limitada de alternativas.

Metodología	Numero de criterios	Numero de Alternativas	Estructura del algoritmo	Clasificación	Solución
AHP	Grande	Limitado	Comparación por parejas	Clasificación por puntaje	Mejor alternativa según los criterios y subcriterios
ELECTRE	Limitado	Limitado	Umbrales de preferencia	Clasificación por preferencia	Alternativa no dominada
TOPSIS	Grande	Grande	Solución ideal y solución ideal negativa	Clasificación por puntaje	Alternativa más cercana a la solución ideal y al mismo tiempo más distante de la solución negativa ideal

Tabla 4 - Características diferenciativas metodologías multicriterio

Fuente. Nesticó y Somma 2019

Diversos autores perciben el AHP como el método más fácil y uno de los que ofrece resultados de mayor confianza (Kumar, 2004), lo anterior se puede sustentar por ejemplo en el caso de definición de pesos de los criterios, al compararlo con otras metodologías se observa que el AHP define el valor de importancia de los criterios de una manera más completa y confiable comparando de forma pareada los criterios entre sí, es decir, los expertos deben preguntarse y decidir cuán más importante es un criterio respecto a otro, dicha respuesta debe ser coherente, esto se comprueba mediante el coeficiente de consistencia que determina que hay una respuesta lógica en la puntuación de importancia de criterios, por otro lado, metodologías como TOPSIS calculan estos valores por medio de una fórmula matemática que se ejecuta con las valoraciones que asignan los expertos a las alternativas respecto a cada criterio, es decir, dicha fórmula busca determinar la importancia que tiene cada criterio a partir de las puntuaciones de las alternativas dejando de lado la opinión que tengan los expertos en cuanto a los criterios propiamente, por tal motivo, se puede afirmar que la metodología AHP al tener en cuenta lo mencionado anteriormente genera un resultado de mayor confianza y más cercano a la realidad.

Finalmente, después de analizar toda la información dada anteriormente, se elige la metodología AHP debido a que es la que mejor se acopla a las características del caso en cuestión, todo esto sumado a que “el método AHP es más eficaz en presencia de los criterios y subcriterios de evaluación, ya que a través de una estructura jerárquica, en varios niveles, permite romper un complejo problema en subproblemas más simples que se pueden analizar con mayor detalle” (Nesticó y Somma, 2019), que es un factor clave para analizar esta problemática.

2.2 Metodología seleccionada

El análisis AHP, “Analytic Hierarchy Process” (Saaty, 1977), es utilizado para la toma de decisiones a partir de comparaciones pareadas entre varias alternativas, lo que refleja las preferencias relativas según uno o varios tomadores de decisión también denominados expertos. Sus aplicaciones se encuentran en la planeación estratégica, locación de recursos y resolución de conflictos (Saaty, 1987). Permite estructurar problemas complejos del tipo multicriterio en una escala jerárquica, ponderando los elementos en cada nivel jerárquico, con el objetivo de definir un orden de preferencia de alternativas que pueden dar solución a una meta general, evaluadas según distintos criterios (Wind & Saaty, 1980). Cada nivel

jerárquico está compuesto por algunos elementos, los cuales son descompuestos en otro conjunto de elementos más específicos. Se asume que los elementos en cada nivel son del mismo orden de magnitud. La Figura 3.1 muestra un esquema típico del análisis AHP.

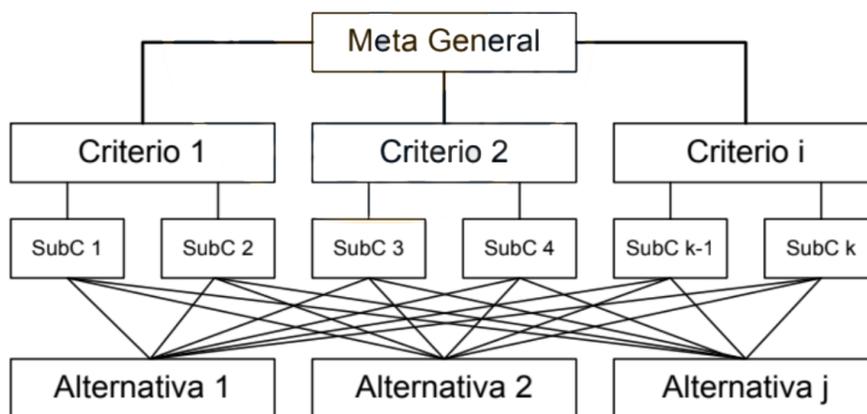


Ilustración 3 - Esquema de un AHP

Fuente: Saaty, 1987

Luego, se utiliza una metodología de medición para establecer prioridades entre los elementos de cada nivel mediante consultas o preguntas a una población de encuestados con el objetivo de evaluar cada conjunto de elementos con base en un criterio del nivel superior. Cada par de elementos es evaluado de manera separada, para lo cual se utiliza una escala de 9 puntos conocida como escala Saaty (Tabla 5) con la intención de determinar la importancia de un ítem sobre el otro.

Escala Saaty	Definición	Explicación
1	Igualmente importante	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Débilmente importante	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre el otro
5	Algo importante	Un elemento es fuertemente favorecido frente al otro
7	Fuertemente importante	Un elemento es muy dominante frente al otro
9	Absolutamente importante	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entres dos escalas adyacentes	Se usan como compromiso entre dos juicios

Tabla 5 - Escala Saaty

Fuente: Saaty, 1987

Con base en la información recopilada se construye una matriz de comparación (MCC), sus valores indican la “fuerza” con la que cada elemento domina al otro respecto a un criterio establecido. Esto forma una matriz A de dimensiones $m \times n$ (ecuación 1), donde a_{ij} representa la prioridad entre el factor i y el factor j , y los valores de la mitad inferior respecto a la diagonal (valores recíprocos) corresponden a los valores inversos de la mitad superior ($a_{ji} = 1/a_{ij}$), siendo $a_{ij} = 1$ cuando $i = j$.

$$A = a_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (Ec 1)$$

En la matriz de comparación A las columnas representan los pesos relativos de cada factor con respecto a los demás. Para determinar el factor de mayor preferencia, para un determinado criterio, se normalizan los valores dividiendo cada elemento de la columna j por la suma de todos los elementos de dicha columna (ecuación 2) y luego se estima un vector de pesos llamado “vector de prioridad” promediando cada fila de la matriz normalizada (ecuación 3), este vector indica la importancia relativa de cada factor en un rango entre 0 y 1.

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (Ec 2)$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} \quad (Ec 3)$$

El paso siguiente es el cálculo de todos los coeficientes de consistencia. Esto se realiza de la siguiente forma:

Se toma la matriz de preferencias original del criterio en cuestión y se multiplica matricialmente por el vector de prioridad del criterio respectivo (ecuación 4)

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cv_1 \\ Cv_2 \\ Cv_3 \end{bmatrix} \quad (Ec 4)$$

Se divide cada elemento del vector obtenido anteriormente entre su correspondiente valor (en la misma posición) en el vector de prioridad del criterio bajo análisis. Como resultado de la operación se obtiene el λ_{max} como el promedio de los términos del vector anterior. (ecuación 5)

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n C v_i / W_i}{n} \quad (Ec 5)$$

A continuación, se calcula el índice de consistencia (CI), el cual refleja la consistencia de los juicios de un decisor, mediante la ecuación 6.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (Ec 6)$$

Finalmente, la razón de consistencia (CR) es calculada con la ecuación 7, indicando la consistencia de cada matriz: si $RC = 0$, la matriz es consistente; si $RC \leq 0.1$, la matriz tiene una inconsistencia aceptable; si $RC > 0.1$, la matriz tiene una inconsistencia inadmisibles, y las comparaciones pareadas deben ser reevaluadas. El índice de consistencia (IA), de una matriz aleatoria de orden n , se obtiene dependiendo del tamaño de la matriz (n) (Tabla 6).

$$CR = CI/IA \quad (Ec 7)$$

n	1	2	3	4	5	6	7	8
IA	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404
n	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,570	1,583	1,595

Tabla 6 - Escala índice de consistencia

Fuente: Saaty, 1987

Finalmente, se obtiene el vector de pesos global (ecuación 8), que indica la prioridad global de cada alternativa, multiplicando la matriz de vectores de pesos locales por el vector de

pesos de cada criterio. Este vector indica la prioridad relativa de todas las alternativas desde el peor evaluado (menor valor) al mejor evaluado (mayor puntaje).

$$\text{Vector pesos global} = \begin{pmatrix} \text{matriz de vectores} \\ \text{pesos locales} \end{pmatrix} \times (\text{vector pesos criterios}) \quad (\text{Ec } 8)$$

2.3 Consolidación de respuestas

Dado que la técnica AHP permite múltiples valoraciones es necesaria una matriz de valoraciones consolidadas. Con los expertos involucrados, por lo general, no se puede llegar a un consenso y hay que sintetizar o desempatar el juicio, el proceso implica realizar comparaciones entre parejas de alternativas de acuerdo con un criterio dado. Los juicios individuales se hacen comparando una alternativa A, con otra, por ejemplo B, de acuerdo con el criterio dado por cada experto, y el conjunto de todos estos juicios individuales deben ser sintetizados en un solo juicio.

Partiendo de que un experto calcula una relación cuando se confrontan dos componentes, las comparaciones son ratios. Si los individuos hubieran comparado el segundo objeto, B, con el primero, A, esta proporción debe ser reemplazada por sus recíprocos. Es natural asumir que en el juicio sintetizado también debe cambiar al recíproco. Por tanto, se requiere un método que permita desarrollar una regla para el juicio de grupo satisfaciendo esta propiedad recíproca.

De acuerdo con el artículo “Procedures for synthesizing ratio judgements ” de Aczél, J., & Saaty, T. L 1983. En donde se demuestra que la media geométrica cumple con satisfacción la propiedad recíproca. En contraste, si se utiliza la media aritmética, esta propiedad no se mantiene. A manera de ejemplo, con la media aritmética la media de dos juicios con valores de 7 y 9 resultaría en 8, cuyo valor recíproco es 1/8, pero en el otro lado de la matriz se obtiene un valor de $(1/7 + 1/9)/2 = 8/63$ lo que difiere del valor esperado de 1/8 para mantener la matriz recíproca. Por otra parte, utilizando la media geométrica, la síntesis de estos dos juicios sería $\sqrt{7 \cdot 9} = 3\sqrt{7}$, y en el otro lado de la matriz el inverso estaría dado por $\sqrt{1/7 \cdot 1/9} = \sqrt{7/21}$, que es el mismo valor del recíproco esperado $1/\sqrt{7 \cdot 9} = \sqrt{7/21}$.

Teniendo en cuenta la explicación anterior, se calcula una nueva matriz de respuestas que es el resultado de la media geométrica de las matrices originales de los expertos (Ilustración 4). Con esta matriz de comparación consolidada se realiza análogamente todo el proceso que inicia en la ecuación 1. El resultado final, será un vector denotado como vector de prioridad de las alternativas, el cual constituye la solución del problema.

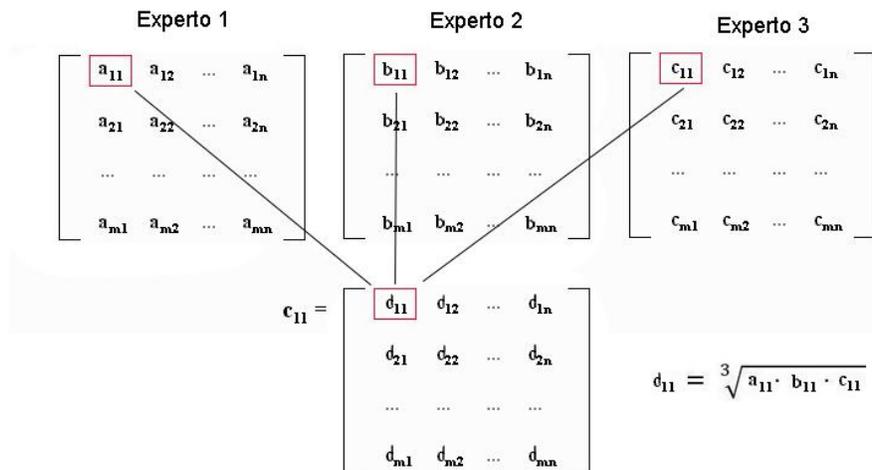


Ilustración 4 - Proceso consolidación de matriz de respuestas

Fuente: Elaboración propia

2.4 Objetivo del AHP

Esta herramienta multicriterio tiene como objetivo encontrar el grupo de alternativas que bajo la mirada de los expertos seleccionados se ajusten mejor a los criterios de decisión, los cuales tienen como enfoque mejorar la productividad del cultivo, la calidad del producto cosechado y mitigar la sobreutilización del suelo en el municipio de Ventaquemada, Boyacá

2.5 Identificación y selección de alternativas

Se realizó una investigación detallada del proceso del ciclo productivo del cultivo de papa, teniendo esta vez como enfoque las actividades o procedimientos que acarrearán una elección de posibles alternativas. Se obtuvo ayuda por parte de un experto en el tema con el fin de validar el grupo de alternativas seleccionadas y la importancia de las mismas. Las actividades resultantes fueron las siguientes:

- Elección de distancia entre tubérculo
- Elección tipo de semilla
- Selección tipo de desinfección del tubérculo
- Selección de distancia entre surcos
- Selección del peso del tubérculo
- Elección tamaño del tubérculo
- Selección sistema de riego
- Selección de profundidad de sembrado
- Elección de fertilizantes
- Selección tipo de Labranza
- Selección tipo de deshieve
- Elección de abono

Adicionalmente, el experto sugirió de acuerdo al entorno (Ventaquemada, Boyacá) y la población involucrada (minifundistas), que las actividades de “Elección del tipo de semilla” y la “Selección del tipo de deshierbe” no tienen cabida a entrar en discusión respecto a sus alternativas para el nicho de investigación tratado debido a que son procedimientos que en su gran mayoría ya están preestablecidos a realizarse de una forma específica.

En el caso de la “Elección del tipo de semilla” las alternativas que se tienen son: Semillas super elite, elite, básica, registrada, certificada (ICA, 2003, Resolución 2501) que son un tipo de semilla que ofrece alta calidad genética, fitosanitaria, física y fisiológica en sus cultivos, por otro lado está la no certificada que es simplemente parte de la cosecha y no se le hace algún tipo de filtro en su elección, sin embargo, para este caso no se genera un debate debido a que los minifundistas optan simplemente a utilizar semillas de tipo no certificadas principalmente por motivos económicos. Por otro lado, en el caso de la “Selección del tipo de deshierbe” las alternativas que se tienen son: deshierbe por medio de herbicidas o deshierbe manual (GUÍA MIP, 2004), sin embargo, estas alternativas no entran en discusión, pues como lo argumenta la FAO “Mientras que en los países desarrollados el manejo de malezas se realiza a través del uso de herbicidas y de maquinaria, en los países pobres o en desarrollo, sobre todo al nivel de la pequeña finca, el agricultor y su familia deben consumir más de un 40% de su tiempo laboral en operaciones de desyerbe manual”.

Para la casuística de elección de las distancias entre semilla, surcos y profundidad de siembra, se llegó a la conclusión con ayuda de un experto que estas son medidas que la mayoría de los agricultores ya tienen estandarizadas, y pasan de generación en generación por tradición oral, por ende no entran en una posible discusión.

Para el caso de las actividades de “Elección de fertilizantes” y “Elección de abonos”, no se tuvieron en cuenta para ser usadas con modelos AHP debido a que estas decisiones dependen completamente de las necesidades y condiciones del terreno en las que se vayan a utilizar, por lo tanto, una alternativa puede resultar siendo adecuada para una finca o terreno, pero puede no ser recomendable en otro.

Adicionalmente, se observa que las actividades de “Selección del peso del tubérculo” y “Elección del tamaño del tubérculo” poseen una relación directamente proporcional en sus alternativas, pues a mayor tamaño del tubérculo, mayor peso del mismo y viceversa, por ende se decide agrupar estas actividades en una categoría que contenga el peso y el tamaño del tubérculo semilla denominando finalmente como “Elección del aspecto físico del tubérculo”.

Finalmente los grupos de actividades seleccionadas se reducen a 4, por tratarse de actividades concernientes al proceso del cultivo cada una de ellas contempla una serie de alternativas que deben ser tratadas en un modelo AHP individual. Se hace importante obtener un ranking y seleccionar la mejor opción puesto que cada una de las alternativas

presenta características y metodologías de aplicación diferentes, por consiguiente, es necesario encontrar la alternativa que se adapte mejor a las condiciones de estudio y obtenga el mejor impacto en cuanto al rendimiento de cultivo, la calidad de cultivo y la conservación de suelos.

2.5.1 Selección de tipo de labranza

La labranza es la operación de la agricultura que consiste en trazar surcos medianamente profundos en la tierra con una herramienta de mano o con un arado. Entre las funciones de la labranza se encuentran facilitar la circulación del agua para un riego correcto, destruir las malas hierbas, hacer menos compacta la tierra, mejorar la estructura y textura del suelo y evitar encharcamientos.

Las alternativas para esta actividad son:

- **Labranza convencional:** Este tipo de labranza implica el uso intensivo de implementos de disco como rastras, rastrillos y pulidores que busca remover la superficie del suelo. El número de pases oscila entre 4 a 8, lo que puede ocasionar pérdidas de suelo anuales de 10 t/ha, compactación y degradación de los suelos. (Agronet, Ministerio de agricultura, 2021)
- **Labranza reducida:** Consiste en reducir las labores de preparación del suelo para la siembra de un cultivo o pastura. En este sistema de preparación, entre 1 y 3 labores son adecuadas para la preparación del suelo, mientras que los implementos más usados son los arados de cincel rígidos, los cinceles vibratorios y las combinaciones de estos con un pase de implemento de disco. (Agronet, Ministerio de agricultura, 2021)
- **Labranza cero o siembra directa:** Se entiende por labranza cero, la siembra que se hace directamente en suelos, sin necesidad de removerlo ni eliminar el rastrojo que lo cubre. Lo importante es eliminar las malezas. (INIA, 2017)
- **Labranza guachado:** En la técnica guachado solo se usa una herramienta manual “azadón” para formar los guachos con mínima disturbación del suelo. En pendientes de hasta 35% los surcos en guachado se orientan en el sentido de la pendiente que afectan la capacidad del suelo para captar, almacenar y ceder agua; la fertilización se realiza con base en bultos de semilla sembrada; la semilla se deposita sobre el pasto y debajo del cespedón lo cual genera emergencia dispereja y retardada. (Alonso, 2014)

2.5.2 Selección sistema de riego

Conjunto de estructuras, que hacen posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. Las alternativas para esta actividad son:

- **Goteo:** En el sistema de riego goteo el agua es distribuida de manera localizada, por gotas, a través de goteros instalados en mangueras de goteo, pequeños reservorios (galones, bambú, etc.) o tuberías de distribución. (FAO, 2008)
- **Microaspersión:** El sistema de riego microaspersión es una modificación del sistema de aspersión tradicional que permite asperjar el agua a poca distancia de la planta y de manera localizada. (FAO, 2008)
- **Aspersión:** En el sistema de riego aspersión el agua es distribuida a través de aspersores, los cuales producen gotas de agua de diferentes tamaños, imitando una precipitación natural. (FAO, 2008)

2.5.3 Selección tipo de desinfección del tubérculo

El sistema de desinfección consiste en aplicar tratamientos a la semilla de la papa con el fin de eliminar aquellos patógenos, principalmente hongos y bacterias, que pueden afectar a su capacidad de germinación y desarrollo. Las alternativas para esta actividad son:

- **Espolvoreo:** Consiste en la aplicación de productos en polvo sobre los tubérculos. Hay varias técnicas de aplicación que se han ido adaptando al cultivo de papa. Entre estas se pueden nombrar: Máquina estacionaria, tambor excéntrico rotatorio, técnica del sandwich. (INIA, 2011)
- **Aspersión:** Consiste en la aplicación de un producto en forma líquida. Se puede realizar de las siguientes formas: Máquina estacionaria, aspersión sobre una cubierta plástica, aspersión en la plantadora, aspersión al surco de plantación. (INIA, 2011)
- **Inmersión:** Implica sumergir la semilla en una solución o suspensión por un tiempo que depende del tipo de semilla y del producto usado. (IICA, 2000)

2.5.4 Elección del aspecto físico del tubérculo

Esta actividad consiste en la elección de la semilla a sembrar en relación a su aspecto físico, es decir, tamaño y peso del tubérculo, se entiende como tamaño el diámetro de la semilla. Las alternativas para esta actividad son:

- **Pequeña:** Comprende tubérculos con medidas entre 30 y 60 milímetros de diámetro y de 20 a 59 gramos de peso. (NTC 341, 1996)
- **Grande:** Comprende tubérculos con medidas mayores a 60 milímetros de diámetro y de más de 59 gramos de peso. (NTC 341, 1996)

Finalmente, Se observa que para las actividades de “Desinfección” y “Aspecto físico” sus alternativas no aplican para ser evaluadas con la totalidad de criterios seleccionados, lo anterior se confirma por medio de una consulta realizada a nuestra co-directora, la cual se encuentra desarrollando su tesis doctoral en una problemática de mayor alcance pero a su vez relacionada con la temática del presente trabajo de grado. Se llegó al consenso de que los criterios “Suelos” y “Recurso hídrico” no tienen relevancia decisoria en las posibles alternativas implicadas.

2.6 Identificación y selección de criterios

De la misma manera que para la identificación de alternativas, se inició por conocer las etapas que conlleva la producción del cultivo de papa o lo que se denomina como ciclo productivo del cultivo de papa. Este ciclo se divide en seis etapas que van desde la planeación del cultivo hasta su respectiva comercialización en el mercado como se puede apreciar en la ilustración 4.

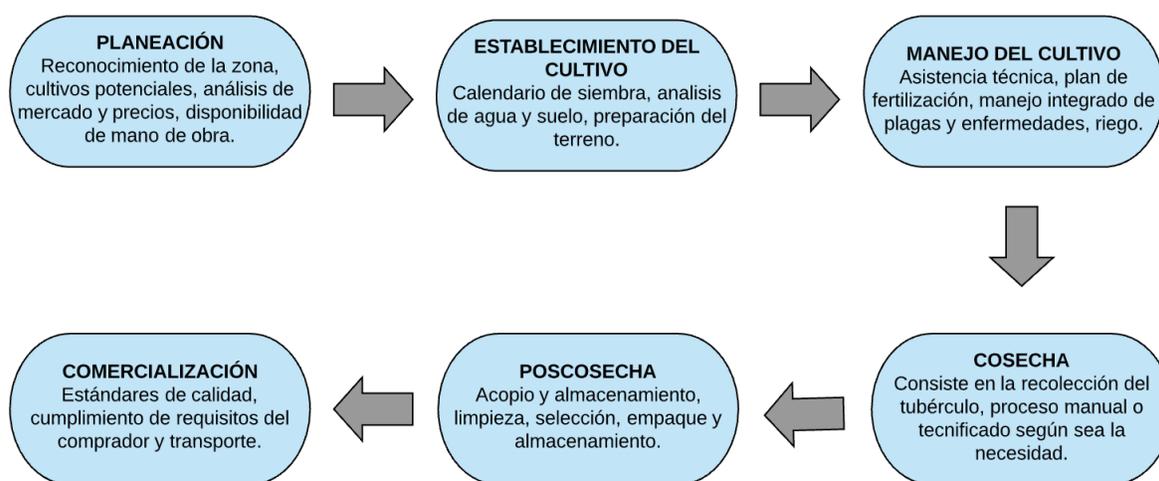


Ilustración 5 - Etapas ciclo productivo cultivo de papa

Fuente: CCB, 2015

Teniendo en cuenta esta información, se revisaron 20 artículos en búsqueda de los factores principales que intervienen en el proceso del ciclo productivo del cultivo de papa, se obtiene como resultado una amplia cantidad de factores identificados en los aspectos social, técnico, económico y ambiental que se repiten a menudo en los diferentes artículos consultados, se procede a realizar una depuración de los elementos repetidos o sinónimos entre sí, reduciendo el grupo y quedando un consolidado de 56 factores. Se hace necesario agrupar dichas variables de acuerdo al tema en común que los identifica, por lo tanto, mediante el proceso de agrupación por similitud y/o complemento se consolidó el número en 13 criterios preliminares. Sin embargo, según Saaty y Ozdemir en su estudio titulado “Why the magic number seven plus or minus two” para el método AHP se recomienda manejar un rango de 5 a 7, pero nunca más que 9 criterios con el fin de mantener bajas inconsistencias debido a los límites humanos en su capacidad de procesar información, por tal motivo, con el propósito de lograr una mayor objetividad en determinar y perfilar los criterios, se agrupan finalmente en 6 criterios ajustados por definición y alcance como se aprecia en la ilustración 6.

A continuación se muestra la caracterización de los criterios que se seleccionaron, por nombre, tipo de criterio o naturaleza y descripción:

Criterio 1: Suelos

Naturaleza: Técnico

Descripción: Este criterio hace referencia al cuidado del suelo, en él se contemplan aspectos relevantes como la erosión que afecta de manera directa el suelo disminuyendo el rendimiento del cultivo y la conservación de nutrientes teniendo en cuenta que en la zona de Ventaquemada los factores más afectados son la acidez (PH) y la saturación de bases.

Objetivo: Este criterio busca mitigar la sobreutilización del suelo disminuyendo la erosión del mismo, con el fin de obtener un mejor rendimiento del cultivo y conservar los nutrientes del suelo.

Criterio 2: Riesgo fitosanitario

Naturaleza: Técnico

Descripción: Este criterio hace referencia al riesgo de transmitir y/o transportar plagas en el cultivo.

Objetivo: Este criterio busca disminuir el riesgo de transmitir y/o transportar plagas en el cultivo, con el fin de contribuir a la calidad y cantidad del producto cosechado.

Criterio 3: Costo de implementación

Naturaleza: Económico

Descripción: Este criterio hace referencia al costo generado en el proceso de producción del cultivo de papa, se tienen en cuenta factores como los insumos, la mano de obra y la maquinaria empleada.

Objetivo: Este criterio tiene como objetivo disminuir los costos generados en el proceso de producción teniendo en cuenta factores como los insumos, la mano de obra y la maquinaria empleada, con el fin de generar una mejor relación costo-beneficio al cultivador.

Criterio 4: Rendimiento del cultivo

Naturaleza: Técnico

Descripción: Este criterio hace referencia a la relación de la producción total del cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizado. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea (T.M /ha).

Objetivo: Este criterio busca evaluar la alternativa que genere un mayor rendimiento en el cultivo, con el fin de mejorar la productividad del mismo y generar una mejor relación costo-beneficio al cultivador.

Criterio 5: Calidad del cultivo

Naturaleza: Técnico

Descripción: Este criterio hace referencia a características del tubérculo como su forma, el tamaño, la profundidad de los ojos y la resistencia a plagas o patógenos habitantes del suelo entre otras. Asimismo, el contenido de azúcares reductores, almidón y proteínas en los tubérculos

Objetivo: Este criterio busca mejorar la calidad del cultivo cosechado, con el fin de mejorar la tasa de tubérculos que cumplen con los estándares mínimos de calidad, ayudando a mitigar la sobreutilización del suelo y aportando a la disminución en la volatilidad de los precios en el mercado.

Criterio 6: Recurso hídrico

Naturaleza: Ambiental

Descripción: Este criterio hace referencia a la cantidad de agua utilizada en el proceso de producción del cultivo de papa, teniendo en cuenta que por el aumento en la demanda de este recurso, se presentan racionamientos y vedas para su uso.

Objetivo: Este criterio busca disminuir la cantidad de agua utilizada en el proceso de producción del cultivo de papa, con el fin de evitar racionamientos y vedas por el aumento en la demanda de este recurso.

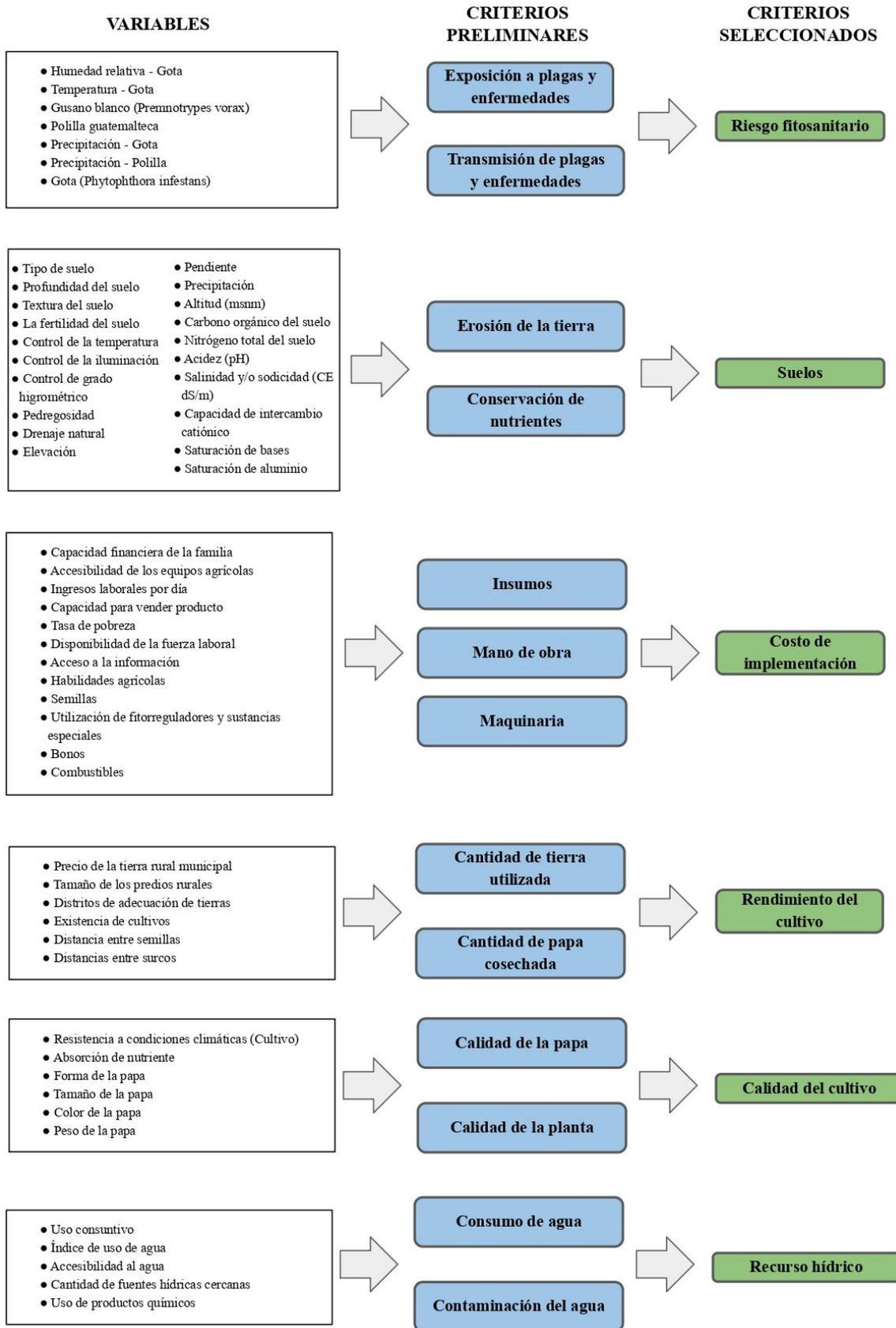


Ilustración 6 - Identificación y selección de criterios
Fuente: Elaboración propia

2.7 Selección de Expertos

La mayoría de los autores coinciden en que en las técnicas multicriterio, un punto decisivo del proceso que se lleva a cabo en este tipo de metodologías es la correcta selección del panel de expertos que participan en el estudio. Por ejemplo, Goluchowicz y Blind (2011) afirman que el proceso de selección de expertos es más importante que otros aspectos cuando se aplica un método Delphi (*técnica de toma de decisiones de calidad basadas en la opinión de un grupo de expertos*), ya que la calidad de los resultados del proceso depende en gran medida de la experticia de sus participantes.

Comprendiendo la gran importancia de una correcta selección del panel de expertos se seleccionó un grupo de personas que en primera instancia ya poseen experiencia como cultivadores de papa en el municipio de estudio, poseen título universitario relacionado al ámbito agrícola, pertenecen o han hecho parte de grupos o asociaciones asociadas al cultivo de papa y han participado en proyectos relacionados al sector agro del departamento.

Es importante mencionar que el proceso de selección, introducción, capacitación y obtención de respuestas por parte de los expertos se vio afectado por la coyuntura de salud pública que al momento de realizar este estudio (2020 - 2021) afecta a la población mundial a causa de la pandemia por el virus COVID-19, obligando a solo disponer de los canales virtuales para el proceso de comunicación entre las partes involucradas, esto sumado al difícil momento que atraviesa el sector agrícola y el comercio en general colombiano obstaculizó en primera instancia la consecución del grupo de expertos con el perfil idóneo, la disponibilidad e interés de contribuir en el desarrollo del presente trabajo investigativo, y en segunda instancia, lo concerniente a tiempos de disponibilidad para el diligenciamiento de las encuestas y programación de horarios para reuniones, lo que a su vez conlleva a un reducción en los tiempos de procesamiento y análisis de resultados.

Por lo anterior, el número de expertos involucrados se redujo finalmente a tres quienes se describen a continuación:

Ing. Fidel Salazar

Ingeniero agrónomo graduado el 18 de abril de 2013 con 7 años de experiencia profesional candidato a Magister en Administración, cuenta con más de 20 años de experiencia como agricultor de papa, es miembro de la Junta directiva del Fondo Nacional de Fomento de la Papa y representante de la Asociación de Productores y Comercializadores de Papa de Belén ASPROPABELÉN.

Ing. Carlos Vargas

Ingeniero agrónomo graduado en el año 1993, técnico y comercial para empresas de fertilizantes en el departamento de Boyacá, con experiencia previa como agricultor de papa, fundador de Agrofert, empresa fabricante y comerciante de fertilizantes e insumos agrícolas

(2008) donde realiza el diseño e investigación para la generación de productos que atiendan los nichos del mercado del sector agro.

Ing. Alfonso García

Ingeniero Agrónomo de la Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia - Uptc - Sede Tunja, con experiencia previa como agricultor de papa, pertenece Consejo de Juventudes de Ventaquemada, fue miembro de un proyecto de investigación y desarrollo sobre granjas agro-sostenibles y sustentables con producción agroecológica que consistió en la reconversión de la agricultura tradicional a la agricultura ecológica de la papa en el municipio de Ventaquemada en Boyacá.

3. Resultados

3.1 Consistencia de los resultados obtenidos

Para obtener los resultados de los modelos AHP se consolidaron las respuestas de los expertos haciendo uso del método de la media geométrica. Es importante verificar previamente los coeficientes de consistencia con el fin de asegurar coherencia en los resultados, al calcular este indicador se logra evidenciar que la mayoría de las respuestas consolidadas son consistentes a excepción de tres de ellas (Tabla 6), sin embargo, con el fin de tener un resultado completo se tuvieron en cuenta todas las respuestas y se realizó una validación extra con ayuda de uno de los expertos que analizó y validó los resultados consolidados dando su aprobación y concluyendo que son coherentes acorde al entorno estudiado. Adicionalmente, es importante mencionar que los resultados de inconsistencia son muy comunes en esta metodología, lo anterior se evidencia en el estudio “On the inconsistency of pairwise comparisons: an experimental study” de Jiří Mazurek y Radomír Perzina en el cual se tomó a 42 estudiantes y realizando tan solo 3 comparaciones por pares en total, el asombroso 93% de los estudiantes fueron inconsistentes.

Alternativa	Matriz	Coefficiente de consistencia consolidado
Labranza	Matriz Comparación criterios	0,085
	Matriz Suelos	0,044
	Matriz Riesgo Fitosanitario	0,016
	Matriz Costo Implementacion	0,094
	Matriz Rendimiento del Cultivo	0,063
	Matriz Calidad del Cultivo	0,078
	Matriz Recurso Hidrico	0,021
Aspecto fisico	Matriz Comparación criterios	0,065
	Matriz Riesgo Fitosanitario	NA
	Matriz Costo Implementacion	NA
	Matriz Rendimiento del Cultivo	NA
	Matriz Calidad del Cultivo	NA
Desinfeccion	Matriz Comparación criterios	0,065
	Matriz Riesgo Fitosanitario	0,192*
	Matriz Costo Implementacion	0,018
	Matriz Rendimiento del Cultivo	0,149*
	Matriz Calidad del Cultivo	0,008
Riego	Matriz Comparación criterios	0,083
	Matriz Suelos	0,024
	Matriz Riesgo Fitosanitario	0,010
	Matriz Costo Implementacion	0,028
	Matriz Rendimiento del Cultivo	0,017
	Matriz Calidad del Cultivo	0,014
	Matriz Recurso Hidrico	0,223*

Tabla 6 - Escala índice de consistencia

3.2 Resultados criterios

Después de aplicar todos los pasos explicados previamente en el numeral 2.2 “Metodología seleccionada”, se extrae el ranking de preferencias por parte de los expertos implicados del vector de prioridad de la matriz de los criterios normalizada. el gráfico 9 está asociado a los AHP de Labranza y riego, por otro lado el gráfico 10 está asociado a los AHP de aspecto físico y desinfección, este último contiene cuatro criterios debido a que tal como se presentó anteriormente, las alternativas de estos AHP no aplican para ser evaluadas con el total de criterios seleccionados.

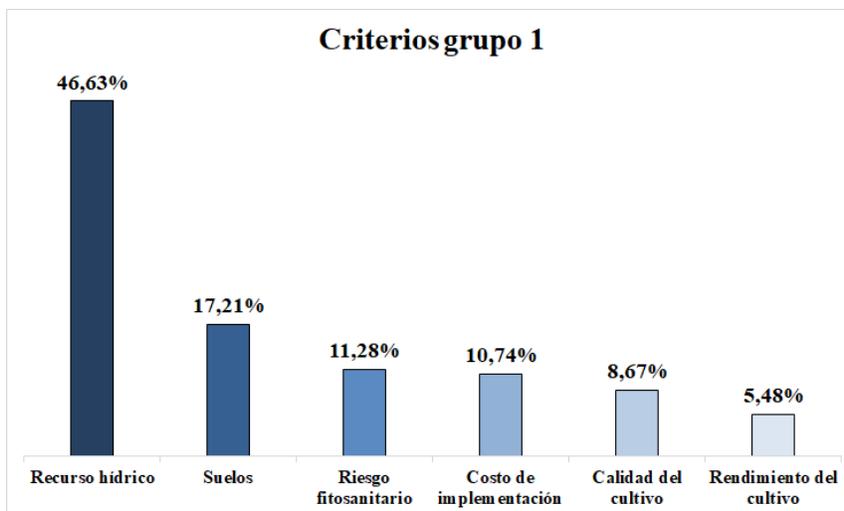


Gráfico 9 - Resultados criterios grupo 1

Para los criterios del grupo 1 se obtuvo como resultado prioritario al criterio de recurso hídrico con un 46,63%, el cual obtuvo una amplia ventaja respecto al segundo criterio el cual fue suelos con 17,21%, lo que indica una clara preferencia del grupo de expertos consultados hacia aspectos del entorno y medio ambiente, dejando poca prioridad a los criterios directamente involucrados con el cultivo.

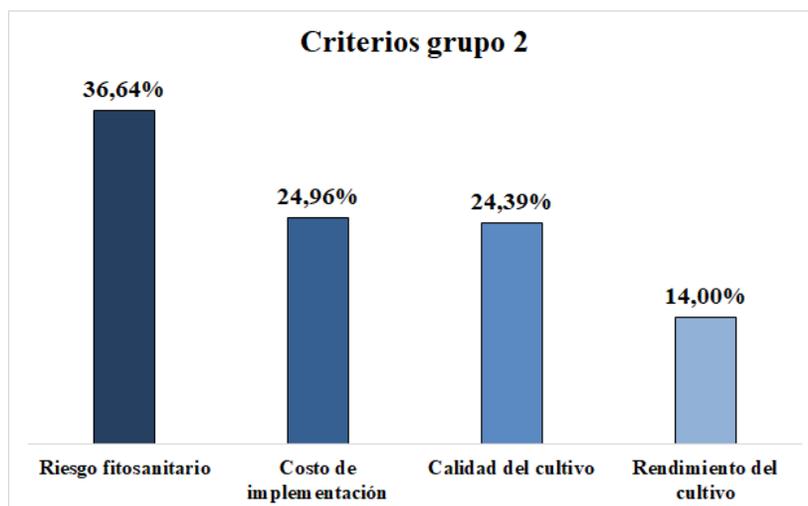


Gráfico 10 - Resultados criterios grupo 2

Para los criterios del grupo 2 se obtuvo una preferencia por el criterio “Riesgo fitosanitario” con un valor de 36,64%, seguido por los criterios “Costos de implementación” y “Calidad del cultivo” que presentaron resultados bastante similares, lo que da a entender que los expertos no perciben una preferencia clara entre uno y otro, finalmente en la cuarta posición quedó el criterio “Rendimiento del cultivo” con un valor de preferencia de 14%.

3.3 Resultados alternativas

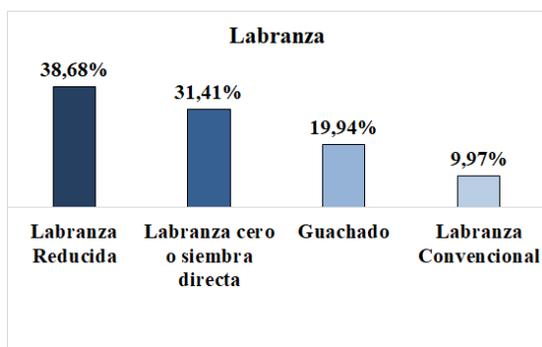


Gráfico 11 - Resultados labranza

Para las alternativas de labranza, se obtuvo como resultado ganador el método **Labranza Reducida** con un 38,68% de prioridad, seguido de la **Labranza cero** con un 31,41%, luego el **Guachado** con un 19,94% por último la **Labranza convencional** con un 9,97%. En conclusión se observa una clara preferencia hacia las metodologías de labranza menos invasivas al suelo. (gráfico 11)

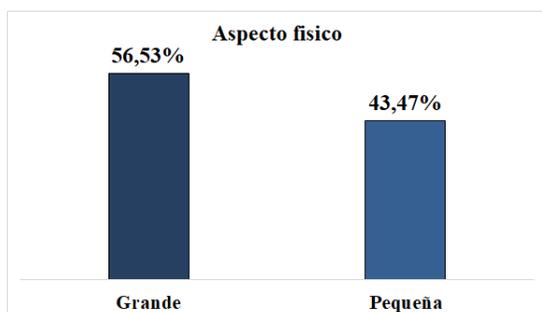


Gráfico 12 - Resultados aspecto físico

Para las alternativas de aspecto físico, se obtuvo como resultado ganador el tubérculo semilla **Grande** con un 56,53% de prioridad respecto al tubérculo semilla **Pequeña** que obtuvo un resultado de 43,47%. (gráfico 12)

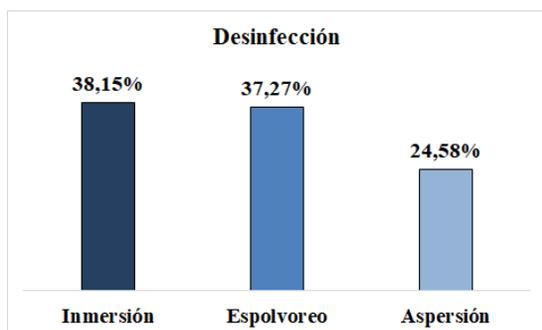
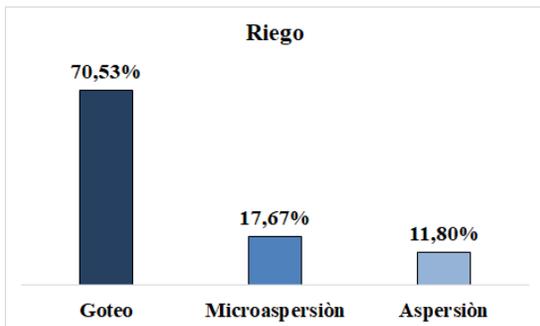


Gráfico 13 - Resultados desinfección

En cuanto a las alternativas de desinfección, se observa que para los expertos no hay una clara preferencia entre las alternativas de **Inmersión** y **Espolvoreo** las cuales obtuvieron un nivel de prioridad de 38,15% y 37,27% respectivamente, por último quedó la alternativa de **Aspersión** con un 24,58% de prioridad. (gráfico 13)



Para las alternativas de riego, se obtuvo como resultado ganador el método **Goteo** con un 70,53% de prioridad que refleja una muy marcada preferencia por parte de los expertos consultados, seguido de la **Microaspersión** con un 17,60% y por último la **Aspersión** con un 11,80%. (gráfico 14)

Gráfico 14 - Resultados riego

Finalmente basados en el conocimiento de los expertos y los resultados obtenidos, se puede concluir que aplicando una técnica de labranza reducida, el método de la inmersión para la desinfección de la semilla, el goteo como sistema de riego para el cultivo y haciendo uso de una semilla de tamaño grande, se promueve hacia una programación eficiente del cultivo de papa en la zona de Ventaquemada, Boyacá, logrando mejorar la productividad del cultivo, la calidad del producto cosechado y la problemática de la sobreutilización del suelo que fueron los aspectos definidos como lineamientos para los objetivos de los criterios involucrados en el uso de la herramienta AHP.

4. Conclusiones

La metodología propuesta en el presente trabajo que tiene como fin dar solución a la problemática de suelos y cultivo de papa del departamento de Boyacá resulta ser una herramienta valiosa para determinar alternativas de solución, pues su practicidad para descomponer un problema en subproblemas genera una gran ventaja para estos casos que abarcan temas tan amplios y complejos, cabe resaltar que el AHP es una herramienta bastante flexible y el alcance de la investigación se puede extender tanto como se quiera y se cuente con recursos para desarrollarlo, como también sintetizarse en caso de ser necesario.

En esta ocasión se utilizó el enfoque de seleccionar alternativas de solución que puedan ser aplicables en el contexto asociado, esto implica ceñirse bajo las posibilidades y tradiciones del segmento de investigación, lo que quiere decir que no se tuvo en cuenta alternativas las cuales probablemente no serían aplicadas por parte de los microfundistas ya que están preestablecidas por su cultura de siembra, sin embargo, es importante dejar claro que se puede realizar un estudio de mayor envergadura que contemple muchas más alternativas y ofrezcan un resultado más completo que promueva un cambio cultural en la siembra en pro de un mejor cultivo y la conservación de suelos.

Un aspecto de suma importancia para desarrollar la metodología de manera exitosa con resultados efectivos en estudios de este tipo es la caracterización de la zona y del contexto sobre el cual se desenvuelve la investigación, esto ayuda a determinar correctamente los criterios y variables más relevantes a tratar y genera una mayor confiabilidad en el estudio puesto que los resultados que se obtengan serán más precisos.

El éxito de la implantación y los correctos resultados en las metodologías de jerarquización también dependerá en gran medida del recurso humano involucrado, motivo por el cual se debe tener una atención especial en el proceso de introducción y capacitación del personal que participará en este proceso. Este proceso deberá ser capaz de motivar al personal y de generar en este el compromiso necesario para implementar las metodologías de jerarquización de forma eficiente. Adicionalmente, de acuerdo a lo observado en la literatura y en la práctica misma sobre el desarrollo de este tipo de metodologías, Para futuras investigaciones puede resultar conveniente contar con una mayor cantidad de expertos que mantengan el perfil y un nivel de experticia como los presentados en el desarrollo de este trabajo y con la disposición de colaborar con el estudio, con el fin de prevenir y/o dar frente a diferentes inconvenientes que se puedan presentar.

Poseer tiempo suficiente para el desarrollo de la metodología juega un importante papel debido a que al contar con tiempo escaso para tomar decisiones frente a problemáticas presentadas en el trayecto tiende a acelerar algunas etapas del mismo y afectar negativamente la validez de los resultados.

Bibliografía

- Acuña B Ivette. Cadiz M Fabiola (2011). Desinfección de tubérculo semilla de papa y sus consideraciones.
- Alcaldía municipal de Ventaquemada. (2001). Esquema de Ordenamiento Territorial Ventaquemada Boyacá 2001 - 2010
- Alonso G Jorge Luis. (2014). Sembrar papas en guachado requiere de mejoras agronómicas para reducir la pérdida de suelo
- Alvarado, Serrano, Perez (2007). Caracterización de zonas sensibles a heladas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en Boyacá
- Arango, Bravo, Cajiao, Calderon, Franco, Meza, Vidal. Guía metodológica para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura, la logística y la conectividad. pp. 14, 2012.
- Banco Mundial. (2019). Agricultura, valor agregado (% del PIB) - Colombia | Datos. Recuperado el 25 de febrero de 2020, <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=CO>
- Bandara and S Thiruchelvam (2008). Factors Affecting The Choice Of Soil Conservation Practices Adopted By Potato Farmers In Nuwara Eliya District, Sri Lanka
- Cámara de Comercio de Bogotá (2015). Manual Papa
- Castellanos Peña Plinio Alberto (2003). Efecto del sistema de labranza conservacionista en suelos de ladera bajo el cultivo de papa, en los municipios de Caldas (Boyacá) y Simijaca (Cundinamarca)
- DANE. (n.d.). Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario - SIPSA. Retrieved February 26, 2020, from https://sen.dane.gov.co:8143/variacionPrecioMayoristaSipsa_Client/#/
- Departamento Nacional de Planeación DNP. (2016). Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia: Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas. *Ria*, 48, 116. Retrieved from https://mrv.dnp.gov.co/Documentos de Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf
- El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1996). NTC 341 “Papa para consumo, clasificación”
- FAO (1985). Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture <http://www.fao.org/3/X5648E/x5648e00.htm#Contents>
- FAO.(2008). El desarrollo del microrriego en américa central - Cap 3 “Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado”
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2017). El estado mundial de la agricultura y alimentación. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y

- Agricultura*. <https://doi.org/0251-1371>
- Fedepapa. (2019). Boletín Regional Boyacá. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2020/01/BOLETIN-REGIONAL-BOYAC%C3%81-2019.pdf>
- Fedepapa. (2019). Boletín Nacional. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2020/01/BOLETIN-REGIONAL-NACIONAL-2019.pdf>
- FNFP (2018). Plan estratégico y Plan de acción - Colombia
- Gobernación de Boyacá. (2018). *Ordenamiento territorial departamental de boyacá productividad sector agropecuario*. 1–61.
- Gobernación de Boyacá. (2019). Plan Departamental de Extensión Agropecuaria - PDEA <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/PDEA%27s%20Aprobados/PDEA%20Boyac%C3%A1.pdf>
- Herrera y Scott (1995). Factores limitantes a la producción y uso de la papa
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (2019). Datos Abiertos Agrología | GEOPORTAL. Retrieved February 26, 2020, from <https://geoportall.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>
- Instituto Colombiano Agropecuario (2003). Resolución 2501 “requisitos específicos mínimos para la producción de semilla certificada de papa”
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2000), Semillas. Inspección, análisis, tratamiento y legislación
- J. Agric. Food Chem. (2006). Selection Criteria for Potato Tubers To Minimize Acrylamide Formation during Frying
- J. Aczél and T.L. Saaty. “Procedures for synthesizing ratio judgements”. *Journal of Mathematical Psychology*. Vol. 27 N° 1, pp. 93-102. Marzo 1983. ISSN: 0022-2496. DOI:10.1016/0022-2496(83)90028-7.
- Lee, H. C., & Chang, C. Ter. (2018). Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92(May), 883–896.
- Mamani Linares Arnold Willis (2019). Efectos de diferentes pesos de tubérculo semilla en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad única en el ceaa III los pichones
- Mardani, A., Jusoh, A., MD Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). *Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014*. *Economic*

- Ministerio de Agricultura. (2019). *Política Agropecuaria y de Desarrollo Rural 2018 - 2022*.
- Ministerio de Agricultura, UPRA. (2018). *Informe de gestión 2018*.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural (2013). Proyecto sistema de información geográfica municipal
- Molina, Santos, Aguilar, (2004). GUÍA MIP EN EL CULTIVO DE LA PAPA
- Montesdeoca Fabian (2005). Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de Papa de Calidad
- Pinedo, Olivas, Rodríguez, Castro (2020). Efecto de fuentes de fertilización nitrogenada y fosforada en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)
- Plazas, Garcia, Cortes, Rodriguez (2011). Procesos agroecológicos en Ventaquemada Boyacá
- Romero, C. (1996). Análisis de las decisiones multicriterio (4th ed.). Isdefe.
[ftp://ece.buap.mx/pub/DOCUM_EDUCATIVOS_FCE_F_PORRAS/PROCESOS DE PENSAMIENTO y TOC/teor%EDa generl de sistemas/Decisiones.pdf](ftp://ece.buap.mx/pub/DOCUM_EDUCATIVOS_FCE_F_PORRAS/PROCESOS_DE_PENSAMIENTO_y_TOC/teor%EDa_generl_de_sistemas/Decisiones.pdf)
- Ramos, Córdoba, Valverde, Reinoso, Oyarzún (2001). Evaluación de tres sistemas de labranza del suelo en el cultivo de papa, con fines de producción de tubérculo – semilla
- Ramos y Tandazo (2018). Sistema de rotación de cultivo de papa en la cuenca del río Vilcanota, en la región Cuzco, Peru
- Saaty, T.L. and Ozdemir, M.S. Why the Magic Number Seven Plus or Minus Two, *Mathematical and Computer Modelling*, 2003, vol. 38, pp. 233-244
- Santos, Segura, Núñez (2010). Análisis de Crecimiento y Relación Fuente-Demanda de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia)
- Vignola, Watler, Vargas, Morales, (2017). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de papa en costa rica