

**Diseño y validación de un prototipo de fertilizante NPK soluble: potencial de mercado y
dossier ICA**

Carlos Alberto Gómez Gómez

Asesor

Milton Cesar Ararat Orozco

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Programa de Agronomía

Tumaco

2026

Agradecimiento

A todas las personas que me animaron. A esos maestros incansables que con su paciencia entendieron que realmente para ser libres debemos fortalecer nuestro conocimiento y aquellos que dijeron nunca es tarde. Gracias a todos.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar y validar un prototipo de fertilizante soluble tipo NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) con elementos menores, como alternativa técnica y económicamente viable frente a la alta dependencia nacional de fertilizantes importados, cuyos costos crecientes afectan especialmente a pequeños emprendimientos agropecuarios. La formulación propuesta busca responder de manera más eficiente a las condiciones edafoclimáticas locales y a las tecnologías de fertirriego actualmente empleadas. La investigación se estructuró en tres componentes: i) análisis del potencial de mercado mediante encuestas aplicadas a asesores técnicos, vendedores de insumos agropecuarios y agricultores; ii) formulación y validación del prototipo en laboratorio, evaluando parámetros fisicoquímicos y de compatibilidad con sistemas de fertirriego; y iii) elaboración del dossier técnico conforme a la Resolución 150 de 2001 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), incluyendo ficha técnica, hoja de seguridad, análisis de laboratorio, recomendaciones de uso y etiquetado.

Los resultados evidencian la viabilidad técnica del fertilizante y su potencial de adopción en el mercado, según la percepción positiva de los actores consultados. Este proyecto fortaleció un emprendimiento familiar en etapa inicial, orientado a ofrecer una solución nacional competitiva en el mercado de fertilizantes solubles.

Palabras claves: Fertilizante, mercado, formulación, ICA.

Abstract

The present study aimed to design and validated a prototype of a soluble NPK-type fertilizer with minor elements, as a technically and economically viable alternative to the country's high dependence on imported fertilizers, whose rising costs particularly affect small agricultural enterprises. The proposed formulation seeks to respond more efficiently to local edaphoclimatic conditions and to the fertigation technologies currently in use. The research was structured into three components: (i) analysis of market potential through surveys administered to technical advisors, agricultural input vendors, and farmers; (ii) formulation and laboratory validation of the prototype, assessing physicochemical parameters and compatibility with fertigation systems; and (iii) preparation of the technical dossier in accordance with Resolution 150 of 2001 of the Colombian Agricultural Institute (ICA), including the technical sheet, safety data sheet, laboratory analyses, usage recommendations, and labeling.

The results demonstrate the technical feasibility of the fertilizer and its potential for market adoption, based on the positive perception of the stakeholders consulted. This project strengthened an early-stage family venture aimed at offering a competitive domestic solution in the soluble fertilizer market.

Keywords: fertilizer, market, formulation, ICA.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema.....	13
Justificación.....	15
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Marco Teórico.....	18
Fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) Solubles	18
Rol de la Nutrición Vegetal	19
Proceso de Industrialización y Fabricación de un Fertilizante NPK (Nitrógeno, Fósforo, Potasio) Soluble	20
Panorama Económico de los Fertilizantes y Oportunidades Agrícolas en 2025	21
Innovación Tecnológica en Fertilizantes	24
Normativa ICA y Regulación del Mercado Colombiano.....	26
Metodología	27
Población y Muestra.....	27
Instrumento de Recolección.....	27
Fase 1. Potencial de Mercado y Percepción.....	28
Método de Análisis de la Información de la Encuesta.....	29
Fase 2. Formulación y Validación del Prototipo.....	31
Fase 3. Elaboración del Dossier ICA	34
Resultados y Discusión	38

Información de la Encuesta.....	38
Organización de Datos de la Encuesta y Análisis de Componentes Principales PCA.....	39
Análisis Integrado: Rol, Región, Marcas y Empresas en la Cadena Agrícola.....	51
Resultado de Laboratorio del Prototipo de Fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) y Dossier ICA	56
Conclusiones	64
Referencias Bibliográficas	66
Apéndices.....	72

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Proceso para Elaboración de un Fertilizante Soluble NPK (Nitrógeno, Fósforo, Potasio)</i>	21
Figura 2 <i>Evolución del Precio de Fertilizantes Fosfatados el 2019-2024</i>	25
Figura 3 <i>Proceso para elaboración de dossier para solicitar registro de venta para empresas de fertilizantes</i>	34
Figura 4 <i>Análisis Componentes de Principales PCA</i>	41
Figura 5 <i>Análisis Varianza en PCA</i>	44
Figura 6 <i>Representación cos2 Total por Rol en la Cadena (Asesor, Almacén, Agricultor)</i>	50
Figura 7 <i>Representación del Rol en la Cadena de Acuerdo con los Participantes de la Encuesta n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)</i>	52
Figura 8 <i>Representación de la Región o Zona de Mercado de los Participantes de las Encuestas n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)</i>	53
Figura 9 <i>Representación de Rol, Región o Zona de Trabajo de los Participantes de la Encuesta n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)</i>	54
Figura 10 <i>Representación de Marcas de Fertilizantes Solubles más Mencionadas por los Participantes de la Encuesta n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)</i>	55
Figura 11 <i>Representación de Marcas de Empresas más Mencionadas por los Participantes de la Encuesta n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)</i>	55
Figura 12 <i>Representación de la Frecuencia de Uso de Fertilizantes Solubles n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)</i>	56

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Componentes Típicos de un Fertilizante NPK (Nitrógeno, Fósforo, Potasio)</i>	
<i>Formulación</i>	19
Tabla 2 <i>Comparativo de Costos entre Fertilizante Importado y Formulación Nacional Estimada (kg)</i>	23
Tabla 3 <i>Clasificación de Componentes Principales Cluster Comparativos</i>	30
Tabla 4 <i>Matriz de formulación en formato Excel</i>	33
Tabla 5 <i>Parámetros fisicoquímicos determinados en laboratorio para la muestra de fertilizante</i>	35
Tabla 6 <i>Estructura del Archivo para el PCA</i>	40
Tabla 7 <i>Los Componentes 1-12 en la Varianza Dentro de la Estructura del PCA</i>	45
Tabla 8 <i>Cargas Factoriales (Loadings)</i>	47
Tabla 9 <i>Cargas factoriales del análisis de componentes principales (PCA)</i>	47
Tabla 10 <i>Rentabilidad de la Formulación Ofertada en la Encuestas n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)</i>	57
Tabla 11 <i>Resultados Fisicoquímicos de Laboratorio del Producto Llevados</i>	61
Tabla 12 <i>Comparación entre la formulación y el Análisis de Laboratorio</i>	63
Tabla 13 <i>Parámetros Fisicoquímicos y Garantía en la Etiqueta del Producto para Elaboración de Dossier ICA</i>	65

Lista de Apéndices

Apéndice A.

Encuesta Realizada a Actores del Sector (Vendedor, Asesor Técnico y Agricultor).....72

Apéndice B.

Dossier ICA.....76

Introducción

La disponibilidad, formulación y el uso adecuado de fertilizantes representan un eje central para la productividad agrícola y la sostenibilidad alimentaria en Colombia. En un país donde la demanda de alimentos sigue creciendo, y la variabilidad climática exige sistemas productivos más eficientes, los fertilizantes solubles tipo NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) se han consolidado como insumos estratégicos para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Sin embargo, la marcada dependencia de productos importados incrementa los costos de producción y expone a los agricultores a la volatilidad de los mercados internacionales (Bolsa Mercantil de Colombia, 2024; UPRA, 2025). Esta situación afecta de manera especial a pequeños y medianos productores, quienes enfrentan limitaciones económicas y técnicas para acceder a fertilizantes de alto desempeño. Por ello, el desarrollo local de formulaciones solubles competitivas, con respaldo técnico y adaptadas a las condiciones edafoclimáticas nacionales, constituye una necesidad prioritaria para fortalecer la autonomía y la soberanía tecnológica del sector agropecuario colombiano.

En este escenario, los fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) solubles destacan por su eficiencia en la entrega de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio y por su versatilidad en sistemas de fertirrigación, aplicaciones foliares e hidroponía. Su capacidad para incorporar elementos menores amplía aún más sus beneficios, pues mejora la absorción de nutrientes, reducir pérdidas y potenciar atributos agronómicos en los cultivos (Montes-Pulido & Díaz-Arévalo, 2021; FAO, 2021). Investigaciones recientes han demostrado que las formulaciones solubles enriquecidas con micronutrientes superan en homogeneidad, solubilidad y eficiencia nutricional a los productos convencionales. Venugopal y Mohan Rao (2022), por

ejemplo, evidenciaron mejoras significativas en la solubilidad y conductividad eléctrica de un fertilizante 15-15-15 enriquecido, mientras que Elshayb et al. (2024) mostraron que matrices nanoestructuradas de quitosano pueden reducir el uso de fertilizantes sintéticos hasta en un 30 % sin comprometer la productividad. Estas innovaciones reflejan un campo de investigación y desarrollo en expansión, orientado hacia formulaciones más eficientes, sostenibles y adaptadas a las necesidades de los agricultores.

La relevancia de los fertilizantes trasciende el rendimiento en campo, pues su adecuada formulación y aplicación inciden directamente en la calidad y en la vida poscosecha de frutas, hortalizas y flores. Estudios como los de Gómez et al. (2015, 2017) y Cabrera et al. (2017) han demostrado que una nutrición equilibrada influye en parámetros como firmeza, coloración, vida útil, y resistencia al deterioro del sistema de cultivo de rosa *cv.* Freedom. En el ámbito hortofrutícola, aplicaciones balanceadas de NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) y micronutrientes han mostrado mejoras en la firmeza del fruto, conservación y reducción de pérdidas durante el transporte, como se evidenció en el caso del tomate en el Valle del Cauca (Castro & Paredes, 2020). De esta manera, la nutrición vegetal se configura como un componente estratégico no solo en términos agronómicos, sino también comerciales y logísticos.

El desarrollo de nuevos fertilizantes en Colombia, sin embargo, exige cumplir con los requisitos técnicos y normativos establecidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), entidad encargada de regular la producción y comercialización de insumos agrícolas. La Resolución 150 de 2001 y la NTC 5167 establecen obligaciones relacionadas con la formulación, etiquetado, análisis fisicoquímico, hoja de seguridad, y dossier técnico del producto (ICA, 2001; ICA, 2024). Para los nuevos emprendimientos, estos requisitos representan un desafío considerable, especialmente en un contexto en el que existe escasa documentación

pública sobre formulaciones comerciales vigentes. Por ello, las iniciativas orientadas al diseño y validación de fertilizantes solubles locales deben integrar no solo aspectos de formulación y funcionalidad, sino también elementos normativos y de mercado que garanticen su viabilidad técnica y regulatoria.

En este contexto, el presente proyecto se propone diseñar, validar y documentar un prototipo de fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble con elementos menores, formulado con materias primas nacionales y orientado a su aplicación en fertirriego y vía foliar. Asimismo, se plantea analizar su potencial de mercado a través de la percepción de agricultores, asesores técnicos y distribuidores, y elaborar el dossier técnico necesario para su eventual registro ante el ICA. Este enfoque integrado permite articular la dimensión técnica, económica y normativa, y contribuye al fortalecimiento de iniciativas nacionales como Tajü Agro y al impulso de soluciones fertilizantes adaptadas al contexto agrícola colombiano.

Planteamiento del Problema

En Colombia, los fertilizantes constituyen un insumo esencial en el manejo agronómico y son determinantes para mantener la productividad agrícola. Sin embargo, la mayoría de los fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) solubles disponibles en el país son importados o producidos por empresas privadas, cuyos procesos de formulación y estructuras de costos no se documentan con fines académicos. Esta situación limita el acceso a información técnica valiosa para el desarrollo de nuevos emprendimientos, así como la transferencia de tecnología hacia pequeños y medianos productores (Bolsa Mercantil de Colombia, 2024).

Adicionalmente, existe una creciente necesidad de disponer de fertilizantes que ofrezcan alta solubilidad, eficiencia nutricional y compatibilidad con sistemas de fertirriego, características que no siempre se encuentran en las formulaciones comerciales tradicionales (Venugopal & NV, 2022). La innovación en fertilizantes solubles suele tratarse como un aspecto confidencial dentro de las empresas, lo cual restringe aún más el acceso a tecnología.

La dependencia de productos importados representa una debilidad estratégica para el sector agrícola nacional, especialmente ante la volatilidad de los precios internacionales y las fluctuaciones del mercado global (UPRA, 2014; Forbes, 2025). Aunque a nivel internacional se han desarrollado tecnologías como los nanoestructurados o los de liberación controlada (Elshayb et al., 2024), en donde el ingrediente activo depende del porcentaje de humedad para activarse, igualmente por medio de la difusión del compuesto químico a través del empaque. Su aplicación en Colombia aún es incipiente y requiere procesos de adaptación a las condiciones locales de suelo, clima y cultivos. Por otra parte, el registro de nuevos fertilizantes ante el Instituto Colombiano

Agropecuaria (ICA) exige cumplir requisitos técnicos y documentales establecidos en la Resolución 150 de 2001 y en la norma NTC 5167 (ICA, 2024). Dichos requerimientos pueden representar una barrera significativa para la introducción de nuevas formulaciones si no se cuenta con un dossier técnico elaborado correctamente. Esta serie de documentos (dossier) cuyo concepto incluye el formulario de solicitud ICA 3-894, 3-896 por ejemplo, hojas de seguridad, fichas técnicas de producto y de materias primas, documentos legales de la empresa, pago del trámite, balance de materias primas, resultado fisicoquímico de laboratorio.

Frente a este panorama, resulta necesario diseñar y validar un prototipo de fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble, viable técnica y económicamente, adaptado a las necesidades del agricultor colombiano y con potencial para su registro formal ante el ICA. De manera complementaria, resulta fundamental realizar un análisis de mercado que permita evaluar su viabilidad comercial y su aceptación entre los principales actores del sector, como distribuidores agrícolas y usuarios finales (agricultores).

Justificación

El desarrollo de un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble, formulado conforme a criterios técnicos, normativos y comerciales, constituye una estrategia fundamental para fortalecer la productividad agrícola en Colombia. En la actualidad, la alta dependencia de insumos importados genera una vulnerabilidad estructural frente a la volatilidad de los mercados internacionales, lo que afecta de manera particular a pequeños y medianos productores (Bolsa Mercantil de Colombia, 2024; UPRA, 2025).

Las formulaciones disponibles en el mercado nacional no siempre responden adecuadamente a las condiciones edafoclimáticas locales ni a las tecnologías modernas de aplicación, como el fertirriego. Productos como Crecer 500, aunque ampliamente utilizados por su bajo costo y aporte nutricional, carecen de documentación técnica pública que respalde su efectividad agronómica, lo cual limita el análisis académico, la mejora tecnológica y la replicabilidad por parte de nuevos emprendimientos. La nutrición vegetal incide directamente no solo en el rendimiento de los cultivos, sino también en la calidad poscosecha de los productos agrícolas.

Diversas investigaciones han demostrado que el manejo nutricional durante el desarrollo de las plantas impacta significativamente parámetros como firmeza, color, longevidad y vida útil poscosecha. Gómez et al. (2015) evidenciaron que el uso de tecnologías poscosecha, como el 1-metilciclopropeno y el control de temperatura, prolonga la vida útil de frutas como la mandarina (*Citrus reticulata*). De igual forma, Gómez et al. (2017) sostienen que la longevidad de flores de corte está estrechamente relacionada con la nutrición durante el ciclo vegetativo, mientras que Cabrera, Solís Pérez y Gómez (2017) destacan que los niveles y tipos de nutrientes aplicados afectan directamente la firmeza, coloración y calidad del producto final.

En respuesta a estas necesidades, investigaciones recientes han avanzado en la formulación de fertilizantes solubles más eficientes. Venugopal y Mohan Rao (2022) desarrollaron un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) 15-15-15 enriquecido con micronutrientes, lo que mejoró las características fisicoquímicas y el crecimiento vegetal. Asimismo, Elshayb et al. (2024) propusieron una formulación nanoestructurada basada en quitosano que permite reducir hasta un 30 % el uso de fertilizantes sintéticos sin afectar la productividad, lo que constituye una alternativa más sostenible.

En este contexto, el propósito del presente proyecto es formular y validar un prototipo de fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble, utilizando materias primas de origen nacional y diseñado específicamente para su aplicación vía fertirriego foliar. Adicionalmente, se contempla la elaboración del correspondiente dossier técnico, conforme a los lineamientos establecidos en la Resolución 150 de 2001 y la NTC 5167 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), con el fin de facilitar su registro oficial como producto fertilizante.

De manera complementaria, se desarrolló un estudio de mercado orientado a identificar la percepción, la demanda y la disposición de pago por parte de agricultores y distribuidores. Este enfoque busca garantizar la viabilidad técnica, normativa y comercial del producto, en beneficio de iniciativas como Taju Agro, empresa ya registrada ante el ICA (ICA, 2024), interesada en soluciones de fertilizantes innovadoras y adaptadas al contexto colombiano.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y validar un prototipo de fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble, mediante pruebas de laboratorio, análisis de mercado, y la estructuración del dossier técnico requerido por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para su posible registro de venta.

Objetivos Específicos

Analizar el potencial de mercado del fertilizante formulado, identificando la demanda, los segmentos objetivo, la competencia y las oportunidades de comercialización a nivel local y regional.

Formular y desarrollar un prototipo de fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble, evaluando su estabilidad, solubilidad.

Estructurar el dossier técnico para el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, recopilando y organizando la información fisicoquímica, de seguridad y funcionalidad requerida para su futura postulación como producto fertilizante con registro ICA.

Marco Teórico

Fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) Solubles

Los fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) solubles son formulaciones concentradas que contienen los tres macronutrientes esenciales para el desarrollo vegetal: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos elementos cumplen funciones clave en los procesos fisiológicos de las plantas: el nitrógeno estimula el crecimiento vegetativo y la formación de clorofila; el fósforo participa en el desarrollo radicular, la floración y la transferencia de energía; y el potasio regula el metabolismo hídrico, la síntesis de azúcares y la resistencia a condiciones adversas (FAO, 2021). Cabe mencionar que los elementos menores se incluyen en estas formulaciones para complementar los requerimientos nutricionales en las distintas aplicaciones.

El carácter soluble de estos fertilizantes permite su aplicación directa en soluciones nutritivas, sea mediante fertirrigación, aspersión foliar o sistemas hidropónicos. Esto mejora la eficiencia en la absorción de nutrientes, reduce pérdidas por lixiviación y facilita las labores de manejo (Montes-Pulido & Díaz-Arévalo, 2021).

Diversas investigaciones que confirman la efectividad agronómica de los fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) solubles. Venugopal y Mohan Rao (2022), por ejemplo, desarrollaron un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) 15-15-15 enriquecido con micronutrientes como magnesio (Mg), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe), y molibdeno (Mo), logrando mejoras en la solubilidad, homogeneidad y conductividad eléctrica del producto, con resultados positivos en el crecimiento vegetal. Dentro de la oferta de fertilizantes comunes se encuentra el triple 15 NPK (nitrógeno, fósforo, potasio), en donde el porcentaje de cada

nutriente es del 15%. Es una fórmula que se encuentra en el mercado en presentación granulada, líquida y polvo soluble (Tabla 1).

Tabla 1

Componentes Típicos de un Fertilizante NPK (Nitrógeno, Fósforo, Potasio) Formulación

Nutriente	Concentración (%)	Función principal
Nitrógeno	15	Desarrollo vegetativo y síntesis de proteínas.
Fósforo P ₂ O ₅	15	Desarrollo radicular y transferencia energética como ATP.
Potasio K ₂ O	15	Regulación osmótica y calidad del fruto.

Rol de la Nutrición Vegetal

La nutrición adecuada no solo impacta en el desarrollo fisiológico de las plantas durante su ciclo de vida, sino también la calidad, vida útil y comportamiento poscosecha de los productos. Cabrera *et al.* (2017) señalan igualmente que los niveles bajos o desequilibrados de fertilización afectan negativamente la firmeza, coloración y durabilidad poscosecha de las flores de corte.

Este aspecto es particularmente relevante en cadenas productivas hortofrutícolas y florícolas donde el valor de mercado depende de la calidad visual y la conservación poscosecha. La incorporación de fertilizantes balanceados y adaptados a las fases fenológicas del cultivo permite una mejor expresión de atributos físicos, nutricionales y sensoriales en el producto final. En el caso del tomate en el Valle del Cauca, se ha observado que aplicaciones balanceadas de NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) con micronutrientes (especialmente calcio y magnesio)

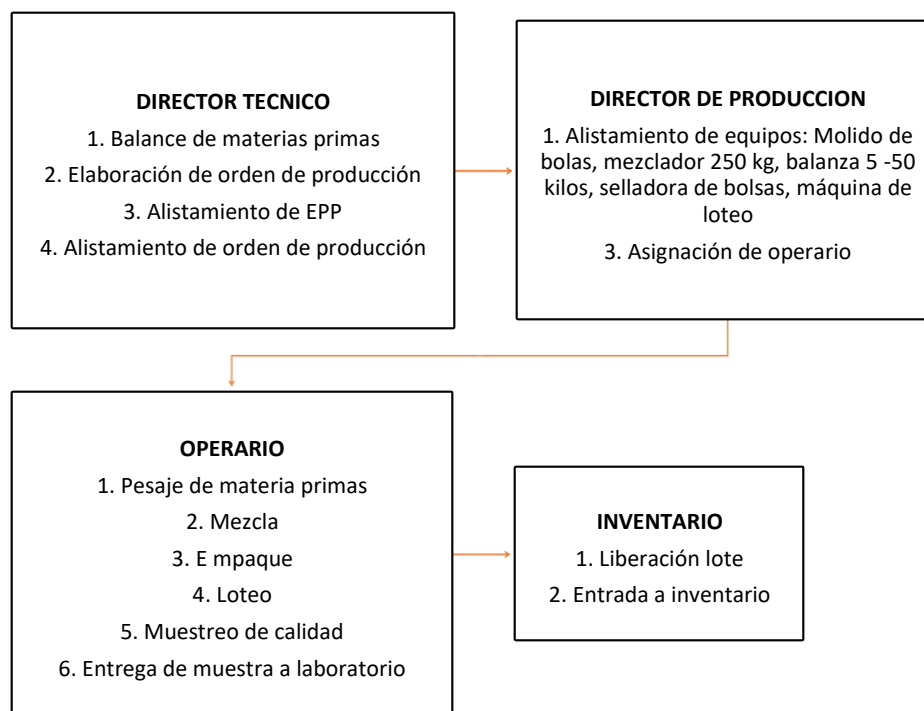
mejoran la firmeza del fruto, su conservación en bodega, y reducen pérdidas por pudrición durante el transporte (Castro & Paredes, 2020).

Proceso de Industrialización y Fabricación de un Fertilizante NPK (Nitrógeno, Fósforo, Potasio) Soluble

En el proceso para la elaboración de un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble organizado en etapas y responsabilidades (ver figura 1) presenta *la* división de funciones entre los distintos actores *con el objetivo de elaborar un fertilizante*. El director técnico, quien asegura la planificación inicial mediante el balance de materias primas, la elaboración de la orden de producción, la verificación de la disponibilidad y alistamiento de equipos de protección personal; el director de producción, encargado de disponer los equipos, organizar las materias primas y asignar al operario: ejecutar las labores prácticas de pesaje, mezcla, empaque, etiquetado y control de calidad; y, finalmente, el área de inventario, responsable de la liberación del lote y su ingreso al sistema. Este flujo refleja un proceso que combina planificación, gestión de recursos, ejecución y control, garantizando la trazabilidad y la calidad del producto final. Es fundamental respetar la secuencia lógica de actividades y la interacción entre niveles jerárquicos, lo cual es fundamental para comprender la eficiencia del proceso con el objetivo de elaborar un producto fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble, previo a este proceso se realizarán pruebas de laboratorio para verificar calidad del producto terminado, a esta etapa de producción ya debe contarse con el registro ICA de venta, solicitud que se realiza con la documentación técnica para el Instituto Colombiano Agropecuario ICA.

Figura 1

Proceso para Elaboración de un Fertilizante Soluble NPK (Nitrógeno, Fósforo, Potasio)



Panorama Económico de los Fertilizantes y Oportunidades Agrícolas en 2025

En 2025, el mercado mundial de fertilizantes se consolida como un eje estratégico para la seguridad alimentaria y el crecimiento económico agrícola. Por lo tanto, los fertilizantes inorgánicos continúan dominando la oferta, especialmente para los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), esenciales en la nutrición vegetal (Palacio, 2025a). La producción de fertilizantes nitrogenados se concentra en China, India, Estados Unidos, Rusia, Egipto y Medio Oriente. En el caso del fósforo, destacan Estados Unidos, China, India, Rusia y Marruecos, mientras que el potasio está liderado por Nutrien (Canadá), Mosaic (Estados Unidos), Uralkali (Rusia) y Belaruskali (Bielorrusia), que en conjunto representan alrededor del 80 % de la producción mundial (Palacio, 2025a).

Antes de analizar las implicaciones regionales, es importante considerar el panorama del comercio internacional. Rusia encabezó las exportaciones en 2024 con más de 12.000 millones de dólares, seguida por China y Canadá con 10.000 millones cada uno y Marruecos con 6.000 millones. En cuanto a importaciones, Brasil fue el principal comprador con más de 17.000 millones de dólares, seguido por India (11.000 millones) y Estados Unidos (10.000 millones). En América Latina, Colombia y Argentina registraron importaciones por aproximadamente 1.100 millones de dólares cada una, reflejando su alta dependencia de estos insumos estratégicos (Palacio, 2025a; Palacio, 2025b).

Por otro lado, el mercado de fertilizantes verdes, valorado en 2.000 millones de dólares en 2023, se proyecta que alcance entre 6.000 y 7.000 millones de dólares para 2032, impulsado por la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles (Palacio Martínez, 2025b). Este cambio responde al creciente interés global por reducir la huella de carbono de la agricultura y aumentar la eficiencia en el uso de nutrientes. Sin embargo, en este contexto aún persisten desafíos técnicos y económicos que deben ser abordados. Emprendimientos como Comsoil empresa de fertilizantes, agroinsumos y de acompañamiento para el agro que promueven soluciones integrales basadas en innovación tecnológica y sostenibilidad, orientadas al fortalecimiento de la bioeconomía regional (Comsoil, 2025).

Finalmente, Palacio (2025b) y Palacio Martínez (2025a, 2025b) destacan que la evolución del mercado está condicionada por factores geopolíticos, logísticos y energéticos, que inciden directamente en los precios de los fertilizantes. Asimismo, se subraya la importancia de la ciencia aplicada y del análisis técnico para fortalecer la toma de decisiones estratégicas en la agricultura moderna. En consecuencia, el desarrollo de fertilizantes sostenibles y de

formulaciones innovadoras representa una oportunidad clave para América Latina, que busca equilibrar competitividad, seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental.

El mercado colombiano de fertilizantes depende en gran medida de materias primas y productos importados, lo que lo expone a la volatilidad de precios internacionales. Según informes de la UPRA (2025) y la Bolsa Mercantil de Colombia (2024), los precios de fertilizantes han aumentado en promedio un 40 % en los últimos años, impactando los costos de producción agropecuaria (tabla 2). Frente a este panorama, el desarrollo de fertilizantes nacionales competitivos se perfila como una estrategia clave para reducir la dependencia externa y fortalecer la soberanía tecnológica del sector. Iniciativas como la de Tajü Agro, empresa registrada ante el ICA, buscan atender nichos de mercado que valoran productos adaptados localmente, con respaldo técnico y enfoque en pequeños y medianos productores.

Tabla 2

Comparativo de Costos entre Fertilizante Importado y Formulación Nacional Estimada (kg)

Producto	Costo estimado (COP/kg)	Observaciones
Fertilizante importado	\$4.800	Costos variables según dólar
Prototipo nacional	\$3.600	Formulado con materias locales

Estudios como los de Castro y Paredes (2020) y Castaño (2018) identifican una demanda insatisfecha en zonas rurales, donde los agricultores requieren productos personalizados, de fácil aplicación y con soporte técnico. Lo anterior abre oportunidades para el desarrollo de formulaciones solubles con enfoque territorial, respaldo científico y estructura de costos accesible.

Innovación Tecnológica en Fertilizantes

La presión por lograr una agricultura más eficiente y sostenible ha impulsado el desarrollo de fertilizantes de nueva generación. Entre estos, destacan los fertilizantes de eficiencia mejorada (EEF), los de liberación controlada y los nanoestructurados. Estas formulaciones ofrecen ventajas en la dosificación y liberación progresiva de nutrientes, reduciendo pérdidas al ambiente y aumentando su disponibilidad en la rizosfera (Maaz, Dobermann, Lyons & Thomson, 2025).

En este sentido, Elshayb *et al.* (2024) desarrollaron una formulación NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) con matriz de quitosan nanocompuesta, que permite reducir hasta un 30 % el uso de fertilizantes sintéticos sin afectar el rendimiento ni la calidad del cultivo. Mientras que el NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) convencional presenta niveles de absorción del 55–60 %, las formulaciones nano- NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) superan el 78 % en nitrógeno, fósforo y potasio.

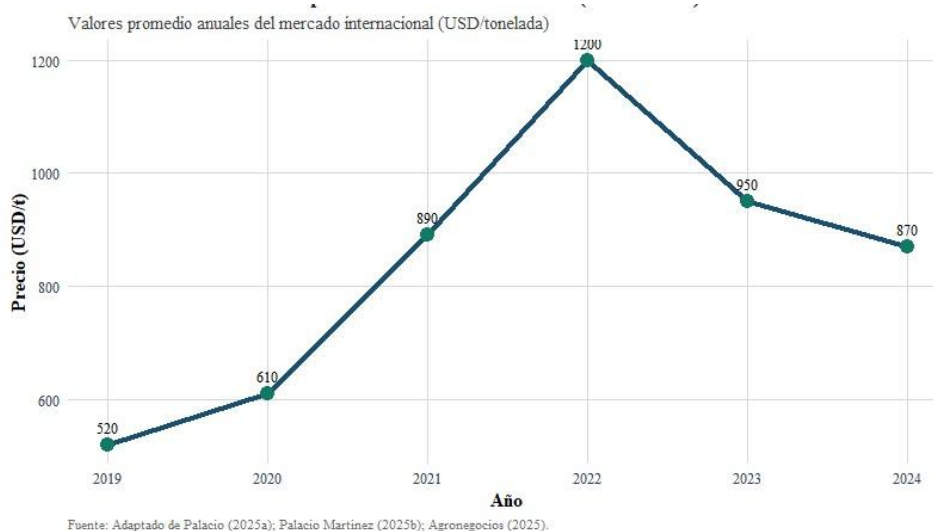
La nanotecnología aplicada a la nutrición vegetal también se evalúa por su capacidad para mejorar la penetración celular, modular la liberación según condiciones del cultivo y transportar nutrientes de manera más eficiente. Soliman *et al.* (2024) compararon NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) convencional y nano-NPK en *Solidago virgaurea*, encontrando mejoras en crecimiento, acumulación de compuestos bioactivos y características anatómicas del tejido vegetal.

Además del componente técnico, es esencial considerar el contexto geopolítico que ha afectado el mercado global de fertilizantes. Entre los años 2022 y 2024, el conflicto en países claves como Rusia, Ucrania, Marruecos y China genera interrupciones en las cadenas de

suministro, provocando incrementos en precios y escasez en mercados agrícolas dependientes de importaciones (World Bank, 2025; White, 2025). Según Rabobank (2025), la volatilidad energética ha mantenido inestables los precios de fertilizantes nitrogenados como la urea. Por el contrario, los fosfatados han mostrado bajos precios por sobreoferta. The Economic Times (2025) también reporta que el aumento en costos de insumos como el gas natural ha reducido la rentabilidad de la industria química agrícola. Aunque el Banco Mundial en 2025 indicó una caída del 17 % en los precios de fertilizantes en el último trimestre de 2024, estos continúan por encima de los niveles prepandemia o previos a la COVID-19 (figura 2). Ante esta situación, las formulaciones más eficientes, como el nano- NPK (nitrógeno, fósforo, potasio), representan no solo un avance tecnológico, sino también una estrategia de resiliencia para reducir la dependencia de insumos críticos. Estas tecnologías permiten mejorar la eficiencia agronómica y mitigar la exposición a la volatilidad externa.

Figura 2

Evolución del Precio de Fertilizantes Fosfatados el 2019-2024



En este contexto, el desarrollo de tecnologías nacionales como el prototipo liderado por Taju Agro cobra relevancia estratégica. No solo contribuye a la productividad, sino también a la sostenibilidad y seguridad alimentaria del país.

Normativa ICA y Regulación del Mercado Colombiano

En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) regula la fabricación, comercialización y uso de fertilizantes mediante la Resolución 150 de 2001. Esta normativa exige un dossier técnico con información fisicoquímica, modo de empleo, etiquetado, hoja de seguridad y estudios de laboratorio (ICA, 2001). La NTC 5167 complementa este marco, estandarizando la formulación, etiquetado, almacenamiento y calidad del producto. Cumplir con estos requisitos es obligatorio para la venta legal y garantiza trazabilidad, seguridad y protección ambiental (ICA, 2024).

Metodología

El proyecto se desarrolló en tres fases, siguiendo los lineamientos técnicos y regulatorios establecidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2023, 2024). En la primera fase se aplicaron encuestas estructuradas a asesores técnicos, vendedores de insumos agropecuarios y agricultores, con el fin de analizar el potencial de mercado y caracterizar la percepción, aceptación y disposición de pago hacia un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio). Se analizó el potencial de mercado del fertilizante formulado, identificando la demanda, los segmentos objetivo, la competencia y las oportunidades de comercialización. Tras este diagnóstico, se avanzó en la segunda fase, centrada en la formulación y validación del prototipo en laboratorio. En esta etapa se evaluaron parámetros fisicoquímicos, solubilidad, entre otros, garantizando la reproducibilidad de los resultados y la calidad del producto. Finalmente, en la tercera fase se elaboró el dossier técnico requerido por el ICA, conforme a la Resolución 150 de 2001 y la NTC 5167, incluyendo ficha técnica, hoja de seguridad, análisis de laboratorio, recomendaciones de uso y etiquetado.

Población y Muestra

La muestra estuvo compuesta por 50 participantes vinculados a la cadena agrícola en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Tolima y Santander. Se incluyeron agricultores, asesores técnicos y representantes de almacenes agropecuarios. La selección fue no probabilística por conveniencia, priorizando diversidad geográfica y funcional.

Instrumento de Recolección

Se diseñó una encuesta digital con preguntas cerradas y semiestructuradas, aplicada entre agosto y octubre de 2025. Las variables clave incluyeron:

- Rol en la cadena agrícola.
- Ubicación geográfica.
- Frecuencia de uso de fertilizantes solubles.
- Etapa del cultivo en la que se aplican.
- Características valoradas en el producto.
- Disposición a probar una nueva formulación local.
- Rango de precio preferido por kilo.
- Se priorizó el uso de cuatro clasificadores jerárquicos:
 - Clasificador 1 (principal): Rol × Disposición × Región × Precio.
 - Clasificador 2 (semántico): Rol × Frecuencia de palabras en respuestas abiertas.
 - Clasificador 3 (económico): Rango de precio como variable focal.
 - Clasificador 4 (comparativo): Rol como eje transversal.

Fase 1. Potencial de Mercado y Percepción

Para analizar el potencial de mercado y caracterizar la percepción, aceptación y disposición de pago hacia un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble con elementos menores, se diseñó y aplicó un cuestionario estructurado de 12 preguntas. El instrumento, implementado mediante formularios de Microsoft Forms (véase apéndice A), se dirigió a agricultores, asesores técnicos y distribuidores de insumos agropecuarios en regiones como Cundinamarca, Boyacá, Santander y Tolima. Las preguntas abordaron aspectos clave como el papel de los encuestados en la cadena agrícola, frecuencia y etapas de uso de fertilizantes solubles, atributos más valorados (precio, solubilidad, balance nutricional, respaldo técnico, disponibilidad y registro ICA), así como la percepción de la demanda actual y las marcas más utilizadas en cada zona.

También se indagó sobre innovaciones deseadas como inclusión de elementos menores, fórmulas específicas por cultivo, empaques prácticos y precios competitivos y la disposición a probar un fertilizante formulado localmente. Finalmente, se evaluó la disposición de compra en rangos de \$8.000 a \$20.000/kg, permitiendo estimar la viabilidad comercial del prototipo. El tamaño de la muestra fue de 50 encuestados.

Método de Análisis de la Información de la Encuesta

La información obtenida a partir de la encuesta se analizó mediante un enfoque mixto que integró resultados porcentuales y frecuencia de palabras, organizados en cuatro clasificadores principales. La información se analizó en el programa R. El Clasificador 1 permitió identificar la relación entre el rol de los encuestados en la cadena agrícola, la etapa del ciclo productivo en la que emplean fertilizantes solubles, la disposición a probar un producto NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local y las características y mejoras más valoradas en estos fertilizantes. El Clasificador 2 incluyó la ubicación geográfica, marcas y empresas presentes en la región, así como la frecuencia de palabras para resaltar tendencias y preferencias locales. El Clasificador 3 relacionó los rangos de precio de interés con las etapas de uso en el ciclo productivo (tabla 3). Finalmente, el Clasificador 4 integró múltiples variables, cruzando el rol, la ubicación y la disposición a probar fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) locales.

Este enfoque permitió una interpretación integral de preferencias, necesidades y comportamientos de los actores agrícolas. Este análisis se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, exploratorio y descriptivo, orientado a caracterizar las percepciones, preferencias y disposición de actores de la cadena agrícola frente a la adopción de fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) solubles formulados con micronutrientes a nivel local. Se aplicó una encuesta

estructurada como instrumento principal de recolección de datos, diseñada para capturar variables categóricas y ordinales relevantes para el análisis de adopción tecnológica.

Tabla 3

Clasificación de Componentes Principales Cluster Comparativos

Clasificador 1	En relación con las otras preguntas
<p>¿Qué rol ocupas en la cadena de agrícola?</p> <p>Si se formulara un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble con menores a nivel local, ¿qué tan dispuesto estaría a probarlo? En muestra comercial</p> <p>Ubicación o región de mercado</p> <p>¿En qué rango de precio por kilo estaría más interesado en adquirir el fertilizante soluble?</p>	<p>En el caso de utilizarlos, ¿en qué etapas del ciclo productivo se emplean más los fertilizantes solubles?</p> <p>¿Qué características considera más importantes al elegir un fertilizante soluble? (Seleccione máximo 3)</p> <p>¿Cuál cree que es la demanda o necesidad actual de fertilizantes solubles o polvo en su zona?</p> <p>¿Qué mejoras o innovaciones considera más importante para aumentar el uso de fertilizantes solubles en kilo? a dosis de Kilo a caneca de 200Litros. Escoja máximo 3</p> <p>¿Con qué frecuencia utiliza/vende/recomienda fertilizantes solubles en los cultivos de la región?</p>
Clasificador 2	En relación con las otras preguntas
<p>¿Qué rol ocupas en la cadena de agrícola?</p> <p>Frecuencia de palabras</p>	<p>En dónde se encuentra su zona de trabajo, negocio o cultivo Municipio, vereda, corregimiento, ciudad principal.</p> <p>¿Qué marcas de fertilizantes solubles se comercializan/usan más en su zona?</p> <p>¿Qué empresas en la región venden productos en kilo solubles con NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) más menores?</p>
Clasificador 3	En relación con las otras preguntas
<p>¿En qué rango de precio por kilo estaría más interesado en adquirir el fertilizante soluble?</p>	<p>En el caso de utilizarlos, ¿en qué etapas del ciclo productivo se emplean más los fertilizantes solubles?</p>

Clasificador 4	En relación con las otras preguntas
	Ubicación o región de mercado
¿Qué rol ocupas en la cadena de agrícola?	En el caso de utilizarlos, ¿en qué etapas del ciclo productivo se emplean más los fertilizantes solubles? Si se formulara un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble con menores a nivel local, ¿qué tan dispuesto estaría a probarlo? En muestra comercial

Fase 2. Formulación y Validación del Prototipo

La formulación del prototipo de fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble se estructuró a partir de una matriz de balance de materias primas (ver tabla 4) que integra materias primas, las cantidades requeridas por tonelada, el costo unitario y el aporte de nutrientes. Entre las materias primas empleadas se incluyen fosfato monoamónico (MAP), urea, cloruro de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de amonio, manganeso, zinc, nitrato de calcio y trazas de elementos menores como boro, molibdeno y cobalto. El cálculo permitió determinar sobre una base de 1000 kg la composición del producto. Las concentraciones aproximadas resultantes son del 30 % de nitrógeno total, 6.45 % de P_2O_5 y 5.42 % de K_2O , además de aportes complementarios de MgO , CaO , S y micronutrientes.

La planilla también muestra el costo de materias primas, estableciendo un costo total de 4.183.179 COP por tonelada de producto en materias primas, además de costos asociados a Kg de producto: materia prima 4.183 COP, empaque 643 COP, mano de obra 500 COP, gastos fijos 350 COP, caja 250 COP para un costo total de producción 5.526 COP por kilo de producto. Este enfoque metodológico facilitó la identificación de materias primas en la estructura de costos. Asimismo, la matriz de formulación (Tabla 4) sirvió como insumo para el control de calidad, al

relacionar directamente cada fuente con su contribución nutricional y su trazabilidad normativa ante el ICA. En conjunto, este procedimiento garantizó la coherencia entre la composición química, la viabilidad económica y los requisitos regulatorios del producto.

Por ejemplo, en los cálculos de la fuente MAP (fosfato monoamónico) con nitrógeno tipo amoniacal, se obtendría un aporte del 12% de N amoniacal y un 61% de P_2O_5 , sobre una base de 1000 kilos o tonelada, se obtiene la siguiente ecuación de cálculo (tabla 4):

Nitrógeno amoniacal = $5\text{kg} * 0,12 / 1000 * 100 = 0,1\%$ de nitrógeno amoniacal de la fuente de MAP 12%N-61% P_2O_5 (La materia prima fosfato monoamónico MAP tiene un 12% de nitrógeno amoniacal). Para el fósforo $P_2O_5 = 5\text{kg} * 0,61 / 1000 * 100 = 0,3\%$ de fósforo asimilable o total de la fuente de MAP 12%N-61% P_2O_5 (La materia prima fosfato monoamónico MAP tiene un 61% de fósforo P_2O_5).

Tabla 4*Matriz de formulación en formato Excel*

Materia prima	Kg/Tm	\$/Kg	\$/Tm	N. Total	N. Amoniacal	N. Ureico	P ₂ O ₅	k ₂ O	MgO	Mn	Mo	Co	CaO	S	B	Zn
Fosfato Monoamónico MAP 12%N-61%P ₂ O ₅	5.00	\$ 6.180	\$ 30.900	0.06	0.1		0.3									
Dióxido de Silicio Anticompactante	10.00	\$ 22.610	\$ 226.100													
Molibdato de sodio 39%	0.50	\$ 154.581	\$ 77.291								0.02					
Octoborato de Sodio 20,5%	6.20	\$ 7.100	\$ 44.020												0.13	
Sulfato de Manganeso 31%-12%S	0.40	\$ 4.100	\$ 1.640							0.012				0.005		
Fosfato diamónico 21-53	117.50	\$ 2.800	\$ 329.000	2.47	2.5		6.2									
Sulfato de amonio N21- S24%	2.90	\$ 14.840	\$ 43.036	0.06	0.1									0.037		
Sulfato de magnesio 16%MgO12%S	12.60	\$ 1.577	\$ 19.870						0.208					0.151		
Urea 46%N	602.00	\$ 2.250	\$1.354.500	27.69		27.7										
Cloruro de potasio 60%K ₂ O	90.25	\$ 2.290	\$ 206.673					5.42								
Colorante naranja	0,25	\$ 34.867	\$ 8.717													
Sulfato Zinc 35%-12%S	2,71	\$ 5.986	\$ 16.222											0.033		0.095
EDTA Ca 10%	26,00	\$ 14.740	\$ 383.240	0.39									0.3			
Sulfato de cobalto 21%	0,42	\$ 83.300	\$ 34.986									0.0088		0.0050		
Ácido cítrico	122,27	\$ 5.500	\$ 672.485													
Ácido Naftalenacético ANA	0,50	\$ 850.000	\$ 425.000													
Kinetina	0,50	\$ 619.000	\$ 309.500													

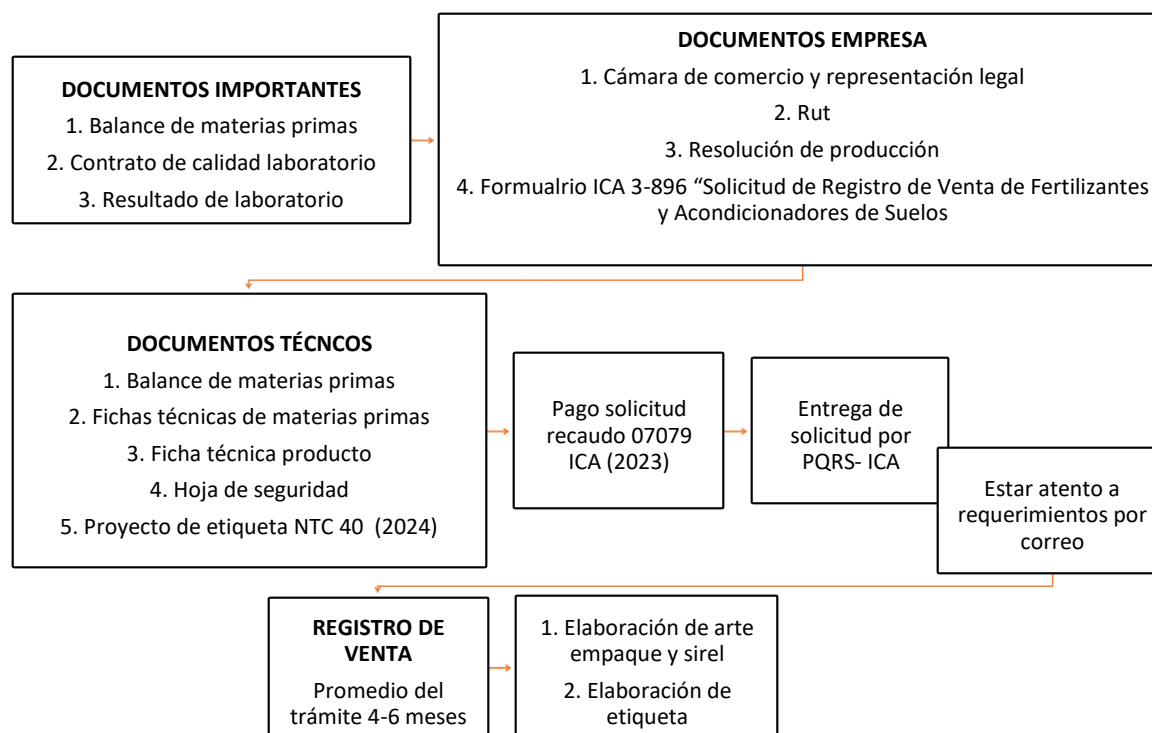
Nota: La presentación 1 kg en donde la materia prima tiene un valor de \$4.183, empaque \$643, mano de obra \$500, gastos fijos \$350, caja \$250 con costo total de \$5.926, ver Apéndice B

Fase 3. Elaboración del Dossier ICA

El proceso para solicitar registro de venta, (figura 3). El director técnico asume un papel estratégico al realizar el balance de materias primas y la documentación necesaria para iniciar el proceso.

Figura 3

Proceso para elaboración de dossier para solicitar registro de venta para empresas de fertilizantes



Fuente: elaboración propia utilizando información de NTC 40 Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2015). NTC 40: Fertilizantes. Requisitos de rotulado. ICONTEC. <https://www.icontec.org>, ICA 2024 Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2023). Acuerdo No. 000005 del 21 de diciembre de 2023 – Nuevo modelo de tarifas ICA 2024. Disponible en: <https://www.ica.gov.co>

Tabla 5*Parámetros fisicoquímicos determinados en laboratorio para la muestra de fertilizante*

Ítem	Análisis Variable	Expresión Analítica	Extractante / Técnica / Referencia
1	Humedad FMS *70°C	Humedad	70°C / Gravimétrico / NTC 5527 (r)
2	pH al 10% AFM**	pH (En Solución al 10%)	Agua / Potenciométrica / P-AFM-061 V2 (a)
3	CE Solución 1:100 AFM	Conductividad Eléctrica	Agua / Conductimetría / NTC 5527 (r)
4	Residuo Insol. AFM	Residuo Insoluble en Agua	Directo / Gravimétrico / Método Interno
5	Sol. Máx. FMS	Solubilidad Máxima en Agua	Agua / Gravimétrico / NTC 5527
6	N Total AFM	Nitrógeno Total	Sumatoria de especies de Nitrógeno / cliente
7	N Nítrico AFM	Nitrógeno Nítrico	Catalizador Devarda / Volumetría / NTC 1297 (r)
8	NAmoniacal AFM	Nitrógeno Amoniacal	NaOH conc. / Volumetría / NTC 211 (r)
9	N Uréico C AFM	Nitrógeno Uréico	Agua / Colorimetría / AOAC 967.07 (r)
10	Fósforo Asim. FMS	Fósforo Asimilable (P ₂ O ₅)	Sln. Citrato de amonio / Colorimétrico / NTC 234 (r)
11	Potasio Sol. AFM	Potasio (K ₂ O)	Agua / EAA / NTC 202 (r)
12	Magnesio Sol. AFM	Magnesio (MgO)	Agua / EAA / NTC 1369-EPA7000B (r)
13	Azufre Total AFM	Azufre (S)	MVH Ác. Nítrico:Ác. Clorhídrico / Turbidimétrico / IGAC(1982)-NTC 1154 (r)
14	Calcio Sol. AFM	Calcio (CaO)	Agua / EAA / NTC 1369-EPA7000B (r)
15	Cobalto Total AFM	Cobalto (Co)	MVH Ác. Nítrico:Ác. Perclórico / EAA / NTC 1369-EPA7000B (r)
16	Boro Sol. AFM	Boro (B)	Agua / Colorimetría / NTC 1860 (r)
17	Cobre Sol. AFM	Cobre (Cu)	Agua / EAA / NTC 1369-EPA7000B (r)
18	Hierro Sol. AFM	Hierro (Fe)	Agua / EAA / NTC 1369-EPA7000B (r)
19	Manganeso Sol. AFM	Manganeso (Mn)	Agua / EAA / NTC 1369-EPA7000B (r)
20	Molibdeno Sol. AFM	Molibdeno (Mo)	Agua / EAA / NTC 1369-EPA7000B (r)
21	Zinc Sol. AFM	Zinc (Zn)	Agua / EAA / NTC 1369-EPA7000B (r)

Nota *FMS muestra en base seca, **AFM muestra en base fresca

Posterior al reporte de laboratorio se realizaron ajustes para la elaboración del dossier ICA. El contrato de Control de Calidad fue celebrado entre AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. (“El Contratista”) laboratorio registrado ante el ICA (LB0000342021) y certificado bajo la norma ISO/IEC 17025:2017, y TÉCNICAS AGRÍCOLAS PRODUCTIVAS Y ÚNICAS S.A.S. (“El Contratante”) para la realización de análisis fisicoquímicos de control de calidad de fertilizantes, acondicionadores de suelo y/o reguladores fisiológicos, específicamente del producto *LLEVATODOS*, polvo soluble foliar y/o fertirriego, con un costo total de \$954.975 COP (IVA incluido). El contrato tiene una vigencia de un año. Los parámetros analizados fueron (ver tabla 5).

Seguidamente, el director de producción coordina la fase operativa mediante la preparación de los equipos especializados, incluyendo el molino de bolas, el mezclador de 250 kg, la balanza de 5 a 50 kilos, la selladora de bolsas y la máquina de loteo. Además de asignar al operario responsable de ejecutar las tareas. En la etapa siguiente, el operario desempeña un rol central en la ejecución práctica, que comprende el pesaje de las materias primas, la mezcla de los componentes, el empaque del producto, el loteo y el muestreo de calidad, finalizando con la entrega de la muestra al laboratorio para su verificación.

Finalmente, el área de inventario se encarga de la liberación del lote y su ingreso formal al sistema de almacenamiento, asegurando la trazabilidad y disponibilidad del fertilizante para su distribución (figura 3). Este flujo de trabajo refleja un esquema integral que combina control técnico, gestión de recursos, ejecución operativa y aseguramiento de calidad, garantizando que el producto final cumpla con los estándares requeridos para su comercialización y uso agrícola eficiente. Esta metodología está diseñada para garantizar la viabilidad técnica, normativa y

comercial del fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) propuesto, con un enfoque centrado en la sostenibilidad, la adaptabilidad local y la autonomía tecnológica del sector agropecuario.

Resultados y Discusión

Información de la Encuesta

El análisis de componentes principales (PCA) aplicado a la encuesta permitió sintetizar la información multivariada en tres ejes principales que explican más del 70 % de la variabilidad total de las respuestas. Las variables incluidas fueron el papel en la cadena agrícola, la etapa de uso de fertilizantes solubles, las características más valoradas (precio, balance nutricional, registro ICA, respaldo técnico), la disposición a probar un NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local, el rango de precio preferido y la percepción de demanda.

El primer componente principal (CP1), que explica entre 35 y 40 % de la varianza, agrupa variables asociadas al precio preferido, la etapa de uso y la percepción de demanda. Este componente refleja una dimensión económica y productiva, donde los factores de costo y oportunidad determinan la decisión de compra. El segundo componente (CP2), con una varianza explicada del 20–25 %, concentra variables relacionadas con el respaldo técnico, reconocimiento de la marca y el registro ICA, *configurando* un eje de confianza y formalidad comercial. El tercer componente (CP3), que representa entre 10 y 15 % de la varianza, se vincula con la disposición a probar un NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local y las innovaciones deseadas, lo que sugiere un perfil de apertura tecnológica y adopción de nuevos productos.

A partir de los componentes, se identificaron tres clústeres o perfiles diferenciados dentro del mercado objetivo. Los agricultores se caracterizan por una alta sensibilidad al precio y la etapa productiva, reflejando decisiones basadas en rentabilidad y momento de aplicación. Los almacenes distribuidores priorizan el respaldo técnico y la formalidad del registro ICA, buscando productos con garantía y soporte comercial. Finalmente, los asesores y vendedores muestran una

mayor orientación hacia la innovación y la asistencia técnica, siendo idóneos para promover un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local.

Organización de Datos de la Encuesta y Análisis de Componentes Principales PCA

En la etapa de análisis previo al análisis de componentes principales (PCA), se estructuró el archivo depurando variables no relevantes (número, hora de encuesta) y codificando las cualitativas para su uso en el PCA. Las variables categóricas como rol en la cadena y etapa de uso se transformaron en códigos numéricos, mientras que las respuestas múltiples (características valoradas, innovaciones) se codificaron como (1/0). Las variables ordinales, como percepción de demanda y disposición a probar un NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local, se jerarquizaron numéricamente para garantizar comparabilidad estadística, al igual que el rango de precio preferido y la percepción de demanda (tabla 6).

En el paso de tratamiento de datos, limpieza y codificación, se transformaron las variables cualitativas y ordinales en valores numéricos para permitir la ejecución del Análisis de Componentes Principales (PCA). Este procedimiento garantiza la comparabilidad entre categorías y la correcta interpretación estadística de las relaciones multivariadas. La variable rol en la cadena agrícola se codificó como agricultor = 1, almacén = 2 y asesor = 3.

Tabla 6*Estructura del Archivo para el PCA*

Variable	Tipo de dato	Relevancia para PCA
ID, Hora de inicio, Correo, Nombre	Identificadores y metadatos	Se eliminan
¿Qué rol ocupas en la cadena agrícola?	Categoría (Agricultor, Asesor, Almacén)	Se codifica
Etapas de uso de fertilizantes solubles	Texto (Siembra, Floración, Fructificación...)	Se codifica
Características más valoradas	Texto múltiple (Precio, Registro ICA, etc.)	Se separa y codifica por presencia (1/0)
Percepción de demanda	Ordinal (Alta, Baja, Muy baja)	Se codifica (por ejemplo: Muy baja=1, Baja=2, Media=3, Alta=4)
Disposición a probar NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local	Ordinal (Muy dispuesto, Dispuesto, Poco dispuesto...)	Se codifica
Rango de precio preferido	Texto con valores en pesos	Se convierte a rango numérico (por ejemplo: 1=\$8–12k, 2=\$12–15k, etc.)
Marcas y empresas	Texto libre	No se usa directamente en PCA
Innovaciones deseadas	Texto múltiple (inclusión de menores, asistencia técnica, etc.)	Se codifica por presencia (1/0)

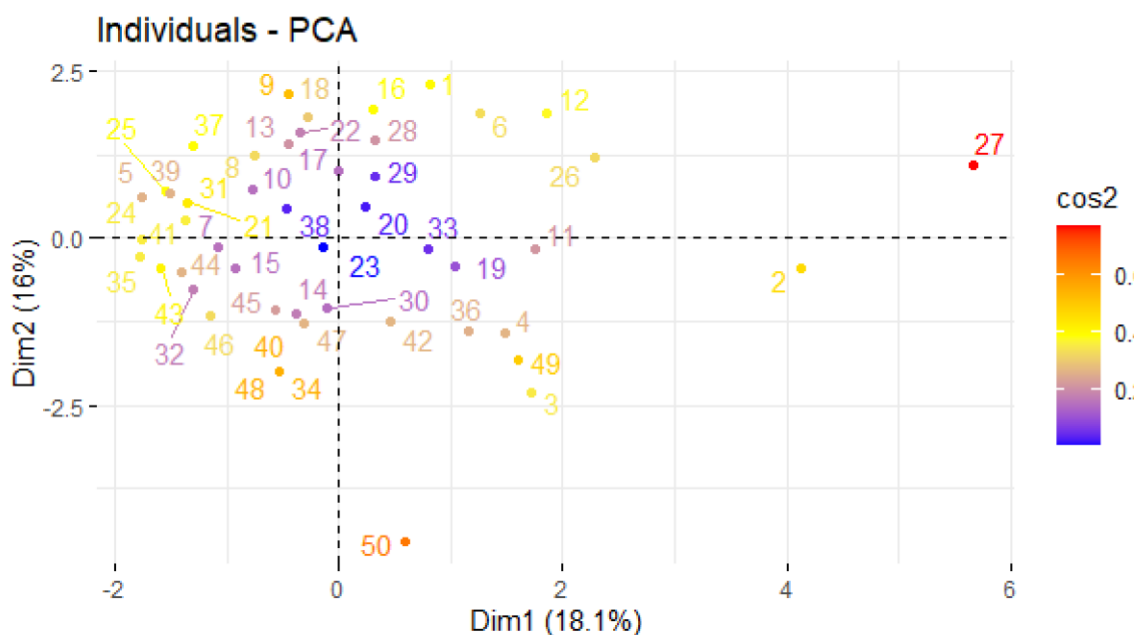
La etapa de uso de fertilizantes solubles se estructuró de manera secuencial según el desarrollo fenológico del cultivo: siembra = 1, vegetativo = 2, floración = 3, fructificación = 4 y llenado = 5.

La percepción de demanda se categorizó como muy baja = 1, baja = 2, media = 3 y alta = 4, mientras que la disposición a probar un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local se codificó en una escala de tres niveles: poco dispuesto = 1, dispuesto = 2 y muy dispuesto = 3. En cuanto al rango de precio preferido, se establecieron categorías ordinales de acuerdo con la disposición de pago por kilogramo: 1 = \$8.000–12.000, 2 = \$12.000–15.000 y 3 = más de \$15.000.

Las variables múltiples como características más valoradas (por ejemplo, precio, balance nutricional, registro ICA, respaldo técnico, marca reconocida) se codificaron de forma binaria, donde 1 = seleccionada y 0 = no seleccionada. De igual manera, las innovaciones deseadas (asistencia técnica, fórmulas por cultivo, inclusión de menores, fertilizantes verdes, entre otras) se representaron mediante presencia (1) o ausencia (0).

Figura 4

Análisis Componentes de Principales PCA



El análisis de componentes principales (PCA) resume toda la información de las variables (rol, etapa de uso, precio, demanda, etc.) en dos ejes principales:

1. Dim1 (18.1 %), componente que representa principalmente las variables asociadas con el precio preferido, la etapa de uso y la percepción de demanda
2. Dim2 (16 %), segundo componente y refleja variables más ligadas al respaldo técnico, registro ICA y marca reconocida.

En conjunto, estos dos componentes explican 34,1 % de la variabilidad total del comportamiento de los encuestados. Cada punto numerado representa un encuestado. Los puntos cercanos entre sí indican respuestas similares en el cuestionario. Los puntos lejanos o aislados representan patrones distintos de respuesta (figura 4). El color a escala \cos^2 indica qué tan bien está representado el individuo por los dos primeros componentes:

- Rojo/Amarillo bien representado, respuestas definidas o extremas.
- Amarillo representación media
- Azul baja calidad de representación (respuestas neutras o intermedias).

Un valor alto de \cos^2 (cercano a 1 o 100 %) indica que ese encuestado o punto está bien representado por los componentes principales (su posición en el gráfico es confiable). En cambio, un valor bajo indica que el individuo no está bien representado, o que su variabilidad se explica mejor por otros componentes.

El análisis de componentes principales (PCA) permitió identificar patrones diferenciados entre los encuestados respecto al uso y percepción de los fertilizantes solubles NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) locales. El plano factorial muestra que los dos primeros componentes explican el 34,1 % de la variabilidad total: el Componente 1 (18,1 %) agrupa variables relacionadas con el

precio preferido, la etapa de uso del fertilizante y la percepción de demanda, mientras que el Componente 2 (16 %) se asocia con el respaldo técnico, el registro ICA y el reconocimiento de marca.

En el gráfico, la mayoría de los individuos se concentran cerca del centro, lo que indica respuestas homogéneas y una preferencia general por fertilizantes con balance nutricional, precio competitivo y características técnicas confiables. Sin embargo, destacan dos perfiles atípicos:

El individuo 27, ubicado en el extremo derecho, representa un grupo con alta disposición a probar formulaciones locales innovadoras, menos dependiente de las marcas tradicionales.

El individuo 50, en el extremo opuesto, refleja una postura más conservadora y sensible al precio, con menor apertura a nuevos productos.

Esta diferenciación sugiere tres segmentos clave: un grupo central equilibrado, un grupo innovador orientado a la experimentación, y un grupo tradicional enfocado en la estabilidad de precios. Estos resultados ofrecen una base estadística sólida para segmentar estrategias comerciales y técnicas del futuro fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local, ajustando su posicionamiento de mercado según la percepción y comportamiento de cada actor en la cadena agrícola.

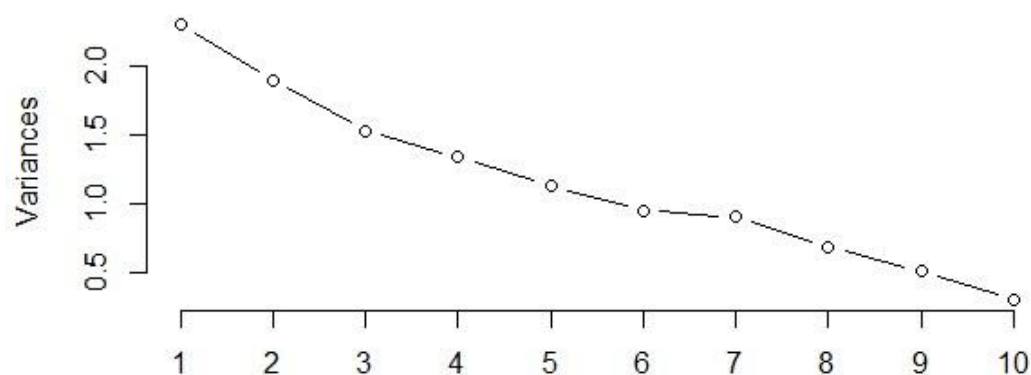
La mayoría de los encuestados (1–45) se agrupan alrededor del centro del gráfico (coordenadas cercanas a 0), lo que sugiere patrones de respuesta comunes: probablemente coincidencia en criterios como balance nutricional, precio medio y disposición moderada a probar NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local. El encuestado 27, ubicado hacia el extremo derecho y coloreado en rojo intenso, representa un caso atípico o un perfil con respuestas muy diferentes: posiblemente mayor disposición a innovar o sensibilidad alta al precio. El encuestado

50, en el extremo inferior izquierdo, también se distancia del grupo principal, pero en dirección contraria, indicando una posición más conservadora o menor disposición a innovar o pagar más.

La dispersión vertical (Dim2) muestra diferencias en la importancia dada al respaldo técnico, registro ICA y marca. La dispersión horizontal (Dim1) refleja contrastes en criterios económicos (precio y demanda percibida).

Figura 5

Análisis Varianza en PCA



El eje X muestra los componentes principales (CP1, CP2, CP3...). El eje Y muestra la varianza explicada (cuánto aporta cada componente a la variabilidad total de los datos, figura 5). Así el primer componente (CP1) tiene la mayor varianza (≈ 2.2 unidades). Esto indica que CP1 resume la mayor parte de la información (entre el 30 % y 40 % del total, aproximadamente) (figura 4). El segundo componente (CP2) explica una porción importante, pero menor (≈ 1.7 unidades). Los CP1 + CP2 representan más del 50 % de la variabilidad, lo que justifica analizar solo estos dos en tu plano factorial dentro del PCA.

A partir del componente 4 o 5, la pendiente se aplana, lo que significa que los siguientes componentes aportan poca información nueva, es decir, solo capturan ruido o variaciones

menores. El CP1 podría estar vinculado con variables económicas y de percepción de demanda, mientras que CP2 puede asociarse con respaldo técnico, marca o registro ICA. Los componentes 3–10 aportan varianza marginal y se pueden omitir en los gráficos e interpretación.

Tabla 7

Los Componentes 1-12 en la Varianza Dentro de la Estructura del PCA

Componente	Varianza	% X..Varianza.Explicada	% X..Varianza.Acumulada
CP1	2,304	19,2	19,2
CP2	1,901	15,84	35,04
CP3	1,531	12,76	47,8
CP4	1,344	11,2	59
CP5	1,134	9,45	68,45
CP6	0,954	7,95	76,4
CP7	0,904	7,53	83,93
CP8	0,688	5,73	89,66
CP9	0,511	4,26	93,92
CP10	0,31	2,58	96,5
CP11	0,248	2,06	98,57
CP12	0,172	1,43	100

Así, el primer componente (CP1) explica 19,2 % de la varianza total de los datos. Este eje representa la dimensión con mayor diferenciación entre encuestados, probablemente relacionada con aspectos económicos como precio o etapa de uso. El segundo componente (CP2) añade 15,8 %, llegando a un acumulado del 35 %. En el CP3 y CP4 se alcanza \approx 59 % de varianza acumulada. En estudios sociales o de percepción, capturar entre 55–70 % suele considerarse muy aceptable, porque hay múltiples factores humanos y contextuales en estos factores.

Según el criterio de Kaiser (eigenvalues > 1), deben conservarse los cuatro o cinco primeros componentes (CP1–CP4/CP5), porque explican juntos casi 70 % de la variabilidad y marcan el punto donde la curva se aplanan. La justificación de las primeras dimensiones (CP1–CP2) concentran la estructura principal de respuestas, CP3–CP5 añaden matices de innovación y disposición al cambio. Los componentes posteriores (CP6–CP12) solo reflejan ruido o diferencias menores entre encuestados (tabla 7 y 8).

El análisis de componentes principales permitió identificar los ejes que explican la mayor proporción de variabilidad en las respuestas de los actores de la cadena agrícola frente al uso de fertilizantes solubles NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) locales. Los doce componentes extraídos explicaron el 100 % de la varianza total, pero los primeros cinco concentraron la mayor información. El Componente 1 (CP1) explicó el 19,2 % de la varianza y refleja las dimensiones más determinantes del comportamiento de los encuestados, posiblemente asociadas con variables de precio preferido, etapa de uso y percepción de demanda. El Componente 2 (CP2) aportó 15,84 %, vinculado a factores de respaldo técnico, registro ICA y marca reconocida. En conjunto, CP1 y CP2 explicaron el 35,04 % de la varianza, definiendo la estructura principal de diferenciación entre agricultores, asesores y distribuidores.

El CP3 (12,76 %) y el CP4 (11,2 %) añadieron información relacionada con innovaciones deseadas y disposición a probar fertilizantes locales, alcanzando un 59 % de varianza acumulada, valor aceptable para estudios de percepción y mercado agrícola. El CP5 contribuyó con un 9,45 % adicional, completando un 68,45 % de explicación total antes de la estabilización de la curva de sedimentación (criterio del “codo”). A partir del CP6, la varianza individual fue inferior al 8 %, indicando factores secundarios o ruido estadístico.

Tabla 8*Cargas Factoriales (Loadings)*

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12
Rol	-0,3647946	0,00204249	0,31818467	-0,12425299	-0,33776779	-0,34948744	-0,37071921	0,22121983	0,39199643	0,15570295	0,1660011	0,3495425
Etapas_uso	0,10944988	-0,47453618	-0,18454782	-0,30510872	-0,42820518	0,12321864	0,04307344	-0,22900167	-0,11535699	0,43096717	-0,38169642	0,1952311
Demanda	-0,37518492	-0,05813313	-0,1224668	0,00753241	0,5844932	-0,35659919	0,12967878	-0,27075141	0,15853686	0,05143052	-0,43894741	0,2478505
Disposición_NPK_local	-0,27062626	0,08921973	-0,28559731	-0,53286706	-0,01533572	0,30752707	0,08052782	-0,34506654	0,43206488	-0,17182352	0,29871035	-0,1658106
Precio_preferido	-0,56754942	-0,08643346	0,09072424	0,11220626	-0,00779933	-0,05616129	-0,07472843	-0,17260411	-0,40353737	0,39717171	0,21441425	-0,4944118
Características_precio	0,25556349	0,0337614	0,30164853	-0,42131048	0,08327627	-0,27504681	-0,50413549	-0,36480194	-0,25637802	-0,28219948	-0,1314714	-0,1805087
Características_balance	-0,02659987	-0,28743713	-0,0986797	0,52753474	-0,03059972	0,28334997	-0,53286153	-0,21104729	0,36238827	-0,13649812	-0,18892259	-0,1824475
Características_registro	-0,30616197	0,44373165	-0,00558901	0,05273241	-0,48922896	-0,01653155	0,14949611	0,01998346	-0,04694234	-0,30766395	-0,55907379	-0,1864516
Características_facilidad	-0,08944592	-0,53256654	-0,17128613	-0,22882618	0,05020836	-0,23756136	0,04646125	0,55165504	0,06865516	-0,29149025	-0,11058662	-0,399154
Innovación_asistencia	-0,20059746	0,07892137	-0,63312849	0,00226078	-0,03373493	-0,01297312	-0,38050178	0,11089187	-0,43721441	-0,21833206	0,14584648	0,3663247
Innovación_fórmula	0,20958221	-0,07596561	-0,28993267	0,26859089	-0,31530478	-0,63112601	0,22374639	-0,36865161	0,11872966	-0,09931599	0,27433878	-0,1057200
Innovación_menores	-0,25867153	-0,42393005	0,38064873	0,10859029	-0,1016496	0,16325053	0,2727279	-0,21425578	-0,22169784	-0,51447603	0,15675768	0,3178193

Tabla 9*Cargas factoriales del análisis de componentes principales (PCA)*

Variable	Contribuye a	Significado
Precio preferido (-0.57 en PC1)	CP1	Variables económicas o de precio
Etapas uso (-0.47 en PC2)	CP2	Variables de adopción y uso
Innovación asistencia (-0.63 en PC3)	CP3	Variables relacionadas con innovación y asistencia
Disposición NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local (-0.53 en PC4)	CP4	Variables de disponibilidad y oferta

En síntesis, los cinco primeros componentes resumen adecuadamente la estructura multivariable del mercado, diferenciando patrones de adopción tecnológica y valoración de atributos entre los segmentos analizados. Los primeros 4 componentes explican el 59 % de la variabilidad total de tus datos, lo cual es una buena estructura (tabla 8).

La matriz de cargas factoriales del análisis de componentes principales (PCA) evidencia cómo las percepciones y prioridades de los encuestados se agrupan en tres ejes principales que explican el 47,8 % de la varianza total:

El CP1 (19,2 %) agrupa variables asociadas al *precio preferido* (-0,56), *demanda* (-0,37), *rol en la cadena* (-0,36) y *disposición a probar un NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) local* (-0,27). Este eje representa la sensibilidad económica y de mercado, indicando que los agricultores y distribuidores priorizan el costo del fertilizante y su adopción en función de la demanda percibida.

El CP2 (15,8 %) está dominado por *etapa de uso* (-0,47), *características de registro ICA* (0,44) y *características de facilidad* (-0,53), reflejando un eje técnico-regulatorio, donde los actores valoran la formalidad del producto, la facilidad de aplicación y el respaldo normativo (tabla 9).

El CP3 (12,7 %) está fuertemente influido por *innovación en asistencia técnica* (-0,63) y *innovación en fórmulas* (-0,28), destacando a los asesores y vendedores con alta apertura hacia nuevos productos locales. En conjunto, los tres componentes revelan la coexistencia de tres segmentos:

1. Agricultores sensibles al precio y a la etapa productiva.
2. Almacenes que priorizan respaldo técnico y marca reconocida.

3. Asesores interesados en innovación y asistencia.

Estos resultados orientan el diseño de estrategias diferenciadas para introducir un fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble local con registro ICA, ajustado a las expectativas del mercado colombiano.

En conjunto, estos resultados confirman que el PCA resume adecuadamente la estructura del conjunto de datos, permitiendo identificar los individuos mejor representados y los que requieren más dimensiones para explicar su variabilidad. Esto respalda la validez del modelo y orienta la selección de las dimensiones más informativas para la interpretación o agrupamiento posterior. El Componente 1 (19,2 %) se asoció con variables de carácter económico y productivo, como el precio preferido, la etapa de uso y la percepción de demanda, y el componente 2 (15,8 %) está dominado por factores de confianza y respaldo técnico; marca reconocida, soporte del proveedor y el registro ICA.

Si los asesores vendedores tienen un \cos^2 promedio mayor, significa que su variabilidad se explica mejor por las dos primeras dimensiones del modelo. Cuanto más alto sea el valor promedio del \cos^2 , mejor representado está ese grupo dentro del PCA.

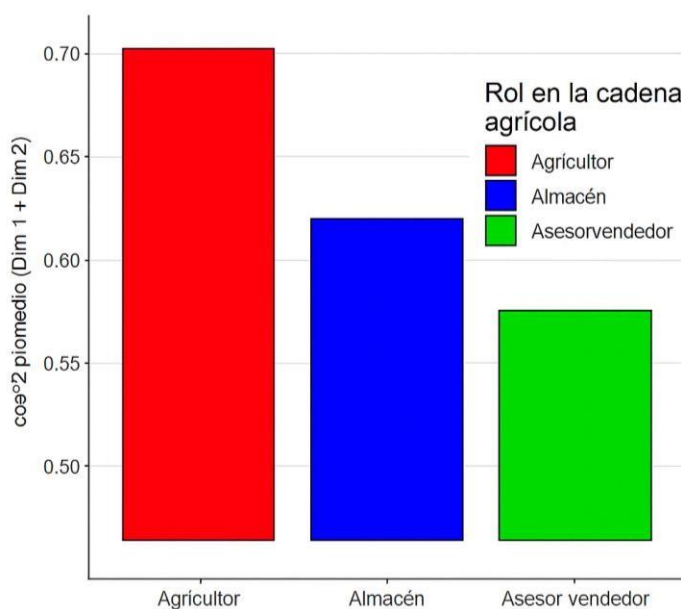
La figura 4 resume cómo los diferentes actores de la cadena agrícola se proyectan en las dos primeras dimensiones del análisis de componentes principales (PCA). Los valores de \cos^2 , calculados a partir de las doce dimensiones, indican qué tan bien cada individuo está representado en el plano factorial. En promedio, el rol de Agricultor alcanza el mayor \cos^2 total, con valores superiores a 0,70, lo que refleja una representación muy consistente en Dimensión 1, donde se concentra la mayor varianza explicada (alrededor de 67%). En contraste, los roles de Almacén y Asesor vendedor muestran \cos^2 promedios más bajos, cercanos a 0,55 y 0,45

respectivamente, lo que sugiere que su variabilidad se dispersa en dimensiones adicionales, como Dim.2 y Dim.3.

En conjunto, la figura evidencia que los agricultores son los más alineados con las dimensiones principales del PCA, mientras que los otros roles requieren considerar componentes secundarios para una interpretación completa.

Figura 6

Representación \cos^2 Total por Rol en la Cadena (Asesor, Almacén, Agricultor)



La calidad de representación (\cos^2) confirmó estas tendencias (figura 6). Los agricultores (rojo) presentan el valor promedio más alto ($\approx 0,68$), lo que indica que sus respuestas están fuertemente explicadas por los dos primeros componentes. Los almacenes (azul) alcanzaron un \cos^2 intermedio ($\approx 0,55$), reflejando un patrón más heterogéneo pero bien representado. Finalmente, los asesores vendedores (verde) obtuvieron el \cos^2 más bajo ($\approx 0,45$), lo que sugiere que sus decisiones se explican mejor en dimensiones posteriores. En conjunto, los resultados

evidencian que las decisiones de adopción están determinadas por una combinación de criterios económicos, técnicos y de innovación, con un peso diferencial según el rol en la cadena agrícola.

En resumen, los agricultores concentran la mayor parte de la variabilidad explicada en el plano factorial, lo que indica que sus decisiones están fuertemente asociadas a los factores económicos y productivos (precio, etapa de uso, demanda). Los asesores vendedores se relacionan más con la dimensión de innovación y disposición a probar nuevos productos, que aparece en componentes posteriores. Los agricultores son el grupo mejor explicado por los dos primeros componentes principales, seguidos por los almacenes; en cambio, los asesores vendedores presentan menor representación en este plano, lo que sugiere que sus patrones de respuesta se asocian a dimensiones adicionales (innovación y apertura a nuevos productos).

Análisis Integrado: Rol, Región, Marcas y Empresas en la Cadena Agrícola

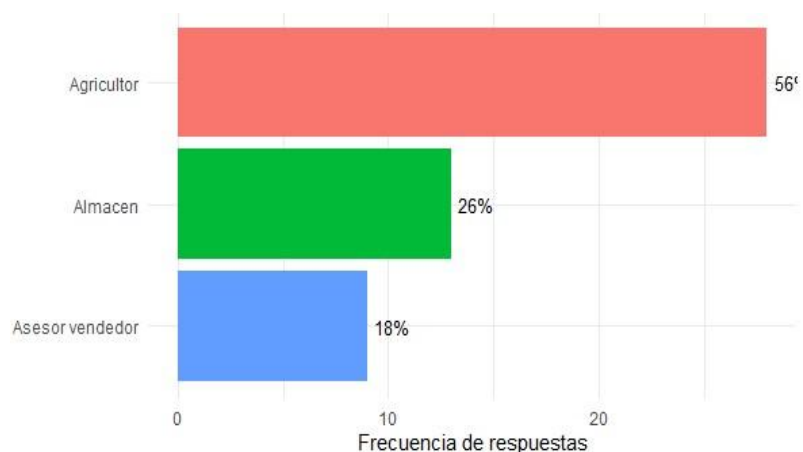
Los resultados obtenidos permiten caracterizar de forma detallada la estructura de actores, sus ubicaciones geográficas y las preferencias comerciales en torno a fertilizantes solubles y NPK (nitrógeno, fósforo, potasio). Esta información es clave para comprender la dinámica del mercado agrícola en el altiplano colombiano y orientar estrategias técnicas, comerciales y de política pública.

En cuanto al rol en la cadena agrícola, el 56 % de los encuestados se identifican como agricultores, lo que confirma que la muestra está centrada en usuarios finales del insumo (figura 7). Les siguen los almacenes (26 %) y los asesores vendedores (18 %), quienes probablemente actúan como intermediarios técnicos o comerciales. Esta distribución sugiere que las decisiones de compra y uso de fertilizantes están influenciadas principalmente por quienes trabajan

directamente en campo, aunque los actores comerciales también tienen un papel relevante en la recomendación y distribución de insumos.

Figura 7

Representación del Rol en la Cadena de Acuerdo con los Participantes de la Encuesta n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)



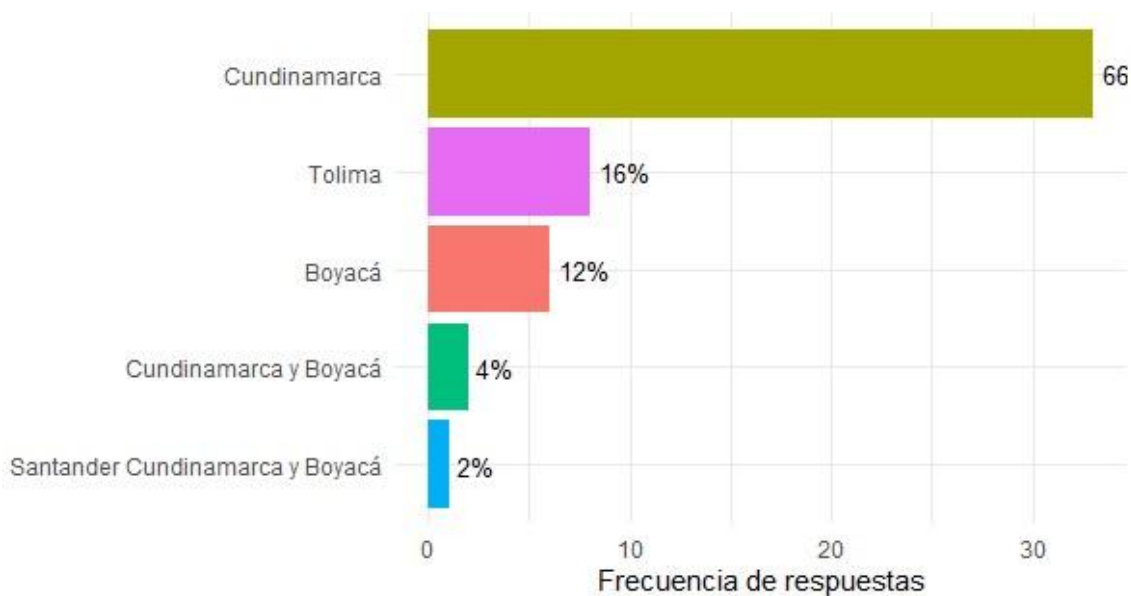
La región o zona de mercado muestra una fuerte concentración en Cundinamarca, con 66% respuestas de los 50 encuestados (figura 8), seguida por Tolima (16 %), Boyacá (12 %), y combinaciones como “Cundinamarca y Boyacá” (4 %) o “Santander, Cundinamarca y Boyacá” (2 %). Esta distribución geográfica indica que el mercado de fertilizantes solubles y NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) está focalizado en el altiplano central, con presencia significativa en zonas de producción frutícola y hortícola. La mención de múltiples departamentos en una sola respuesta sugiere que algunos actores operan en redes regionales, lo cual puede estar relacionado con cadenas de distribución, asesoría técnica itinerante o cobertura comercial extendida.

La figura 9, que relaciona rol, región y zona de trabajo, permite observar patrones más específicos. En Sotaquirá (Boyacá), el rol técnico tiene mayor frecuencia, lo que podría estar vinculado a procesos de asistencia técnica o investigación aplicada en esa zona. En Zipaquirá

(Cundinamarca) y Tunja (Boyacá) predominan los productores, mientras que en Barbosa (Santander) se destaca el rol de comercializador. Esta segmentación territorial permite identificar focos de especialización y orientar estrategias diferenciadas de capacitación, extensión rural o posicionamiento de productos.

Figura 8

Representación de la Región o Zona de Mercado de los Participantes de las Encuestas n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)

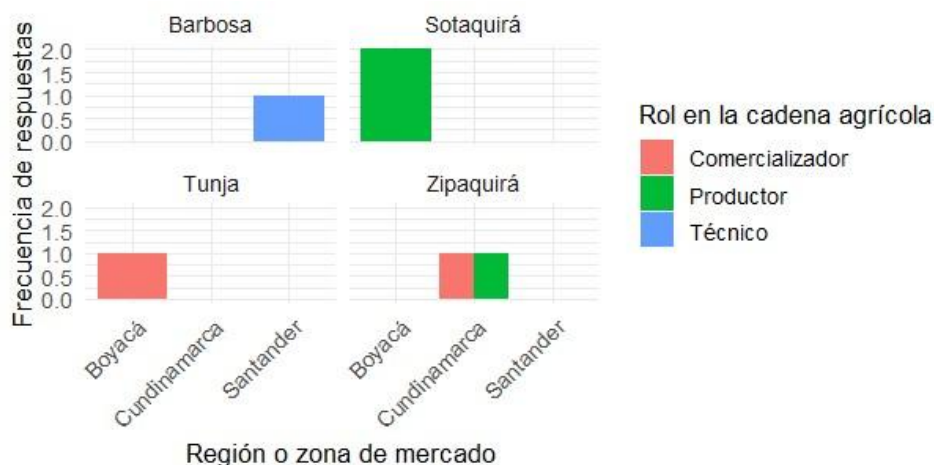


Respecto a las marcas de fertilizantes solubles más mencionadas, destaca Crecer 500 con 12 menciones, seguida por Microfertiza (10), Colinagro (8) y la combinación *Crecer 500 y Todo en Uno* (8). También figuran marcas como Vara (6), Todo en Uno (4) y agrupaciones como *Yaramida y Crecer 500* o *Manuchar, Precisagro y Full Agro* (2 cada una), lo que evidencia una diversificación en el uso de insumos (figura 9). La presencia de marcas combinadas en las respuestas sugiere que los productores no se limitan a una sola fuente, sino que adaptan sus decisiones según disponibilidad, recomendación técnica o resultados agronómicos previos.

Figura 9

Representación de Rol, Región o Zona de Trabajo de los Participantes de la Encuesta n=50

(Asesor, Almacén, Agricultor)



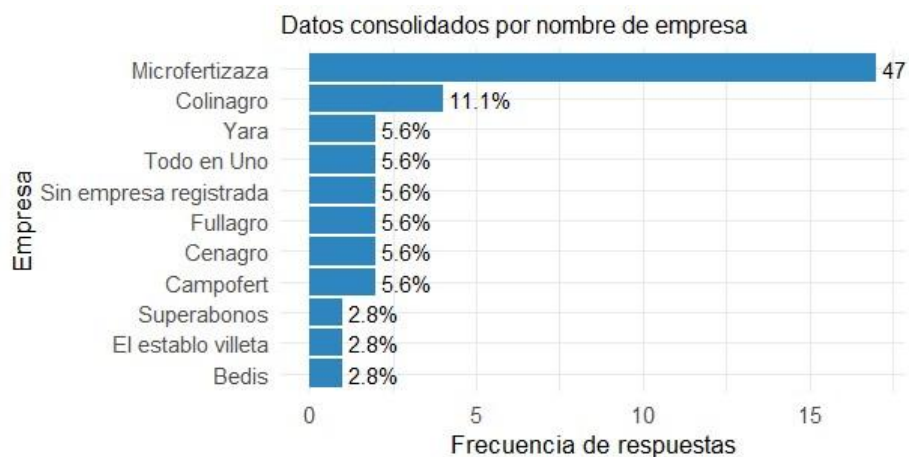
En cuanto a las empresas que venden fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) , sobresale Microfertiza con 47 menciones, muy por encima del resto. Le siguen Colinagro (11.1 %), Yara, Todo en Uno, Fullagro, Cenagro, Comfert y otras con frecuencias entre 2.8 % y 5.6 % (figura 10). Esta concentración sugiere un liderazgo claro de Microfertiza en el mercado local de NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) , aunque también existe una oferta variada. La presencia de empresas como *Sin empresa registrada* indica que algunos productores no identifican claramente la marca o compran a través de canales informales, lo cual podría tener implicaciones en trazabilidad, calidad del producto y acceso a soporte técnico.

Figura 10

Representación de Marcas de Fertilizantes Solubles más Mencionadas por los Participantes de la Encuesta n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)

**Figura 11**

Representación de Marcas de Empresas más Mencionadas por los Participantes de la Encuesta n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)

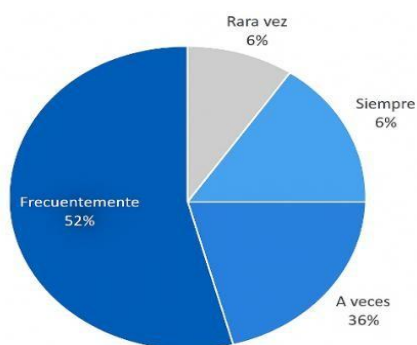


En conjunto, los datos revelan una cadena agrícola dominada por productores ubicados principalmente en Cundinamarca y Boyacá, con preferencias marcadas por marcas como Crecer 500 y empresas como Microfertiliza (figura 11). Esta información es útil para orientar decisiones

comerciales, técnicas y de política agrícola regional, así como para identificar oportunidades de mejora en distribución, capacitación y posicionamiento de productos teniendo en cuenta la frecuencia y uso de fertilizantes NPK (figura 12).

Figura 12

Representación de la Frecuencia de Uso de Fertilizantes Solubles n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)



Resultado de Laboratorio del Prototipo de Fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) y Dossier ICA

El análisis de rentabilidad demuestra la viabilidad económica del producto formulado, ya que el costo de producción por kilogramo (5.926 COP) se encuentra por debajo de todos los rangos de disposición de pago identificados. Esto implica que, incluso en escenarios conservadores, el producto genera márgenes positivos (tabla 10). En la categoría 1 (8.000 COP–12.000/kg COP), el precio mínimo asegura una rentabilidad del 35 %, mientras que el máximo supera el 100 %, evidenciando capacidad para cubrir costos de distribución, comercialización o escalamiento productivo sin perder competitividad. En la categoría 2 (12.000 COP–15.000/kg COP), la rentabilidad aumenta significativamente, alcanzando márgenes entre 102 % y 153 %, lo que refuerza su atractivo frente a alternativas comerciales. La categoría 3 (> 15.000/kg COP)

representa una oportunidad estratégica, ya que cualquier precio superior garantiza márgenes mayores al 153 %, especialmente en mercados especializados o de valor agregado.

Para la tesis, estos resultados respaldan que el fertilizante es económicamente viable y sostenible dentro del contexto agrícola regional. Asimismo, el margen disponible permite absorber variaciones en costos logísticos o de transferencia tecnológica, favoreciendo su adopción por parte de productores. Este análisis constituye evidencia sólida de competitividad y potencial posicionamiento del producto en el mercado agrícola.

Tabla 10

Rentabilidad de la Formulación Ofertada en la Encuestas n=50 (Asesor, Almacén, Agricultor)

Precio de venta (COP/kg)	Costo total (COP/kg)	Margen bruto (COP/kg)	Rentabilidad (%)
\$8.000 - \$12.000	\$5.926	\$2.074 - \$6.074	35% - 102%
\$12.000 - \$15.000	\$5.926	\$6.074 - \$9.074	102% - 153%
> \$15.000	\$5.926	> \$9.074	> 153%

El análisis de la encuesta aplicada a diferentes actores de la cadena agrícola permitió identificar con claridad las tendencias de preferencia de precio para fertilizantes solubles, evidenciando diferencias significativas según el rol.

En términos generales, el mercado reconoce como aceptable un rango entre 8.000 COP y 15.000/kg COP, con predominio del intervalo inferior, aspecto clave para la estrategia de posicionamiento del producto. Los agricultores, quienes constituyeron el grupo mayoritario, mostraron una marcada sensibilidad al precio: el 63% prefirió el rango de 8.000COP –12.000/kg COP, el 33% se inclinó por 12.000 COP–15.000/kg COP y únicamente el 4% consideró valores

superiores, reflejando la necesidad de maximizar la rentabilidad por hectárea y controlar los costos de producción. Los almacenes agropecuarios presentaron una tendencia similar, con un 69% que favoreció el rango de 8.000 COP–12.000/kg COP y un 31% el de 12.000 COP–15.000/kg COP, priorizando precios que garanticen rotación de inventario, competitividad y mayor volumen de ventas, sin aceptación el rango superior.

En contraste, los asesores vendedores evidenciaron una mayor disposición a pagar valores más altos: el 60% seleccionó el rango de 12.000 COP–15.000/kg COP y el 40% 8.000 COP–12.000/kg COP, relacionando el mayor precio con el valor agregado, eficacia agronómica y la presencia de elementos menores que consideran relevantes para el desempeño técnico del fertilizante.

Considerando un costo de producción de 5.926/kg COP, la rentabilidad es positiva en todos los escenarios: entre 35 % y 102 % en el rango de 8.000 COP–12.000/kg COP, entre 102 % y 153 % en 12.000 COP–15.000/kg COP, y superior al 153 % cuando el precio supera los 15.000/kg COP, alcanzando márgenes mayores a 9.074/kg COP. Esta relación confirma que el producto puede absorber costos adicionales de distribución y comercialización sin perder competitividad.

En síntesis, los resultados técnicos y de mercado validan la viabilidad económica del fertilizante *LlevaTodos* y permiten definir una estrategia de segmentación comercial efectiva: precios competitivos para agricultores y almacenes; y propuestas de valor diferenciadas para asesores, consolidando un posicionamiento sólido en el mercado agrícola colombiano.

El análisis de la encuesta aplicada a diferentes actores de la cadena agrícola permitió identificar las tendencias de preferencia de precio para fertilizantes solubles, evidenciando

diferencias significativas según el papel. En términos generales, el mercado reconoce como aceptable un rango entre 8.000 COP y 15.000/kg COP, con predominio del intervalo inferior, aspecto clave para la estrategia de posicionamiento del producto.

Los agricultores, quienes constituyeron el grupo mayoritario, mostraron una marcada sensibilidad al precio: el 63 % prefirió el rango de 8.000 COP–12.000/kg COP,

el 33 % se inclinó por 12.000 COP–15.000/kg COP y únicamente el 4 % consideró valores superiores, reflejando la necesidad de maximizar la rentabilidad por hectárea y controlar los costos de producción. Los almacenes agropecuarios presentaron una tendencia similar, con un 69 % favoreciendo el rango de 8.000 COP–12.000/kg COP y un 31 % el de 12.000 COP–15.000/kg COP, priorizando precios que garanticen rotación de inventario, competitividad y mayor volumen de ventas, sin aceptación del rango superior.

En contraste, los asesores vendedores evidenciaron una mayor disposición a pagar valores más altos: el 60 % seleccionó el rango de 12.000 COP–15.000/kg COP y el 40 % 8.000 COP–12.000/kg COP, debido a la valoración técnica del producto, la inclusión de elementos menores y su aplicabilidad profesional, asociando el mayor precio con valor agregado y eficacia agronómica.

Considerando un costo de producción de 5.926/kg COP, la rentabilidad es positiva en todos los escenarios: entre 35 % y 102 % en el rango de 8.000 COP–12.000/kg COP, entre 102 % y 153 % en 12.000 COP–15.000/kg COP, y superior al 153 % cuando el precio supera los 15.000/kg COP, alcanzando márgenes mayores a 9.074/kg COP. Esta relación confirma que el producto puede absorber costos adicionales de distribución y comercialización sin perder competitividad.

En conjunto, los resultados técnicos y de mercado validan la viabilidad económica del fertilizante *LlevaTodos* y permiten definir una estrategia de segmentación comercial efectiva, precios competitivos para agricultores y almacenes, y propuestas de valor diferenciadas para asesores, consolidando un posicionamiento sólido en el mercado agrícola colombiano.

El análisis fisicoquímico realizado por AGRILAB sobre la mezcla *LlevaTodos* confirma la correspondencia entre la formulación teórica y la composición nutricional obtenida en laboratorio, validando técnicamente el producto como fertilizante de uso agrícola. Los resultados reportaron una humedad de 4,32 %, un pH de 5,04 en solución al 10 % y una conductividad eléctrica de 2,74 dS/m, valores que reflejan buena estabilidad del material, adecuada solubilidad y un nivel de sales que no representa riesgo significativo de fitotoxicidad. La solubilidad máxima fue de 7,32 g/100 ml, mientras que el residuo insoluble alcanzó 9,15 %, lo que indica una mezcla parcialmente heterogénea, pero funcional para aplicaciones en suelo y fertirrigación, manteniendo disponibilidad efectiva de nutrientes.

En cuanto a macronutrientes, el nitrógeno total fue 30,3 %, distribuido en 2,58 % amoniacal y 27,7 % ureico, combinación que asegura una liberación inmediata y sostenida en el tiempo. El fósforo asimilable (6,45 % P_2O_5) y el potasio soluble (5,42 % K_2O) confirman un equilibrio adecuado entre nutrientes esenciales para crecimiento, el desarrollo radicular y el metabolismo energético. Los elementos secundarios -calcio (0,263 % CaO), magnesio (0,201 % MgO) y azufre (0,295 %) (tabla 11) complementan la formulación, favoreciendo procesos fisiológicos clave.

Respecto a micronutrientes, se detectaron zinc, boro, manganeso, cobalto y molibdeno en concentraciones acordes con la formulación teórica, contribuyendo a la funcionalidad del

fertilizante. La ausencia cuantificable de hierro, cobre y nitrógeno nítrico no compromete su eficacia agronómica.

Tabla 11

Resultados Fisicoquímicos de Laboratorio del Producto Llevatodos

Variable	Sigla	Resultado	Unidad	Método
Humedad	N.A.	4,32	%	NTC 5527
pH 10%	pH 10%	5,04	pH	Potenciometría
Conductividad Eléctrica	CE 1:100	2,74	dS/m	Conductimetría
Temperatura CE	CE 1:100	20,4	°C	Conductimetría
Residuo Insoluble	N.A.	9,15	%	Gravimétrico
Solubilidad Máxima	Sol. Max.	7,32	g/100mL	NTC 5527
Nitrógeno Total	NT	30,3	%	NTC
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₄ ⁺	2,58	%	NTC 211
Nitrógeno Nítrico	N-NO ₃	I LCM	%	NTC 1297
Nitrógeno Uréico	N Ureico	27,7	%	NTC 370
Fósforo Asimilable	P ₂ O ₅	6,45	%	NTC 234
Potasio Soluble	K ₂ O	5,42	%	NTC 202
Calcio	CaO	0,263	%	NTC 1369
Magnesio	MgO	0,201	%	NTC 1369
Azufre	S	0,295	%	NTC 1154
Hierro	Fe	I LCM	%	NTC 1369
Manganeso	Mn	0,011	%	NTC 1369

Cobre	Cu	ILCM	%	NTC 1369
Zinc	Zn	0,093	%	NTC 1369
Boro	B	0,126	%	NTC 1860
Cobalto	Co	89	mg/kg	NTC 1369
Molibdeno	Mo	200	mg/kg	NTC 1369

En conclusión, los resultados de laboratorio validan la formulación del fertilizante *LlevaTodos*, demostrando una composición completa y parámetros fisicoquímicos que respaldan su viabilidad y potencial agronómico.

El documento de la etiqueta del fertilizante *LlevaTodos* establece de manera clara los parámetros de seguridad, almacenamiento, uso y composición garantizada del producto. La información presentada cumple con los requisitos regulatorios del ICA, asegurando transparencia frente al agricultor y respaldo técnico frente a la calidad del insumo. La composición declarada (30,3 % de nitrógeno total, 6,5 % de fósforo asimilable, 5,42 % de potasio soluble, además de elementos menores como Ca, Mg, B, Mn y Mo) coincide con los resultados de laboratorio previamente validados, lo que refuerza la confiabilidad del producto y su potencial agronómico (tabla 12).

Desde el punto de vista técnico-regulatorio, la etiqueta no solo cumple una función legal, sino que también constituye una herramienta de comunicación técnica. Al incluir parámetros como pH, conductividad eléctrica y solubilidad, se brinda al usuario información práctica para ajustar la aplicación según condiciones de campo. Del mismo modo, las recomendaciones de uso (dosis, frecuencia y método de aplicación) enfatizan la necesidad de acompañar la fertilización con diagnóstico de suelos o tejidos, lo que promueve un manejo responsable y sostenible.

Tabla 12 Comparación entre la formulación y el Análisis de Laboratorio

Parámetro	Formulación teórica	Resultado laboratorio	Coincidencia	Observación
Humedad (%)	< 5%	4,32%	Si	Dentro del rango esperado.
pH (10%)	5,0 – 6,0	5,04	Si	Adecuado para aplicación agrícola.
CE (dS/m)	2,5 – 3,0	2,74	Si	No presenta riesgo de salinidad.
Solubilidad (g/100 ml)	Alta	7,32	Si	Buena solubilidad.
Residuo insoluble (%)	< 10%	9,15%	Si	Mezcla heterogénea funcional.
N total (%)	30%	30,3%	Si	Muy cercano al objetivo.
N amoniacal (%)	2–3%	2,58%	Si	Liberación inmediata.
N ureico (%)	27–28%	27,7%	Si	Liberación gradual.
P ₂ O ₅ (%)	6–7%	6,45%	Si	Coincide con formulación.
K ₂ O (%)	5–6%	5,42%	Si	Coincide con formulación.
CaO (%)	0,2–0,3%	0,263%	Si	Dentro del rango.
MgO (%)	0,2%	0,201%	Si	Dentro del rango.
S total (%)	0,3%	0,295%	Si	Coincide.
Micronutrientes	Presente	Zn, B, Mn, Co, Mo	Si	Aportan funcionalidad.
Fe, Cu, NO ₃ ⁻	Trazas	< LQ	Si	No afecta desempeño

La sección de advertencias ambientales y de seguridad refleja el compromiso con la protección de recursos hídricos y la salud humana, en consonancia con buenas prácticas agrícolas. En conjunto, la etiqueta garantiza un uso seguro, eficaz y compatible con otros insumos, reforzando el posicionamiento de LlevaTodos como un fertilizante competitivo y confiable en el mercado colombiano.

Conclusiones

El potencial de mercado del fertilizante formulado de acuerdo con la demanda, segmento objetivo, y competencia interpretada a través del PCA en el análisis del mercado se encuentran tres perfiles potenciales: i) grupo central (mayoritario): personas en patrones promedio, que buscan equilibrio entre precio y calidad técnica, ii) perfiles innovadores dispuestos a probar productos locales y pagar más si tienen respaldo técnico y iii) perfil conservador más sensible al precio, menos abierto a innovaciones.

El análisis indica que en la muestra de 50 encuestados en la cadena agrícola del altiplano cundiboyacense predominan agricultores en un 56 %, seguidos por almacenes 26 % y asesores 18 %. Cundinamarca con 66 % y Boyacá 12 % concentran la mayor actividad agrícola. Microfertiza lidera como proveedor de NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) (47 menciones), mientras que Crecer 500 es la marca más reconocida. La coexistencia de múltiples marcas y canales informales evidencia un mercado dinámico. Es de destacar que sólo el 52 % de los encuestados utiliza con frecuencia fertilizantes solubles.

Se formuló y desarrolló un prototipo de fertilizante NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) soluble con la garantía en etiqueta para dossier ICA de acuerdo a la tabla 13.

Se elaboró dossier ICA organizando la información fisicoquímica donde el análisis fisicoquímico realizado por AGRILAB confirma la correspondencia entre la formulación teórica y los resultados obtenidos para el fertilizante *LlevaTodos*. Los valores de humedad (4,32 %), pH (5,04) y conductividad eléctrica (2,74 dS/m) evidencian estabilidad y ausencia de riesgo de salinidad. La solubilidad de 7,32 g/100 mL equivale a 73,2 g/L, permitiendo una alta disponibilidad en solución; sin embargo, desde el punto de vista agronómico, su uso práctico se

recomienda entre el 20 y 40 % de dicha solubilidad, garantizando una disolución completa, evitando sedimentación y reduciendo riesgos de obstrucción y fitotoxicidad.

Tabla 13 *Parámetros Fisicoquímicos y Garantía en la Etiqueta del Producto para Elaboración de Dossier ICA*

Parámetro Fisicoquímico	Garantía etiqueta
Nitrógeno total (N)	30.3 %L
Nitrógeno amoniacal (N)	2.58 %
Nitrógeno ureico (N)	27.7 %
Fosforo asimilable (P ₂ O ₅)	6.5 %
Potasio soluble en agua (K ₂ O)	5.42 %
Calcio soluble en agua (CaO)*	0.26 %
Boro soluble en agua (B)	0.13%
Magnesio soluble en agua (MgO)	0.2%
Azufre soluble en agua (S)	0.3%
Manganeso soluble en agua (Mn)	0.011%
Zinc soluble en agua (Zn)	0.093%
Cobalto soluble en agua (Co)	0.009%
Molibdeno soluble en agua (Mo)	0.02%
Humedad	4.32 g/L
pH en solución al 10%	5,04
Densidad	1,41 g/cc
Conductividad eléctrica 1:100	2.74 dS/m
Solubilidad máxima	7.32 g/mL

Nota. Metales pesados por debajo de la norma actual. **quelatado con EDTA

Esto corresponde a dosis operativas entre 2,9 y 5,9 kg por 200 L de agua, adecuadas para aplicaciones agrícolas convencionales de un fertilizante soluble NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) con menores. El contenido de nitrógeno total (30,3 %), fósforo (6,45 % P₂O₅), potasio (5,42 % K₂O) y micronutrientes como zinc, boro y molibdeno asegura un aporte nutricional completo. En conjunto, los resultados validan la viabilidad y el potencial agronómico.

Referencias Bibliográficas

- Bolsa Mercantil de Colombia. (2024). Informe anual del mercado agropecuario colombiano. Bogotá, Colombia.
- Bolsamercantil de Colombia (2024). *Estudio sectorial: abonos y fertilizantes*. Descripción de fertilizantes simples y compuestos, tendencias de consumo bolsamercantil.com.co.
- Cabrera, R. I., Solís-Pérez, A. R., & Gómez, C. A. (2017). Aplicaciones de nutrición vegetal en cultivos de flor de corte. En V. J. Flórez R. (Ed.), *Consideraciones sobre producción, manejo y poscosecha de flores de corte con énfasis en rosa y clavel* (pp. 33–47). Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Cabrera, M., Gómez, P., & Rojas, D. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la calidad poscosecha en frutas y hortalizas tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 245–258.
- Castro, A., & Paredes, L. (2020). Impacto de la fertilización NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) balanceada sobre la calidad del tomate en el Valle del Cauca. *Agronomía Colombiana*, 38(1), 112–123.
- Castro, L. A., & Paredes, H. (2020). Estudio de mercado de fertilizantes agrícolas en el Valle del Cauca. *Revista Ciencia y Producción Agropecuaria*, 15(1), 112–120.
- Comsoil. (2025, septiembre 23). *Soluciones integrales para la agricultura* [Publicación en LinkedIn]. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/comsoil_soluciones-integrales-para-la-agricultura-activity-7323306515514208256-BliS
- Elshayb, O. M., Ghazy, H. A., Wissa, M. T., Farroh, K. Y., Wasonga, D. O., & Seleiman (2024). Chitosan-based NPK nanostructure for reducing synthetic NPK fertilizers and improving

- rice productivity and nutritional indices. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1464021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1464021>
- Elshayb, O. M., Awad, M. F., Abdelrahman, E. A., & El-Batal, A. I. (2024). Nanochitosan carriers for reducing synthetic fertilizer use in horticultural crops. *Journal of Agricultural Nanotechnology*, 9(1), 45–59
- FAIA / MinAgricultura (2022). Resolución para promoción y financiación de proyectos de biofertilizantes e innovación agropecuaria icbf.gov.co+9minagricultura.gov.co+9agronet.gov.co+9.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2021). World fertilizer trends and outlook to 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2021). *Fertilizers and their efficient use*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i9017en/I9017EN.pdf>
- Gómez, P., Herrera, J., & Ramírez, L. (2015). Influencia de la fertilización en la firmeza y vida útil de frutas tropicales. *Agroindustria y Desarrollo*, 14(3), 55–68
- Gómez, P., Cabrera, M., & Rojas, D. (2017). Relación entre nutrición y calidad poscosecha en cultivos frutales. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 9(4), 123–134
- Gómez, C. A., Herrera, A. O., & Flórez, V. J. (2015). Efecto de 1-metilciclopropeno y temperatura de almacenamiento en la poscosecha de mandarina (*Citrus reticulata* var. Arrayana). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 47(2), 27–41. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652015000200003

- Gómez, C. A., Herrera, A. O., & Flórez, V. J. (2017). Consideraciones sobre factores que influyen en la longevidad poscosecha de flores de corte. En V. J. Flórez R. (Ed.), *Consideraciones sobre producción, manejo y poscosecha de flores de corte con énfasis en rosa y clavel* (pp. 191–212). Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2003). Resolución 150: Requisitos para la producción y comercialización de fertilizantes y acondicionadores de suelo en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2023). Página oficial sobre el control y registro de fertilizantes y bioinsumos, funciones y procedimientos ica.gov.co.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2024). Actualización de tarifas para registro y modificación de productos (fertilizantes y bioinsumos), muestra el marco regulatorio vigente minagricultura.gov.co+322530033.fs1.hubspotusercontent-na1.net+3ica.gov.co+3
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2024). Guía técnica para el registro de fertilizantes de uso agrícola en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Maaz, T. M., Dobermann, A., Lyons, S. E., & Thomson, A. M. (2025). Review of research and innovation on novel fertilizers for crop nutrition. *NPJ Sustainable Agriculture*, 3, 25. <https://doi.org/10.1038/s44264-025-00066-0>
- Montes-Pulido, C., & Díaz-Arévalo, M. (2021). Fertilizantes solubles NPK: propiedades fisicoquímicas y aplicaciones agrícolas. *Revista Colombiana de Suelos*, 18(1), 33–49

- Montes-Pulido, J., & Díaz-Arévalo, M. (2021). Eficiencia en el uso de agua y fertilizantes en sistemas intensivos. *Revista Colombiana de Ciencias Agrícolas*, 40(1), 55–67.
<https://doi.org/10.1016/j.cola.2020.10.005>
- Palacio, C. (2025a, octubre 28). *Panorama global de los fertilizantes y la sostenibilidad agrícola en 2025. Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/>
- Palacio, C. (2025a, septiembre 23). *Los fertilizantes en el mundo 2025. Agronegocios*.
<https://www.agronegocios.co/comentarios/cesar-palacio-3680916/los-fertilizantes-en-el-mundo-2025-4057343>
- Palacio, C. (2025b, septiembre 23). *Comentarios de César Palacio. Agronegocios*.
<https://www.agronegocios.co/comentarios/cesar-palacio-3680916>
- Palacio, C. (2025b, abril 12). *Tendencias económicas y precios de fertilizantes en mercados internacionales. Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/>
- Palacio Martínez, C. (2025a, septiembre 23). *Science, agriculture, agricultura* [Publicación en LinkedIn]. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/c%C3%A9sar-palaciomart%C3%ADnez-03b6525a_science-agriculture-agricultura-activity-7366465750540140545-AwUV
- Palacio Martínez, C. (2025b, septiembre 23). *Precios de los fertilizantes: qué incide* [Publicación en LinkedIn]. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/c%C3%A9sar-palaciomart%C3%ADnez-03b6525a_precios-de-los-fertilizantes-qu%C3%A9-incide-activity-7371199241396051968-Oerc
- Palacio Martínez, C. (2025a). *Factores determinantes del costo de los fertilizantes: logística, energía y geopolítica. Revista Economía y Campo*, 17(2), 45–52.

- Palacio Martínez, C. (2025b). *Transición hacia fertilizantes verdes: desafíos y oportunidades para América Latina*. *AgroEconomía Global*, 12(3), 88–95.
- Rabobank Research. (2025, marzo). *Fertilizer quarterly Q1 2025: Prices diverge amid volatile energy markets*. <https://research.rabobank.com>
- Soliman, T., El-Said, S., & Khaled, R. (2024). A comparative study of conventional and nano-NPK on the growth and quality of *Solidago virgaurea*. *Plant Physiology Reports*, 29(2), 187–199. <https://doi.org/10.1007/s40502-024-00781-9>
- Tecnicaña (2024). “Análisis del mercado de fertilizantes en Colombia”. Evalúa el valor del mercado en 2023 (USD 127,66 M) y perspectivas de crecimiento anual hasta 2032 tecnicana.org
- The Economic Times. (2025, abril 15). High input costs cloud outlook for fertiliser, chemical companies. *The Economic Times*. <https://economictimes.indiatimes.com/markets/stocks/news/high-input-costs-cloud-outlookfor-fertiliser-chemical-companies/articleshow/121739848.cms>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2025). “Precios de fertilizantes registran su mayor incremento en nueve meses”. Informe sobre la variación de precios nacional y análisis del mercado local. sired.udenar.edu.co+11bolsamercantil.com.co+11palmaceite.tripod.com+11upra.gov.co+1lagronet.gov.co+1
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2025). Anuario de estadísticas agrícolas y abastecimiento nacional. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.
- Venugopal, N. V. S., & Mohan Rao, G. N. V. (2022). Formulation, development and characterization of an eco-friendly N-P-K fertilizer with multi micronutrient matrix.

Biosciences Biotechnology Research Asia, 19(3), 787–795.

<https://doi.org/10.13005/bbra/3031>

White, E. (2025, 8 de mayo). *Nutrien paints bullish fertilizer industry picture despite poor Q1 results*. Reuters. <https://www.reuters.com/world/americas/nutrien-paints-bullishfertilizer-industry-picture-despite-poor-q1-results-2025-05-08/>

World Bank. (2025, enero 15). *Fertilizer prices decline but remain above pre-pandemic levels*. Commodity Markets Outlook. <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>

Apéndices

Apéndice A

Encuesta Realizada a Actores del Sector (Vendedor, Asesor Técnico y Agricultor)



Se diseñó un cuestionario de 12 preguntas para evaluar en el mercado la aceptación de un fertilizante en polvo NPK soluble con menores. Incluye uso, atributos valorados, demanda, competencia, innovaciones y disposición de compra. Considera rangos de precio entre \$8.000 y \$20.000/kg.

1. ¿Qué rol ocupas en la cadena de agrícola?

Almacén

Asesor vendedor

Agricultor

2. Ubicación o región de mercado

Cundinamarca

Boyacá

Cundinamarca y Boyacá

Santander Cundinamarca y Boyacá

Tolima

3. ¿Con qué frecuencia utiliza/vende/recomienda fertilizantes solubles en los cultivos de la región?

Nunca

Rara vez

A veces

Frecuentemente

Siempre

4. En el caso de utilizarlos, ¿en qué etapas del ciclo productivo se emplean más los fertilizantes solubles?

Establecimiento o siembra

Crecimiento vegetativo o despegue

Floración

Fructificación

Llenado- Engorde-maduración

5. ¿Qué características considera más importantes al elegir un fertilizante soluble?
(Seleccione máximo 3)

Precio

Facilidad de disolución o solubilidad

Balance nutricional

Respaldo técnico

Disponibilidad registro de venta ICA

6. En donde se encuentra su negocio Municipio _____

7. ¿Cuál cree que es la demanda o necesidad actual de fertilizantes solubles o polvo en su zona?

Muy baja

Baja

Alta

No se usa

8. ¿Qué marcas de fertilizantes solubles se comercializan o se usan más en su zona?

9. ¿Qué mejoras o innovaciones considera más importante para aumentar el uso de fertilizantes solubles en kilo? a dosis de kilo a caneca de 200 litros. Escoja máximo 3

Fórmulas por cultivo

Inclusión de menores

Empaques prácticos y llamativos

Precios competitivos y asistencia técnica

10. Si se formulara un fertilizante NPK soluble con menores a nivel local, ¿qué tan dispuesto estaría a probarlo? En muestra comercial

Nada dispuesto

Poco dispuesto

Muy dispuesto

Dispuesto a colaborar en el desarrollo del producto

11. ¿En qué rango de precio por kilo estaría más interesado en adquirir el fertilizante soluble?

\$8.000 a \$12.000

\$12.000 a \$15.000

\$17. 000 a \$20.000

12. ¿Qué empresas en la región venden productos en kilo solubles con NPK más menores? _____

Apéndice B*Dossier ICA*[DOSSIER ICA](#)

Nota. Dossier ICA serie de documentos reglamentarios para solicitar registro de venta de fertilizantes en Colombia.