

ENCABEZADO: APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

La aplicación de la agricultura de precisión en el proceso de fertilización: un caso de estudio para el sector bananero del Urabá-Antioqueño.

John James Alcaraz Restrepo

Juan Gonzalo Jiménez Trespalacios

Trabajo de Grado para Optar al Título de Magíster en Economía Aplicada

Asesor: MSc. Alfonso Gómez Cifuentes

Universidad EAFIT

Programa de Maestría en Economía Aplicada

Medellín

2018

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, _____ de 2018

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo principal analizar el efecto de aplicar la agricultura de precisión en el programa de nutrición de una finca bananera y comparar su resultado con la agricultura tradicional, en cuanto a beneficios financieros por reducciones en el costo en uso de insumos de fertilización química.

Para evaluar ese efecto, se utilizó la metodología valor presente neto, comparando los dos flujos de efectivo, uno negativo que es la inversión inicial (costo del análisis de suelo utilizando sensores directos y remotos) y otro positivo que es el resultado de la inversión (ahorro en costos del programa de fertilización). Esos valores se sensibilizaron con el valor del dinero en el tiempo, para ser equivalentes y comparables.

Aplicando agricultura de precisión, el resultado obtenido en la finca objeto de estudio, fue un ahorro del 5% en el programa de fertilización frente al manejo convencional. La disminución en el uso de fertilizantes generó beneficios económicos y efectos ambientales positivos, permitiendo el retorno sobre la inversión realizada al adoptar la nueva tecnología.

El presente trabajo es un importante punto de partida para futuras investigaciones, en la revisión de literatura se encontró poca información referente a agricultura de precisión en producción de banano en Colombia.

Abstrac

This paper has as main objective to analyze the effect of applying precision agriculture in the nutrition program of a banana farm, and compare its results with traditional agriculture, in terms of financial benefits from cost reductions in the use of chemical fertilizing supplies.

To evaluate this effect, the net present value methodology was used, comparing two cash flows: a negative one, that is the initial investment (cost of soil analysis using direct and remote sensors), and a positive one, that is the result of the investment (cost savings of the fertilization program). These values were sensitized with the value of money over time, to be equivalent and comparable.

Applying precision agriculture, the result obtained in the farm was a 5% saving in the fertilization program, compared to conventional ones. The decrease in the use of fertilizers resulted in economic benefits and positive environmental effects, allowing the return on the made investment by adopting the new technology.

The present paper is an important starting point for future research. In the literature review, little information was found regarding precision agriculture in the banana production in Colombia.

Palabras Claves: *Agricultura de precisión, banano, fertilización, estadísticas mercado banano, cultivos.*

Keywords: *Precision agriculture, plantains, bananas, fertilizers, banana statistical, crop soil*

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Tabla de contenidos

Contenido	Pág.
Introducción.....	7
1 El banano de exportación: Mercado mundial y producción.....	10
2 Marco teórico.....	22
2.1. Innovación.....	22
2.2. Agricultura de precisión.....	26
2.3. Fertilización.....	35
3 Caso práctico: Agricultura de precisión aplicada al programa de fertilización en una finca bananera.....	47
4 Estudio sobre agricultura de precisión en Banano: Análisis y resultados.....	69
Conclusiones.....	79
Referencias bibliográficas.....	81

Lista de Tablas	Pág.
Tabla 1. Países con mayor aplicación de fertilizantes por hectárea cultivada año 2014	45
Tabla 2. Participación de los Fertilizantes en el costo total de producción (2008).....	46
Tabla 3. Datos de referencia de extracción de nutrientes en la zona de Urabá Colombia.....	54
Tabla 4. Plan tradicional de fertilización Finca Bananera	56
Tabla 5. Plan UMA1 Finca Bananera	57
Tabla 6. Precio ponderado por bulto de 50 kilos de Fertilizante.	59
Tabla 7. Tasa retorno de mercado	63

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Tabla 8. Rendimiento Bono Colombia en USD.....	64
Tabla 9. Rendimiento Bono Colombia en COP.....	64
Tabla 10. Prima por tamaño según deciles	66
Tabla 11. Detalle cálculo WACC	67
Tabla 12. Valor Presente de los flujos futuros a 10 años (Cifras en millones de pesos).	68
Tabla 13. Cajas de banano exportadas en Colombia año 2016.....	72
Tabla 14. Implementación de la agricultura de precisión a futuro.....	78

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. Exportaciones de banano en el mundo por región de origen (Millones de toneladas). 12	12
Figura 2. Principales países exportadores de banano (Miles de toneladas).....	13
Figura 3. Importaciones de banano en el mundo por región (Millones de toneladas).....	13
Figura 4. Principales importadores de banano.....	14
Figura 5. Mercado mundial de banano: Participación de mercado por origen y destino	15
Figura 6. Importaciones y exportaciones de banano en el mundo (millones de toneladas)	15
Figura 7. Precios de importación de banano (USD/tonelada)	17
Figura 8. Valor promedio del banano para los principales países proveedores de la Unión Europea en 2014. Fuente: BASIC, Banana value chains in Europe 2015.	18
Figura 9. Hectáreas cultivadas con banano de exportación en Colombia (2011- 2016)	19
Figura 10. Cajas de banano exportadas en Colombia (expresado en miles).....	19
Figura 11. Principales exportaciones agrícolas de Colombia 2015 (Millones de USD)	20
Figura 12. Número de publicaciones sobre agricultura de precisión.....	31
Figura 13. Beneficios de la agricultura de precisión.	33

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Figura 14. Relación del índice de cosecha y tierras agrícolas (% de área de tierra).....	36
Figura 15. Relación producción de cereales vs tierras cultivadas en cereales.....	37
Figura 16. Consumo de fertilizantes	38
Figura 17. Consumo de fertilizantes (Nitrógeno, fósforo y potasio).....	38
Figura 18. Emisiones de CO2 del sector agrícola.....	39
Figura 19. Comparativo consumo de fertilizantes.....	44
Figura 20. Mapa ubicación finca bananera.....	48
Figura 21. Dispositivo captura de datos UAV.....	48
Figura 22. Ortofoto finca bananera (mapa)	49
Figura 23. Puntos de observación finca bananera.....	50
Figura 24. Sensores directos en finca bananera.....	51
Figura 25. Mapa de unidades de manejo agronómico finca bananera.....	52
Figura 26. Diferencias entre el estándar del cultivo y los requerimientos nutricionales de acuerdo a la variación espacial del suelo.....	58
Figura 27. Flujo de caja descontado al primer año. Cifras en Millones de pesos.....	60
Figura 28. Bono Tesoro USA 30 años.....	62
Figura 29. Esquema general de la encuesta electrónica.....	72
Figura 30. Datos generales de la encuesta	73
Figura 31. Aplicabilidad y nivel de conocimientos de AP	74
Figura 32. Nivel de capacitación y conocimientos de la empresa en AP	75
Figura 33. Beneficios y utilidades percibidos por el uso de la agricultura de precisión.	75
Figura 34. Beneficios percibidos por la AP.....	76
Figura 35. Usos de la Agricultura de Precisión	76

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Figura 36. Innovación y tecnología 77

Figura 37. Recursos, conocimientos y apoyo del estado en AP 77

Lista de Anexos

Anexo A. Carta de invitación a participar en la encuesta electrónica.....86

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Introducción

El banano es considerado uno de los principales cultivos alimenticios del planeta, su producción ocupa el quinto lugar después de los cereales (Frison, Escalant, Sharrock, & Jain, 2004). Es la fruta fresca más exportada del mundo que genera transacciones de comercio internacional por un valor de 10.000 millones anuales de dólares (FAO, 2017). La producción se origina especialmente en los países emergentes, en la zona intertropical, mientras que el volumen importador se concentra en los países del primer mundo, principalmente en la Unión Europea y los Estados Unidos.

La industria del banano en Colombia es un sector dinámico, con vocación al comercio exterior y de gran importancia para la economía nacional. Durante el año 2015, Colombia estuvo entre los cinco mayores exportadores de banano del mundo, con un valor de \$836 millones de dólares. Es el tercer sector agrícola, después del café y flores, que más divisas le aporta al país, representa el 0.4% del producto interno bruto y genera aproximadamente 35.000 empleos directos y 100.000 indirectos.

Uno de los objetivos estratégico de la industria bananera es mejorar la gestión de costos, una alternativa para alcanzar ese propósito es integrando nuevas tecnologías al manejo agrícola con el fin de aumentar la eficiencia en la utilización de los insumos, principalmente en la aplicación de fertilizantes dada su importancia relativa en la estructura de costos y sus efectos sobre el medio ambiente. En algunos cultivos permanentes como el café, caña y palma 30, el fertilizante puede alcanzar una participación del 30% en los costos directos de producción % (Conpes 3577, 2009). Una mejor gestión del programa de fertilización se relaciona con unos mejores indicadores financieros, al tiempo que contribuye con la sostenibilidad ambiental e incremento de la productividad del sector.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

La agricultura de precisión es una tendencia global relacionada con las nuevas tecnologías en beneficio de la actividad agroindustrial, esta puede definirse como una estrategia de administración que utiliza sistemas avanzados de información para mejorar la toma de decisiones relacionadas con la producción de cultivos (Minzan Li, 2015). Las aplicaciones van encaminadas a la gestión inteligente de las unidades productivas con el fin de aumentar los rendimientos de las plantaciones, optimizar los costos operativos, incrementar los tiempos de respuesta a los riesgos y oportunidades y maximizar el uso eficiente del área de siembra.

Existe un volumen considerable de información sobre el tema, sin embargo, son limitados los trabajos relacionados con el sector bananero, la mayoría de los artículos de agricultura de precisión que hacen referencia a la fertilización, han sido realizados en cereales como maíz, arroz y trigo y son escasos los trabajos en cultivos tropicales perennes (Castañeda, 2011).

En Centroamérica, se han documentado el uso de sistemas de vehículos aéreos no tripulados con sensores para detectar variables que aumentan la productividad con efectos positivos en los rendimientos de la plantación (Machovina, Feeley, & Machovina, 2016). En cuanto a la literatura en Colombia, se encuentra información de agricultura de precisión, en los sectores de cultivos con grandes extensiones y de vocación agroindustrial, principalmente los que cuentan con organización gremial, como el caso de palma de aceite (Hurtado R, 2009), caña de azúcar (Cenicaña, 2017) y arroz (Fedearroz, 2012).

La aplicación del tema a la realidad del sector bananero en Colombia es reducida y se concentra principalmente en las publicaciones del Centro de Investigadores del Banano (Mejía J, 2003) y su red de universidades e investigadores asociados. De hecho, podría afirmarse que no existe hasta el momento un caso reportado que las integre en un solo documento (Castañeda, 2011), son pocos los documentos que analizan el efecto económico de invertir en ese tipo de

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

tecnologías (Tozer R, 2009). Los estudios consultados en Colombia se caracterizan por su enfoque agrícola y se observa falta de profundidad en análisis financiero para evaluar el efecto de invertir en alguna etapa de agricultura de precisión.

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de la agricultura de precisión en el programa de fertilización en una finca bananera, y comparar su resultado respecto a la agricultura tradicional en cuanto a beneficios financieros por reducciones del costo en uso de los insumos. Tradicionalmente, el sector bananero considera la unidad productiva (planta de banano) como una entidad homogénea, sin tener en cuenta la variabilidad espacial y temporal de la plantación, situación que puede conducir a manejos ineficientes de los recursos. Este concepto de homogeneidad de la agricultura convencional considera que todas las plantas y lotes son similares, por lo tanto, su manejo agronómico se hace de la misma forma en lo que refiere a control de plagas, fertilización, sistema de riego y drenajes, etc, generando las mencionadas ineficiencias.

El lector encontrará un caso de estudio práctico sobre agricultura de precisión aplicada en una finca bananera en el programa de fertilización y una investigación exploratoria sobre el grado de conocimiento que se tiene de este concepto en las principales compañías del sector bananero en Colombia. Para el caso práctico se utilizó el concepto de tasa variables de fertilización, con el fin de comparar esta metodología frente a los costos de un programa tradicional de nutrición. Para ello se hizo necesario delimitar el estudio a una finca, definir un periodo de evaluación (tiempo) y cuantificar los costos del programa de fertilización bajo el modelo tradicional respecto a la metodología propuesta. Para realizar el análisis del efecto económico y financiero sobre el programa de fertilización, se utilizó la metodología valor presente neto, comparando los dos flujos de efectivo, uno negativo que es la inversión inicial y otro positivo que es el resultado de

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

la inversión. El alcance del presente trabajo tiene un enfoque microeconómico y empresarial, no se detiene a analizar las diferentes variables macroeconómicas, lo que podría ser objeto de futuras investigaciones.

Por otra parte, se presentan los resultados de la investigación exploratoria cuyo fin es realizar un diagnóstico sobre el conocimiento general y grado de utilización de la agricultura de precisión en el sector bananero del Urabá Antioqueño. Para ello se realizó una encuesta electrónica al personal directivo de las principales comercializadoras bananeras del país y a algunos productores. La encuesta cuantitativa se realizó a una muestra no probabilística o dirigida, seleccionada cuidadosamente según las características de la investigación.

El documento se encuentra dividido en 4 capítulos. El primero contextualiza el sector bananero en Colombia y en el mundo. El segundo es el marco teórico, el cual se detiene en los siguientes temas: Innovación, Agricultura de precisión y Fertilización. El tercero es el caso práctico de estudio e incluye los resultados obtenidos. El capítulo 4 presenta la encuesta realizada, metodología y resultados. Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

1. El banano de exportación: Mercado mundial y producción

La población mundial pasará de 7.550 millones en 2017 a 8.550 millones en el 2030, aumentando en 1.000 millones lo que representa un crecimiento de 13,3%, tasa que se estima será superior al 14% para el año 2050 según las proyecciones de las Naciones Unidas (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2017). Se espera un acelerado crecimiento de las áreas urbanas cuya participación pasará del 50% al 70% en el año 2050, consecuentemente la población rural disminuirá en el próximo decenio. Por otra parte, se proyecta un nivel de ingresos de la población mundial varias veces superior al de hoy, gracias al crecimiento y desarrollo económico en especial de los países emergentes y en desarrollo. Teniendo en cuenta

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

estas consideraciones es posible inferir que la producción de alimentos deberá aumentar en más de un 70% para satisfacer dicha demanda creciente según los estudios realizados por la FAO (FAO, 2009).

Es posible que el aumento en la demanda de alimentos, incremente la demanda mundial de frutas frescas, y especialmente en el banano considerado alimento esencial en muchos países en desarrollo. “El banano es la fruta fresca más exportada en el mundo tanto en valor como en toneladas (US \$ 10.000 mm /año)” (FAO, 2017), de los más de 100 millones de toneladas producidas cada año, cerca del 20% se exporta, porcentaje superior el de otras frutas si se compara con el porcentaje que se exporta de la producción mundial de manzanas (11%) o de mangos (3%) (FAO, 2008).

El cultivo de banano se da en aproximadamente 135 países ubicados en zonas tropicales y subtropicales, India es el primer productor mundial con 29,7 millones de toneladas seguido por Uganda con 11,1 millones de toneladas (FAO, 2016), no obstante, son países con alta demanda interna de este alimento por lo que no aparecen en el mercado de exportación. Los bananos de exportación provienen en más de un 90% de países en desarrollo hacia países desarrollados, las principales regiones de origen son Latinoamérica, el Caribe, Suramérica y África, regiones en las cuales el ingreso proveniente por esta actividad juega un papel fundamental en la economía de cada país.

Existen más de 1.000 variedades de banano, el más común en el mercado mundial es el banano Cavendish, el cual representa aproximadamente el 95% del total comercializado. La industria bananera se ha especializado en la producción de esta variedad con el fin de aprovechar las economías de escala en las diferentes labores de cosecha, empaque, transporte y

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

comercialización. Se trata de una fruta rica nutricionalmente hablando, provee potasio, proteína, hierro, zinc, calcio, vitamina A y C, entre otros (FAO, 2016).

Exportaciones e importaciones

Las exportaciones mundiales de banano han presentado una tendencia creciente entre los años 2011 y 2015, no obstante entre el 2014 y 2015 se presentó una caída del 10,6% toda vez que era difícil mantener la cifra alcanzada de 18,8 millones de toneladas exportadas en el 2014 (FAO, 2017), más aún cuando el fenómeno del Niño y la plaga del fusarium (mal de Panamá)¹ afectaron considerablemente la producción de la fruta.

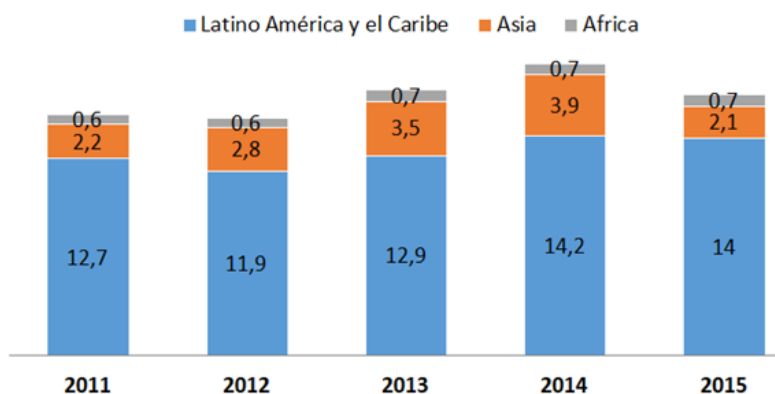


Figura 1. Exportaciones de banano en el mundo por región de origen (Millones de toneladas)

Fuente: FAO, 2017

El crecimiento de las exportaciones en América Latina ha sido gracias al crecimiento de sus dos mayores exportadores, Ecuador y Guatemala, países que además han logrado alcanzar índices de productividad superiores a los de sus competidores en la región. Colombia por su

¹ El mal de Panamá es una de las enfermedades más nocivas en plátanos y bananos a nivel mundial. Las mayores epidemias causadas por fusarium ocurrieron en Centro y Suramérica entre 1890 y 1960 causando la destrucción de más de 80.000 hectáreas de Banano Gross Michel, el cual tuvo que ser reemplazado por variedades resistentes pertenecientes al subgrupo Cavendish. La aparición de una raza más patogénica del hongo fusarium raza tropical 4, representa una amenaza a la industria bananera de Asia, ya que se ha venido propagando de forma alarmante en Filipinas y China, dos de los principales productores de banana Cavendish del mundo (Instituto Colombiano Agropecuario).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

parte se vio afectada por una fuerte sequía que disminuyó su productividad en el 2015, además de situaciones logísticas complicadas de orden público.

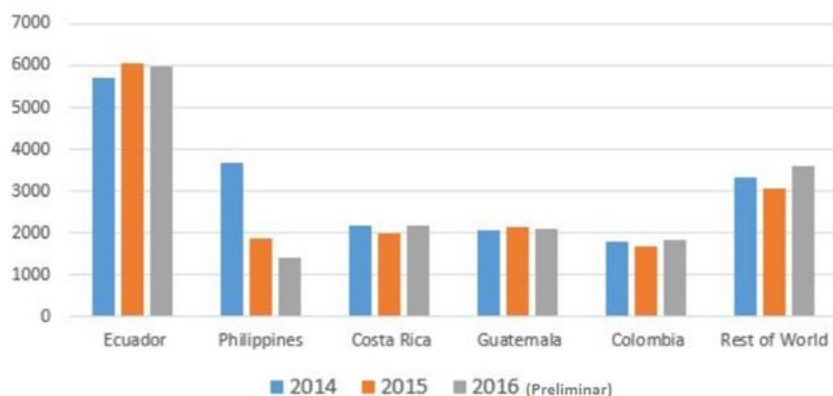


Figura 2. Principales países exportadores de banano (Miles de toneladas)

Fuente: FAO, 2017

Respecto a importaciones de banano, estas han presentado un crecimiento moderado del 2,1% entre los años 2011 y 2015, no obstante, los principales mercados Europa y Norte América registran cifras de crecimiento superiores de 7,1% y 5,8% respectivamente para el mismo período (FAO, 2017).

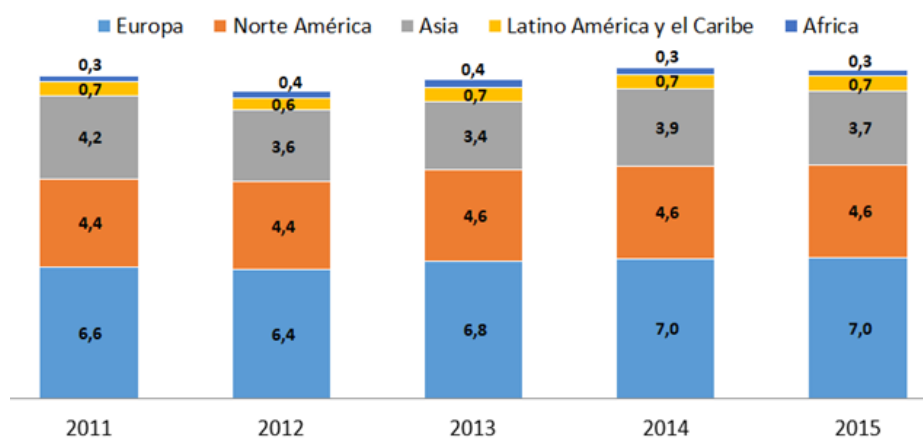


Figura 3. Importaciones de banano en el mundo por región (Millones de toneladas)

Fuente: FAO, 2017.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

La Unión Europea se mantiene en el primer lugar entre los importadores de banano con un total de 5,2 millones de toneladas importadas en el año 2015, que sumadas al volumen del resto de países que no hacen parte de la Unión², alcanza los 7 millones de toneladas, consolidándose como el principal mercado para el banano de exportación en el mundo (FAO, 2017). Los principales países importadores de banano en el mundo son la Unión Europea, EEUU, Rusia y Japón (Ver figura 4) (FAO, 2017).

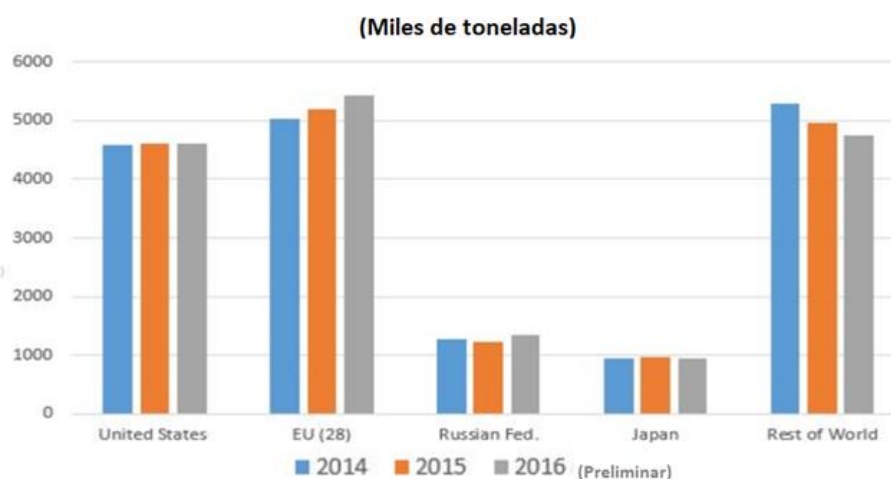


Figura 4. Principales importadores de banano

Fuente: FAO, 2017.

La figura 5 resume el comercio mundial de banano para el año 2015. Latinoamérica y el Caribe concentran el 84% de la oferta mundial, su principal destino es Europa y EEUU que representan el 43% y 28% de las importaciones mundiales respectivamente (FAO, 2017).

² Países que no hacen parte de la Unión Europea: Albania, Bielorusia, Bosnia y Herzegovina, Croacia, Islandia, Macedonia, republica de Moldova, Noruega, Rusia, Serbia y Montenegro, Ucrania y Suiza (FAO, 2017)

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

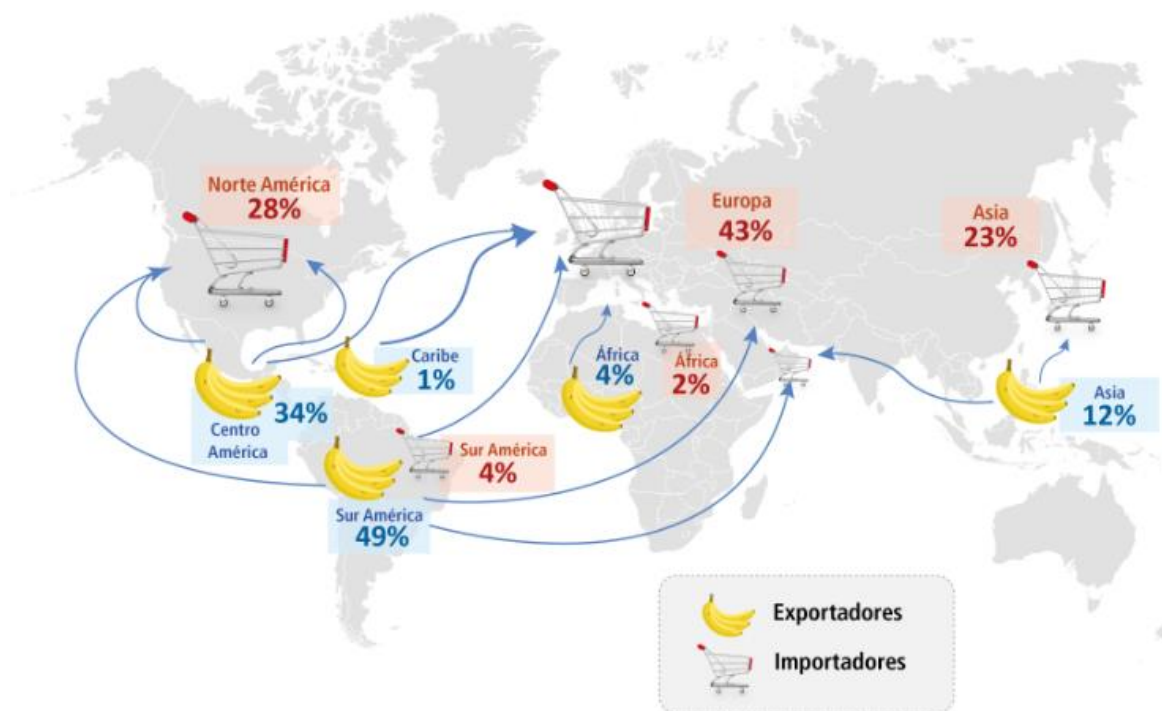


Figura 5. Mercado mundial de banano: Participación de mercado por origen y destino

Fuente: Elaborado por los autores a partir de datos estadísticos (FAO, 2017)

El mercado bananero mundial ha presentado un ligero desbalance entre importaciones y exportaciones en los años 2013, 2014, y 2015 (ver figura 6) (FAO, 2017). Este desbalance se da cuando por diferentes razones en los países de origen hay sobreoferta en el segundo semestre, período en el que históricamente los precios de la fruta son más bajos.



Figura 6. Importaciones y exportaciones de banano en el mundo (millones de toneladas)

Fuente: FAO, 2017

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Respecto al comportamiento de los precios, norteamérica ha presentado estabilidad oscilando alrededor de los USD 950/tonelada entre el 2011 y el 2016 (FAO, 2017). Por su parte, Europa presenta un descenso en el precio promedio del 19% para el mismo periodo, lo que preocupa a los productores por ser el mercado de mayor tasa de crecimiento, 7,1% en el año 2015 (FAO, 2017).

Elasticidades y precios del banano

Elasticidad precio de la Oferta: La variación en el precio de la fruta se verá reflejada en una pequeña variación en la cantidad ofertada en el corto plazo. Se trata de un cultivo permanente de grandes inversiones iniciales en donde no es fácil migrar otro tipo de cultivo con facilidad, razón por la cual se puede catalogar como un producto cuya oferta es relativamente inelástica (Pindyck & Rubenfield, 2013). En el largo plazo, la elasticidad podría ser elástica, de mantenerse los precios altos los productores podrían aumentar el tamaño de sus cultivos o disminuirlos si el precio se mantuviera bajo. Para Colombia la FAO calculó la elasticidad precio de la oferta en 0,5, que al ser menor que 1 corresponde a una elasticidad precio oferta inelástica (FAO, 2004).

Elasticidad precio de la Demanda: La cantidad demandada de banano de exportación responde levemente a las variaciones en el precio internacional, pues el banano es considerado un producto de bajo costo para el consumidor, es una de las frutas frescas más económicas del mercado, por esta razón podría considerarse que es un producto con una demanda relativamente inelástica (Pindyck & Rubenfield, 2013). Adicionalmente el banano es considerado un alimento esencial en algunos países desarrollados y la porción del ingreso que el consumidor destina para su compra es pequeña.

Lo anterior se corrobora por el CEO de Chiquita Brands, Andrew Biles, quien dio su opinión sobre la disminución del precio del banano en algunos supermercados en Europa: “los precios

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

bajos son principalmente una estrategia de los minoristas; sin embargo, vemos que la demanda del banano es bastante inelástica, significa que venderlos a un precio menor no implica necesariamente mejores ventas, y venderlos a un precio más caro no necesariamente resulta en ventas más bajas” (AGF Primeur, 2018).

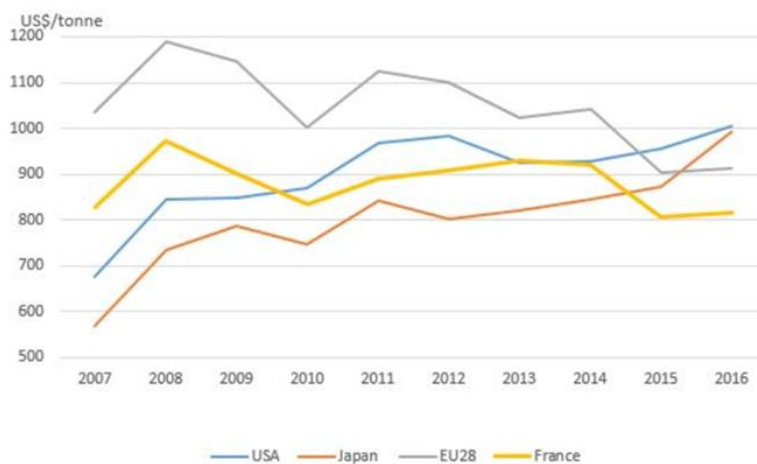


Figura 7. Precios de importación de banano (USD/tonelada)

Fuente: FAO, 2017.

Un mercado con precios estables en EEUU y en descenso en Europa (ver figura 7), hace que los productores enfoquen sus esfuerzos en la adopción de tecnologías y métodos de producción más eficientes para garantizar la permanencia en el mercado y la viabilidad del negocio, más aún cuando los costos de producción incrementan cada año. La Figura 8 presenta el desglose del precio del banano, allí se aprecia la porción que corresponde a cada actor dentro de la cadena de valor desde que se produce hasta su comercialización final por parte de los retailers (minoristas).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

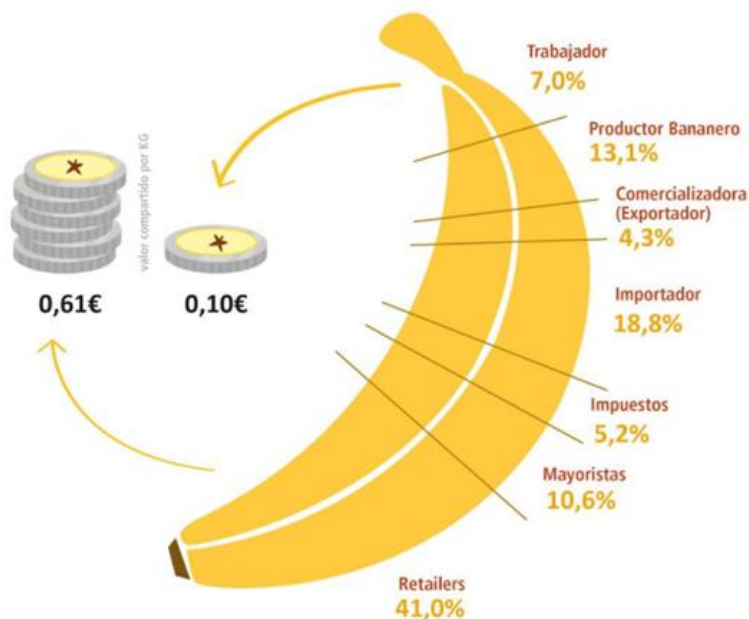


Figura 8. Valor promedio del banano para los principales países proveedores de la Unión Europea en 2014. Fuente: BASIC, Banana value chains in Europe 2015.

EL retailer (minorista), se queda con la mayor porción del valor de la fruta (41%), este tiene el control de los precios finales de venta, hecho que preocupa a la comunidad internacional y dio origen a organizaciones que trabajan por los derechos de los trabajadores y productores, como Fair Trade³, cuyo objeto es mantener la viabilidad del negocio para el productor tanto en rentabilidad como en sostenibilidad, entendiendo que son estos quienes realizan la labor más dura dentro del negocio bananero.

El banano en Colombia

El banano de exportación en Colombia se caracteriza por ser un sector dinámico y de alto impacto para la economía nacional, concentra su producción en los departamentos de Antioquia

³ Fairtrade: “Sello de garantía que funciona como distintivo positivo ofreciendo al consumidor seguridad acerca de los valores éticos del producto. Los productos que llevan el sello Fairtrade han sido producidos en condiciones de trabajo dignas y comprados a un precio justo que apoya el desarrollo sostenible de la organización productora” (Fairtrade, 2017).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

y Magdalena, el número de hectáreas dedicadas a la cosecha de dicha fruta ha presentado un comportamiento relativamente estable en los últimos 6 años (Ver figura 9).

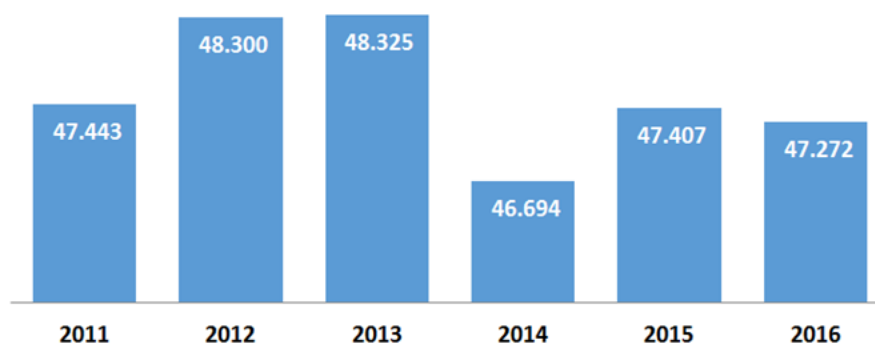


Figura 9. Hectáreas cultivadas con banano de exportación en Colombia (2011- 2016)

Fuente: Augura 2016

En el año 2015, Colombia ocupó el quinto puesto entre los mayores exportadores de banano del mundo, con un valor de \$836 millones de dólares (Augura, 2015), consolidándose el banano de exportación como uno de los sectores que más aportan al comercio internacional, salvo en el año 2014 en donde se tuvo una fuerte caída en la producción debido a factores climáticos y de **Sigatoka negra**⁴ que bajaron la productividad a 1.740 cajas por hectárea año, la cual se recuperó en el año 2016 llegando a 1.976 cajas por hectárea año (Augura, 2016).

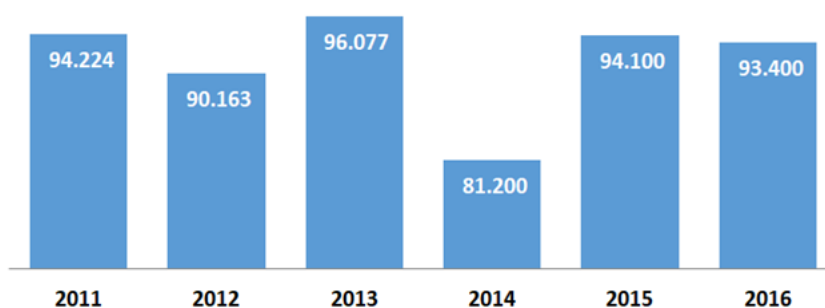


Figura 10. Cajas de banano exportadas en Colombia (expresado en miles)

Fuente: Augura, 2016.

⁴ La Sigatoka negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, es la enfermedad foliar que representa la principal limitante en la producción de plátano y banano a nivel mundial. La enfermedad afecta el área foliar fotosintética de la planta y, en consecuencia, los racimos y los frutos tienen un menor peso en comparación con plantas sanas. Adicionalmente causa madurez prematura del fruto (FAO, 2013).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

El banano se mantiene en el tercer renglón entre las exportaciones agrícolas, después del café y las flores, y logró incrementar su participación pasando del 9,9% en el año 2014 al 14,8% en el 2015 (Augura, 2015). El monto total exportado en dólares ha pasado de 736 millones de dólares en el año 2011 a 836 millones en el año 2015, crecimiento en valor superior al 13,5% en 4 años.

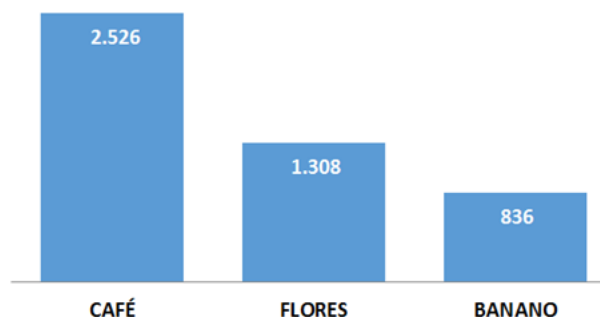


Figura 11. Principales exportaciones agrícolas de Colombia 2015 (Millones de USD)

Fuente: Augura, 2015.

El principal destino de las exportaciones en el año 2016 fue la Unión Europea con una participación del 76%, seguida por EEUU con el 15% (Augura, 2016).

El sector bananero en Colombia consta de una gran integración vertical y horizontal⁵, la cual favorece tanto a las compañías productoras como a la región por medio de la generación de empleo, el comercio, industria asociada y tributos. En Urabá, la agroindustria bananera se integra verticalmente ya que las principales comercializadoras tienen fábrica de cartón, fábrica de plásticos, unidad de sanidad vegetal (fumigación aérea), almacenes agroindustriales y servicios logísticos (cargue y descargue de mercancías).

⁵ **Por integración vertical** se entiende la incorporación, en la acción productiva de la empresa, de nuevas actividades complementarias relacionadas con el bien o el servicio, tanto por encima de la cadena como por debajo de ella, con el fin de lograr eficiencias productivas asociadas a la disminución en los costos de producción y de transacción, al control de suministros y la mayor calidad del bien o servicio para el consumidor final (Tamayo & Piñeros, 2007).

La integración horizontal se refiere a la unión de dos o más empresas productoras de un mismo bien, con el objetivo de producirlo en una organización única. La integración horizontal se diferencia de la integración vertical en cuanto la primera “involucra empresas que son directas competidoras, mientras que la segunda, involucra empresas que producen en diferentes etapas de la producción en la misma industria”. (Tamayo & Piñeros, 2007).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Por otra parte, los productores se integran horizontalmente en la producción de la fruta, buscando obtener los beneficios de las economías de escala en la negociación de materias primas y servicios, además de aumentar su poder de negociación en la venta de la fruta a través de las comercializadoras. El productor percibirá los beneficios de la agricultura de precisión en términos de rentabilidad, cuando las hectáreas cultivadas sean superiores a 500 (Pierpaoli, Carli, Pignatti, & Canavari, 2013), en este tamaño de unidad de producción se hacen viables las inversiones requeridas en tecnología.

Un objetivo fundamental en la actividad exportadora de banano es incrementar la productividad en las plantaciones con el fin de mantener la participación en el mercado internacional⁶. Una alternativa para alcanzar esa meta es mediante la incorporación de nuevas tecnologías, buscando aumentar de forma sistemática el volumen de cajas por hectárea, superar los niveles de rendimiento de años anteriores y generar eficiencias en la gestión de costos de producción. Ese objetivo, se traduce financieramente en un mayor retorno sobre la inversión, además de garantizar un crecimiento sostenible en el tiempo para las empresas del sector.

El sector bananero genera aproximadamente 35.000 empleos directos y 100.000 empleos indirectos según cifras de AUGURA para el año 2016, y representa entre el 0,3% y 0,4% del PIB nacional según los datos históricos manejados por el Ministerio de Agricultura (Instituto Colombiano Agropecuario, 2013). En ese orden de ideas cualquier incremento en la productividad del sector bananero, traerá beneficios tanto para el empresario como para el trabajador y la economía de la región en general.

⁶ El ministerio de Agricultura, AUGURA y las principales empresas productoras y comercializadoras de banano han fijado como meta de productividad desde el año 2014 superar las 2.200 cajas por hectárea año, buscando acercarse a países centroamericanos como Costa Rica que tuvo una productividad de 2.847 cajas por hectárea en el año 2016 (Corporación Bananera Nacional, 2016).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

2. Marco teórico

2.1. Innovación.

La evolución de la tecnología afecta al hombre en todos los aspectos de la vida, desde la primera revolución industrial la invención del hombre ha facilitado los procesos cotidianos, inventos como la máquina de vapor, la industrialización del sector textil y la agricultura mecanizada, cambiaron la historia e hicieron parte del punto de partida para el desarrollo tecnológico que tenemos en la actualidad. La segunda revolución industrial introdujo la producción en serie, los nuevos modelos sociales y la electrificación (Schawb, 2016). Luego en la tercera revolución industrial nacen la tecnología digital y las telecomunicaciones, que permitieron una conectividad instantánea a nivel global lo que dinamizó la economía mundial.

Luego aparecen conceptos como la inteligencia artificial, la robótica, internet de las cosas, vehículos autónomos, impresión 3D, nanotecnología, biotecnología, ciencia de materiales, etc.; lo que ha sido denominado en el Foro Económico Mundial como la cuarta Revolución Industrial. Se espera que esta introduzca grandes cambios en todo lo que se refiere a empresa, sociedad y economía, en donde la innovación jugará un papel protagónico en el diseño de nuevas tecnologías y nuevos sistemas (Schawb, 2016).

Schumpeter afirma: “El impulso fundamental que pone y mantiene en movimiento a la máquina capitalista procede de los nuevos bienes de consumo, de los nuevos métodos de producción y transporte, de los nuevos mercados, de las nuevas formas de organización industrial que crea la empresa capitalista” (Schumpeter, 1996). Define el proceso de producción como una combinación de fuerzas productivas constituidas por fuerzas materiales e inmateriales (Schumpeter, 1978). Las fuerzas materiales son los factores originales de producción (tierra, trabajo y capital) y las fuerzas inmateriales son la tecnología y los factores socioculturales, estos

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

últimos los considera altamente determinantes en el desarrollo económico. La producción está determinada por la variación en los factores productivos, así como la tasa de cambio en la tecnología y en los factores socioculturales, siendo estos últimos los más decisivos. Ambas variables las denominó “factores del desenvolvimiento económico o evolución económica” (Schumpeter, 1978).

Desde otro enfoque específico para modelos de producción en el sector agrícola, el proceso de desarrollo económico se caracteriza por la transformación de las tecnologías utilizadas en la producción. El cambio tecnológico en los países pobres y en economías emergentes generalmente se da con tecnología inventada y utilizada primero en países ricos, la cual luego se importa y adapta a las condiciones locales. Con esta transferencia de tecnología, los países pobres dedican menos recursos a investigación y desarrollo de productos y/o procesos productivos (Bardhan & Udry, 2006). De esta forma gradualmente puede darse convergencia en los niveles de productividad entre países pobres y ricos.

Bardham & Udry afirman que el proceso de cambio tecnológico en los países pobres es más complejo que una transferencia de maquinaria y de métodos de producción, ya que los suelos, las condiciones locales, la relación entre trabajador y empresa, entre otros, varían drásticamente entre países. De ahí que sea necesario realizar inversiones locales en tecnología y en capacitación de las personas, lo que posiblemente proporcionará una fuente de crecimiento y desarrollo económico.

Los productores tienen dos caminos posibles:

- ✓ **Aprender haciendo:** experimentar con la nueva tecnología y adaptarla a las condiciones locales. Implica esperar una temporada o más para observar el resultado de un experimento.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

✓ **Aprender de otros:** Aprender de la experiencia de otros agricultores o de instituciones que trabajan en investigación y desarrollo. El proceso sería más rápido si toda la información de los vecinos pudiera ser utilizada y se facilitaría más si comparten la misma tecnología.

Los dos tipos de aprendizaje forman el “aprendizaje social” mediante el cual el conocimiento generado por la experimentación aumenta los beneficios del productor y genera información que beneficia a otras personas y empresas. En ambos casos las inversiones son inciertas y no es posible garantizar el retorno sobre la inversión, no obstante, puede ser más loable la función desempeñada por quienes se atreven a ser pioneros en la innovación ya que generan una externalidad positiva para los demás productores, lo que en algunos modelos de crecimiento modernos es recompensado por el estado (Bardhan & Udry, 2006). Es así como el uso de la tecnología dependerá no solo de la evaluación de un agricultor sino de las interacciones de este con sus vecinos.

La innovación puede considerarse como una forma de inversión, en donde el agricultor está dispuesto a sacrificar ganancias actuales a cambio de conocimientos que permitan mejorar sus beneficios en el futuro. La inversión es incierta porque es posible conocer el nivel de producción actual pero no es posible conocer el nivel de producción que se obtendrá luego de aplicar la nueva tecnología, de ahí que sea difícil definir la meta que se quiere alcanzar (Bardhan & Udry, 2006).

Para Bardhan y Udry, la adopción de una nueva tecnología requiere cambios en el entorno económico en aspectos institucionales, en infraestructura, en las habilidades de la fuerza de trabajo, etc. La nueva tecnología podría no ser viable si la fuerza de trabajo no tiene las habilidades requeridas para su correcta aplicación, por lo que se resalta la importancia de la capacitación y entrenamiento de las personas. A este elemento se debe adicionar la revisión del

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

retorno que tendrá el trabajador y sus incentivos para que el nuevo modelo sea sostenible en el tiempo. “En un ambiente dinámico caracterizado por cambios rápidos en tecnología, los retornos a la educación y la capacitación son excepcionalmente altos” (Bardhan & Udry, 2006).

En resumen, la transformación tecnológica de la producción en países pobres generalmente implica más que una transferencia de ideas y / o máquinas, se requiere innovación e inversión para adoptar la tecnología a las condiciones locales. Esta innovación implica experimentación y aprendizaje, tanto de la propia experiencia como de los productores vecinos, adicionalmente la adopción de la nueva tecnología requiere una mano de obra más calificada.

La realidad del desarrollo económico del sector bananero en Colombia puede explicarse apoyados en los aportes de Schumpeter y de Bardhan y Udry, se trata de un sector maduro cuyo crecimiento se ha dado gradualmente a través de cambios moderados en los factores tradicionales de producción (tierra, trabajo y capital), incluso registrando en algunos años disminuciones en hectáreas sembradas como resultado de propietarios que deciden darle otro uso a la tierra (Censo Nacional Agropecuario, 2016). La adopción de tecnología en el sector históricamente ha sido lenta y se da como respuesta a la necesidad de incrementar la productividad a los niveles de Centroamérica y de Ecuador. Adicionalmente, las condiciones geográficas y sociales de las zonas de producción bananera en Colombia (Urabá y Santa Marta), presentan profundas particularidades de orden público que dificultan los cambios en los sistemas de producción, lo que restringe la gestión del empresario y de las instituciones.

Mediante la agricultura de precisión aplicada al sector bananero en el Urabá antioqueño, es posible llegar a un sistema regional de innovación⁷. El mayor beneficio por adoptar la nueva

⁷ Sistema regional de innovación: Sistema social formado por subsistemas que interactúan, generándose a través de estas interacciones los flujos de conocimientos necesarios para que se produzca la evolución de dicho sistema. (Fernandez, 2006)

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

tecnología, lo obtendrá el agricultor que lidere el cambio, no obstante, en la medida en que los demás agricultores comiencen a implementar agricultura de precisión se cerrará la brecha inicial entre los innovadores y los seguidores. El papel del Estado y la empresa privada es fundamental, deben acompañar el proceso de adopción de tecnología para que este se dé acompañado de la inversión suficiente en capacitación de la fuerza de trabajo.

Es de resaltar el papel del sector privado en el Urabá antioqueño, ha sido el motor del desarrollo en la región, hace más de 50 años los productores bananeros se integraron horizontalmente a través de las comercializadoras internacionales con el fin de aumentar el poder de negociación en la venta de la fruta en el exterior, además de re invertir las utilidades en la infraestructura necesaria para la operación. Es así como el sector privado realizó inversiones en: vías, pistas para aspersión aérea, maquinaria y equipo para el cargue de fruta a los buques en el golfo de Turbo, construcción de vivienda, escuelas, acueducto y alcantarillado para los trabajadores, capacitación en la mano de obra, inversiones en telecomunicaciones, etc. Se espera que el papel del sector privado sumado a los proyectos del estado como el mejoramiento de la vía Medellín – Urabá y la construcción de Puerto Antioquia, redunden en una mejor dinámica de crecimiento y desarrollo económico no solo para el sector bananero, sino para la economía de la región.

2.2. Agricultura de precisión

El inicio de la agricultura hace unos 10.000 años, es quizás uno de los hitos más importantes de la historia humana. De hecho, para algunos autores, esa actividad económica es la base de nuestra civilización (Balmford, Green, & Phalan, 2012). La transformación de grupos nómadas a comunidades sedentarias permitió establecernos en un territorio, cosechar el fruto de la tierra y

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

contribuyó al florecimiento de nuevas estructuras económicas, políticas, culturales y tecnológicas.

La agricultura, además de ser agente civilizador, implica el cumplimiento simultáneo de varios objetivos y valores sociales (por ejemplo, incremento de la producción de alimentos, conservación de biodiversidad, gestor del cambio climático), al tiempo que debe ser sostenible y económicamente viable a largo plazo (Lindblom, Lundstro, Ljung, & Jonsson, 2017).

El objetivo de aumentar la producción de alimentos ha estado presente desde el origen mismo de la agricultura. Ese reto tiene vigencia hoy más que nunca, por la presión demográfica y limitada disponibilidad de los recursos. Se proyecta que la población mundial crecerá unos 3 mil millones de personas antes de 2050, que, sumado al requerimiento de una dieta enriquecida, resultará en una demanda global de 1.5 a 2 veces más comida en 2030. Considerando que no se puede aumentar la cantidad de tierra nueva, los incrementos de productividad tendrán que provenir de tierras que actualmente están entre las más productivas del mundo, por lo tanto, se necesita una mejor gestión de esas tierras (Seielstad, y otros, 2002) . Y una gestión no de cualquier forma, se requiere que sea sostenible, pues el sistema convencional agrícola ha llevado a degradaciones del medio ambiente (Rezaei-Moghaddam & Salehi, 2010) y ser rentable para el agricultor, ya que las prácticas agrícolas tradicionales rara vez han alcanzado una eficiencia óptima, en términos de rendimiento máximo o de costo mínimo de producción (Tey & Brindal, 2012).

Cuando la tecnología, se encuentra debidamente integrada con el proceso del cultivo, se logra incrementar de manera importante la producción de biomasa efectiva en cada unidad productiva. Del mismo modo, como la agricultura es una actividad económica básica para la subsistencia humana y puesto que el aumento de la rentabilidad es la principal motivación que estimula el uso

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

de una nueva tecnología (Pierpaoli, Carli, Pignatti, & Canavari, 2013), la aplicación de nuevos avances del conocimiento puede ser más rápida que en otros sectores. Los sistemas de producción agrícola se han beneficiado de la incorporación de avances tecnológicos desarrollados principalmente para otras industrias. La era industrial trajo la mecanización y fertilizantes sintetizados a la agricultura. La era de la tecnología ofrece ingeniería genética y automatización. La era de la información aporta el potencial para integrar los avances tecnológicos en la agricultura de precisión (Whelan, McBratney, & Boydell, 1997).

Por lo tanto, es crucial identificar nuevas soluciones, herramientas y conceptos que puedan mejorar la productividad y los beneficios económicos, además de proteger el medio ambiente. La agricultura de precisión surge como solución a esos requerimientos y ha atraído el interés mundial desde principios de los años noventa (Cambouris, Zebarth, Ziadi, & Perron, 2014).

La agricultura de precisión ha generado un alto estándar en la agroindustria a lo largo de las últimas dos décadas, pero la variabilidad espacial dentro del campo se conoce desde hace siglos. La agricultura de precisión genera información masiva y no podría realizarse sin los avances en la creación de redes y procesamiento de datos. Sin embargo, los ingenieros agrícolas modernos no lo inventaron. La base de la agricultura de precisión: la variabilidad espacial y temporal en el suelo y factores de cultivo dentro de un campo se han apreciado durante siglos (Stafford, 2000). De hecho, los campos probablemente se manejaron utilizando principios de agricultura de precisión durante mucho tiempo a través de acciones conscientes e inconscientes del agricultor, tales como agregar un poco más de abono orgánico en las zonas que parecían más débiles (Plant, 2001).

La agricultura de precisión puede definirse como una estrategia de gestión que utiliza tecnologías de la información con datos de múltiples fuentes para influir en las decisiones

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

relacionadas con la producción en los cultivos. El concepto original se puede rastrear hasta un documento publicado en 1929 en Illinois, EE.UU., que mostraba la variabilidad de la acidez del suelo y la aplicación de cal específica, indicando las ventajas de la gestión de campo variable contra el manejo uniforme (Li & Chung, 2015).

La agricultura tradicional, parte de la premisa que las unidades agrícolas son homogéneas y su administración, incluida la aplicación de insumos y análisis de brechas de producción, no considera la variabilidad espacial y temporal. Esa es una práctica común de muchos agricultores que conducen a un tratamiento ineficiente y a menudo da como resultado un exceso o un bajo suministro de fertilizantes y pesticidas (Lindblom, Lundstro, Ljung, & Jonsson, 2017). Parece haber un creciente consenso sobre la necesidad de un cambio en las prácticas agrícolas si se quiere lograr una agricultura sostenible (Rezaei-Moghaddam & Salehi, 2010). La agricultura de precisión es un enfoque totalmente diferente, pues es la aplicación de tecnologías y principios para el manejo de la heterogeneidad del campo asociada a todos los aspectos de la producción agrícola, con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental. Puesto que el desarrollo de la biomasa en un campo nunca puede ser totalmente homogeneizado (Reuter & Kersebaum, 2009) y al existir diferencias en las plantaciones que deben ser consideradas para su gestión, entonces, sin la variabilidad el concepto de agricultura de precisión tendría poco significado y nunca habría evolucionado (Pierce & Nowak, 1999).

Zhang et al. (2002) categorizan en seis grupos las variabilidades que más influyen en la producción:

- Variabilidad de la producción, distribuciones históricas y actuales de la producción.
- Variabilidad de campo, características físicas del terreno como la topografía, elevación, características del tipo de suelo, las terrazas, proximidad a límites de agua, entre otros.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

- Variabilidad del suelo, propiedades físicas, químicas y biológicas como: textura, densidad, resistencia mecánica, contenido de humedad, conductividad eléctrica, grado de acidez (nivel PH), niveles de nutrientes minerales, materia orgánica, salinidad, capacidad de retención de agua disponible en el suelo, conductividad hidráulica y compactación del suelo.
- Variabilidad del cultivo, características como, altura y densidades del cultivo, estrés del cultivo por déficit de nutrientes, propiedades biofísicas del cultivo (índice de área foliar, radiación fotosintéticamente activa interceptada, contenido de clorofila en hojas de cultivo), entre otras.
- Variabilidad de factores anómalos, temas como malezas, plagas, nematodos, y riesgos agropecuarios (viento, inundaciones, sequías, etc.).
- Variabilidad de la gestión, actividades de labranza, aplicación de insumos (incluye manejo de plaguicidas y fertilizantes), tasa de siembra, rotación de cultivos, manejo de riego, entre otras.

La agricultura de precisión es una de las diez primeras revoluciones en la agricultura (Crookston, 2006), Se tiene documentado literatura desde la década de los treinta del siglo pasado de manera marginal y a partir de la segunda mitad del siglo pasado se ha debatido sobre la importancia de optimizar la toma de decisiones (Rogers, A, Ancev, & Whelan, 2016), sin embargo, como concepto asociado a la gestión agrícola tuvo mayor interés académico desde mediados de la década de los ochenta y sólo se ha practicado comercialmente desde los años noventa (Mulla, 2013). La figura 12, muestra la evolución de publicaciones asociadas a la agricultura de precisión, en el motor de búsquedas bibliográficas de Scopus. Se obtuvieron aproximadamente 7.000 artículos con las palabras de consulta “precision” AND “agriculture” OR “precision agriculture”.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

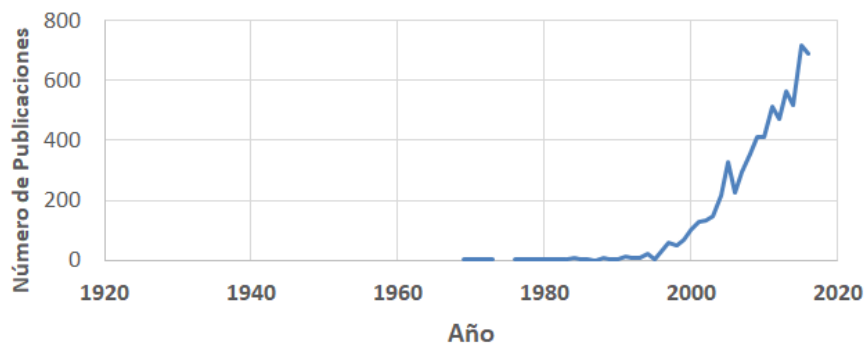


Figura 12. Número de publicaciones sobre agricultura de precisión

Fuente: Elaboración propia a partir del número de publicaciones de la base de datos bibliográficos Scopus. 2017

Esas predicciones, muy pronto comenzaron a materializarse. Según Stanford (2000), probablemente, la primera aplicación real de agricultura de precisión fue el sistema de mezcla y distribución de fertilizante, que utilizó información de fotografía aérea y muestras de suelo de rejilla para generar un mapa de aplicación de fertilizante. Esa aplicación, se utilizó en Estados Unidos en la década de los ochenta, descrita por Fairchild (1988) y paradójicamente, el posicionamiento del vehículo de campo se hizo por error, ya que el GPS no estaba suficientemente desarrollado para uso civil.

Esa situación se fue corrigiendo con el avance de la electrónica y las tecnologías de la información que impulsaron el desarrollo de componentes de ingeniería para facilitar la implementación de las prácticas de agricultura de precisión. Especialmente, la utilización pública del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de forma totalmente operativa en 1995, promovió un período expansivo de recolección de datos intensivos y precisos georeferenciados que, sumados a la aparición comercial de sensores, programas de software y conformación de grupos académicos e industriales, impulsaron el desarrollo de la agricultura de precisión (Li & Chung, 2015).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Las herramientas de los sistemas de información, utilizadas para soportar la gestión en la plantación, se pueden agrupar en las siguientes:

- Sistemas de posicionamiento global (GPS)
- Sistemas de Información Geográfica (SIG)
- Sensores directos y remotos
- Sistemas de comunicación e información.
- Internet de las cosas, inteligencia de negocios, y análisis de datos.

Pocas de esas tecnologías se desarrollaron exclusivamente para la agricultura y sus orígenes se remontan a pocos años. La integración de estas tecnologías ha permitido a los agricultores y sus proveedores de servicios a hacer cosas antes imposibles, a niveles de detalle nunca antes alcanzados (Pierce & Nowak, 1999). En ese orden de ideas, permitió mejorar la cantidad y la calidad de la información adquirida en sitio, además de mejorar su gestión (disminuye la incertidumbre en la toma de decisiones), en favor de la eficiencia productiva y del menor impacto ambiental. Por ejemplo, se estima que las tecnologías aplicadas en la agricultura de precisión, conllevan a reducciones superiores del 90% del uso de contaminantes (Aubert, Schroeder, & Grimaudo, 2012).

A partir del año 2000, el alcance y la meta de la agricultura de precisión han evolucionado a nuevas realidades. La minimización de la contaminación ambiental por agroquímicos para la producción de cultivos en campos abiertos fue el tema principal en el siglo XX, mientras que otras cuestiones como la trazabilidad, la seguridad y calidad de los productos y la satisfacción del usuario final se han vuelto más importantes para los productos de alto valor. El alcance de la agricultura de precisión se ha ampliado para su fusión con los últimos avances tecnológicos. Estos incluyen las tecnologías de la información y comunicación (TIC), internet de las cosas

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

(IoT, sigla en inglés), inteligencia de datos (big data, sigla en inglés) y minería de datos. Estos cambios recientes plantean necesidades de discusión sobre definición, logros, retos y posibles soluciones, y direcciones futuras (Li & Chung, 2015). Durante mucho tiempo, el conocimiento detallado en la agricultura ha sido generalmente inaccesible o muy caro de adquirir. Los avances en electrónica, comunicaciones y software antes descritos han eliminado esos impedimentos y han contribuido a facilitar su adopción (Schmoldt, 2001).



Figura 13. Beneficios de la agricultura de precisión.

Fuente: Elaborado por los autores, 2017

Montesinos (2015), enumera algunas aplicaciones de la agricultura de precisión en la gestión de cultivos (particularmente en el uso de vehículos no tripulados).

- Manejo eficiente del agua
- Tratamientos localizados de herbicidas
- Uso óptimo de fertilizantes
- Detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos
- Supervisión de áreas fumigadas

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

- Indicadores de calidad en cultivos.
- Generación de inventarios de cultivos
- Control de subvenciones agrarias
- Peritación de cultivos (evaluación del daño, en caso de siniestros)

La información es el recurso fundamental de la agricultura de precisión, pero esas tecnologías no tienen valor en sí mismas, si no se gestionan adecuadamente, más aún cuando las operaciones agrícolas implican complejos problemas de toma de decisiones, caracterizados por niveles considerables de incertidumbre y alternativas de acción. Es claro que un objetivo de la agricultura de precisión es aumentar el número de decisiones correctas, teniendo presente su armonización con los beneficios esperados (Aubert, Schroeder, & Grimaudo, 2012)

La agricultura de precisión no es sólo la adición de nuevas tecnologías, sino más bien una revolución de la información, posibilitada por las nuevas tecnologías que resultan en un sistema de gestión agrícola más preciso. Es la aplicación de una estrategia holística de gestión que utiliza la tecnología de la información para recopilar datos de múltiples fuentes sobre decisiones relacionadas con la producción agrícola, la comercialización, las finanzas y el personal. Además de aumentar la rentabilidad, como resultado de mejores prácticas de gestión y el desarrollo de sistemas de información agrícola, la agricultura de precisión puede traer beneficios adicionales con respecto a la agricultura tradicional, como: aumento de la calidad de los cultivos, mejora de la sostenibilidad, menor riesgo de gestión, seguridad alimentaria asociada a la trazabilidad del producto, protección del medio ambiente y desarrollo rural (Robert, 2002). Por lo tanto, el desafío para la agricultura de precisión es convertirse en una parte integral del proceso normal de la agricultura (McBratney, Whelan, Aneev, & Bouma, 2005).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

En cuanto a la literatura existente de aplicación de agricultura de precisión en el cultivo de banano en Colombia, puede decirse que no existe hasta el momento un caso reportado que las integre todas en un solo documento (Castañeda, 2011). Sin embargo, Castañeda relaciona varios trabajos que utilizan algunas herramientas de agricultura de precisión en el sector, como por ejemplo la caracterización de los tipos de suelos de la región bananera del Urabá Antioqueño (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007), estudios de control e identificación de plagas, como el caso del moko (Munar, Morales, & Castañeda, 2010). Por último, (Castañeda, 2011), menciona que unas de las principales limitantes para el diseño e implementación de un programa de agricultura de precisión en el cultivo de banano es que no se cuenta con la tecnología para el monitoreo por sitio específico de la producción ni para la aplicación variable de insumos. Los estudios consultados en Colombia se centran en análisis agrícola y pocos se han detenido en evaluar el efecto financiero de invertir en alguna etapa de agricultura de precisión, comparando ese resultado con la tecnología tradicional.

2.3.Fertilización

La fertilización es una práctica fundamental para el sector agrícola. Todos los sistemas de producción, independiente del tipo de cultivo, requieren nutrientes básicos para el sustento de sus plantaciones. A lo largo de la historia de la agricultura se han aplicado numerosos productos con el fin de incrementar la productividad de los campos. Al principio y de forma intuitiva se utilizó material orgánico (residuos de material vivo como plantas y animales) y otros insumos naturales para mejorar la gestión de las cosechas. En el siglo XIX el científico alemán Justus Von Liebig, inició la aplicación de minerales a la agricultura moderna, con la introducción del fertilizante a base de nitrógeno y reveló la importancia de los elementos químicos para producir cultivos de altos rendimientos (Haneklaus & Schnug, 2002).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

El suelo es el principal insumo para la agricultura y es la fuente vital para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Proporciona a las plantas espacio vital, agua y nutrientes, pero es un recurso agotable en sus componentes. Existe un cierto suministro de fuentes de nutrientes inorgánicos y orgánicos en los suelos, sin embargo, a menudo se debe complementar o sustituir con la aplicación externa de fertilizantes para incrementar la productividad. Los macronutrientes, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), representan tres de los nutrientes inorgánicos más importantes en la agricultura y son los ingredientes principales en casi todos los fertilizantes (Sinfield, Fagerman, & Colic, 2010). El fertilizante inorgánico mejora la fertilidad del suelo y se aplica para promover el crecimiento de las plantas y mejorar el rendimiento de los cultivos (Wei & Baoluo, 2015).

En las últimas décadas, puesto que en promedio el porcentaje de tierra destinada a la producción agrícola ha permanecido estable (figura 14), la creciente demanda de alimentos se ha soportado por las mejoras tecnológicas del sector.

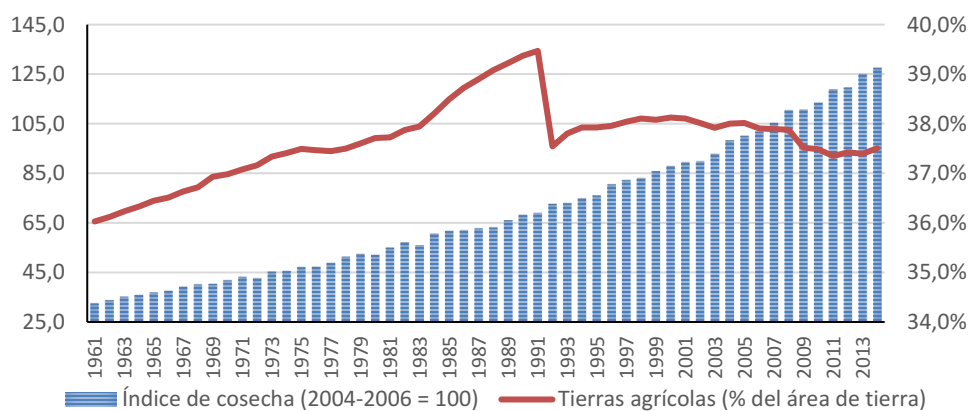


Figura 14. Relación del índice de cosecha y tierras agrícolas (% de área de tierra)

Fuente: Banco Mundial, 2017.

Por ejemplo, la producción de cereales, pasó en 1961 de 1.422 kilogramos por hectárea (kg/Ha) a 3.907 kg/Ha para el año 2014, un incremento de la productividad del 175%, mientras

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

que el aumento porcentual del área cultivada para ese tipo de cultivos fue de sólo el 38% (Banco Mundial, 2017). Es decir, el mayor volumen de granos está más relacionada por el mejor rendimiento por unidad productiva (hectárea) que por mayores cantidades de áreas destinadas para tal fin (figura 15).

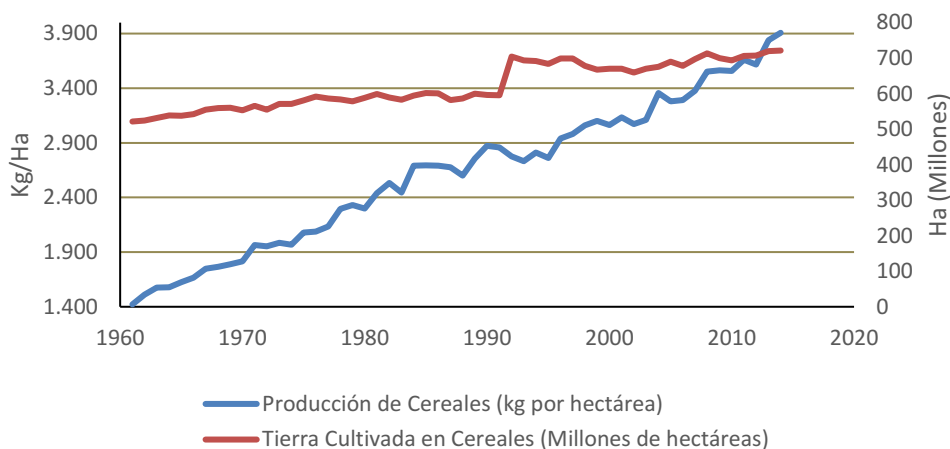


Figura 15. Relación producción de cereales vs tierras cultivadas en cereales

Fuente: Banco Mundial, 2017.

Los mayores niveles productivos, tienen relación en parte con incrementos en el uso de fertilizantes. La figura 16 muestra que el consumo de fertilizantes (kilogramos por hectárea de tierras cultivables) en el año 2002 era de 105 Kg/ha. En solo 13 años se incrementó un 32% a un valor de 138 Kg/ha (Banco Mundial, 2017). Se ha estimado que los fertilizantes basados en nitrógeno han contribuido en aproximadamente un 40% a los aumentos en la producción de los principales cultivos en los últimos 50 años (Smil, 2002).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

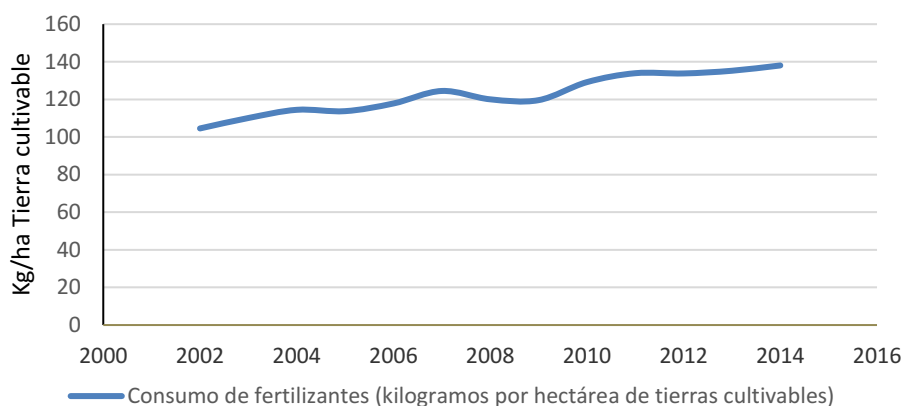


Figura 16. Consumo de fertilizantes

Fuente: Banco Mundial, 2017.

El consumo global de fertilizantes a base de nitrógeno, potasio y fosforo, ha aumentado de manera importante en los últimos años. En el año 2008, fue de 161.8 millones de toneladas y se estima que en el 2018 sea de 200.5 millones de toneladas (figura 17). En los próximos cinco años se espera que la demanda de esas materias primas y sus productos intermedios aumentará aún más (FAO, 2015).

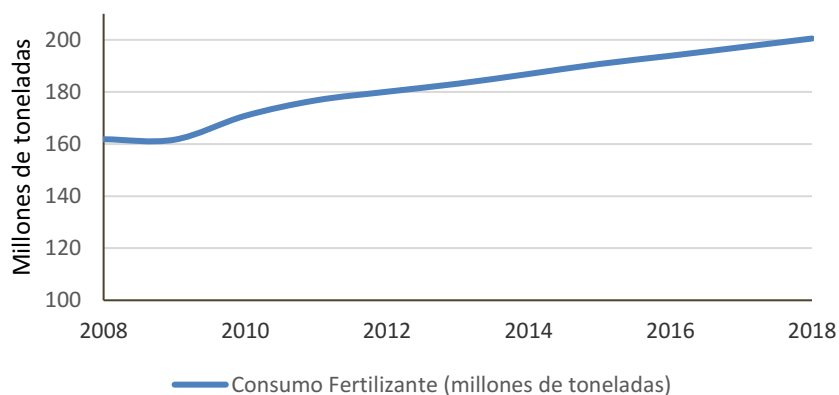


Figura 17. Consumo de fertilizantes (Nitrógeno, fósforo y potasio)

Fuente: FAO, 2015

Ese incremento en el consumo de fertilizantes tiene un alto efecto ambiental. El sector agrícola es el mayor contribuyente de emisiones de gases de efecto invernadero y ese enorme

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

aumento de las emisiones mundiales es causado principalmente por el uso de fertilizantes sintéticos y plaguicidas (Wei & Baoluo, 2015). De hecho, las emisiones relacionadas con el sector agrícola, se ha incrementado un 91% entre el período de los años 1.961 a 2.014 (figura 18).

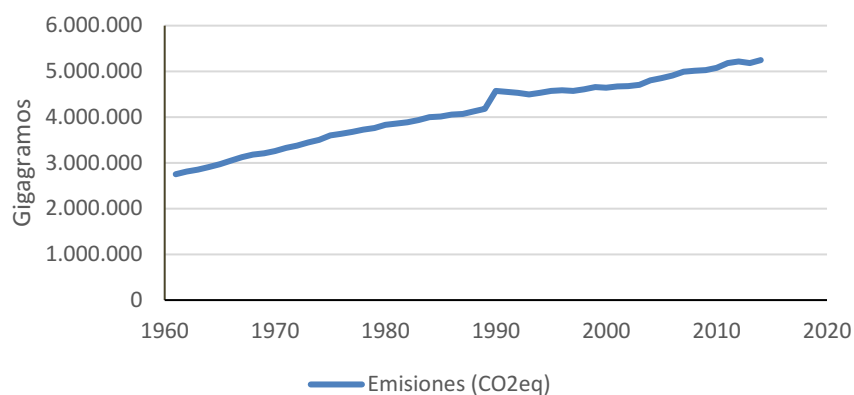


Figura 18. Emisiones de CO2 del sector agrícola

Fuente: FAO, 2015.

Los fertilizantes químicos como la urea, el cloruro de potasio y el fosfato de di amonio (DAP) se utilizan en la agricultura para satisfacer la escasez de nitrógeno, potasio y fósforo en el suelo. Pero la mayor parte de estos fertilizantes se pierden por volatilización, escorrentía, infiltración o lixiviación. Se estima que alrededor del 40-70% de nitrógeno, 80-90% de fósforo y 50-70% de potasio de los fertilizantes aplicados se pierde en el medio ambiente y no es absorbido en la planta aplicada, generando además de contaminación, pérdidas económicas y sociales (Duhan, Kumar, Kumar, Kaur, & Nehra, 2017). Como resultado, los ecosistemas agrícolas se mantienen en un estado de saturación de nutrientes químicos, lo que conduce a enormes pérdidas de nutrientes en el ambiente y baja eficiencia en su uso (Wei & Baoluo, 2015). Ineficiencia que impacta de manera negativa los resultados económicos del cultivo, pues, el fertilizante es un

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

insumo costoso con variaciones importantes en el tiempo, por ejemplo, el precio del nitrógeno aumentó en más del 350% desde 1.999 (Rataj & Galambosova, 2011).

Por lo tanto, se requiere el uso racional de los fertilizantes inorgánicos y se plantea que la agricultura sea sostenible y a la vez satisfaga las necesidades humanas presentes y futuras de alimentos y de otros productos agrícolas, además debe asegurar que se preserve la calidad del medio ambiente y los recursos naturales. Las tecnologías de agricultura de precisión podrían ser un paso importante para recuperar la confianza de los consumidores al limitar el aporte de fertilizantes y agroquímicos a los requisitos mínimos (Haneklaus & Schnug, 2002). Incluso en algunos países el tema trascendió al marco normativo, al establecer controles en su aplicación, por ejemplo, en Alemania se acordó regular el exceso de nitrógeno en 60 Kg/ha para el promedio de tres años (Pahlmann, Böttcher, & Kage, 2017). Esa asociación de la agricultura de precisión con eficiencias en la gestión de insumos no es casual, en Europa, aunque los agricultores no cuantificaron exactamente el beneficio financiero obtenido por la adopción de esas tecnologías, el 50% percibió los beneficios asociados con la menor necesidad de fertilizantes y un mejor conocimiento del campo (Pierpaoli, Carli, Pignatti, & Canavari, 2013). En general, el beneficio público de la tecnología de agricultura de precisión debería resultar en el aumento de la eficiencia de los insumos y en la reducción de los fertilizantes y herbicidas aplicados, lo que debería traer un efecto positivo al medio ambiente (Rataj & Galambosova, 2011).

Esa situación podría significar un cambio en la forma de fertilizar, más aún si tenemos en cuenta que la agricultura tradicional supone homogeneidad en el manejo de los insumos químicos, práctica que es ineficaz (Seielstad, y otros, 2002). La agricultura convencional ha llevado a un uso extensivo de productos químicos y, a su vez, a impactos ambientales negativos como la erosión del suelo, la contaminación del agua subterránea y la contaminación atmosférica

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

(Diacono, Rubino, & Montemurro, 2013). Una tasa de fertilización uniforme nunca igualará la demanda de nutrientes, resultando en casos insatisfactorios de deficiencia de nutrientes y excedentes en las aplicaciones. El primer caso no cubre el rendimiento potencial de las plantaciones y el segundo, tiene fuertes efectos en los ecosistemas que resultan en el uso insostenible de los insumos agrícolas. El principal objetivo de la fertilización equilibrada en el campo es mantener los aportes de los nutrientes lo más cerca posible a los requerimientos de la plantación y eso solo puede lograrse si los suelos son tratados en su escala más pequeña de variabilidad espacial (Haneklaus & Schnug, 2002).

El suelo es un recurso que varía en el espacio y en el tiempo, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes en la planta. En general, se asume que, bajo condiciones heterogéneas de del campo, la variabilidad observada en el rendimiento o la calidad del cultivo se debe principalmente a las propiedades subyacentes del suelo (Reuter & Kersebaum, 2009). Esa variación espacial en el tipo de suelo puede suceder incluso dentro de los lotes de una misma hectárea y ofrece a los agricultores la posibilidad de administrar diferencialmente las aplicaciones de nutrientes en estas áreas (Betteridge, Schnug, & Haneklaus, 2008). La aplicación tradicional de fertilizantes se ha adaptado en la medida de lo posible en una escala de hectáreas (o más). Este enfoque descuida la variación espacial local en las concentraciones de macronutrientes en el suelo, que a partir de datos experimentales puede variar a distancias de decenas de metros o menos (Sinfield, Fagerman, & Colic, 2010).

La fertilidad es un reflejo integral de las propiedades del suelo y esa variabilidad puede ser consecuencia de fenómenos naturales o por intervención humana (Cao, Yu, Ma, & Chen, 2012). La variabilidad se manifiesta en las características del suelo que son valiosas en el sector agrícola, pues afectan la producción de los cultivos. Estas características del suelo podrían tener

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

atributos físicos como densidad, textura, compactación, conductividad eléctrica e hidráulica y propiedades químicas. Para abordar el problema de la variabilidad del suelo y aumentar la eficiencia de los insumos, como el fertilizante, se utilizan zonas de manejo específicas para las zonas definidas dentro de un campo que son homogéneas en términos de factores de rendimiento del cultivo. Se puede utilizar la agricultura de precisión para determinar de manera fiable el potencial productivo de un campo específico. Los productores pueden identificar áreas en las que pueden reducir o aumentar los insumos para alcanzar la productividad óptima de sus campos utilizando una variedad de métodos agrícolas de precisión (Markoski, Arsov, Mitkova, & Janeska, 2015). La razón de este enfoque es que los cultivos pueden asimilar los diferentes tipos de nutrientes en función de las condiciones específicas del suelo (Chen, Pan, & Lam, 2014).

La alternativa de la fertilización homogénea, es la fertilización específica del sitio que incluye tasas variables, esta nueva estrategia parte de la premisa de adecuar los nutrientes al tipo de cultivo desarrollado, a la etapa de crecimiento de planta y a la demanda de insumos del suelo, es decir, la aplicación de insumos se realiza teniendo en cuenta la variabilidad espacial y temporal de la plantación. La fertilización específica del sitio tiene como objetivo registrar y predecir la variación espacial del suministro de nutrientes en los campos y, finalmente, transcribirla en tasas variables de fertilización. Las estrategias para la entrada de fertilizantes a velocidad variable requieren información sobre la variación espacial de la demanda de nutrientes. Tal información puede ser proporcionada en su forma más simple por el conocimiento local. Por lo general, se toman muestras de suelo para predecir la demanda de nutrientes, en ese caso, como las propiedades del suelo pueden variar a diferentes niveles, la escala a la que se puede recopilar la información del suelo georreferenciada influye directamente en la precisión de los datos. (Haneklaus & Schnug, 2002).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Para ejecutar con éxito un programa de fertilización, es indispensable contar con un estudio detallado de suelo para obtener información sobre el estado actual de condiciones físicas, químicas y biológicas del sitio de la plantación. Con esos datos se logra identificar la capacidad potencial de cada unidad productiva, mejorando su rendimiento con los nutrientes necesarios de acuerdo con la etapa de desarrollo del cultivo.

La elección de estrategias para la fertilización específica del sitio depende de la información espacial disponible y comprende enfoques simples basados en el conocimiento local, así como métodos sofisticados que emplean nuevas tecnologías para la experimentación en la finca (Haneklaus & Schnug, 2002). Los sensores de rendimiento y el GPS son elementos estándar en la maquinaria agrícola en muchos países desarrollados que participan activamente en la producción de cultivos, con el resultado de que estos agricultores ahora pueden tener mapas de rendimiento de las áreas cultivadas de su granja hasta por 20 años. (Betteridge, Schnug, & Haneklaus, 2008). Con respecto al uso de sensores, el uso complementario de esos instrumentos ha mejorado la evaluación de las propiedades del suelo a un costo relativamente bajo. Los estudios de campo en los que los sistemas de gestión de nitrógeno basados en sensores al compararse con las prácticas comunes de los agricultores mostraron aumentos elevados en la eficiencia de uso de insumos hasta 368% (Diacono, Rubino, & Montemurro, 2013).

Existen, diferentes sensores que utilizan variadas técnicas para la determinación de nutrientes en el suelo. Para el caso de nitratos por ejemplo, hay técnicas espectroscópicas que utilizan la reflectancia para el análisis de campo del suelo. Pero también se han probado técnicas electroquímicas, ópticas y biológicas. La elección del instrumento depende de la naturaleza del cultivo, y se pueden evaluar dimensiones como precisión, portabilidad, facilidad de uso, durabilidad, tiempo de muestra y costo (Sinfield, Fagerman, & Colic, 2010).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

En resumen, la agricultura de precisión al utilizar sensores directos y remotos puede monitorear las variaciones espaciales del suelo dentro de un mismo cultivo. Esa información permite iniciar un programa de tasa variable de los insumos, logrando coincidir la aplicación estratégica de fertilizante con las condiciones de campo específicas del sitio. Tiene el potencial de mejorar la producción y la eficiencia en el uso de nutrientes, asegurando un bajo impacto ambiental (Hedley, 2015).

Por su parte, Colombia es un país de gran aplicabilidad de agricultura de precisión y más específicamente, de la gestión integral de fertilizantes. En Colombia, indicadores como el uso de fertilizantes por hectárea cultivable, se encuentran muy por encima del promedio Mundial e incluso de la mayoría de los países de América Latina y del Caribe (Ver figura 19).

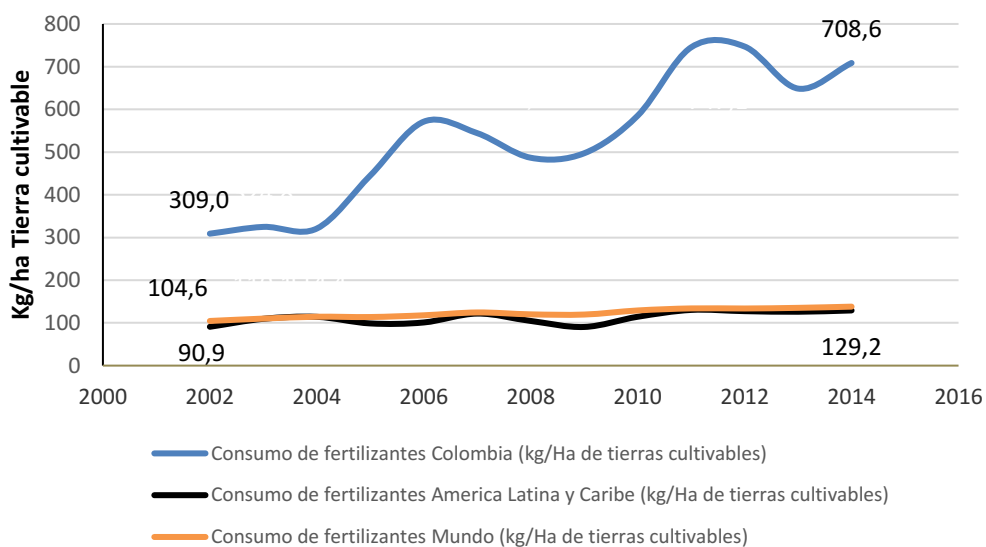


Figura 19. Comparativo consumo de fertilizantes

Fuente: Banco Mundial, 2015.

Durante, el año 2002 al 2014, Colombia incrementó la aplicación de fertilizante de 309 Kg/ha cultivable a 708.6, multiplicando 2.3 veces el valor inicial. Mientras que, en el resto del mundo fue del 32% y en América y Latina y el Caribe del 42%.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

De acuerdo al ranking de los países con mayor consumo de fertilizante por tierra cultivada del 2014, Colombia se ubica dentro de los 10 primeros países (Tabla 1), encontrando así un potencial de aplicar la agricultura de precisión, en la administración de esos insumos.

Tabla 1. Países con mayor aplicación de fertilizantes por hectárea cultivada año 2014

País	Consumo de fertilizantes 2014 (kg/Ha de tierras cultivables)
Qatar	12,111.5
Malasia	2,063.9
Hong Kong, Región Administrativa Especial	1,966.5
Nueva Zelanda	1,491.0
Bahrein	1,318.8
Singapur	1,076.8
Costa Rica	870.5
Emiratos Árabes Unidos	846.4
Colombia	708.6
Egipto	662.5

Fuente: Banco Mundial, 2015

Esa particularidad de consumo por hectárea cultivable en Colombia impacta directamente en la competitividad del país, pues el fertilizante es un componente importante en los costos directos (Tabla 2) que, en algunos cultivos permanentes como el café, caña y palma, puede representar el 30% (Conpes 3577, 2009). En la medida que se incremente la eficiencia en la gestión de esos insumos, los resultados económicos del sector serán mejores y naturalmente el efecto ambiental será menor.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Tabla 2. *Participación de los Fertilizantes en el costo total de producción (2008).*

Cultivo	Participación (%)
Plátano	51 – 61
Maíz blanco Mecanizado	21 – 28
Algodón	21 – 27
Arroz riego	21 – 23
Arroz seco	19 – 21
Cebolla bulbo	18 – 19
Papa	17 – 20
Café tradicional	17 – 33
Café tecnificado	16 – 39
Cacao	15 – 25
Uchuva	14 – 21
Maíz amarillo Mecanizado	13 – 18
Palma de aceite	11 – 29
Caña de azúcar	12 – 22
Plátano exportación	12 – 16
Caucho	10 – 33
Sorgo	28.0
Pastos	4 – 7

Fuente: Conpes, 2009

3. Caso práctico: Agricultura de precisión aplicada al programa de fertilización en una finca bananera

En la industria bananera el fertilizante es un insumo valioso, con una participación significativa en la estructura de costos (Conpes 3577, 2009). Del manejo eficiente de ese recurso dependen las mejoras en la productividad del cultivo, de ahí que deba suministrarse teniendo en

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

cuenta los requerimientos nutricionales de la plantación. Es importante fertilizar de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo y además se debe garantizar la retención del producto en el suelo para lograr el efecto nutricional deseado en las plantas.

Igual de importante a la decisión de cómo fertilizar, se debe definir el momento y la frecuencia de la aplicación. Para el caso del banano, el cuándo debe estar sincronizado con la etapa de crecimiento del cultivo y temporadas climáticas. “Las épocas de referencia para determinar los momentos de aplicación de nutrientes, que maximice la eficiencia de uso de nutrientes en la mayor parte de la población de plantas, son los picos de floración y producción y con estos se pueden determinar las demás etapas fenológicas del cultivo. También hay que considerar las condiciones ambientales como son el inicio del período de precipitación y el período de sequía, las épocas de mayores precipitaciones, los niveles de radiación y brillo solar, etc.” (Sanchez & Mira, 2013).

En este tipo de cultivo el clima es una variable determinante de la producción, variable sobre la cual el control es muy limitado. La otra variable fundamental, es el suelo y su nivel de control depende del conocimiento que se tenga sobre él. Por lo tanto, es necesario contar con la caracterización del suelo, con el fin de describir y cuantificar sus propiedades y detallar sus cualidades. Con esa información se puede identificar el rango de productividad de la plantación, reducir las brechas de producción entre los diferentes lotes y trazar el plan de fertilización para potencializar el rendimiento del cultivo.

El trabajo de campo se desarrolló en una finca bananera de 175 hectáreas ubicada municipio de Carepa, departamento de Antioquia (ver figura 20).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

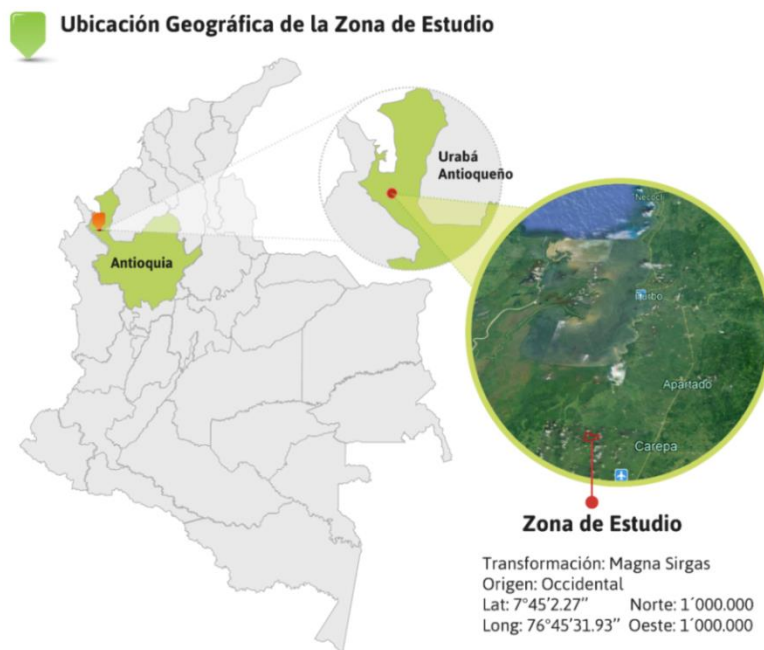


Figura 20. Mapa ubicación finca bananera

Fuente: Elaboración propia, 2017

Para la recopilación de información, se utilizaron imágenes aéreas, imágenes satelitales y control desde equipo en tierra. Se realizaron tomas fotográficas con equipo UAV (sigla en inglés de vehículos aéreos no tripulados) y se generó la cartografía digital y ortofotomapas.

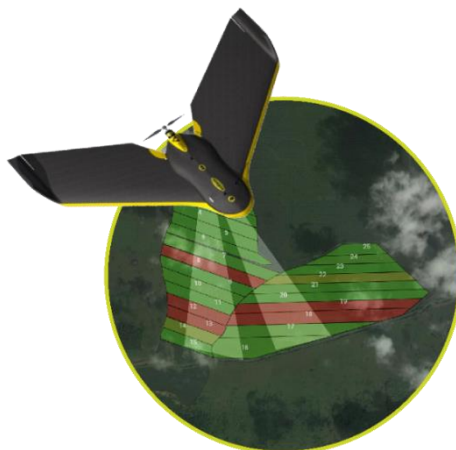


Figura 21. Dispositivo captura de datos UAV

Fuente: Elaboración propia, 2017.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Los vuelos de los equipos UAV, se realizaron en simultáneo con la visita de campo entre el 7 y 9 de noviembre, y se ajustó su plan de recorrido a las condiciones climáticas para asegurar el desplazamiento completo y corrigiendo las distorsiones inherentes al proceso (ver figura 22).



Figura 22. Ortofoto finca bananera (mapa)

Fuente: Elaboración propia, 2017

Con los estudios de suelos se determinaron las propiedades físico, químicas y biológicas, cuáles son las ventajas de ese suelo, su potencial y limitantes para el desarrollo de la actividad bananera (figura 23, puntos de observación). Con esos resultados se lograron consolidar los componentes que permitirán la adecuada gestión agrícola con la capacidad de interpretar y aplicar esa información para tomar decisiones más acertadas del sistema productivo. Las fotografías aéreas realizadas por sensores remotos (UAV), son una herramienta moderna que mejora la calidad del análisis y permiten, por ejemplo, establecer límites precisos, identificar la cobertura vegetal, distribución del área y los obstáculos físicos. Ese tipo de tecnologías se han utilizado exitosamente a nivel mundial, incluso en banano. En Centroamérica, por ejemplo, se han empleado UAV con impactos positivos en los rendimientos de la plantación. Se espera que

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

esas herramientas permitan una mayor eficiencia, disminuyendo los efectos ambientales del cultivo del banano a medida que aumenta la demanda mundial de alimentos (Machovina, Feeley, & Machovina, 2016).

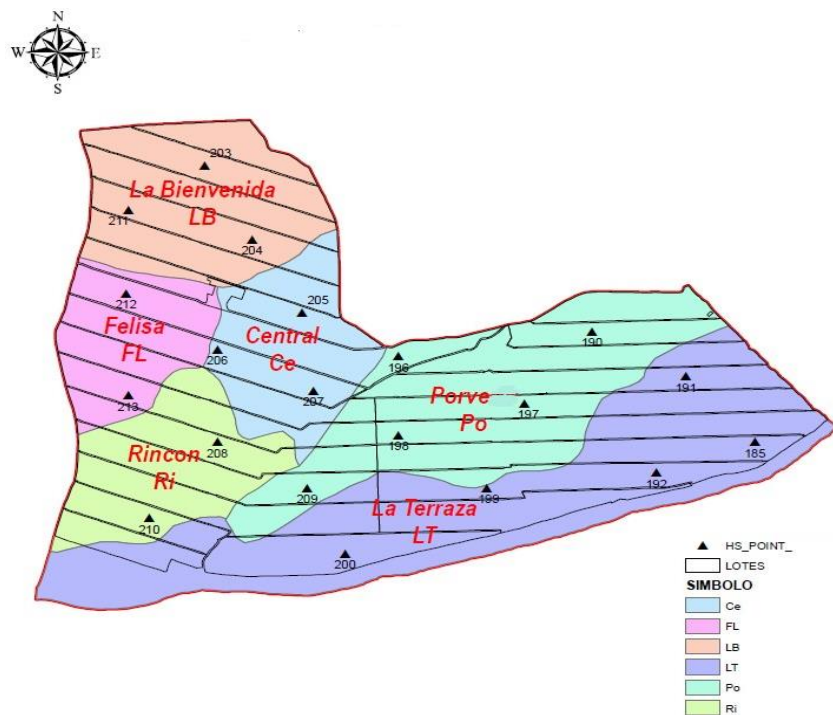


Figura 23. Puntos de observación finca bananera

Fuente: Elaboración propia, 2017

Al integrar los sensores remotos con los sensores directos (tecnologías de detención en sitio) y estudios de muestras en laboratorios, se podría completar el análisis de perfil de suelos, identificando propiedades como: textura, forma del terreno, drenajes, estructura, raíces, compactación, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, elementos presentes, etc. Los sensores directos también podrían medir la humedad del suelo, identificando si existen las condiciones de campo para la aplicación del insumo en tiempo real (Ver figura 24)

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

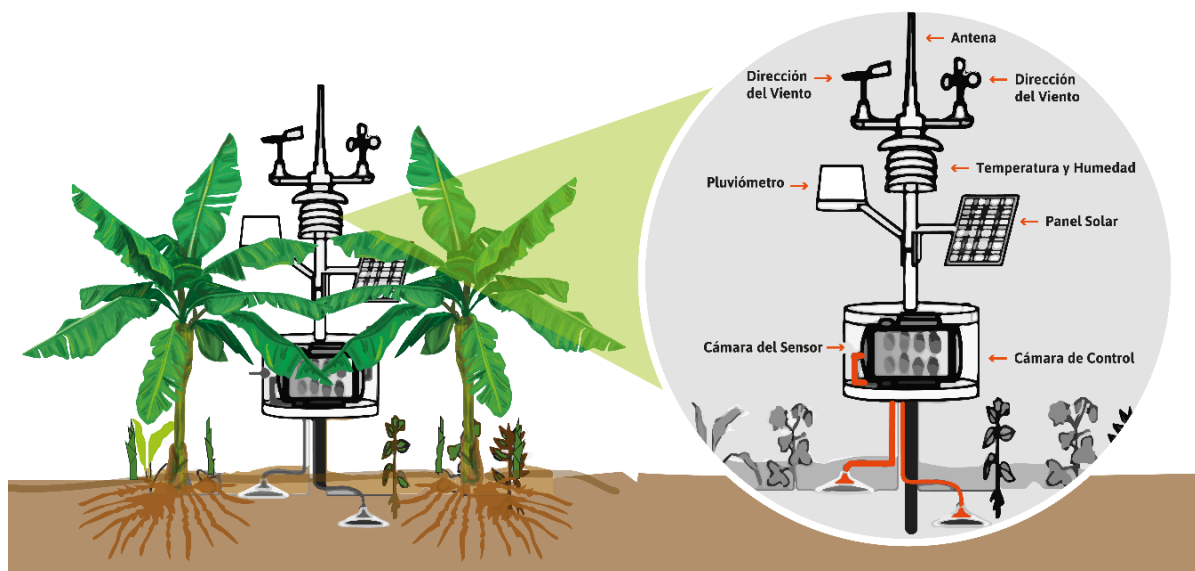
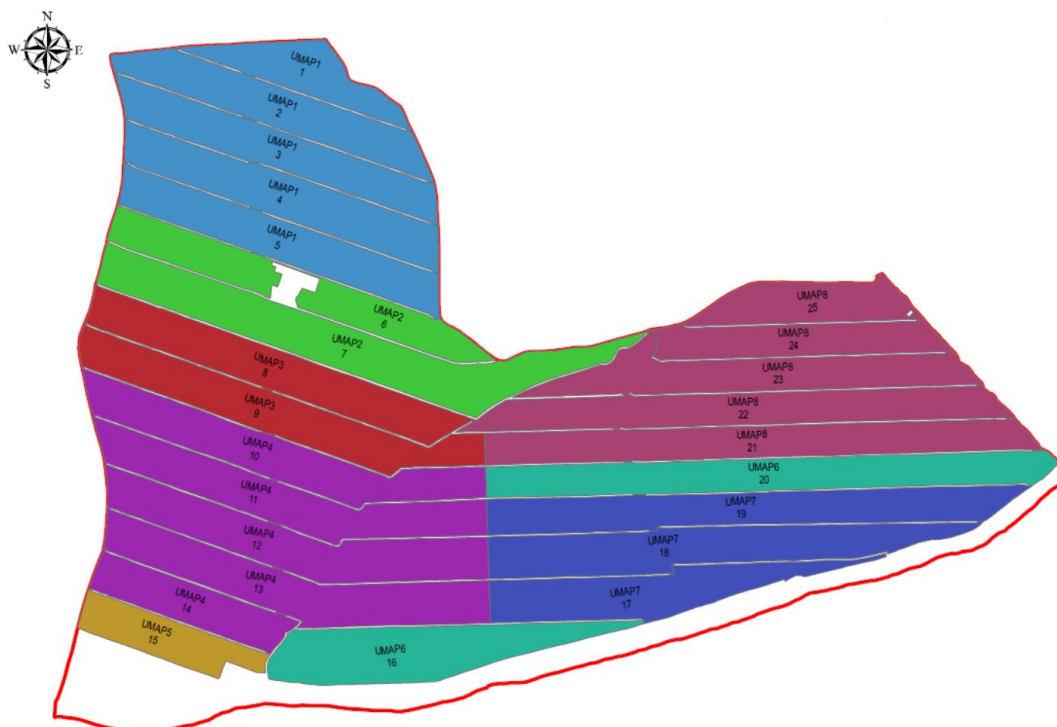


Figura 24. Sensores directos en finca bananera

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Con la caracterización del suelo, se determinaron las unidades de manejo agronómico (UMA), que se definen como “una unidad espacial de cultivo dentro de la cual hay una relativa homogeneidad en las variables que afectan la productividad: clima, suelo, agua, material de siembra, edad e historial de manejo. Por ello la delimitación de UMA es un paso básico para la aplicación de la tecnología con especificidad por sitio. El conocimiento de la variabilidad del suelo de la plantación es la base para el diseño de las UMA, por lo cual el mapa de suelos es la capa de información sobre la cual se superponen las demás capas de las variables de mayor influencia en la productividad: edad de cultivo, material de siembra, potenciales de rendimiento, etc. De esta forma la prescripción de la fertilización, por ejemplo, se hace de manera específica por cada UMA, con independencia del lote de cultivo de que se trate” (Munévar, López, Rochels, Villamizar, & Reyes, 2011). Las UMAS para la finca bananera caso de estudio, se detalla en la figura 25.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO



Clima Ambiental	Paisaje	Material Parental	Tipo de Relieve	Litología/ Sedimentos	Características de los suelos	Uridad Cartográfica	Calicatas	Nombre y símbolo	Área Bruta		Textura	UMA	Lotes	Color		
									(Ha)	(%)						
CÁLIDO MUY HÚMEDO	PLANICIE	FLUVIO LACUSTRE	Plano de Inundación	Aluviones muy finos	Pobremente drenados; moderadamente Profundos a profundos; texturas muy finas con más de 42% de Arcilla; limitados en la profundidad radicular por fluctuaciones del nivel freático y grietas en época seca; reacción Fuertemente ácida a moderadamente ácida; baja saturación de bases y fertilidad baja.	Vertic Endoaquepts, familia muy fina, mezclada, isohipérmica	203, 204	LA BIENVENIDA (LB)	33,95	14,77	Arcilloso	UMAP1	1, 2, 3, 4, 5	Blue		
				Aluviones gruesos	Moderadamente bien drenados; profundos; texturas medias; reacción moderadamente ácida a moderadamente ácidos; bajos contenidos de Potasio y materia orgánica; saturación de bases baja y fertilidad natural alta a media.	Fluventic Eutrudepts, familia franca media a gruesa, mezclada, superactiva, isohipérmica.	208, 210	FINCON (FI)	24,31	10,57	Franco Limoso	UMAP4	10, 11, 12, 13, 14	Purple		
				Aluviones medios a finos	Pobremente drenados; profundos; texturas medias limitados en la profundidad radicular por grietas en época seca; reacción moderadamente ácida; baja saturación de bases y fertilidad media a baja.	Vertic Endoaquepts, familia muy fina, mezclada, isohipérmica	205, 206, 207	CENTRAL (CE)	20,24	8,80	Arcilloso	UMAP2	6, 7	Green		
				Aluviones muy finos	Pobremente drenados; profundos; texturas finas con mayor % de limos; reacción moderadamente ácida; baja saturación de bases y fertilidad media a baja.	Vertic Endoaquepts, familia muy fina, mezclada, isohipérmica	212, 213	FELISA (FL)	26,15	11,37	Franco Limoso	UMAP3	8, 9	Red		
				Aluviones de variada granulometría	Moderadamente profundos; imperfectamente a pobremente drenados. Limitados por fluctuaciones del nivel freático. Medianamente ácidos a neutros; capacidad de intercambio catiónico media a baja; materia orgánica baja; baja saturación de bases y fertilidad natural alta a media.	Fluvisol Eutrudepts, familia franca media, mezclada, isohipérmica.	190, 196, 197, 198, 209	PORVE (PO)	52,12	22,67	Franco	UMAP8	21, 22, 23, 24, 25	Pink		
		ALLUVIAL	Terrazas	Aluviones Gruesos	Pobremente a moderadamente bien drenados, profundos, de reacción medianamente y moderadamente ácidos a neutros. Baja a media saturación de bases, contenido de materia orgánica bajo, fertilidad media a baja.	Fluvisol Eutrudepts familia franca media a gruesa mezclada	185, 191, 192, 199, 200	LA TERRAZA (LT)	73,15	31,82	Franco Limoso	UMAP5	15	Yellow		
											Franco	UMAP6	16, 20	Teal		
											Arcilloso	UMAP7	17, 18, 19	Light Blue		
		T O T A L									229,92	100,00				

Figura 25. Mapa de unidades de manejo agronómico finca bananera

Fuente: Elaboración propia, 2017

Una vez establecidas las UMA, se pudo determinar de forma más precisa, la cantidad de insumos de nutrición de acuerdo a la característica de cada tipo de suelo. Una forma tradicional de

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

aplicación de fertilizante es con base en la extracción de nutrientes al año para un determinado volumen de cajas. “En el marco de una agricultura sostenible es importante conocer la cantidad de nutrientes que son extraídos por el cultivo en un área determinada. Cada vez que sacamos un racimo de un lote, retiramos junto con la biomasa generada por la planta a través del proceso fotosintético, nutrientes que no regresan al suelo. La extracción continua de nutrientes, sin una reposición adecuada contribuye gradualmente a la disminución de la fertilidad de los suelos. Bajo condiciones de adecuada fertilidad de los suelos la extracción es la mínima cantidad de nutrientes que se deben incorporar en cada año al cultivo del banano, teniendo en cuenta la eficiencia de fertilización. Es importante y determinante en el manejo del cultivo conocer la extracción del cultivo por unidad de área como parámetro para planificar la fertilización del cultivo” (Sanchez & Mira, 2013)

Por ejemplo, para un rango entre 3.500 y 2.400 cajas de banano por hectárea (ha) año, en áreas con un mismo plan de aporte de nutrientes, la demanda de insumos es la siguiente (Ver tabla 3):

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Tabla 3. Datos de referencia de extracción de nutrientes en la zona de Urabá Colombia

Elemento	Fertilización media	Indicadores	3.500 cajas	2.400 cajas
	al año		hectárea año	hectárea año
N	322.42	Extracción kg/ha/año	96.56	66.21
		BPN	30%	21%
		FPP	10.9	7.4
P2O5	67.29	Extracción kg/ha/año	33.5	22.97
		BPN	50%	34%
		FPP	52	35.7
SO4	44.37	Extracción kg/ha/año	13.12	9
		BPN	30%	20%
		FPP	78.9	54.1
CaO	96.26	Extracción kg/ha/año	14.23	9.76
		BPN	15%	10%
		FPP	36.4	24.9
MgO	47.79	Extracción kg/ha/año	24.14	16.55
		BPN	50%	35%
		FPP	73.2	50.2
K2O	594.06	Extracción kg/ha/año	387.99	266.05
		BPN	65%	45%
		FPP	5.9	50.2
ZnO	3.45	Extracción kg/ha/año	0.13	0.09
		BPN	4%	3%
		FPP	1014.5	695.7
B2O3	2.46	Extracción kg/ha/año	0.17	0.12
		BPN*	7%	5%
		FPP**	1422.8	975.6

Fuente: (Sanchez & Mira, 2013).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

P₂O₅ (óxido de fósforo), K₂O (óxido de potasio), CaO (óxido de calcio-Cal), MgO (óxido de magnesio), SO₄ (Sulfato- Azufre), B₂O₃ (Óxido de Boro), Zn (zinc), Cu (cobre), KCL (cloruro de potasio).

*Balance Parcial del Nutriente (BPN)=kg de nutriente extraído (removido)/kg de nutriente aplicado

**Factor Parcial de Productividad (FPP)=kg de rendimiento/ kg de nutriente aplicado.

Con esos valores de referencia, la aplicación equivaldría a 1.178 kg/ha año. Por su parte, el personal administrativo de la finca realizaba un cálculo similar y suministraba de forma homogénea 1.209 kg/ha año. Puesto que la producción de cada lote no es igual, se espera que la demanda de nutrientes sea diferente. Con la discriminación de UMAS, el promedio se disminuyó hasta 1.153 kg/ha año y se determinó de forma más precisa el requerimiento de cada unidad espacial, de acuerdo a la variabilidad del suelo.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Tabla 4. *Plan tradicional de fertilización Finca Bananera*

Fertilizante (fuente)	Cant (Kg)	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	SO4	B2O3	Zn	Cu
KCl 0-0-60	500			300.0						
23 - 0 - 30	435	100.1		130.5						
SAM 21-0-0-24(S)	185	38.9					44.4			
Abotek 15-4-23-4										
(Mg)	185	27.8	7.4	42.6		7.4	3.7	0.2	0.2	
Triple 15	385	57.8	57.8	57.8						
Nitromag 21-0-0-11										
(CaO)	385	80.9			42.4	28.9				
Azutek 13-3-23-										
4(Mg)-9(S)	185	24.1	5.6	42.6		7.4	16.7	0.2	0.2	
Nitrabor 15-0-0-26										
(CaO)	150	22.5			39.0			0.5		
Borozinco	50	1.5					3.0	1.3	7.5	8.5
Total	1.209	353	71	573	81	44	68	2.1	7.9	8.5

Fuente: Elaboración propia, 2017

P2O5 (óxido de fósforo), K2O (óxido de potasio), CaO (óxido de calcio-Cal), MgO (óxido de magnesio), SO4 (Sulfato- Azufre), B2O3 (Óxido de Boro), Zn (zinc), Cu (cobre), KCl (cloruro de potasio).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Tabla 5. Plan UMAI Finca Bananera

Fuente	Cant (kg)	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	SO4	B2O3	Zn	Cu
KCl 0-0-60	450			270.0						
23 - 0 - 30	350	80.5		105.0						
SAM (21-0-0-24(S))	150	31.5					36.0			
Abotek 15-4-23-4 (Mg)	200	40.0	8.0	46.0		8.0	4.0	0.2	0.2	
Remital 17-6-18-2(Mg)	185	31.5	11.1	33.3		3.7	4.6	0.4	0.2	
Triple 15	370	55.5	55.5	55.5	14.8	11.1	1.5	0.7	2.6	
Nitromag 21-0-0-11 (CaO)	150	31.5			16.5	11.3				
Nitrabor 15-0-0-26 (CaO)	300	45.0			78.0			0.9		
Agrimins	92	7.4	4.6		16.6	5.5	1.5	0.9	2.3	0.7
Total	1.134	323	79	510	126	40	48	3.1	5.3	0.7

Fuente: Elaboración propia, 2017

La figura 26, muestra exactamente el plan de fertilización de cada UMA, además de las diferencias con respecto al plan tradicional, en algunos casos los requerimientos son por debajo del programa original y sólo en un caso, por encima.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

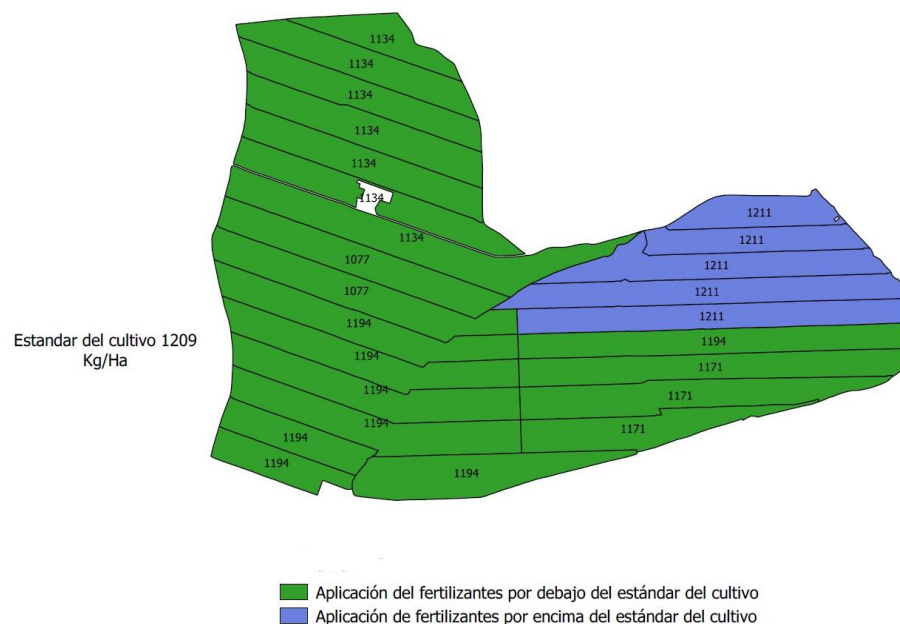


Figura 26. Diferencias entre el estándar del cultivo y los requerimientos nutricionales de acuerdo a la variación espacial del suelo.

Fuente: Elaboración propia, 2017

La caracterización permitió decisiones más precisas en cuanto al programa de fertilización, disminuyendo en 56 kg/ha/año la cantidad de insumos requeridos. La finca tiene una extensión de 175 hectáreas netas, entonces la reducción total es de 196 bultos de 50 kilos al año (ahorro aproximado del 5% del costo del insumo). Además, como esa labor se remunera por la cantidad de aplicaciones, se asume también una disminución en los costos laborales, en un porcentaje similar. Por lo tanto, la aplicación de agricultura de precisión en ese cultivo de banano, redujo la aplicación en el uso de fertilizantes conllevando a menores costos de producción, además de los efectos ambientales asociados.

Ese ahorro de 196 bultos se cuantificó de la siguiente forma:

Se consultaron los precios de los insumos de acuerdo a su composición de grandes elementos (Nitrógeno, Potasio y Fosforo) en el boletín de octubre de 2017 de insumos y factores asociados

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

a la producción agropecuaria, publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística en Colombia (DANE, 2017). Además, se calculó el precio del bulto promedio de 50 kilos, de acuerdo a su participación ponderada en el programa de fertilización. El resultado fue un costo por bulto de fertilizante de 50 kilos de \$65.731 (valor promedio de mercado).

Tabla 6. *Precio ponderado por bulto de 50 kilos de Fertilizante.*

Fuente	Cant (Kg)	Cantidad bultos 50kg	Precio/bulto 50Kg
KCl 0-0-60	450	9.0	\$54.250
23 - 0 - 30	350	7.0	\$63.161
SAM 21-0-0-24(S)	150	3.0	\$38.700
Abotek 15-4-23-4 (Mg)	200	4.0	\$69.500
Remital 17-6-18-2 (Mg)	185	3.7	\$70.500
Triple 15	370	7.4	\$75.513
Nitromag 21-0-0-11 (CaO)	150	3.0	\$63.030
Nitrabor 15-0-0-26 (CaO)	300	6.0	\$78.320
Agrimins	92	1.8	\$81.960
Precio Ponderado			\$65.731

Fuente: Elaboración propia a partir de cifras del DANE (2017)

Por su parte, el costo de mano de obra por bulto de 50 kilos es de \$9.014 (incluido el factor prestacional), de acuerdo a las convenciones colectivas de trabajo de la zona. Entonces, el ahorro total anualizado para ese insumo y para esa labor es de \$14.650.020 (aproximado en \$14.650.000).

Para valorizar el efecto (toma de decisión de la inversión), se utilizó la metodología Valor Presente Neto (VPN), comparando los dos flujos de efectivo, uno negativo que es la inversión inicial (costo de análisis de suelo con tecnología moderna de sensores directos y remotos) y otro positivo que es el resultado de la inversión (ahorro en costos del programa de fertilización). Esos

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

valores, se deben sensibilizar con el valor del dinero en el tiempo, para ser equivalentes y poder hacer su comparación.

La inversión inicial, se estimó en \$7.300.000 para la finca objeto de análisis e incluye los estudios semi detallados de suelo y muestras foliares por parte de firmas y laboratorios especializados en el tema.

VPN=— Inversión Inicial + Valor Presente (VP) Flujos futuros

Se parte de la premisa que si el VPN es mayor que cero (VPN>0) se acepta la inversión.

En nuestro caso, como se espera que el ahorro sea en varios períodos (10 años), la formula se puede expresar de la siguiente manera:

VPN = - Inversión Inicial + FC1 / (1+r)^1 + FC2 / (1+r)^2 + ... + FCn / (1+r)^n, donde:

FC: Flujo de Caja

r: tasa de descuento

n: número de períodos

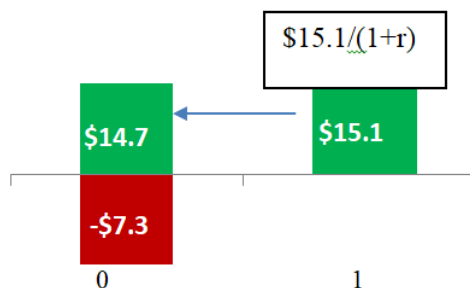


Figura 27. Flujo de caja descontado al primer año. Cifras en Millones de pesos

Cada año se debe incrementar el costo de los insumos y de la mano de obra, mediante un gradiente (g). En nuestro caso, se empleó el 3%, que es la meta de inflación en Colombia (Banco de la República, 2017).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Otro variable a definir es la tasa de descuento. Se utilizó el WACC (siglas en inglés, de Weighted Average Cost of Capital) que es el costo promedio ponderado del capital y que generalmente se emplea para descontar los flujos de caja futuros al momento de evaluar un proyecto de inversión.

En ese caso, debemos encontrar el costo del patrimonio (R_e)

$$R_e = R_f + \beta A (R_m - R_{fh}) + R_p + P_t, \text{ donde:}$$

R_e = Costo de patrimonio

R_f = Tasa libre de riesgo (último dato)

βA = Beta del sector apalancado

R_m = Retorno de mercado

R_{fh} = Tasa libre de riesgo histórico

$(R_m - R_{fh})$ = Prima de riesgo de mercado

R_p = Riesgo país.

P_t = Prima de tamaño

La tasa libre de riesgo (R_f) es el rendimiento anual que un inversionista podría obtener, bajo la premisa del menor riesgo posible de impago por parte del emisor del título. Generalmente se utiliza los Bonos de Tesoro USA 30 años (Treasury Yield 30 Years (^TYX)), pues son considerados libre de riesgo. Ese valor actualizado al 12 de diciembre de 2017 es de 2.75%.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO



Figura 28.Bono Tesoro USA 30 años.

Fuente: Yahoo Finace, 2017

β_A = Beta del sector apalancado

$\beta_A = \beta_D * [1 + (1 - t) * P/P_{tr}]$, donde:

β_D : Beta Sector (Desapalancado).

t: Tasa de impuestos, en Colombia se aproxima al 40% (34% impuesto de renta y 6% de sobretasa).

P/P_{tr} =Pasivo/Patrimonio (43.9%), (Supersociedades, 2017).

El Beta es un indicador de riesgo que compara la volatilidad de la rentabilidad de un grupo de acciones de la misma industria con la volatilidad de la rentabilidad del mercado. Se calculan por medio de regresiones lineales entre los retornos históricos de un grupo de acciones de un sector en particular, con respecto a los retornos históricos del mercado. Ese resultado ya se encuentra calculado por varias páginas especializadas, entre las cuales se encuentra la del profesor Aswath Damodaran.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Para el caso de β_D , se encontró un valor de 0.59 para el sector agropecuario. (Damodaran, A, 2017)

$$\beta_A = 0.59 * [1 + (1 - 0.40) * 0.439] = 0.745$$

La Tasa de Retorno de Mercado (R_m) indica el retorno promedio anual que un inversionista podría obtener al invertir en un índice agregado de compañías que estén inscritas en el mercado de valores. Generalmente se acepta un índice bursátil de Estados Unidos (S&P 500, índice Standard & Poor's que lo compone la capitalización bursátil de las 500 empresas más grandes cotizadas en la bolsa de Nueva York).

Tabla 7. Tasa retorno de mercado

Media Aritmética	Rendimiento anual de las inversiones	
	Años	S&P 500
1928-2016	11.42%	5.18%
1967-2016	11.45%	7.08%
2007-2016	8.64%	5.03%

Fuente: Damodaran. <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>.

* 10-year T.Bond

El riesgo país ($R_m - R_{fh}$), es el diferencial de tasas que existe entre el rendimiento de un título público emitido por un gobierno nacional (Colombia) y un título de características parecidas, emitido por el gobierno de los Estados Unidos.

$$PRM = R_{Col} - R_{USA}$$

Para los rendimientos de bonos de Colombia, se debe tener en cuenta, rendimientos en moneda extranjera (dólares USD) o en moneda nacional (pesos COP). Para los primeros, generalmente se utilizan los Bonos Yankees de largo plazo.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Tabla 8. Rendimiento Bono Colombia en USD

Históricos Yankees				
<i>Fecha</i>	<i>Yankee</i>	<i>Anterior</i>	<i>Actual</i>	<i>Variación</i>
23/01/2017	2017 (7.375)	13.71	14.21	0.5
14/12/2017	2019 (7.375)	2.4	2.34	-0.06
14/12/2017	2020 (11.75)	2.4	2.4	0
14/12/2017	2024 (8.125)	3.42	3.37	-0.05
14/12/2017	2037 (7.375)	4.73	4.67	-0.06
14/12/2017	2041 (6.125)	4.7	4.68	-0.02

Fuente: Grupo Aval, 2017

Para los rendimientos en COP, se pueden utilizar los TES (títulos de deuda pública) con vencimiento de agosto de 2.026.

Tabla 9. Rendimiento Bono Colombia en COP

Históricos TES				
<i>Fecha</i>	<i>Indicador</i>	<i>Anterior</i>	<i>Actual</i>	<i>Variación</i>
14/06/2016	Junio 2016	7.07	6.81	-0.26
14/12/2017	Octubre 2018	4.69	4.68	-0.01
14/12/2017	Julio 2020	5.38	5.29	-0.09
15/12/2017	Mayo 2022	5.7	5.67	-0.03
15/12/2017	Julio 2024	6.14	6.09	-0.05
15/12/2017	Agosto 2026	6.52	6.52	0
03/03/2017	UVR mayo 2017	0.91	0.5	-0.41
07/03/2017	UVR febrero 2023	3.1	3.26	0.16
08/03/2017	UVR marzo 2033	3.9	3.88	-0.02

Fuente: Grupo Aval, 2017.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Para llevar la fórmula a pesos, utilizamos el porcentaje adicional que los inversionistas exigen, cuando en vez de invertir en títulos en dólares invierten en títulos en pesos. La rentabilidad de los TES en Colombia versus la rentabilidad del Bono Yankee nos muestra lo que están exigiendo de rentabilidad adicional los inversionistas por tener sus recursos en pesos.

Con respecto a la prima por tamaño, “se establece como la diferencial entre el exceso de la rentabilidad histórica por encima de la tasa libre de riesgo y el exceso de rentabilidad que se obtendría por el CAPM (sigla en inglés de Capital Asset Pricing Model, modelo de valoración) sobre la misma tasa libre de riesgo. Se puede tomar como referencia la información de la firma Ibbotson Associates ha publicado al respecto” (Gallardo, 2011).

En nuestro caso, utilizamos la tabla publicada por Oscar León García, en su libro de valoración de empresas. (García, 2003)

Deflactando el valor del patrimonio a diciembre de 2002 y utilizando la tasa representativa del mercado (TRM) de esa fecha de \$2.864,74, equivale a un valor de USD \$ 35,8 millones. Ese dato se ubica entre el decil 8 y 9, con un promedio de 2.56%.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Tabla 10. *Prima por tamaño según deciles*

Fuente: (García, 2003)

Decil	Beta Decil	Rentabilidad Histórica	Rentabilidad en exceso de KL	Rentabilidad método CAPM	Rentabilidad CAPM en exceso de KL	Prima Por Tamaño	Capitalización de Mercado (Mills USD)
1	0.9	11.56%	6.38%	11.94%	6.75%	-0.36%	USD \$ 3,829.50
2	1.04	13.45%	8.28%	12.99%	7.82%	0.47%	USD \$ 841.80
3	1.09	14.14%	8.96%	13.37%	8.19%	0.77%	USD \$ 439.30
4	1.13	14.80%	9.62%	13.67%	8.50%	1.13%	USD \$ 264.60
5	1.16	15.62%	10.45%	13.89%	8.73%	1.72%	USD \$ 166.60
6	1.19	15.60%	10.42%	14.12%	8.91%	1.52%	USD \$ 112.50
7	1.24	16.13%	10.96%	14.49%	9.31%	1.65%	USD \$ 75.60
8	1.28	17.27%	12.10%	14.80%	9.62%	2.47%	USD \$ 46.50
9	1.35	17.98%	12.81%	15.32%	10.16%	2.65%	USD \$ 26.00
10	1.46	21.92%	16.75%	16.15%	10.97%	5.78%	USD \$ 9.30
Medio	1.12	14.60%	9.42%	13.59%	8.38%	1.04%	USD \$ 870.50
Bajo	1.22	16.10%	10.92%	14.34%	9.18%	1.75%	USD \$ 234.60
Micro	1.38	19.02%	13.85%	15.55%	10.37%	3.47%	USD \$ 35.30

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

El resultado es un WACC del 11.63%, cifra que se detalla a continuación (Tabla 11):

Tabla 11. Detalle cálculo WACC

COSTO DEL PATRIMONIO		
B_D =Beta Sector (Desapalancado)	0.59	Damodaran: Unlevered beta (Farming/Agriculture)
t= Tasa de Impuestos	40.00%	Tasa Impositiva de Colombia
P/Ptr=Pasivo/Patrimonio	43.9%	Supersociedades- SIREM
B_A=Beta Apalancado	0.745	= $B_D * [1 + (1 - t) * P/Ptr]$
Rf= Tasa Libre Riesgo	2.75%	Bono Tesoro USA 30 años (Treasury Yield 30 Years)
Rm= Retorno del Mercado	11.42%	Damodaran: S&P 500 1928-2016
Rfh= Tasa Libre Riesgo Histórico	5.18%	Damodaran: 10-year T.Bond 1928-2016
PRM=Prima Riesgo del Mercado	6.24%	=Rm – Rfh
B_A =Beta Apalancado	0.745	
Costo Patrimonio sin riesgo país ni Prima por Tamaño	7.40%	= Rf + PRM * B_A
<u>Factores de Riesgo No-Sistemático:</u>		
RBCol= Rendimiento Bono Colombia	4.68%	Bono emitido por Colombia en USD
Rp= Riesgo del País	1.93%	= RBCol – Rf
Costo del Patrimonio en USD	9.33%	= Costo Ptr + Rp
RBCol en COP	6.52%	TES con vencimiento agosto 2026
Devaluación Esperada	1.76%	= [(1 + RB en COP) / (1 + RBCol)] -1
Costo del Patrimonio en COP	11.25%	= [(1+Costo Ptr USD)*(1+Devaluación Esperada)]-1
Pt=Prima por Tamaño	2.56%	Modelo de Valoración www.ibbotson.com
Costo del Patrimonio en COP con Prima de Tamaño	13.81%	=Costo Ptr COP + Pt
COSTO DE LA DEUDA		
DTF Promedio	5.34%	Valor del 11 de diciembre de 2017
Spread	5.73%	Interés comercial (resolución 2441 dic 2016 Superfinanciera)
Costo Deuda en COP AI	11.07%	=DTF Promedio + Spread
t=Tasa de Impuestos	40.00%	
Costo Deuda en COP Después de Impuestos	6.64%	=Costo Deuda AI * (1-t)
WACC		
Costo del Patrimonio en COP	13.81%	
Participación Patrimonio	70%	= Ptr/(P + Ptr)
Costo Deuda en COP Después de t	6.64%	
Participación Deuda en COP	30.49%	= P/(P + Ptr)
WACC en COP	11.63%	= [Costo Ptr COP * Ptr/(P + Ptr) + Costo Deuda*P/(P + Ptr)]

Fuente: Cálculos propios, adecuando metodología (García, 2003).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Aplicando esa tasa encontramos el valor presente de esos flujos, así:

Tabla 12. *Valor Presente de los flujos futuros a 10 años (Cifras en millones de pesos).*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Crecimiento g%	3%										
Flujo de Caja	\$14.7	\$15.1	\$15.5	\$16.0	\$16.5	\$17.0	\$17.5	\$18.0	\$18.6	\$19.1	\$19.7
WACC	11.63%										
VP Flujo de Caja		\$13.5	\$12.5	\$11.5	\$10.6	\$9.8	\$9.0	\$8.3	\$7.7	\$7.1	\$6.6
Valor Presente	\$96.7										

Por último, el resultado final es:

$$VPN = -\$7.300.000 + \$96.661.521$$

$$VPN = \$89.361.521$$

Por lo tanto, financieramente la decisión de invertir en agricultura de precisión para el caso de estudio, conlleva a mayores beneficios en cuanto a ahorros en el programa de fertilización, además de otros posibles efectos como incremento en la productividad y mejor manejo del cultivo.

Urabá es de vocación agrícola, su economía gira en torno al sector bananero, el cual tiene presencia en la zona desde hace más de 50 años y se destina casi el 100% de su producción al mercado exterior. En Urabá hay 34.000 hectáreas sembradas de ese tipo de cultivo (Augura, 2016), un ahorro en aplicación de fertilizantes por la adopción de la agricultura de precisión podría generar efectos positivos en cuanto a conservación de recursos naturales (menor contaminación al ambiente), mejorar las relaciones comunitarias y aumentar los indicadores financieros de las compañías productoras. Estas aplicaciones tecnológicas y sus beneficios se podrían extender a otros cultivos de la zona, pues Urabá es gran proveedora de otros productos

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

agrícolas, como maíz (16.245 hectáreas), arroz (7.546 hectáreas), cacao (6.078 hectáreas), yuca (3.293 hectáreas), palma de aceite (1.873 hectáreas) y piña (Cámara de comercio de Urabá, 2014). Entonces, por la especialización del Urabá en la producción de alimentos, la agricultura de precisión podría ser un elemento promotor para el desarrollo de la región y el país.

4. Estudio sobre agricultura de precisión en Banano: Análisis y resultados

El estudio se realizó por medio de una encuesta electrónica la cual estuvo disponible para ser diligenciada durante el mes de diciembre de 2017, esta se envió a los diferentes contactos a los respectivos correos electrónicos de la empresa y desde el correo corporativo de los autores. En el anexo A aparece la carta de invitación enviada.

La investigación pretende realizar un diagnóstico sobre el conocimiento general y grado de utilización de la agricultura de precisión en el sector bananero del Urabá Antioqueño. La encuesta es de carácter cuantitativo, con un nivel de profundidad exploratorio, considerando las limitaciones que se tuvieron en cuanto a tiempo y recursos.

El propósito de un estudio exploratorio es examinar un tema poco estudiado, que no se ha abordado a profundidad antes, este tipo de estudios preparan el terreno y anteceden investigaciones con alcances descriptivos, correlacionales o explicativos. Una investigación puede iniciar como exploratoria, luego puede ser descriptiva, correlacional, y finalizar como explicativa (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006). La elección del tipo de estudio o investigación depende del estado del conocimiento sobre el problema en cuestión y de la perspectiva que se pretenda dar al estudio.

El enfoque de la investigación cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en una medición numérica y su posterior análisis estadístico, y de esta manera concluir estableciendo patrones de comportamiento (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006) .

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Dicho enfoque cuantitativo emplea la causalidad y aplica lógica deductiva (va de lo general a lo particular), además se hace con una posición imparcial de parte del investigador en donde hay poca interacción con el encuestado, más aún tratándose de un cuestionario electrónico.

Para realizar la investigación se formuló el problema específico, “diagnóstico sobre el conocimiento general y grado de utilización de la agricultura de precisión en el sector bananero del Urabá Antioqueño”. Previo al planteamiento del problema, se hizo una revisión de literatura y bibliografía (más de 100 papers o estudios relacionados), gracias a este ejercicio se logró mayor foco en lo que se pretendía investigar.

Las etapas de la investigación del proceso cuantitativo (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006) fueron las siguientes:

- ✓ Planteamiento del problema
- ✓ Revisión de literatura y construcción del marco teórico: A partir de libros, revistas, documentos, etc., se describe el estado pasado y actual del conocimiento sobre el tema a tratar y permite identificar el valor que agregaría nuestro estudio (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006).
- ✓ Definición del alcance del estudio: Exploratoria, punto de partida para nuevas investigaciones.
- ✓ Hipótesis: No se plantearon considerando que es una investigación exploratoria. Un estudio cuantitativo que formula hipótesis es aquel cuyo planteamiento define un alcance correlacional, explicativo o descriptivo (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006).
- ✓ Población: Conjunto total de productores y comercializadores de banano de exportación en Colombia. Expresado en exportaciones de cajas de banano la población sería 93,4 millones (ver figura 10), o expresada en hectáreas la población sería 47.272 has (ver figura 9).

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

- ✓ Muestra: Por tiempo y costos, en los procesos de investigación cuantitativa se acostumbra seleccionar una muestra representativa de la población con base en la cual se generalizan los resultados. En nuestro caso se seleccionó una muestra no probabilística o dirigida, es decir, un subgrupo de la población cuya elección se hizo por las características de la investigación (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006). La muestra no probabilística, no permite calcular con exactitud el error estándar ni el nivel de confianza en caso de tratarse de una estimación. La ventaja de una muestra no probabilística es su utilidad para determinado diseño de estudio que requiere no tanto una representatividad de elementos de una población, sino una cuidadosa elección de sujetos con ciertas características. Los sujetos “típicos” seleccionados corresponden a empleados de la industria bananera bien sea comercializadora o productora con altos rangos, es decir, jefes, directores, gerentes o vicepresidentes.
- ✓ Recolección de los datos: Se realizó mediante un cuestionario estandarizado (encuesta electrónica), uniforme en todos los casos. Las preguntas son específicas con posibilidades de respuesta delimitadas, el diseño del cuestionario orienta hacia las respuestas que se quieren obtener.
- ✓ Análisis de datos
- ✓ Elaboración de reporte y conclusiones

La información general sobre la empresa y el contacto da inicio a la encuesta, la cual consta de 5 secciones más (ver figura 29):

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

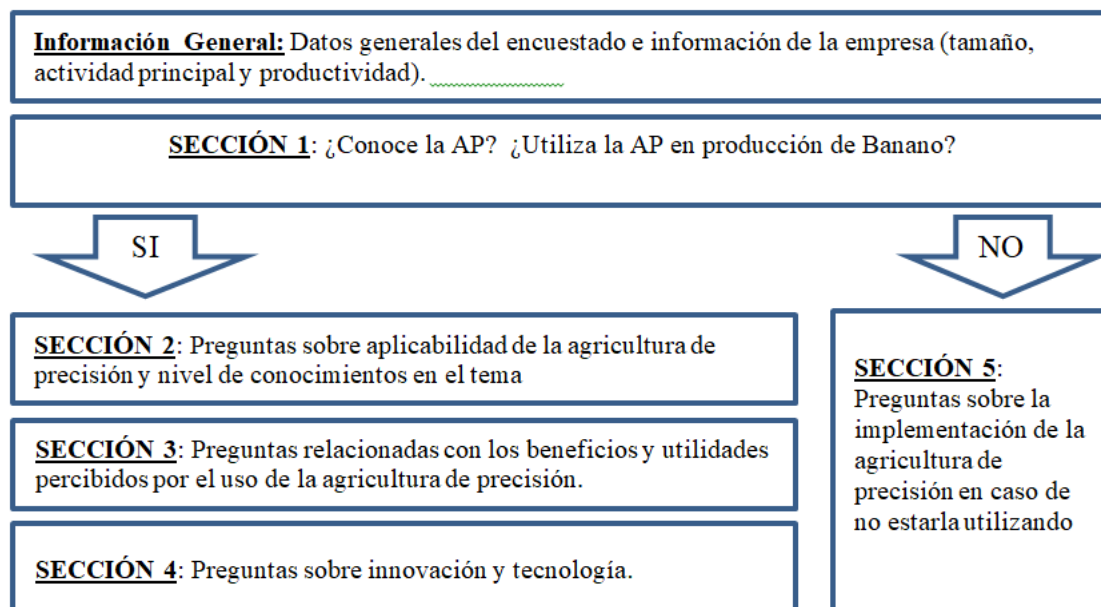


Figura 29. Esquema general de la encuesta electrónica.

Resultados de la encuesta:

Datos Generales: La población total en banano de exportación se determinó según el volumen de cajas exportadas (93'417.939 unidades en el año 2016), en ese orden de ideas entre los encuestados se incluyeron las 5 principales comercializadoras internacionales de banano (Augura, 2016) cuya participación equivale al 83% del sector bananero en Colombia.

Tabla 13. Cajas de banano exportadas en Colombia año 2016

Empresa	Población total		Muestra seleccionada
	Cajas exportadas	% Participación	
C.I. Uniban	36.296.293	39%	39%
C.I. Banacol	13.457.380	14%	14%
C.I. Tecbaco	10.277.727	11%	11%
C.I. Banasan	8.978.591	10%	10%
C.I. Banafрут	8.389.793	9%	9%
C.I. Tropical	5.847.871	6%	
C.I. Coindex	4.555.533	5%	
C.I. Banarica	3.111.943	3%	
Otros	1.629.855	2%	
C.I. Conserba	872.953	1%	
Total cajas	93.417.939	100%	83%

Fuente: Augura, 2016

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

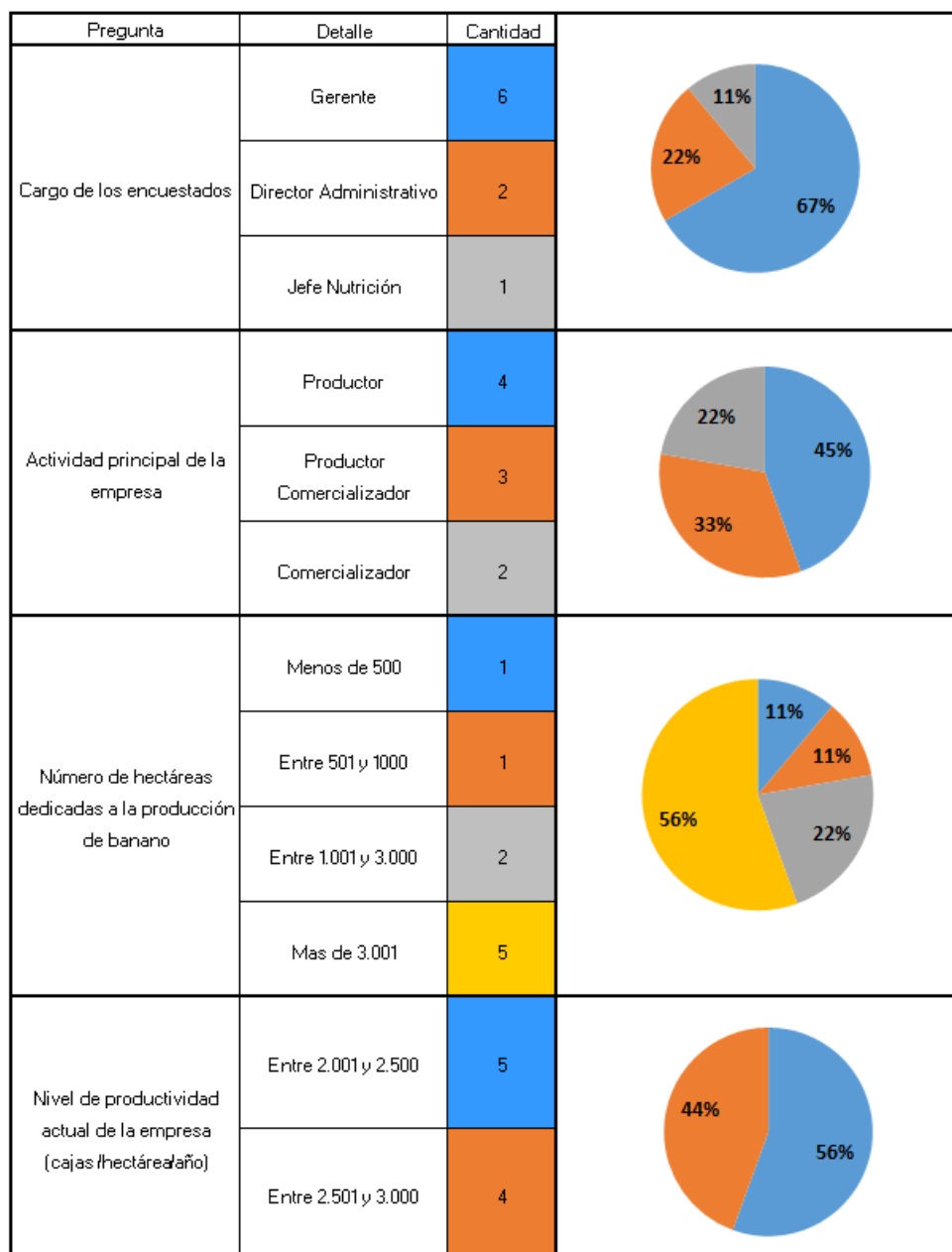


Figura 30. Datos generales de la encuesta

Sección 1: Agricultura de precisión

	SI	NO
¿Conoce la AP?	9 (100%)	
¿Utiliza AP en la producción de Banano?	7 (77,8%)	2 (22,2%)

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

El 100% de los encuestados conoce la agricultura de precisión. De los 9 contactos encuestados solo 2 no la utilizan actualmente. Es positivo, saber que el concepto de agricultura de precisión ya no es desconocido para las principales comercializadoras del país.

Sección 2. Aplicabilidad y nivel de conocimientos de Agricultura de Precisión: El 57% considera que la Agricultura de precisión tiene aplicabilidad alta, mientras el 29% la ubica en aplicabilidad media y solo 1 encuestado equivalente al 14% considera que es de baja aplicabilidad al sector bananero. El 71% considera que el nivel de complejidad para implementar la agricultura de precisión es medio. Respecto al nivel de conocimientos sobre cómo utilizar agricultura de precisión, las respuestas estuvieron balanceadas, el 43% considera que tiene alto nivel de conocimientos, mientras 29% asigna nivel medio y en ese mismo porcentaje respondieron tener nivel bajo.

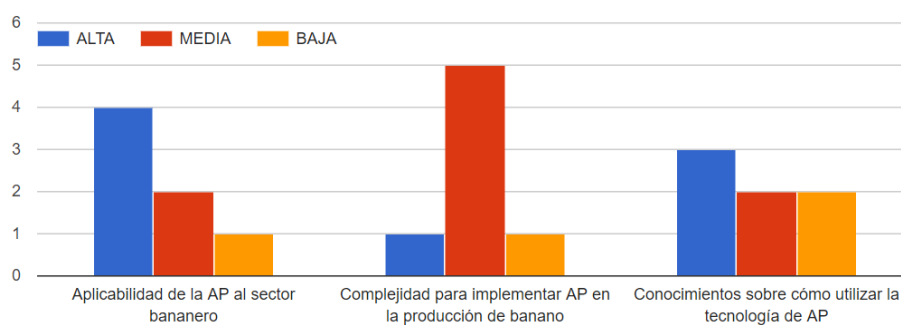


Figura 31. Aplicabilidad y nivel de conocimientos de AP

86% afirma que el personal de la empresa esta capacitado para utilizar agricultura de precisión. Por otra parte el 71% asegura tener al menos un experto en agricultura de precisión, mientras el 29% dice no tenerlo.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

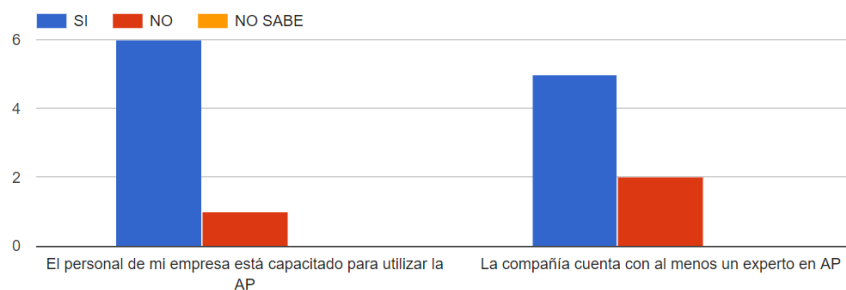


Figura 32. Nivel de capacitación y conocimientos de la empresa en AP

Sección 3. Beneficios y utilidades percibidos por el uso de la agricultura de precisión: El

100% de los encuestados consideran que la agricultura de precisión proporciona información valiosa para la toma de decisiones, igualmente el 100% ha tenido oportunidad de ver los beneficios de otros agricultores gracias a la adopción de esta.

El 71% considera que es fácil procesar la información generada a través de la agricultura de precisión, sólo un encuestado respondió que es difícil el procesamiento mientras que otro respondió que el nivel de dificultad es medio.

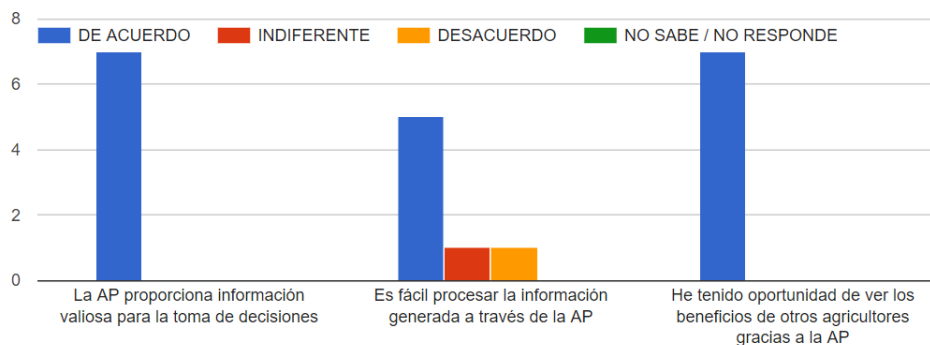


Figura 33. Beneficios y utilidades percibidos por el uso de la agricultura de precisión.

El principal beneficio percibido al utilizar la agricultura de precisión es la disminución del costo en uso de los recursos, seguido por el aumento de la productividad. Los encuestados efectivamente están visualizando bastantes beneficios generados por la utilización de la agricultura de precisión.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

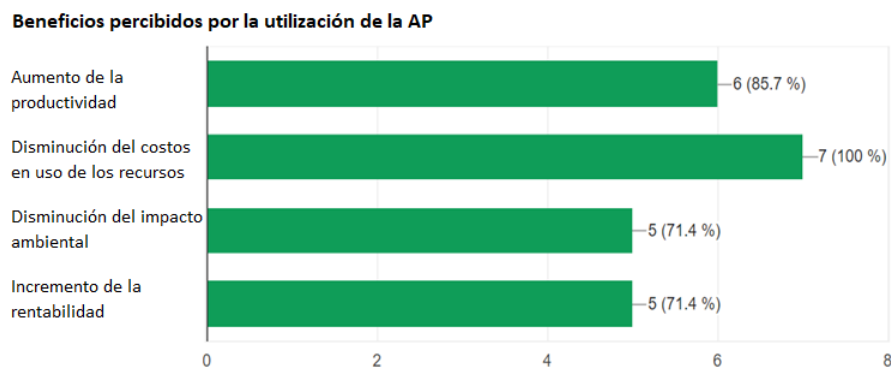


Figura 34. Beneficios percibidos por la AP

La agricultura de precisión se utiliza principalmente en el programa de fertilización (83%), diseños de sistemas de riego y/o drenajes (83%) y control y mejoramiento de procesos (83%). En el manejo de la sigatoka Negra es quizás donde menos se emplea agricultura de precisión, posiblemente porque los productores y comercializadoras de banano manejan la aspersión área de forma masiva considerando la gran cantidad de extensión de hectareas dedicadas al cultivo, no obstante a futuro se puede adaptar el programa de sanidad vegetal y control de plagas al concepto de agricultura de precisión.



Figura 35. Usos de la Agricultura de Precisión

Sección 4. Innovación y tecnología: El 57% de los encuestados considera que hay un nivel medio de utilización de tecnología en su compañía, mientras el 43% respondió que el nivel es alto. Por otra 43% considera que el nivel de innovación de su compañía es alto. Evidentemente

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

es un sector en donde el uso de tecnología y nivel de innovación parecen no ser los mejores de acuerdo con las respuestas obtenidas.

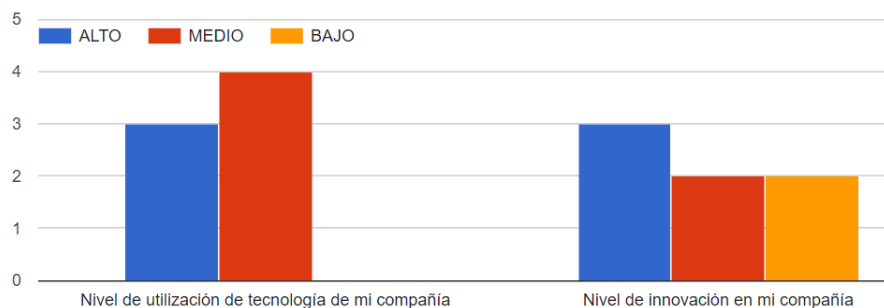


Figura 36. Innovación y tecnología

En cuanto a recursos el 86% respondió que en su empresa se tienen los recursos y conocimiento para utilizar la agricultura de precisión, en igual porcentaje respondieron que en Colombia se tiene acceso a los recursos necesarios para aplicarla, no obstante los encuestados no perciben mucho apoyo del estado y las instituciones que propicien el desarrollo de este nuevo modelo de agricultura. El 100% de los encuestados indica que el sector bananero tiene rezago tecnológico, si bien no es una respuesta alentadora es positivo que se tenga conciencia de la realidad del sector, es el primer paso para la toma de acciones a futuro.

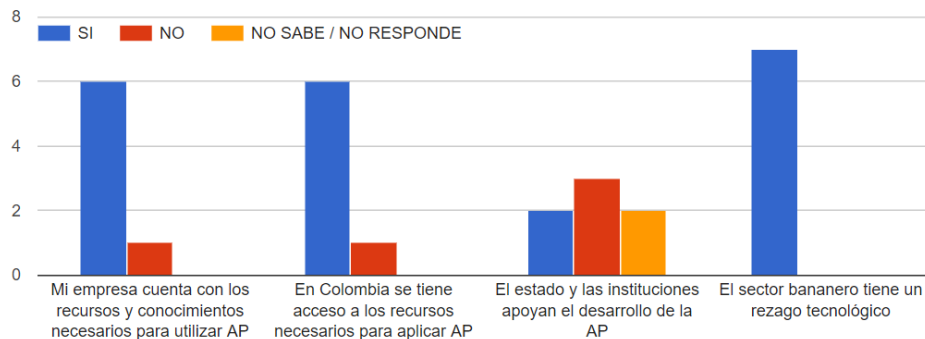


Figura 37. Recursos, conocimientos y apoyo del estado en AP

Sección 5. Implementación de la agricultura de precisión en el futuro: Esta sección se respondió solo por 2 encuestados, los cuales conocen la agricultura de precisión, pero no la

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

utilizan actualmente. El 100% planea implementarla, no obstante se tienen restricciones de presupuesto, conocimientos sobre el tema y/o se está en proceso de implementación (ver tabla 14)

Tabla 14. *Implementación de la agricultura de precisión a futuro*

	SI	NO
¿Planea implementar AP en el futuro?	2 (100%)	
¿Porque no utiliza actualmente AP?	<ul style="list-style-type: none"> • Respuesta 1: Mi empresa no dispone de un presupuesto actualmente para inversión en tecnología. En la empresa no tenemos el conocimiento suficiente para implementar AP • Respuesta 2: Estamos implementando tecnologías enfocadas a la agricultura de precisión 	

Los resultados obtenidos en la totalidad de las secciones permiten obtener varias conclusiones sobre la investigación exploratoria:

- ✓ El 100% de los encuestados conocen la agricultura de precisión.
- ✓ El sector bananero en Colombia no es propiamente un sector que se caracterice por la innovación y uso intensivo de tecnología.
- ✓ Los encuestados conocen de primera mano o por referencias los beneficios de la agricultura de precisión.
- ✓ Las empresas están medianamente preparadas para adoptar la agricultura de precisión, e igualmente se tiene un modesto apoyo de parte del estado y las instituciones.

Para el sector es positivo saber que las 5 principales comercializadoras del país (responsables por el 83% de las exportaciones) conocen la agricultura de precisión y están comenzando a implementarla y adaptarla. En Colombia las comercializadoras a través de sus áreas de

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

producción y calidad direccionan las diferentes prácticas en temas de producción, cosecha, empaque, etc., de ahí que sea muy factible encontrar una gran cantidad de productores adoptando agricultura de precisión en el corto y mediano plazo.

Conclusiones

El sector bananero en Colombia debe trabajar por actualizarse en tecnología y métodos de producción, es necesario alcanzar los niveles de productividad de Centroamérica y Ecuador para mantenerse en el mercado. Teniendo en cuenta la tendencia decreciente de los precios de importación en Europa, principal mercado a nivel mundial y con la mayor tasa de crecimiento, es importante revisar la forma de producir para mantener la rentabilidad y viabilidad del negocio.

La estrategia de adopción de mejores prácticas de producción, como utilizar nuevas herramientas tecnológicas, permite obtener una producción más sostenible en comparación con la agricultura convencional. El programa de fertilización bajo un enfoque de agricultura de precisión, hace un uso más racional de recursos, ahorrando costos de operación, además de disminuir el efecto de la contaminación al medio ambiente al limitar parcialmente la utilización de insumos químicos.

Tradicionalmente se habla de fincas, hectáreas o lotes a nivel de producción, es importante adoptar el concepto de UMAS para el manejo de la fertilización, control de plagas, diseño de sistemas de riego, etc.; reconociendo la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola.

Es clave identificar que aplicación escoger para iniciar un proyecto de agricultura de precisión, de tal forma que sus beneficios se puedan extender y compartir de forma

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

transversal no solo a la empresa privada, sino a la sociedad generando una externalidad positiva para el sector agrícola.

La agricultura de precisión según la literatura revisada ha tenido auge desde hace dos décadas, sin embargo, existen pocos estudios en Colombia que se hayan preocupado por cuantificar los efectos de esta en cuanto a productividad, rentabilidad o efectos ambientales.

El resultado obtenido en la finca objeto de estudio, fue un ahorro del 5% en el programa de fertilización con la aplicación de la agricultura de precisión, frente al manejo tradicional. La disminución en el uso de fertilizantes redundará en beneficios económicos y de efectos ambientales, permitiendo el retorno sobre la inversión realizada al adoptar la nueva tecnología.

Un programa de fertilización bajo el enfoque de tasa variable puede ser una alternativa para resolver la baja eficiencia en la aplicación de insumos químicos, generando efectos positivos que favorecen el desarrollo agrícola sostenible.

Los resultados de la encuesta permiten inferir que evidentemente se percibe un rezago tecnológico en el sector bananero, no obstante, el 100% de los encuestados conoce el concepto de agricultura de precisión y la mayoría ya lo está aplicando, lo que posiblemente permitirá reducir la brecha de productividad que se tiene frente a países centroamericanos, en un futuro cercano.

Sería posible replicar el caso de estudio a las más de 47.000 hectáreas del sector bananero en Colombia, posiblemente utilizando el fertilizante exacto para cada UMA, se tendrían unos mejores resultados en producción de biomasa, adicionalmente sería posible mejorar en lo que respecta a efectos ambientales.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

Este trabajo es el punto de partida para profundizar en las demás aplicaciones de la agricultura de precisión, buscando aumentar la competitividad no solo del sector bananero en Colombia sino de otros sectores que se podrían beneficiar de las experiencias adquiridas.

Bibliografía

- AGF Primeur. (2018). We need to work together to protect the Cavendish. *Primeur, Special edition Fruit Logistic 2018*, 66-68.
- Aubert, B., Schroeder, A., & Grimaudo, J. (2012). It as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems*, 54(1), 510-520.
- Augura. (2015). *Conyuntura Bananera 2015*. Medellín.
- Augura. (2016). *Conyuntura Bananera 2016*. Medellín.
- Balmford, A., Green, R., & Phalan, B. (2012). What conservationists need to know about farming. *Proceedings of the Royal Society*, 279(1739), 2714-2724.
- Banco de la República. (12 de 12 de 2017). Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/es/meta-inflacion>
- Banco Mundial. (2017). *Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial: <https://datos.bancomundial.org/indicador/ag.lnd.crel.ha>
- Bardhan, P., & Udry, C. (2006). *Development Microeconomics*. New York.
- Betteridge, K., Schnug, E., & Haneklau, S. (2008). Will site specific nutrient management live up to expectation? *Agriculture and Forestry Research*, 58, 283-294.
- Cámara de comercio de Urabá. (2014). *Informe socioeconómico 2014*. Apartado.
- Cambouris, A., Zebarth, B., Ziadi, N., & Perron, I. (2014). Precision agriculture in potato production. *Potato Research*, 57(3-4), 249-262.
- Cao, L., Yu, H., Ma, L., & Chen, G. (2012). Research fertility spatial-temporal evolution pattern and crop precision fertility based on spatio-temporal data mining. *2nd International Conference on Computer Science and Network Technology*, (págs. 86-89). Changchun.
- Castañeda, D. (2011). *Evaluación de métodos estadísticos para el desarrollo de una propuesta de manejo por sitio específico para banano*. Medellín.
- Cenicaña. (05 de 07 de 2017). *Cenicaña*. Obtenido de <http://www.cenicana.org/web/programas-de-investigacion/agronomia/geomatica/agricultura-de-precision>
- Censo Nacional Agropecuario. (2016). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Bogotá.
- Chen, C., Pan, J., & Lam, S. (2014). A review of precision fertilization research. *Environmental Earth Sciences*, 71(9), 4073-4080.
- Conpes 3577. (2009). *Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario*. Consejo Nacional de Política Económica y Social de la República de Colombia, Bogotá.
- Corporación Bananera Nacional. (2016). *CORBANA*. Recuperado el 10 de 2017, de Corbana: http://www.corbana.co.cr/categories/categoria_1348243853
- Crookston, R. (2006). A top 10 list of developments and issue impacting crop management and ecology during the past 50 years. *Crop Science*, 46(5), 2253-2262.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

- Damodaran, A. (12 de 12 de 2017). *Damodaran*. Obtenido de <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- DANE. (2017). *Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. DANE.
- Diacono, M., Rubino, P., & Montemurro, F. (2013). Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 219-241.
- Duhan, J., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., & Nehra, S. (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, 15, 11-23.
- Fairchild, D. (1988). Soil information System for farming by kind of soil. *Proceedings, International Interactive Workshop on Soil Resources: Their Inventory, Analysis and Interpretations for Use in the 1990's*, (págs. 159-164). Saint Paul (Minnesota, USA).
- Fairtrade. (2017). *Fairtrade*. Recuperado el 2018, de <http://www.sellocomerciojusto.org/es/empresas/queesfairtrade.html>
- FAO. (2004). *La economía mundial del Banano 1985 - 2002*. Roma.
- FAO. (2008). *Certification in the Value Chain for Fresh Fruits, The example of banana industry*. Roma.
- FAO. (2009). *Cómo alimentar al mundo en 2050*. Roma.
- FAO. (2013). *La Sigatoka negra en plátano y banano*. Cali.
- FAO. (2015). *Banana value chains in Europe and the consequences of Unfair Trading* .
- FAO. (2015). *World fertilizer trends and Outlook to 2018*. Roma. Obtenido de www.fao.org/publications
- FAO. (26 de Octubre de 2016). www.fao.org. Recuperado el Noviembre de 2017, de <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/447827/>
- FAO. (2017). *Banana Market Review*. Roma.
- FAO. (2017). *Banana Statistical Compendium 2016 - 2015*. Roma.
- FAO. (2017). www.fao.org. Obtenido de <http://www.fao.org/world-banana-forum/es/>
- Fedearroz. (2012). *Adopción masiva de tecnología*. Bogotá: Mvd.
- Fernandez, A. &. (2006). Teoría evolucionista y sistemas de información. *Información Comercial Española*.
- Frison, E., Escalant, J., Sharrock, S., & Jain, S. (2004). The global Musa genomic consortium: a boost for banana improvement. Banana improvement: cellular, molecular biology, and induced mutations. In 'Proceedings of a Meeting', (págs. 341-349). Leuven, Belgium.
- Gallardo, D. (2011). *Metodología para el cálculo del WACC y su aplicabilidad en la valoración de inversiones de capital, en empresas no cotizantes en bolsa*. Cali: Universidad ICESI.
- García, O. (2003). *Valoración de empresas, gerencia del valor y EVA*. Medellín: Digital Express Ltda.
- Haneklaus, S., & Schnug, E. (2002). An agronomic, ecological and economic assessment of site-specific fertilisation. *Landbauforschung Volkenrode*, 52(3), 123-133.
- Hedley, C. (2015). The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 12-19.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. Iztapalapa: McGraw Hill.
- Hurtado R, R. V. (2009). La agricultura de precisión al servicio del manejo agronómico de la palma de aceite. *Palmas*, 30, 11-20.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

- ICA . (2013). *Instituto Colombiano Agropecuario*. Obtenido de www.ica.gov.co:
<https://www.ica.gov.co/Periodico-Virtual/Prensa/2013/El-Ministerio-de-Agricultura,-el-ICA-y-los-bananes.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (s.f.). *ICA*. Recuperado el Octubre de 2017, de ICA:
[https://www.ica.gov.co/Alertas-Fitosanitarias/Alertas-Fitosanitarias/Detalle-alerta-fitosanitari/Epidemia-en-Filipinas-y-China-de-Fusarium-oxys-\(1\).aspx](https://www.ica.gov.co/Alertas-Fitosanitarias/Alertas-Fitosanitarias/Detalle-alerta-fitosanitari/Epidemia-en-Filipinas-y-China-de-Fusarium-oxys-(1).aspx)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2007). *Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas, Urabá departamento de Antioquia*. Bogotá: IGAC.
- Li, M., & Chung, S. (2015). Special issue on precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112, 1.
- Lindblom, J., Lundstro, C., Ljung, M., & Jonsson, A. (2017). Promoting sustainable intensification in precision agriculture: Review of decision support systems development and strategies. *Precision Agriculture*, 18, 309-331.
- Machovina, B., Feeley, K., & Machovina, B. (2016). UAV remote sensing of spatial variation in banana production. *Crop and Pasture Science*, 67, 1281-1287.
- Markoski, M., Arsov, S., Mitkova, T., & Janeska, S. (2015). The benefit GIS technologies and precision agriculture principles in soil nutrient management for agricultural crop production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 21(3), 554-559.
- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., & Bouma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6(1), 7-23.
- Mejía J, M. R. (2003). Agricultura de precisión en el cultivo de banano. *Boletín Técnico Cenibanano*, 13,14.
- Minzan Li, S.-O. C. (2015). Special issue on precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112, 1.
- Montesinos, S. (2015). Aplicaciones operativas de los drones en Agriculturas de precisión. Lecciones aprendidas. *XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, (págs. 629-632). Sevilla.
- Mulla, D. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358-371.
- Munar, O., Morales, O., & Castañeda, D. (2010). Use of field-integrated information in GIS-based maps to evaluate moko disease (*Ralstonia solanacearum*) in banana growing farms in Colombia. *Crop Protection*, 29, 936-941.
- Munévar, F., López, A., Rochels, B., Villamizar, O., & Reyes, A. (2011). El impacto del manejo agronómico integral en la productividad de la palma de aceite en Palmas Montecarmelo. *Palmas*, 4, 42-51.
- Pahlmann, I., Böttcher, U., & Kage, H. (2017). Developing and testing an algorithm for site-specific N fertilization of winter oilseed rape. *Computers and Electronics in Agriculture*, 136, 228-237.
- Pierce, F., & Nowak, N. (1999). 1999. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, 67, 1-85.
- Pierpaoli, E., Carli, G., Pignatti, E., & Canavari, M. (2013). Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. *Procedia Technology*, 8, 61-69.
- Pindyck, R., & Rubenfield, D. (2013). *Microeconomía*. España: Pearson.
- Plant, R. (2001). The application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1-3), 9-29.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

- Rataj, V., & Galambosova, J. (2011). Economical assessment of information in precision agriculture. *Papers Presented at the 8th European Conference on Precision Agriculture*. Nitra, Slovakia.
- Reuter, H., & Kersebaum, K. (2009). Applications in Precision Agriculture. *Developments in Soil Science*, 33, 623-636.
- Rezaei-Moghaddam, K., & Salehi, S. (2010). Agricultural specialists' intention toward precision agriculture technologies: Integrating innovation characteristics to technology acceptance model. *African Journal of Agricultural Research*, 5(11), 1191-1199.
- Robert, P. (2002). A challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*, 247(1), 143-149.
- Rogers, A. A., Ancev, T., & Whelan, B. (2016). Flat earth economics and site-specific crop management: How flat is flat? *Precision Agriculture*, 17(1), 108-120.
- Sanchez, J., & Mira, J. (2013). *Principios para la nutrición del cultivo de banano*. Medellín: Augura.
- Schawb, K. (Octubre de 2016). *Foro Económico Mundial*. Obtenido de <https://www.weforum.org/es/agenda/2016/10/cuatro-principios-de-liderazgo-de-la-cuarta-revolucion-industrial/>
- Schmoldt, D. (2001). Precision agriculture and information technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1-3), 5-7.
- Schumpeter, J. (1978). *Teoría del desenvolvimiento económico*. Mexico: Fondo de cultura económica.
- Schumpeter, J. (1996). *Capitalismo, socialismo y democracia*. Barcelona: Ediciones Folio.
- Seielstad, G., Laguette, S., Seelan, S., Lawrence, R., Nielsen, G., Clay, D., & Dalsted, K. (2002). Applications of remote sensing to precision agriculture with dual economic and environmental benefits. Proceedings of SPIE. *The International Society for Optical Engineering*(4542), 261-266.
- Sinfield, J., Fagerman, D., & Colic, O. (2010). Evaluation of sensing technologies for on-the-go detection of macro-nutrients in cultivated soils. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1), 1-18.
- Smil, V. (2002). Nitrogen and food production: Proteins for human diets. *Ambio*, 31(2), 126-131.
- Stafford, J. (2000). Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3), 267-275.
- Supersociedades. (12 de 12 de 2017). *Superintendencia de Sociedades (SIREM)*. Obtenido de <http://sirem.supersociedades.gov.co:9080/Sirem2/index.jsp>
- Tamayo, M., & Piñeros, J. (2007). Formas de integración de las empresas. *Ecos de Economía* # 24, 22 - 45.
- Tey, Y., & Brindal, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13(6), 713-730.
- Tozer R, P. (2009). Uncertainty and investment in precision agriculture – Is it worth the money? *Agricultural Systems*, 100, 80-87.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (Junio de 2017). *United Nations*. Recuperado el Noviembre de 2017, de United Nations: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>
- Wei, W., & Baoluo, M. (2015). Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Science of The Total Environment*, 512, 415-427.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

- Whelan, B., McBratney, A., & Boydell, B. (1997). The Impact of Precision Agriculture. *Proceedings of the ABARE Outlook Conference*, (págs. 5-7). Moree, UK, July.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 113-132.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

ANEXO A. Carta de invitación a participar en la encuesta electrónica.**Medellín, Diciembre de 2017****Asunto: Investigación sobre Agricultura de Precisión en el sector bananero en Colombia.**

Es grato invitarlo(a) a participar en el proyecto denominado “Efecto de la Agricultura de precisión en el programa de fertilización en una finca bananera en el Urabá Antioqueño”, trabajo de grado realizado como requisito para obtener el título como Magíster en Economía Aplicada de la Universidad EAFIT de Medellín.

El objetivo del proyecto es medir el efecto de la Agricultura de Precisión (AP) en la fertilización en una finca productora de banano en Urabá. Adicionalmente, por medio de esta encuesta se busca realizar un diagnóstico sobre el grado de conocimiento y utilización de la AP en el sector.

Este proyecto de grado puede ser el punto de partida para nuevas investigaciones sobre AP y sus aplicaciones, buscando mejorar la competitividad del sector agroindustrial en Colombia.

Consideraciones importantes:

- ✓ La información suministrada es confidencial de uso exclusivo para el proyecto.
- ✓ No se requiere información sensible de tipo personal o de su empresa (para efectos del estudio y reporte final, tanto participantes como empresas serán anónimos).
- ✓ La participación será por medio de una encuesta electrónica (tiempo estimado de diligenciamiento: 5 minutos).

Si tiene alguna pregunta respecto a la elaboración del documento, por favor escribir al siguiente correo:

jgjimenez@uniban.com.co. Gracias por su participación en este trabajo académico y por el tiempo destinado a diligenciar la encuesta.

Cordialmente

Jamei Alcazar R.

J. I. N.

APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BANANO

James Alcaraz

Juan G Jiménez