

OPTIMIZACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE AGUACATE CV. 'HASS' (PERSEA AMERICANA MILL.)

Durley Ruíz Arredondo¹, Pedro Andrés Rengifo Mejía²

¹ Servicio Nacional de Aprendizaje. Semillero de investigación de Agropecuaria y Agroindustria-SIAGRO, Tecnólogo Producción Agrícola, durley.arr@hotmail.com.

² Servicio Nacional de Aprendizaje. Instructor Área Agropecuaria. Semillero de investigación de Agropecuaria y Agroindustria-SIAGRO, I.A. Esp. GIS, parengifo66@misena.edu.co.

RESUMEN

La fertilización del aguacate cv. 'Hass' presenta deficiencias por el no uso del análisis de suelos y la carencia de planes de fertilización. Este estudio evaluó la aplicabilidad de la programación lineal, empleando el complemento Solver de la herramienta ofimática de Microsoft Excel, para el mejoramiento de los planes de fertilización y minimizar los costos de los fertilizantes. Se recolectó información en las fincas de 10 productores, se elaboraron planes de fertilización con base en análisis de suelos existentes y se comparó con la fertilización y costos de las fincas objeto del estudio. Se aplicó la programación lineal mediante el complemento Solver, obteniéndose como resultados la disminución tanto de productos fertilizantes como de los costos de las fertilizaciones por hectárea y por árbol de aguacate.

Palabras clave: Aguacate, Costos, Nutrición, Programación lineal, Solver.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación aplicada es una herramienta formativa que desarrolla SENNOVA a través de diferentes proyectos de formación (SENNOVA-SENA, 2018). El objetivo de la investigación aplicada, es el contribuir a la actualización y mejora de la formación profesional integral, impartida en el SENA (Ley 119, 1994).

Uno de los enfoques que ha tenido la investigación aplicada a través de los proyectos formativos en el Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación, ha estado dirigido a la optimización de los recursos en el sector agropecuario. Una de las herramientas que existen

para resolver problemas de optimización se conoce como la programación lineal (PL) (Wayne, 2006). A través del método Simplex, dicha herramienta ayuda a encontrar la manera más adecuada para comparar los recursos y optimizar el valor de una función a la cual se le denomina función objetivo (Castorena, Ochoa & Morales, 2011). Según Pérez & Patiño (2012), la programación lineal ayuda a encontrar la manera más adecuada para comparar los recursos y optimizar el valor de una función llamada la función objetivo. Además, la hoja de cálculo más difundida en el mercado es Excel, que viene incluida en el paquete Office de Microsoft. El método simplex, con la ayuda del computador, puede resolver problemas de programación lineal hasta de varios millares de variables y restricciones (García, 1999). El Excel incluye una herramienta llamada Solver que aplica el método simplex para encontrar una solución óptima (Hillier & Lieberman, 2010, p.58).

Un estudio de línea base realizado en el municipio de Sonsón, Antioquia, relaciona que sólo el 31% de los productores realiza análisis edáfico y el 6% foliar (Establecimiento de la línea base, 2017).

Salazar(2009), manifiesta que las recomendaciones de fertilización empleadas en las distintas regiones productoras de aguacate son muy generales y tienden a ser usadas en grandes superficies plantadas, sin considerar las variaciones en la fertilidad de los suelos ni la condición nutrimental de los árboles. Esto ocasiona que frecuentemente se apliquen menos nutrientes que los necesarios para alcanzar la máxima producción de los huertos o que se incurra en la sobre-fertilización, propiciando desbalances nutrimentales, que además de limitar la productividad, contaminan los mantos acuíferos, especialmente con nutrientes fácilmente lixiviables como el nitrógeno.

Diversas investigaciones han mostrado la importancia de los índices nutrimentales foliares para la óptima producción de fruto (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 1999). Sobre aspectos específicos en la fertilización, la fertilización también tiene una gran importancia en la inducción floral y en general en la producción (Dussan, 2014).

La normatividad relacionada con los cultivos de aguacate destaca la importancia de diseñar un plan de fertilización para la nutrición del cultivo basado en el análisis de suelo y los requerimientos de la especie sembrada (Resolución 31021 ICA, 2017) y también cumplir con la resolución como predio exportador (Resolución ICA 448, 2017).



Según el ICA, el desarrollo de un plan de fertilización para el aguacate debe soportarse en el análisis de suelo y foliar del cultivo, así como en su historial de producción, debidamente documentado (Vigilancia tecnológica, 2017).

La mayoría de productores de aguacate en Colombia desconoce y otro tanto no aplica criterios básicos para el manejo de la fertilización de sus cultivos que, sumado a otras prácticas de manejo deficientes (aplicación de riego, manejo de plagas y enfermedades, labores de cosecha oportunas, entre otros), convierten al aguacate en un cultivo con bajo nivel de tecnificación. Para 2015 se obtuvo a nivel nacional un rendimiento promedio de 9,5 Ton/Ha (Agronet, 2016), que se considera una baja producción en relación con el rendimiento potencial, reportado en 32,5 Ton/Ha (Rebolledo & Dorado, 2017).

Una herramienta que puede ser empleada para el uso eficiente de los fertilizantes en los programas de fertilización de los cultivos, es la programación lineal, lo que se constituye en una base para los programas de manejo sustentable y manejo óptimo de los recursos económicos dentro de la empresa agropecuaria, de allí la pertinencia del mismo.

El objetivo de este trabajo fue analizar la aplicación de la programación lineal en la optimización de los planes de fertilización de 10 productores de aguacate de la Asociación de Aguacateros del municipio de Abejorral (ASOA), Antioquia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

LUGAR DE ESTUDIO

Para el desarrollo del trabajo se utilizó un método investigativo cualitativo de acción participativa, con una muestra de 10 fincas al azar (Tabla 1), ubicadas en el oriente antioqueño, municipio de Abejorral y que contaron con mínimo un análisis de suelos de un lote de la finca.

Tabla 1. Descripción de las fincas participantes en el estudio.

Nombre Finca	Vereda	Altura sobre el nivel del mar	Latitud N	Longitud W	Área total de la finca (Ha)	Edad Promedio de los árboles de aguacate
La Nubia	La Esperanza	2146	5°45'54.5"	75°25'54.5"	14,4	7
La Compañía	La Esperanza	2214	5°46'89"	75°25'36.6"	19	1,5
El Aguacate	La Polca	2166	5° 46' 32.844"	75° 22' 54.372"	2,5	7
La Paz	La Polca	2152	5° 46' 19.38"	75° 23' 2.616"	4	3,5
Terralpaltá	La Esperanza	2229	4° 35' 46.32"	74° 4' 39"	56,96	4,5
Popal Villa Paula	La Labor	2200	5° 47' 48.588"	75° 25' 33.492"	5,4	3,5
La Montañita	San Bernardo	2100	9°74'25,5"	75°28'26,6"	5	7
La Puerta del Burro	La Labor	2232	5°47'34,6"	75°25'03,4"	9	7
Bellavista	San Antonio	2216	5°46'44,4"	75°25'11,05"	11	4,5
El Guarango	San José	2082	5°49'34,0"	75°27'54,8"	50	7

Fuente: Elaboración propia.

ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La recolección de los datos se realizó mediante encuestas en el mes de abril del año 2018, donde se obtuvieron datos como información general de la finca, georreferenciación, área cultivada en aguacate, variedades, edades, formas y distancias de siembra, patrones, existencia o no de análisis de suelos y foliares. Con respecto a la fertilización se recogió información acerca de las fuentes de nutrientes, dosis y épocas de aplicación, se evaluó la productividad al momento de la realización de la encuesta.

El análisis de datos se realizó mediante elaboración de planes de fertilización, uso del complemento Solver de la herramienta ofimática Excel, una plantilla para el ingreso de datos, comparación con tablas y alimentación con la información copiada en diferentes agrotiendas en el municipio de Abejorral.

El complemento Solver tiene una serie de menús, los cuales, mediante su alimentación con los datos copiados, permite o bien maximizar, minimizar o darle un criterio a la función objetivo. Para la investigación se minimizó los costos y las restricciones se ubicaron como mayores o iguales a los nutrientes puros requeridos.



ELABORACIÓN DEL PLAN DE FERTILIZACIÓN

Con los datos del análisis de suelos, para cada elemento mediante un paso a paso donde se obtienen las cantidades expresadas en el análisis en ppm o miliequivalentes por 100 gramos de suelo se convierten a la cantidad presente en el suelo en kilogramos por hectárea y luego a estas cantidades se restan los requerimientos del cultivo del aguacate, para obtener la cantidad requerida por el cultivo expresada en kilogramos de nutriente puro por hectárea. A continuación, se puede convertir esa cantidad a un fertilizante, teniendo en cuenta la eficiencia del mismo. Para la investigación se emplearon los valores de extracción y eficiencia propuestos por Rebolledo (2017), (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de extracción de nutrientes en un cultivo de aguacate cv. 'Hass' (rendimiento 10 Ton/ha) y eficiencia de cada elemento.

Elemento	Extracción (kg/ha)	Eficiencia (%)
Nitrógeno	94,56	50
Fósforo	22,08	10
Potasio	105,9	70
Azufre	16,41	80
Calcio	14,22	60
Magnesio	5,49	60
Hierro	0,222	80
Cobre	0,09	80
Manganeso	0,06	80
Zinc	0,135	80
Boro	0,111	80

Fuente: Rebolledo, 2017.

ESTIMACIÓN DE LA COSECHA

De 90 árboles escogidos al azar dentro del lote, se contaron todos los frutos presentes en cada árbol. Posteriormente se tomaron 5 frutos al azar del lote y se pesaron para luego obtener el peso promedio de un fruto. Para la obtención de la estimación de la cosecha, se multiplica el total de frutos contados en los 90 árboles por el peso promedio de un fruto, a este resultado se debe multiplicar el número de árboles del lote y dividir esto por 90. El resultado se divide por 1000, para obtener las toneladas por hectárea. Estos resultados de estimación de cosecha, se relacionan con el momento en que se toman los datos, la edad promedio del cultivo, estados o periodos que presente este en cuanto a su comportamiento fisiológico y las prácticas agronómicas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El proceso de toma de datos en Abejorral se realizó en campo por parte de los aprendices bajo la metodología de investigación participativa.

a.



b.



Figura 1. Toma de datos con los productores en sus fincas (a); Evaluación de la productividad, mediante estimación de la cosecha (b).

ELABORACIÓN DEL PLAN DE FERTILIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA COSECHA

En la **Tabla 3**, se presentan las fincas participantes y el resultado de los nutrientes puros requeridos dentro de los planes de fertilización realizados.

Tabla 3. Resultado para las fincas en nutrientes puros, para el cultivo de aguacate cv. 'Hass' del municipio de Abejorral.

Nombre Finca	Vereda	Cálculo Nutriente Puro a aplicar en base al análisis de suelos (Kg/ha)										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
La Nubia	La Esperanza	75,42	16,58	54,42	-337,8	-56,55	15,31	-48,2	-0,13	-3,24	-0,965	0,045
La Compañía	La Esperanza	67,7	13,08	-118,7	-417,8	-170,9	-8,79	-227	-3,51	-5,34	-17,87	-0,789
El Aguacate	La Polca	86	3,24	-434,6	-2,091	-176	-33	-42,5	-2,016	-8,38	-39,29	-0,339
La Paz	La Polca	68,64	-39,12	105,5	1,98	-102,5	14,61	-133	-7,11	-14,4	-23,34	0,429
Terrapalta	La Esperanza	87,81	9,12	105	-2002	-273,2	5,25	-3,38	-1,71	-28,7	-13,91	-0,681
Popal Villa Paula	La Labor	65,75	19,02	-90,66	-666,2	-106,8	-1,59	-17,8	-1,71	-30,5	-7,605	0,057
La Montañita	San Bernardo	70,8	-4,92	-371,5	-10,86	-1,075	-52	-527	17,91	-1,67	1,74	1,6
La Puerta del Burro	La Labor	80,45	20	28,68	-345,8	-78,75	-5,82	-12	-0,4	-0,35	-0,459	-1,329
Bellavista	San Antonio	55,1	13,08	-462,7	-381,8	-167,3	-23,2	-514	-3,51	-7,07	-3,54	-0,717
El Guarango	San José	63,78	0,48	-266,2	-21,78	-37,71	11,01	-201	-8,91	-16,1	-19,74	-0,141

Se presenta un ejemplo del resultado del ingreso de los datos en la plantilla de la hoja de cálculo y la obtención del costo mínimo para una determinada mezcla de fertilizantes por hectárea. En esta plantilla se ingresan los contenidos de cada fertilizante, las restricciones Mg (en este caso el nutriente puro requerido) y los precios al momento de realizar la optimización con el complemento Solver de programación lineal (Tabla 4a).

Así para la finca anteriormente ejemplificada, el complemento Solver entrega una combinación de los fertilizantes de urea, precisagro, yeso, borozinco y campofos, con un costo mínimo de \$170.052 pesos COP por hectárea. En la Tabla 4b, se presenta una comparación, entre los resultados para cada finca con el complemento Solver, basados en el análisis de suelos y el plan de fertilización y las aplicaciones que realizan los productores.

En promedio los productores invierten en su fertilización por cada árbol de aguacate cv. 'Hass' cerca de \$76.984 pesos COP. Además, con respecto a esto los aprendices comentan que observaron que los productores muchas veces no emplean los análisis de suelos. De los diez productores participantes sólo uno (1) se observó con un plan de fertilización, los demás hacen las aplicaciones muchas veces sin tener en cuenta

las recomendaciones de un profesional, o siguen las recomendaciones parcialmente o las cambian, entre otros.

Tabla 4. Ejemplo de empleo del complemento de optimización Solver (a), comparación entre la fertilización aplicada por los productores y la recomendada por la aplicación Solver para aguacate cv. 'Hass' en el municipio de Abejorral (b).

a.

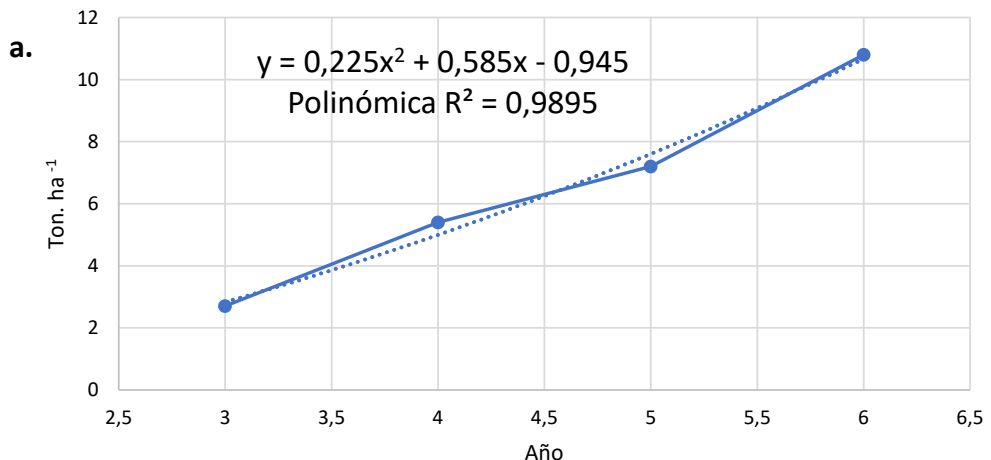
Análisis con el complemento Solver para aplicar programación lineal a la fertilización en Aguacate														
CALCULO DE FERTILIZANTES SIMPLES+COMPUESTOS+MENORES CON COSTO MÍNIMO														
FERTILIZANTE	COMPOSICIÓN												Costo Producto \$ por bultos	Cantidad Producto para la mezcla en bultos
	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B			
UREA NUTRIMON	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 65.000	1,03
NITRABOR	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 82.000	0,00
DAP NUTRIMON	18	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 89.000	0,00
KLC PRECISAGRO	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 62.000	0,00
15 MENORES	15	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 71.500	0,00
PRECISAGRO 11-30-10	11	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 72.800	0,00
PRECISAGRO 13-26-6	13	26	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 68.500	0,00
PRECISAGRO 17-6-18	17	6	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 62.000	0,00
PRECISAGRO 25-4-54	25	4	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 66.000	1,01
CAL DOLOMITA	0	0	0	0	55	35	0	0	0	0	0	0	\$ 8.600	0,00
10-20-30 PRECISAGRO	10	20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 72.500	0,00
15-4-23 PRECISAGRO	15	4	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 65.000	0,00
31-8-8 PRECISAGRO	31	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 67.500	0,00
10-20-20 PRECISAGRO	10	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 68.500	0,00
31-8-8 DIABONO	31	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 68.000	0,00
NITRASAM	28	4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 71.000	0,00
YESO	0	0	0	16	30	0	0	0	0	0	0	0	\$ 15.800	0,95
NUTRIMON 17-6-18	17	6	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 79.000	0,00
INTEGRADOR	15	9	20	9,5	0	1,8	0	0	0,02	0,02	0,015	0	\$ 96.000	0,00
HIDROCOMPLEX	11	11	18	0	8	0	0	0	0	0	0	0	\$ 120.000	0,00
BOROZINCO	0	0	0	6	0	0	0	0,5	0	15	2,5	0	\$ 87.000	0,02
NITROEXTED	40	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 69.000	0,00
NITROCALCIO	15,5	0	0	0	11,5	0	0	0	0	0	0	0	\$ 36.000	0,00
AGRIMINS	8	5	6	16	180	0	0	7,5	0	0	0	0	\$ 81.000	0,00
10-20-20 NUTRIMON	10	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 88.000	0,00
15-4-23 NUTRIMON	15	4	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 76.500	0,00
25-15-0-20 NUTRIMON	25	15	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 78.500	0,00
MICROESENCIAL	12	40	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 98.000	0,00
BLKRN 50/25	16	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 246.000	0,00
NUTRI3	25	4	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 63.000	0,00
CAMPOFOS	12	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 84.000	0,24
DRIPLEX	13	40	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$ 320.000	0,00
	75,4	18,6	54,4	15,3	28,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0			
Restricciones	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=		Costo Mínimo de la Mezcla	
Requerimiento por Analisis	75,42	18,58	54,42	15,31	0	0	0	0	0	0	0	0,045		
Datos del Plan de Fertilización	75,42	18,58	54,42	15,31	-337,78	-56,55	-48,17	-0,13	-3,24	-0,96	0,045		\$ 170.052	
Requerimiento base	94,560	22,080	105,900	16,410	14,220	5,490	0,222	0,090	0,060	0,135	0,111			



b.

		PRODUCTOR		OPTIMIZACIÓN CON SOLVER			
Nombre Finca	No. De árboles/Ha	\$/Ha	\$/árbol	\$/ha	\$/árbol	Edad Promedio de los cultivos de aguacate Hass en la finca (años)	Productividad real presentada(Ton/ha)
La Nubia	321	\$ 15.509.757	\$ 48.317	\$ 170.052	\$ 530	7	4,12
La Compañía	236	\$ 8.300.356	\$ 35.171	\$ 110.025	\$ 466	1,5	1,5
El Aguacate	156	\$ 23.536.812	\$ 150.877	\$ 125.083	\$ 802	7	0,41
La Paz	321	\$ 22.290.882	\$ 69.442	\$ 176.365	\$ 549	3,5	1,1
Terrapalta	333	\$ 52.040.241	\$ 156.277	\$ 201.417	\$ 605	4,5	3,03
Popal Villa Paula	462	\$ 5.799.948	\$ 12.554	\$ 115.797	\$ 251	3,5	3,02
La Montañita	204	\$ 15.039.900	\$ 73.725	\$ 319.183	\$ 1.565	7	2,6
La Puerta del Burro	204	\$ 32.861.340	\$ 161.085	\$ 149.668	\$ 734	7	0,66
Bellavista	400	\$ 12.606.800	\$ 31.517	\$ 92.235	\$ 231	4,5	1,54
El Guarango	204	\$ 6.297.480	\$ 30.870	\$ 90.651	\$ 444	7	1,68
Promedio	284,1	\$ 19.428.352	\$ 76.984	\$ 155.048	\$ 618	5,25	1,97

De acuerdo a los datos de información agronómica de 2001, que relaciona la productividad promedio del aguacate de acuerdo a su edad (sin especificar la variedad), se analizaron los datos del rendimiento promedio para el aguacate en edades jóvenes (entre el tercer y sexto año). Con esta información se construyó una gráfica de tendencia de tipo polinómico (que representa mejor los datos) con un coeficiente de correlación R^2 de 0,989 (Figura 2a), que fue empleada para comparar la productividad presentada en cada finca (datos reales) respecto a la producción modelada (Figura 2b).



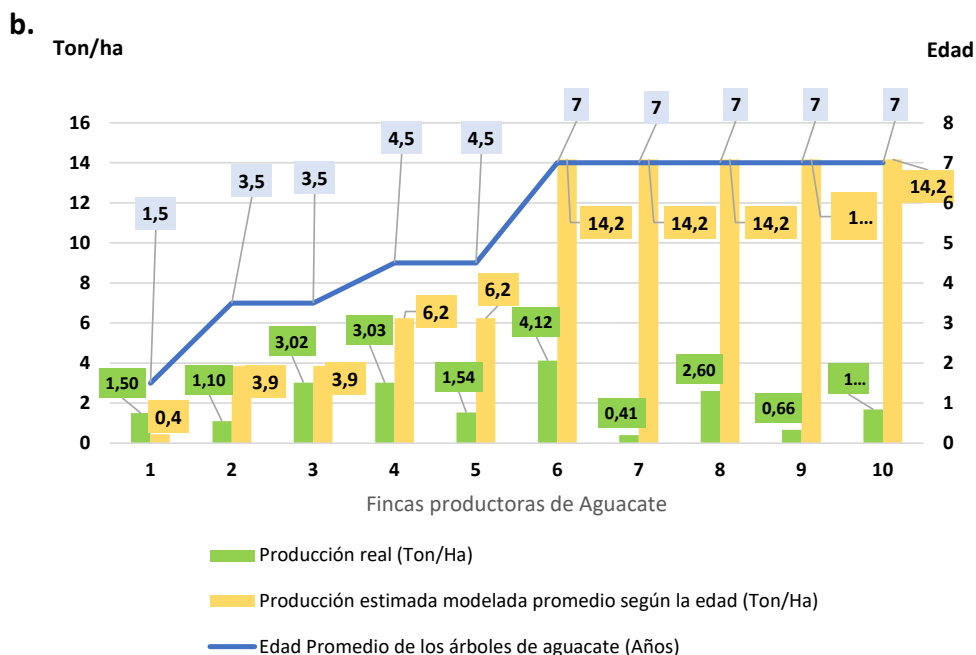


Figura 2. Rendimiento promedio esperado y línea de tendencia polinómica (a), producción (Ton/Ha) versus la producción modelada de acuerdo a la edad para 10 productores del municipio de Abejorral (b).

El complemento Solver, permitió obtener una reducción importante en los costos, cerca de \$618 pesos COP por árbol en promedio frente a los \$76.984 pesos por árbol en promedio que tienen los productores de aguacate cv. 'Hass' participantes del estudio del municipio de Abejorral. Esta reducción en los costos, está en concordancia con lo reportado por Zamora et al., (2005), quienes demostraron mediante programación lineal una reducción de los costos en el diseño de sustratos, reduciendo de esta manera el número de mezclas por analizar hasta en un 93%, además de que permitió minimizar los costos de producción maximizando resultados. En un estudio con café, se mostró una reducción de 38,52% en los costos de fertilización.

En la Tabla 5. Se presenta la diferencia entre la aplicación de los fertilizantes de los productores y la propuesta de optimización con Solver. Al aplicar las cantidades correctas, además, se contribuye con los riesgos ambientales que se pueden presentar al aplicar sobredosis de estos insumos.

Tabla 5. Promedio de aplicación de fertilizante (Kg/árbol) por los productores frente al complemento Solver.

Productor	Kilos aplicados productores/árbol	Solver
1	3,25	0,5
2	24	0,34
3	21,8	0,6
4	21,2	0,47
5	114	0,47
6	46,16	0,18
7	14	1
8	29,01	0,54
9	13,38	0,16
10	13,38	0,34
30		0,46
30000 gramos / árbol		460 gramos / árbol

4. CONCLUSIONES

Se determinó la importancia del correcto uso del análisis de suelos y junto con este del plan de fertilización para el cultivo de aguacate cv. 'Hass' en el municipio de Abejorral. Se observaron altos incrementos en los costos de fertilización por incorrectas recomendaciones y planificaciones de la fertilización por parte de los productores de aguacate de la región.

El uso de la herramienta de optimización con Solver permite incluir los costos de los fertilizantes (actualizados) en las recomendaciones para los productores para la toma de decisiones, disminuir costos y aplicar dosis que no generen afectaciones al medio ambiente.

El estudio permitió a los aprendices SENA Tecnólogo de Producción Agrícola, profundizar en las competencias sobre suelos y fertilización. Esta investigación es un importante insumo para los productores de aguacate cv. 'Hass'. Se espera realizar futuras profundizaciones y aplicar el mismo modelo a otras regiones, así como a otras variedades de aguacate y otras especies.

5. REFERENCIAS

- Bernal E., J. A. (2016). Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Antioquia, Colombia.
- Castorena M., Valentín, R., Ochoa H., M. B., Morales G., M. (2011). Investigación de Operaciones. México McGraw-Hill.
- Dussan B., C. A. (2014). Técnicas de inducción floral como mecanismo para la programación de cosechas de aguacate Hass producidos en la zona marginal alta cafetera. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Dosquebradas, Risaralda. Colombia
- Establecimiento de la línea base de predios productores de aguacate en el Municipio de Sonsón (Antioquia). (2017). SENA Centro de la Innovación La Agroindustria y la Aviación-SENA Emprende Rural-AGROSENA. Sonsón, Antioquia.
- García V., R. J. (1999). Evaluación de opciones de producción comercializables: Uso de la programación lineal con pequeños productores de laderas. Universidad Zamorano, Zamorano, Honduras.
- Granados H., A. M. (2013). Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el Departamento del Tolima. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Hillier, F., Lieberman, G. (2010). Introducción a la Investigación de Operaciones. México: McGraw-Hill.
- Información agronómica de los cultivos representativos del Departamento para la realización de las evaluaciones agrícolas semestrales. (2001). Unidad Regional de Planificación Agropecuaria URPA. Secretaría de Agricultura y Pesca Departamento del Valle del Cauca; 2da Edición. 48 p,
- Ley 119 del 9 de febrero 1994. (2018). Agencia Pública de Empleo. Recuperado de <https://agenciapublicadeempleo.sena.edu.co/Normatividad/Ley%20119%20de%201994.pdf>



Pérez S., E., Patiño D., M. R. (2012). Optimización. Medellín: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Rebolledo R., A., Dorado G., D. Y. (2017). Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de Aguacate Hass con un enfoque tecnificado. CORPOICA, Mosquera. Cundinamarca.

Resolución ICA 448 (20 de enero de 2016). Requisitos predio exportador. Luis Humberto Martínez Lacouture.

Resolución ICA 30021 (28 de abril de 2017). Requisitos para la certificación en buenas prácticas agrícolas. Luis Humberto Martínez Lacouture.

SENNOVA-SENA. (2018). Tecnología-Innovación. Recuperado de <http://www.sena.edu.co/es-co/formacion/Paginas/tecnologia-innovacion.aspx> [agosto 10, 2018].

Vigilancia estratégica y análisis del sector aguacate. (2017). Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación. Servicio Nacional de Aprendizaje. SENA. Rionegro. Antioquia.

Wayne L, W. (2006). Investigación de Operaciones Aplicaciones y Algoritmos. México: Ed. Thomson.

Zamora M., B. P., Sánchez G., P., Volke H., V. H., Espinosa, V., D., & Galvis S., A. (2005). Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. *Interciencia*, 30(6), 69-81. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000600011&lng=es&tlng=pt. [septiembre 14, 2018].