

Evaluación de la aplicación de madurantes en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a través de la tecnología DRONE

Carlos Nerio López

Diego Fernando Becerra

Trabajo de grado para optar por el título de Agrónomo

Director

Milton Cesar Ararat A. Ph.D

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuaria y del medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2022

Dedicatoria

Los autores dedican este trabajo a sus familias, esposas e hijos quienes, con su complicidad y apoyo incondicional, han sido parte fundamental para finalizar este sueño.

Carlos Nerio López, Diego Fernando Becerra.

Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos:

Al director del trabajo de grado, Dr. Milton Cesar Ararat, por la dedicación y apoyo brindó para el desarrollo de este trabajo. A la Universidad Nacional Abierta y distancia y a los tutores, por formarnos como profesionales. Al señor Edison Uzurriaga Peña propietario de la hacienda donde se llevó a cabo esta investigación.

Resumen

El trabajo es un estudio descriptivo y de tipo investigación mixta; tiene como objetivo, evaluar la aplicación de madurantes en el cultivo de caña de azúcar a través de la tecnología DRONE en el municipio Villa Rica (Cauca). El uso de esta herramienta, ofrece una estrategia diferente a los pequeños agricultores, poniendo en práctica una tecnología que permite realizar aplicaciones de productos madurantes en cultivo de caña de azúcar, en áreas con problemas técnicos y económicos, menores a 3,0 hectáreas. En ese orden de ideas, es preciso orientar al agricultor en el uso del DRONE para la aplicación de madurantes en sus respectivos cultivos. Este trabajo de investigación, presenta al DRONE como una alternativa tecnológica de alta precisión, que apoya significativamente los procesos de agricultura, toda vez que cuenta con una alta capacidad en la aplicación de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar, lo que termina siendo de gran beneficio, tanto para el agricultor como para los cultivos. El uso de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), se ha convertido en una práctica muy importante y común en todos los ingenios de la agroindustria azucarera colombiana; tanto así, que es uno de los factores principales, incidentes en el incremento del rendimiento de azúcar por tonelada de caña.

Palabras clave: DRONE, agricultura de precisión, cultivos, prevención de plagas, tecnología, caña de azúcar.

Abstract

The work that is presented is a descriptive and mixed research type study; its objective is to evaluate the application of ripeners in the cultivation of sugarcane through DRONE technology in the municipality of Villa Rica (Cauca). The use of this tool offers a different strategy to small farmers, putting into practice a technology that allows applications of ripening products in sugarcane cultivation, in areas with technical and economic problems, less than 3.0 hectares. In that order of ideas, it is necessary to guide the farmer in the use of the DRONE for the application of ripeners in their respective crops. This research work presents the DRONE as a high-precision technological alternative, which significantly supports the agricultural processes of sugarcane, since it has a high capacity in the application of ripening agents to said crop, which ends up being of great benefit, both for the farmer and for the crops. The use of ripeners in the cultivation of sugar cane (*Saccharum officinarum* L.), has become a very important and common practice in all the mills of the Colombian sugar agribusiness; so much so, that it is one of the main factors incident to the increase in sugar yield per ton of cane.

Keywords: DRONE, precision agriculture, crops, agronomic engineering, pest prevention, technology, sugar cane.

Contenido

Introducción	11
Justificación	13
Objetivos.....	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos.....	15
Marco Conceptual y Teórico.....	16
Maduración de la Caña de Azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>).....	16
Fisiología de la Maduración en la Caña de Azúcar (<i>Saccharumofficinarum</i>)	16
Etapas Fenológicas del Cultivo.....	17
Germinación y/o Emergencia.....	18
Macollamiento (Desarrollo del Cultivo).....	18
Rápido Crecimiento	19
Maduración	19
Factores que Determinan la Dosis del Madurante y el Volumen deAplicación	19
Estado de Desarrollo Vegetativo del Cultivo.....	20
Variedad de Caña	20
Condición de Humedad.....	21
Condiciones del Suelo.....	21
Equipo de Aplicación.....	21
Factores que Afectan la Maduración.....	22
La Humedad	22
La Temperatura	23

La Luminosidad	24
Los Nutrientes	24
La Floración	25
Importancia del Uso de Madurantes	26
Requerimientos y Procedimientos para la Aplicación del Madurante	27
Metodología	30
Ubicación de la evaluación	30
Caracterización del DRONE.....	31
Evaluación del DRONE.....	33
Estimación de cobertura.....	34
Valoración de Impacto de Madurantes sobre el Cultivo.....	36
Codificación y Marcación para la Muestra	36
Toma de la Muestra.....	37
Resultados.....	39
Evaluación del DRONE.....	39
Condiciones Meteorológicas.....	39
Informe de condiciones meteorológicas 10:00 A.M.....	41
Informe de condiciones meteorológicas 12:00 M.....	42
Resultados post aplicación con el DRONE.....	44
Implementación de matriz de Vester	46
Cuadrante 1 Problemas Críticos.....	46
Cuadrante 2 Problemas Pasivos	47
Cuadrante 3 Problemas Indiferentes	47

Cuadrante 4 Problemas Activos	47
Problemas Pasivos.....	51
Problemas Críticos.	51
Problemas Activos.....	52
Problemas Indiferentes.....	52
Cuadrante (IV) Zona de Salida Resultado.....	52
Cuadrante (I) Zona de Conflicto	52
Cuadrante (III) Zona Excluida	52
Cuadrante (II) Zona de Poder.....	53
Conclusiones	54
Referencias Bibliográficas	56

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Condiciones meteorológicas en el momento de la aplicación de madurantes en caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)</i>	29
Tabla 2 <i>Descripción de las ocho zonas agroecológicas más representativas del área sembrada con caña de azúcar en el Valle del río Cauca. Datos a diciembre de 2010</i>	30
Tabla 3 <i>Características generales del DRONE</i>	31
Tabla 4 <i>Condiciones meteorológicas en el momento de aplicación a las 7:00 a.m</i>	39
Tabla 5 <i>Número de gotas registrado en las tarjetas hidro sensibles en el horario de las 7:00 a.m</i>	40
Tabla 6 <i>Condiciones meteorológicas en el momento de aplicación a las 10:00 a.m</i>	41
Tabla 7 <i>Número de gotas registrado en las tarjetas hidro sensibles en el horario de las 10:00 a.m</i>	42
Tabla 8 <i>Condiciones meteorológicas en el momento de aplicación a las 12:00 m.</i>	42
Tabla 9 <i>Número de gotas registrado en las tarjetas hidrosensibles a las 12:00 m</i>	43
Tabla 10 <i>Medición de Brix y Sacarosa</i>	44
Tabla 11 <i>Matriz de Vester (Problemas temática seleccionada)</i>	48
Tabla 12 <i>Valoración del contraste de problemáticas Matriz de Vester (activos – pasivos)</i>	49
Tabla 13 <i>Identificación de Variables por Zonas</i>	51

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar</i>	18
Figura 2 <i>Estimación de altura de Drone</i>	32
Figura 3 <i>Boquillas de dispersión</i>	33
Figura 4 <i>Calibración del DRONE para la aplicación de madurante en caña de azúcar</i>	34
Figura 5 <i>Materiales requeridos para la evaluación de la aplicación</i>	35
Figura 6 <i>Evaluación de boquillas</i>	39
Figura 7 <i>Gotas registradas en tarjetas hidro sensibles a las 7 a.m</i>	40
Figura 8 <i>Gotas registradas en tarjetas hidro sensibles a las 10 a.m.</i>	41
Figura 9 <i>Gotas registradas en tarjetas hidrosensibles a las 12 m.</i>	43
Figura 10 <i>Datos de Sacarosa (%) en diferentes edades del cultivo</i>	44
Figura 11 <i>Monitoreo pos-aplicación</i>	45
Figura 12 <i>Parámetros visuales pos-aplicación</i>	46
Figura 13 <i>Posición de las variables según el cuadrante de la matriz de Vester</i>	50

Introducción

El área cultivada con caña de azúcar en el territorio colombiano inicia en el sur del departamento de Risaralda, seguidamente en el norte del Valle del Cauca, terminando en el norte del departamento del Cauca. En el valle geográfico del río Cauca, se encuentra ubicado el sector azucarero colombiano, el cual abarca 51 municipios, 6 departamentos (Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío y Meta). En esta región hay actualmente 241.205 hectáreas sembradas en caña de azúcar, donde el 25% corresponde a tierras propias de los ingenios y el 75% restante corresponde a más de 2.750 cultivadores de caña. Dichos cultivadores abastecen a 12 ingenios como son: Carmelita, Incauca, La Cabaña, Manuelita, Maria Luisa, Mayagüez, Del Occidente, Pichichi, Providencia, Riopaila Castilla, Risaralda y San Carlos. Desde el año 2005, cinco de los doce ingenios, tienen destilerías anexas para la producción de alcohol carburante siendo estos: Incauca, Manuelita, Providencia, Mayagüez y Risaralda, mientras que el ingenio Riopaila Castilla tan solo hasta el año 2015, incursionó en tal producción (Asocaña, 2017).

El proceso de maduración de la caña de azúcar es conocido como la finalización fisiológica del cultivo, dicho proceso trata de la acumulación máxima de sacarosa en la planta. El proceso denominado fenológico, se divide en dos etapas: La primera donde se observan tallos robustos, disminución del crecimiento de los entrenudos y el incremento de la materia seca; la segunda etapa, es la concentración de sacarosa entre los entrenudos completamente desarrollados (Villegas y Arcila, 2003).

La acumulación de sacarosa se debe a la actividad de las enzimas invertasas. Las invertasas dirigen la utilización de los azúcares a lo largo del incremento y al término del desarrollo fisiológico, dirigen la acumulación en los tejidos de la planta. Se ha considerado que las invertasas ácidas se albergan en tejidos inmaduros y las neutras en los tejidos maduros. La

manifestación interna de la maduración de la caña de azúcar se relaciona con el contenido de humedad de ciertos tejidos y de sacarosa en el tallo (Larrañondo y Villegas, 1995).

Los cañicultores en su programa de producción y concentración de sacarosa en “mata”, realizan una reducción del suministro de agua en la fase final de veloz decrecimiento, eliminando la aplicación de riegos y supresión de excesos por impacto de lluvias o elevados niveles freáticos, buscando favorecer las concentraciones de sacarosa.

El objeto de este estudio fue, evaluar la aplicación de madurantes en el cultivo de caña de azúcar a través de la tecnología DRONE, en el municipio Villa Rica (Cauca), con el fin de optimizar procesos y obtener mayores y mejores resultados en los objetivos propuestos por el cañicultor, reduciendo tiempos y costos. Se espera que los resultados sean satisfactorios y se promueva este tipo de maduración en los cultivos de la caña a gran escala.

Este trabajo hace parte del semillero de investigación en producción agropecuaria sostenible (SIPAS) de la ECAPMA.

Justificación

La tecnología va a pasos agigantados y lo es en todos los ámbitos; se encuentra a disposición de cualquier renglón de la economía, esto conlleva a que, en este caso, los agricultores y las empresas que tienen que ver con el cultivo de la caña de azúcar y producción de sus derivados, puedan hacer uso de estas herramientas tecnológicas para optimizar procesos, logrando así, cumplir los objetivos planteados de manera eficaz y eficiente, reduciendo tiempos y costos, logrando de esta manera, ser mucho más productivos.

Los aviones no tripulados (tecnología DRONE) tienen diversos usos; desde el punto de vista estratégico para las fuerzas armadas, pasando por el uso que se le da para la diversión, hasta el uso comercial. Uno de los más importantes usos que se le da a este tipo de tecnología, es el uso comercial (hablando del tema que compete a este trabajo investigativo), existe diversidad de paisajes y climas que permiten o restringen la realización de variedad de actividades agrícolas utilizando para ello el recurso humano.

En la aplicación aérea de grandes extensiones de tierra en el Valle del Cauca, se utilizan aviones ultralivianos, helicóptero o avionetas con productos maduradores para cultivos de caña de azúcar. Para extensiones pequeñas de tierra, (mínimo 3,0 hectáreas), donde no es posible el uso de estos vehículos mencionados, por cuestiones técnicas o económicas, se requiere utilizar otras alternativas eficientes de aplicación.

Para este tipo de situaciones, la tecnología de DRONE podría ser una gran solución, llevando a que el agricultor mejore los procesos y el tiempo de productividad, lo cual redundaría en ventajas monetarias; lo anterior permite competitividad en la era moderna, teniendo en cuenta las dos variables de calidad y cantidad; lo cual representa ventajas rentables para el cañicultor frente a otras técnicas por la agilidad y facilidad de aplicación. La desventaja en estos momentos, dado

el auge de su uso para este sector agropecuario, es la limitada información de operación, que influye significativamente en la decisión de tomar o no tomar el uso de esta tecnología, por esta razón, se busca llevar a cabo las pruebas necesarias con el uso de DRONE especializado para aplicar madurantes en áreas menores de 3 hectáreas.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la aplicación de madurantes en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a través de la tecnología DRONE en el municipio de Villa Rica (Cauca)

Objetivos Específicos

Caracterizar y evaluar el equipo DRONE para la calibración de volumen de producto aplicado por área.

Estimar la cobertura de aplicación de producto sobre el follaje en diferentes momentos del día.

Valorar el efecto del madurante sobre el cultivo en parámetros fisiológicos y visuales.

Implementar una matriz de Vester para identificar problemáticas asociadas a la aplicación de madurantes en áreas cultivadas menores a 3 hectáreas.

Marco Conceptual y Teórico

Maduración de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*)

En la era de rápido crecimiento, como en la época de maduración de la caña de azúcar, se han evaluado algunas técnicas y productos químicos; una de las técnicas evaluadas en el desarrollo o macollamiento del cultivo es primordial y es la fertilización con macro y micro nutrimentos y la utilización de enmiendas en el suelo como la cal y la materia orgánica (Villegas y Arcila, 1995).

Algunos productos químicos con impacto madurador han sido valorados, especialmente, en regiones “donde las condiciones climáticas de temperatura y precipitación no favorecen la maduración natural” (Villegas y Arcila, 1995, p. 315) y esto con el objetivo de mejorar la calidad del jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Los primeros estudios y la utilización de productos maduradores tuvieron sus inicios en “Hawai, Cuba, India y Australia, usando 2,4-D ácido giberélico y TBA (2,3, 6-Triclorobenzoico)” (Villegas y Arcila, 1995, p. 315), más no mostraron efectos significativos en el aumento de concentración de sacarosa.

En los años 70, aparecieron productos que mostraron resultados como madurantes en la concentración de sacarosa y son “Ethrel, Asulox, Embark, Polaris, Polado y Round-up los cuales se han usado exitosamente en territorios como Hawái, Mauricio, Florida, Luisiana, Puerto Rico, Brasil y Suráfrica” (Villegas y Arcila, 1995, p. 315).

Fisiología de la Maduración en la Caña de Azúcar (*Saccharumofficinarum*)

La tasa de fotosíntesis de las hojas de la caña está estrechamente relacionada con la conductancia estomática que es controlada por varios factores, entre los más importantes están, la intensidad de la luz y el balance hídrico del complejo planta – suelo – aire; la temperatura

óptima para la fotosíntesis es relativamente alta y se encuentra alrededor de 34°C. Aunque esta temperatura es más alta, que la registrada en la zona azucarera de Colombia, es necesario notar que, la temperatura en las hojas, que reciben la radiación solar en forma directa es, generalmente, más alta que la temperatura en el aire (Amaya, *et al*, 1995, p. 48).

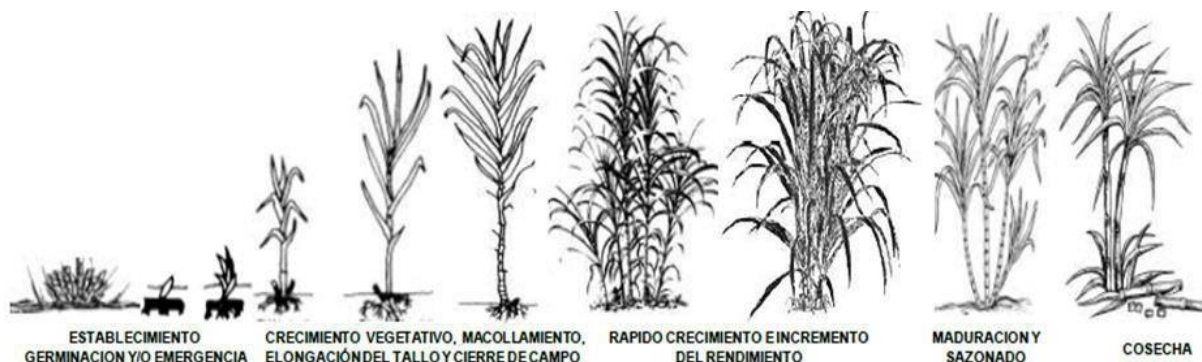
La tasa fotosintética de la caña aumenta con la concentración de CO₂ en el aire. En zonas como Hawái, en donde los vientos son fuertes y la disponibilidad de CO₂ varía poco, la concentración de éste, en el aire, no limita la producción; sin embargo, se ha encontrado una depresión marcada en la concentración de CO₂ en el aire durante el día en el centro de la zona azucarera de Colombia, lo cual indica que existe cierta limitación, para la producción, en esta zona cuando hay poco viento. Es importante señalar que, el incremento en la concentración de CO₂ en el aire, debido al uso de combustibles de origen fósil, es suficiente para afectar la productividad de la caña; se considera que este aumento, desde 1950 hasta la fecha, es suficiente para incrementar en más del 10% la producción primaria de biomasa (Amaya, *et al*, 1995, p. 48).

Etapas Fenológicas del Cultivo

El desarrollo vegetativo de la caña de azúcar varía dependiendo de la variedad escogida y la incidencia del clima. La caña pasa por 4 etapas desde el momento en que es sembrada hasta el momento de cosecharla y estas 4 etapas pueden durar entre 14 y 17 meses: Germinación y/o emergencia, macollamiento, rápido crecimiento y maduración (Figura 1). “En tanto, el desarrollo de las socas (segundo corte de la caña) tiene una duración de 11 a 13 meses y se distinguen tres etapas: brotación y macollamiento, rápido crecimiento y maduración” Conadesuca, 2015, p.4).

Figura 1

Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar



Fuente. Conadesuca (2015, p. 4)

Germinación y/o Emergencia

La germinación es el proceso que da paso a los primeros órganos latentes en la yema, hasta el estado activo de crecimiento y desarrollo; aunque la duración de esta etapa puede variar, inicia entre los 7 a 10 días después de la siembra. El crecimiento inicial se prolonga hasta los 35 días en temperaturas óptimas para su brotación, que oscilan entre los 24 a 37°C con disponibilidad de buena humedad en el suelo. El éxito de esta fase radica en la magnitud, ritmo y uniformidad de la emergencia (desarrollo inicial de la plántula), como también en el logro de una adecuada distribución espacial de los tallos primarios en el surco. Emergencias pobres y prolongadas afectarán el cumplimiento efectivo de las siguientes fases y finalmente la producción del cultivo (Conadesuca, 2015, p.5).

Macollamiento (Desarrollo del Cultivo)

Empieza entre los 35 y 40 días después de ser plantada; durante esta etapa, desarrolla varios tallos desde la base de los tallos primarios (Conadesuca, 2015). Existen unos factores básicos para que este proceso se lleve a cabo de manera óptima: “La variedad, los días de larga duración y alta intensidad luminosa, una temperatura cercana a los 30°C es la óptima, buenas

condiciones de humedad en el suelo y buen nivel de nitrógeno” (Conadesuca, 2015, p.5).

“Durante esta fase, ocurre la generación del sistema radicular adventicio y definitivo del cañaveral” (Conadesuca, 2015, p.5).

Rápido Crecimiento

En Conadesuca (2015) se expone que comienza alrededor de los 120 días después de la siembra hasta, aproximadamente, 180 días, aunque puede prolongarse dependiendo de la variedad, la temperatura y la humedad; en este lapso de tiempo, queda definida la producción de tallos y se forma la caña con rapidez, alcanzando su máxima producción de hojas y se inicia el proceso de almacenamiento de azúcar en los entrenudos. “En esta fase, el cultivo requiere temperaturas sobre los 30°C, disponibilidad de nutrientes y buena condición de humedad” (Conadesuca, 2015, p.5).

Maduración

La variedad sembrada constituye un factor de absoluta importancia en la maduración pues, entre las variedades, existen diferencias en la modalidad y en la producción de azúcar por hectárea. Esta etapa del proceso dura entre 2 y 3 meses, tiempo durante el cual se sintetiza y acumula la sacarosa en los tallos de la planta, con presencia de noches frescas (18°C) y días calurosos y secos. (Conadesuca, 2015). “Aplicaciones elevadas o extemporáneas de nitrógeno tiene un efecto negativo porque retarda la maduración” (Conadesuca, 2015, p.6).

Factores que Determinan la Dosis del Madurante y el Volumen de Aplicación

Con la aplicación de maduradores en caña de azúcar es posible:

- Obtener el máximo nivel de sacarosa en los tallos.
- Evitar reducciones drásticas en el contenido de sacarosa debido a cambios de clima.
- Obtener una ganancia económica adicional en un período relativamente corto y sin

afectar la producción de caña.

- Reducir el período vegetativo del cultivo cuando sea necesario (Villegas y Arcila, 2003, p. 5).

- “Las características del cultivo y las condiciones ambientales principales que se deben conocer para determinar la dosis y el volumen de aplicación de maduradores encaña de azúcar, se mencionan a continuación” (Villegas y Arcila, 2003, p. 5).

Estado de Desarrollo Vegetativo del Cultivo

De acuerdo con el desarrollo vegetativo del cultivo, se estima la producción de caña antes de la aplicación y con base en ella, se calcula la dosis del madurador. La dosis aplicada, especialmente cuando se usan reguladores de crecimiento, debe ser proporcional al estado de desarrollo del cultivo, es decir, menor en cultivos con pobre desarrollo y mayor en cultivos con buen desarrollo vegetativo (Villegas y Arcila, 2003, p. 5).

Variedad de Caña

Dependiendo de la variedad de caña, así será el efecto del madurador. Al aplicar dosis iguales de un madurador del tipo reguladores de crecimiento a un grupo de variedades de la misma edad, que han crecido en condiciones del clima, suelo y manejos similares, es posible que algunas variedades presenten quemazón severa del follaje, lo cual afecta considerablemente su crecimiento. En estos casos se deduce que, las variedades afectadas son muy susceptibles al madurador y que las dosis aplicadas son altas. Por su parte, las variedades que no presentan efecto alguno por la aplicación de madurador, ni en la coloración del follaje ni en el contenido de sacarosa, se identifican como variedades resistentes al madurador y se deduce que la dosis aplicada no fue suficiente (Villegas y Arcila, 2003, p. 6).

Existen variedades que son susceptibles o un poco resistentes al tipo de madurador y

aunque se considera que la dosis que se aplicó es idónea o casi idónea, aun así, presentan en su follaje una especie de amarillamiento y se desacelera su crecimiento; por lo anterior, presentan incremento de sacarosa, pero no afecta la productividad de la caña (Villegas y Arcila, 2003).

Condición de Humedad

Cuando se aplica un madurador del grupo reguladores de crecimiento, esto ocasiona estrés en la planta, por lo tanto, se disminuye la tasa de crecimiento de los tallos; si lo anteriormente mencionado coincide con el estrés de la planta por un déficit muy fuerte de humedad, la producción de caña se ve afectada de manera negativa. De acuerdo con esto, cuando se prevé la presencia de un periodo seco desde que se aplica el madurador hasta la cosecha de la caña, la dosis establecida en función del estado de desarrollo del cultivo se debe disminuir entre 13% y 23%, de la dosis que fue recomendada si se presenta un período de lluvias (Villegas y Arcila, 2003).

Condiciones del Suelo

El tipo de suelo y sus características influyen de manera directa en el desarrollo del cultivo y en su capacidad para retener la humedad, por tanto, se afecta la dosis de madurador a aplicar. Las plantas de caña que crecen en suelos que no retienen, de manera idónea, el agua necesaria, se ven sometidas, de manera continua, a estrés hídrico, lo cual afecta su desarrollo. “En términos generales, los cultivos que crecen en suelos de baja fertilidad, con limitaciones en sus condiciones físicas o con baja capacidad de retención de humedad, deben recibir una dosis menor de madurador, en comparación con cultivos en suelos sin este tipo de problemas” (Villegas y Arcila, 2003, p. 7).

Equipo de Aplicación

El volumen de aplicación depende, en gran medida, del equipo que se va a utilizar en el

rociamiento del madurador. En aplicaciones aéreas, el volumen tiende a ser bajo con el fin de cubrir una mayor área por vuelo. Cuando se utiliza el helicóptero, el volumen de aplicación es de 15 lt/ha aproximadamente; aunque este equipo puede ser calibrado para aplicar volúmenes menores, no es aconsejable hacerlo porque la turbulencia generada por las aspas móviles puede incrementar la deriva o dispersión del madurador por el viento (Villegas y Arcila, 2003, p. 7).

En las aplicaciones con avionetas que utilizan "micronairs" como aspersores, el volumen del producto frecuentemente varía entre 7 y 10 lt/ha, mientras que, con aviones livianos de menor capacidad de carga, se aplican 5 lt/ha. Aunque 5 lt/ha se considera un volumen bajo, en las aplicaciones con avión liviano, los riesgos de deriva son escasos debido a la poca turbulencia que causan estas aeronaves durante el desplazamiento (Villegas y Arcila, 2003, p. 7).

El tipo de madurador puede también influir en el volumen de aplicación; teniendo en cuenta lo anterior, los reguladores de crecimiento son productos ordenados y/o estructurados que se pueden "aplicar en volúmenes bajos o muy bajos sin que esto afecte su acción maduradora; pero los bioestimulantes, que generalmente son fertilizantes foliares, posiblemente requieren volúmenes altos de aplicación para lograr un mayor cubrimiento del follaje" (Villegas y Arcila, 2003, p. 7).

Factores que Afectan la Maduración

Autores como (Larrahondo y Villegas, 1995) manifiestan que existen varios factores que actúan en forma combinada y determinan el rendimiento de la caña; entre ellos los más importantes son: la humedad en el suelo, la temperatura del aire, la luminosidad, la nutrición vegetal y la floración.

La Humedad

La humedad interna en la planta es el factor dominante para la síntesis de azúcares. Cuando la caña se encuentra en crecimiento, es necesario un suministro adecuado de agua, que le permita la absorción de los nutrientes del suelo y transportarlos al tallo para ser asimilados en la

realización de los procesos fisiológicos, pero cuando la planta se encuentra lista para corte, es necesario que se reduzca el contenido de humedad para aumentar la calidad del jugo porque, “cuando la humedad es baja, la cantidad de agua presente en los entrenudos más jóvenes disminuye y como resultado, el crecimiento se reduce en forma gradual y prácticamente cesa cuando se alcanza el punto de marchitamiento” (Larraondo y Villegas, 1995, p. 300).

La consecuencia de la no reducción del contenido de humedad es que, cuando el desarrollo de la planta se retarda, disminuye la demanda de azúcares y éstos se almacenan en los tallos y aunque se pueden llevar a cabo programas de maduración reduciendo el suministro de agua, lo cual estimula la concentración de azúcares en los tallos, es necesario tener en cuenta que “cuando la humedad en el suelo se recupera por las lluvias o por el riego, se puede reiniciar el desarrollo vegetativo del cultivo, lo que disminuye la calidad de los jugos” (Larraondo y Villegas, 1995, p. 300).

La Temperatura

Este factor es, quizás, el que más influye en la maduración de la caña de azúcar. Desafortunadamente, los factores climáticos, en especial la temperatura, no se pueden controlar, pero sí se conocen sus cambios a través del tiempo; por lo tanto, es posible manejar el ciclo de cultivo, adaptándolo a las condiciones del clima (Larraondo y Villegas, 1995, p. 300).

La temperatura afecta la cantidad de agua y nutrientes que absorben las plantas, por lo cual limita o acelera el crecimiento y desarrollo de las mismas. “En las zonas subtropicales, las bajas temperaturas, en el invierno, reducen casi totalmente, el crecimiento de la caña debido a que se afecta la formación de clorofila y la absorción de nitrógeno y potasio” (Larraondo y Villegas, 1995, p. 300), sin importar si estos niveles sean adecuados en el suelo; por tal motivo “en la zona atlántica de Colombia y en la mayoría de países subtropicales, la humedad y la

temperatura sólo permiten la cosecha de la caña durante una época del año, que se conoce como zafra” (Larrahondo y Villegas, 1995, p. 301). Las condiciones mencionadas anteriormente, ocasionan que las hojas inferiores de la planta se sequen y mueran de forma prematura y las hojas superiores, tomen un color verde — amarillento.

En climas tropicales, cuando la temperatura media mensual no baja de 18°C durante todo el año, esta “tiene su mayor efecto sobre la calidad del jugo en períodos secos, cuando la diferencia entre la máxima y mínima oscila entre 11 y 12 °C, lo cual estimula el almacenamiento de sacarosa” (Larrahondo y Villegas, 1995, p. 301); pero en épocas lluviosas, esta oscilación decrece y los rendimientos merman.

La Luminosidad

La luz es la fuente principal de energía para la fotosíntesis, por tal razón, su disminución trae como resultado:

Reducción en la elaboración y almacenamiento de azúcares, acumulación de almidones en las hojas, aumenta la altura de los tallos primarios, el desarrollo de los tallos secundarios se retarda, las hojas se tornan angostas, alargadas y quebradizas, el desarrollo de las raíces se reduce, aumenta la clorofila en las hojas hasta cierto nivel y después empieza a decrecer ocasionando una reducción en el porcentaje de materia seca (Larrahondo y Villegas, 1995, p. 301).

Los Nutrientes

Afectan crecimiento, desarrollo y maduración de la planta; por ejemplo, el nitrógeno es esencial durante la etapa inicial de desarrollo pues se obtienen altas producciones de caña; sin embargo, aplicarlo en exceso, trae efectos negativos en la calidad del jugo. Para una adecuada maduración, se necesita que estén nutrientes, se mantenga en bajos niveles en las hojas hacia el final del período vegetativo. Es necesario llevar a cabo las aplicaciones de nitrógeno “en los primeros meses de desarrollo del cultivo (entre 2 y 6 meses) y no más tarde, para suspender así el

desarrollo vegetativo de la planta y favorecer la acumulación de sacarosa. La aplicación excesiva de fertilizantes y de materia orgánica o riegos continuos con efluentes de las fábricas, dificultan la maduración adecuada de la caña” (Larrañondo y Villegas, 1995, p. 301).

En cuanto al fósforo, este es clave para la buena calidad de los jugos. Se estima que, para obtener una buena clarificación en los procesos de obtención de azúcar y en la elaboración de panela, se requiere una concentración mínima en el jugo de 300 mg/l de P₂O₅.

Además de su importancia para la clarificación, como constituyente del ácido nucleico, el fósforo es esencial para el desarrollo de la planta. Los compuestos fosfatados intervienen en el proceso de respiración y en la utilización del nitrógeno; por lo tanto, tienen especial importancia en el proceso de maduración (Larrañondo y Villegas, 1995, p. 301).

“El potasio y su relación con el contenido de nitrógeno afectan el desarrollo del cultivo y su rendimiento” (Larrañondo y Villegas, 1995, p. 302); por tanto, es necesario que, el contenido de nitrógeno permanezca disminuido y aumentado el de potasio para que la humedad y los azúcares reductores bajen y se incrementen la sacarosa y la pureza, mejorando la calidad de los jugos.

La Floración

Exponen (Larrañondo y Villegas, 1995) que, “la floración es un proceso natural que ocurre cuando las plantas completan su ciclo vegetativo e inician el período reproductivo”; es necesario mencionar que, los factores genéticos, que regulan la floración de la caña y los ambientales que, inducen la misma en los cultivos, no permiten que las variedades de caña de azúcar florezcan con la misma intensidad.

Cuando ocurre la floración, la planta suspende la formación de nuevos entrenudos y promueve la formación de yemas laterales; se inicia, entonces, la formación de una médula corchosa en la parte superior del tallo que se extiende hacia abajo, dependiendo, principalmente, de las condiciones de humedad. En condiciones de sequía, esta médula de corcho ocupa gran parte del tallo y contiene poco jugo; en consecuencia, cuando los

tallos se procesan hay una mayor producción de fibra y bajo rendimiento de azúcar (Larrañondo y Villegas, 1995, p. 302).

El efecto de la floración en el rendimiento de azúcar y en el peso de la caña, depende de la edad del cultivo y de la intensidad de la mencionada floración. En condiciones ambientales favorables, la producción es menor cuando la floración ocurre en plantas aún jóvenes; pero si la floración ocurre cuando la planta se encuentra en período de maduración, las pérdidas en el peso son mínimas y el rendimiento en azúcar puede, inclusive, aumentar ya que, al finalizar el crecimiento del tallo, se favorece la acumulación y el almacenamiento de sacarosa. Sin embargo, el periodo de tiempo entre la floración y la cosecha debiese ser corto para evitar la formación de médula corchosa y la inversión de la sacarosa (Larrañondo y Villegas, 1995, p. 302).

Importancia del Uso de Madurantes

Explican Villegas y Arcila (1995) que, al aplicar madurantes se crea un efecto directo en la producción de azúcar, pues esta puede ser incrementada hasta en un 25%; lo anterior ocurre porque al aplicarlo y durante 6 a 12 semanas después, la caña merma su crecimiento entre 10 y 25 centímetros; esto no ocurriría si no se hubiese realizado la mencionada aplicación del producto; sin embargo, se deben tener en cuenta factores como:

1. El mayor crecimiento de las plantas que no reciben madurantes se debe, en parte, al desarrollo del cogollo, el cual se deja como residuo en el campo al momento de la cosecha. Por el contrario, los cogollos de las plantas que reciben madurante, son más pequeños.
2. El diámetro de los tallos de las plantas que reciben madurantes y su peso por unidad de longitud, tienden a ser mayores como resultado de la limitación en el crecimiento.
3. El madurante incrementa, de manera apreciable, el contenido de sacarosa en el tercio superior del tallo, lo que justifica un corte más alto al momento de la cosecha. En plantas sin madurantes, el contenido de sacarosa en esta parte del tallo es bajo (Villegas y Arcila, 1995, p. 328).

El beneficio directo que se obtiene de la aplicación de un madurante está representado por el incremento en el rendimiento de la producción de azúcar, menos los costos de la aplicación que, se encuentran representados por el valor del producto, el costo del vuelo de la aeronave, la mano de obra y otros costos adicionales. Los incrementos periódicos de estos costos, las diferentes respuestas de las variedades al madurante y las variaciones en el precio del azúcar, hacen difícil determinar la rentabilidad exacta de esta práctica. Sin embargo, se puede asegurar que el incremento de 1 kg de azúcar por tonelada de caña molida, es suficiente para pagar la inversión (Villegas y Arcila, 1995, p. 328).

Requerimientos y Procedimientos para la Aplicación del Madurante

La aplicación de madurantes, en caña de azúcar, se realiza por vía aérea a través de aeronaves ultralivianas (avionetas, helicópteros, aviones livianos y los Drones); estos aparatos deben estar equipados con boquillas especiales y sistema de GPS para que puedan realizar aplicaciones sin necesidad de señalización a través de personas (Villegas y Arcila, 2003). En el área del cultivo donde va a realizarse la aplicación, debe haber termómetros, higrómetro, anemómetro y veleta móvil.

Para el procedimiento de la aplicación, debe haber programación, aprobación de aplicación, visitas al campo, marcación de planos, selección del producto, dosis y volumen de aplicación; en este punto, es necesario tener en cuenta la ubicación del lote, los cultivos vecinos, la variedad de caña, el tipo de suelo, el estado de la plantación, la producción estimada, la época entre aplicación y corte, la edad de la plantación y el equipo de aplicación; también es necesario, la selección del equipo para llevar a cabo la aplicación, programación de vuelos, delimitación de áreas, distribución del producto y del personal, vuelo de reconocimiento, preparación de la mezcla, aprovisionamiento de aeronaves, revisión de boquillas y aplicación del madurador (Villegas y Arcila, 2003).

Para la aplicación, es necesario:

Conocer primero el estado de maduración de la planta; para lo cual se toman muestras de

tallos y se determina el brix, el contenido de sacarosa, de azúcares reductores y el rendimiento estimado. Si el cultivo presenta concentraciones de azúcares reductores entre 0.5% y 1.0%, es conveniente aplicar el madurante al final del periodo de desarrollo del cultivo y antes del inicio del periodo de maduración fisiológica, ya que, si esto ha sucedido, la respuesta a la aplicación del madurante es menor (Villegas y Arcila, 1995, p. 328).

Si después del análisis anterior, se decide llevar a cabo la aplicación, se debe definir el día, la hora y la dosis del producto de acuerdo con la variedad y la producción esperada, se calibra el equipo y después el bandereo del lote para evitar errores en la aplicación; esta tarea se realiza marcando las franjas de aplicación según la envergadura de la aeronave y de la altura a la cual vuela (Villegas y Arcila, 1995).

Se sugiere, con anticipación, escoger sitios seguros de aprovisionamiento de las aeronaves y que cuenten con suministro de agua de calidad; además, las señalizaciones tienen que ser lo más visibles posible para que el piloto pueda diferenciar las áreas que ya han recibido el producto. La aplicación se debe realizar en presencia de un ingeniero agrónomo, quien se encargará de medir las condiciones atmosféricas para que sean las adecuadas en el momento de la aplicación (Villegas y Arcila, 1995).

Ya en el momento de la aplicación, se determina un plan de trabajo que será llevado a cabo según las condiciones meteorológicas durante el día escogido; se debe tener en cuenta, que se pueden presentar situaciones que se salen de control y en esos casos, se debe prever la realización de los ajustes pertinentes si así se requiere, como por ejemplo, la suspensión de aplicaciones en el momento de lluvias o cuando las condiciones atmosféricas excedan los límites permitidos entre otras (Villegas y Arcila, 2003). Para lograr un mejor efecto del producto, la aplicación debe hacerse cuando el cultivo se encuentre “en buen estado de desarrollo y libre de estrés por déficit o exceso de humedad en el suelo” (Villegas y Arcila, 2003, p. 26).

Dentro de los parámetros a tener en cuenta en el momento de la aplicación, se encuentra el evitar daños en cultivos vecinos por deriva del madurante; en este punto, es necesario cumplir rigurosamente las normas para la aplicación del mismo y no pasar por alto las áreas incluidas en los mapas de riesgo, en estos momentos es de suma importancia extremar las medidas de seguridad dejando partes sin aplicación para que no cause daños en otros cultivos (Villegas y Arcila, 2003).

Es posible asegurar que la aplicación del madurante se lleve a cabo en la zona indicada, para esto, en el momento de esparcirlo, “la velocidad del viento debe ser menor a 7 km/h, la temperatura del aire inferior a 28°C y la humedad relativa superior a 60%” (Villegas y Arcila, 2003, p. 26).

Tabla 1

Condiciones meteorológicas en el momento de la aplicación de madurantes en caña de azúcar (Saccharum officinarum)

Condición	Valor o indicador	Equipo de medición o registro
Humedad relativa	> 60%	Higrómetro
Temperatura máxima	< 28 °C	Termógrafo o termómetro
Velocidad del viento	< 7 km/h (1.94 m/seg)	Anemógrafo o anemómetro
Dirección del viento	Que no afecte cultivos vecinos	Veleta

Fuente. (Villegas y Arcila, 2003, p. 25)

Metodología

Ubicación de la evaluación

La evaluación se desarrolló en la finca que lleva el nombre de su propietario Edison Uzurriaga Peña, quien es proveedor del ingenio La Cabaña. Se encuentra ubicada en el municipio de Villa Rica (Cauca), en el corregimiento Juan Ignacio; las coordenadas geográficas: 3.21 N, de latitud norte y de 76.45°W de longitud oeste, en un área de: 1.2 hectáreas, variedad de caña CC 8592.

Tabla 2

Descripción de las ocho zonas agroecológicas más representativas del área sembrada con caña de azúcar en el Valle del río Cauca. Datos a diciembre de 2010

Zonas agroecológicas 11H0, 11H1, 11H2 Y 11H3		
29 suelos (52.999 hectáreas)		
Características principales	Limitaciones principales que pueden presentar los suelos	Recomendaciones de manejo
Tierras ordenadas en el Grupo Homogéneo de Suelos No.11. Suelos de texturas franca y fina y franca fina sobre arcillosa y contenido de arcilla menor del 35% en la sección de control del perfil, distribuidos en el cuerpo y pie de los abanicos de la llanura aluvial de régimen único, en las napas de desborde de la llanura del río Cauca y de sus tributarios y en planos de terraza de estos. Moderadamente bien drenados, bien drenados y moderadamente profundos y	Sin limitaciones aparentes para el manejo ni para el crecimiento de las raíces.	Hacer nivelación y aporque. No se justifica la subsolada para la preparación ni para el levantamiento de socas. En las zonas H3: Nivelación de precisión, aporque alto, canales colectores profundos (evacuar agua de escorrentía), drenajes entubados en casos necesarios, variedades tolerantes a la humedad,

profundos.
De relieve plano (pendientes entre 0 – 1%) y régimen de humedad ústico, se encuentran suelos de permeabilidad alta, media y baja. Según el grupo de humedad, corresponden a zonas con déficit (H0: <0 mm/año), zonas con humedad normal (H1:<200 mm/año), zonas con humedad baja (H2:<200 – 400 mm/año) y zonas con exceso de humedad de nivel medio (H3: 200 – 600 mm/año).

trazado de drenes topo (suelos de permeabilidad baja), dosis adicional de nitrógeno (según análisis de suelo y estado del cultivo).

Fuente. (Carbonell, *et al*, 2011, p. 62)

Caracterización del DRONE

Para las pruebas necesarias en esta investigación, se utilizó el DRONE DJI AGRASS T16, modelo 2019, el cual presentó las características señaladas en la tabla 3.

Tabla 3

Características generales del DRONE

Característica	Resultado
Capacidad	16 L
Cantidad de boquillas	8
Cantidad de bombas	4
Cantidad de motores	6
Velocidad de aplicación	7 m/s
Ancho de pasada	6 m
Altura aplicación madurantes	3-4 m
Altura máxima de vuelo	30 m
Distancia máxima de vuelo	3 Km
Boquillas	xr11001vs y xr110015vs

Fuente. Tomada de Sanabria (2022).

Dependiendo del diseño del DRONE y de los datos recolectados sobre el terreno donde va a ser esparcido el madurante, se mide la altura de aplicación y se describe la capacidad de las boquillas, número de bombas a ser utilizadas, etc. También se lleva a cabo la comprobación de que tanto el equipo como todos los instrumentos necesarios, se encuentren en perfecto estado de funcionamiento.

Figura 2

Estimación de altura de Drone



Fuente. Autoría propia

Figura 3

Boquillas de dispersión



Fuente. Autoría propia

Evaluación del DRONE

Esta parte del proceso se inició con la revisión del estado del equipo y las boquillas, comprobando que estuvieran en buen estado; después de esto, el lote fue demarcado con el fin de calcular el área de estudio, para esta labor, fue necesario calcular el volumen sobrante, con la diferencia del volumen del equipo y el volumen aplicado. Con esto, se encuentra el volumen aplicado por hectárea.

Después de revisar y comprobar el buen funcionamiento de todos los equipos, se procedió a identificar el tipo de boquilla que se usa para gotas de alta presión; el tipo indicado es: boquilla para gotas finas. Luego de haber identificado el tipo de boquilla, se midió la cantidad de agua que vierte cada boquilla por minuto, teniendo en cuenta que, debe estar alrededor de un 1L por minuto, con un margen de error del 10%; este procedimiento se repitió tres veces.

Finalmente, con el área determinada para la calibración, se midió el ancho de aspersión por la distancia recorrida, en efecto 100 x 100, para 10000 m². Se llenó el tanque del equipo con

el volumen necesario para dos hectáreas de aplicación. El volumen aplicado en determinada área se obtiene tomando el volumen del agua que se gastó en el área aplicada y restándole el volumen del equipo.

Figura 4

Calibración del DRONE para la aplicación de madurante en caña de azúcar



Fuente. Autoría propia

Estimación de cobertura

El objetivo de estos ensayos fue, comparar la aplicación en tres (3) momentos del día (7 am, 10 am y 12 pm) considerando la temperatura (T^0) ambiente. Para este ejercicio, fue pertinente consultar el historial de esta variable en la estación meteorológica para poder especificar y trabajar las horas de aplicación teniendo en cuenta la velocidad y dirección del viento.

La toma de datos se realizó el mismo día a través de la herramienta tecnológica interactiva denominada METEOPORTAL de CENICAÑA, el cual reporta datos en tiempo real y registros históricos de climatológica sobre las variables atmosféricas temperatura, oscilación de temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación, evaporación y viento en el valle

del río Cauca, en un período definido por el usuario.

Las variables de respuesta que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes:

- Cobertura de producto: Con el uso de papel hidrosensible.
- Área (cm^2) en la primera aplicación.
- Área (cm^2) en la segunda aplicación.
- Área (cm^2) en la tercera aplicación.

En cuanto a los tiempos:

- Primera aplicación (minutos/hectárea).
- Segunda aplicación (minutos/hectárea).
- Tercera aplicación (minutos/hectárea).

Figura 5

Materiales requeridos para la evaluación de la aplicación



Fuente. Autoría propia

Se ilustró cada una de las condiciones meteorológicas obtenidas en las aplicaciones donde se realizaron los respectivos muestreos y se estimó la cobertura de aplicación de producto

sobre el follaje en diferentes momentos del día.

Se ubicaron tarjetas hidro sensibles, en una cuerda, sujetas con ganchos de colgar ropa, cada metro de distancia, sobre unas láminas de acero; la cuerda se alzó a la altura del cultivo de caña a aplicar. Se llenó el tanque con 10 litros de agua y se realizó la aplicación; el resultado fue el cubrimiento de gotas por cm^2 sobre las tarjetas. Se restó el sobrante, quedando 5L de agua, lo que quiere decir que, se aplican 5L por hectárea en 4 minutos, repitiendo para cada uno de los momentos del día.

Una elevada temperatura, en combinación con una baja humedad relativa son condiciones que tienden a incrementar la evaporación de las gotas. La medición de la humedad relativa a campo es particularmente importante ya que existen casos donde, si bien la temperatura no es tan elevada como para generar derivas, su combinación con una baja humedad relativa, genera un aumento en los riesgos, afectando la calidad de la aplicación por pérdida de gotas.

Valoración de Impacto de Madurantes sobre el Cultivo

Después de la aplicación del madurante (Trinexapac-ethyl a una dosis de 1L/ha), con el DRONE, se realizaron muestreos pos-aplicación con el fin de conocer el efecto madurador en la acumulación de sacarosa y de esta manera planificar la cosecha en su punto de máxima acumulación.

La fórmula que se usó para la aplicación de madurante fue de 1 L de Trinexapaca-ethyl, 20 mL de coadyuvante, 3,98 L de agua y 2 g de regulador de pH

Codificación y Marcación para la Muestra

Se organizó la información basándose en el plano del cañaveral debidamente codificado para el establecimiento de las estaciones de muestreo según las dimensiones y topografía del lote.

Se estableció una estación de muestreo cada 0,3 hectáreas, asignándole a cada una, un

código en orden continuo donde se identificó:

Código de la finca: 815

Número del lote: 01

El número de estación: 01

Por ejemplo: la estación número 01 del lote 01 de la finca 815 se identificó como la muestra 0101815.

Ubicadas en el plano las estaciones de muestreo, se procedió a tener en cuenta los siguientes aspectos técnicos para localizarlas en el cañal:

- Evitar que la muestra sea influenciada por la cercanía de: sombra, caminos, rondas, zanjones, para esto, se marcó la estación de muestreo, a 50 o 60 metros del cañal en línea recta desde la orilla de este.
- Identificar la estación colocando marcas, tanto en la orilla del cañal (punto de acceso al mismo), como en el lugar en el cual se obtuvo la muestra (la estación de muestreo).
- Se utiliza durante todo el programa la ubicación de marcas permanentes para que sirvan de guía a los posteriores muestreos (Chingo, 2017).

Toma de la Muestra

Antes de iniciar con el proceso de toma de muestra, se tuvieron en cuenta aspectos del cañal anotados de manera cuidadosa:

- a) Aspecto físico: estado de desarrollo de los tallos de caña (semi erectas), sin presencia de malezas, sano y con buen estado del terreno.
- b) Por ciento de floración: conteo de cien cañas en línea recta (mismo surco) por estación y se anota el número de las que presentan flor.

c) Grado de maduración: conteo del total de cañas de la macolla (estación) y se determina cuantas de ellas son aprovechables. De las macollas de donde se tomaron las muestras, todas las plantas se observaron aprovechables, incluyendolos hijos de buen tamaño, sobrepasando 1 m de largo y con estado de maduración alto.

d) Accesibilidad al cañal: estado de caminos, puentes, distancias, etc. Lo que permite disponer de información actualizada para la cosecha. Se observó que ellote colinda con fincas vecinas, con otros cultivos y además se requiere de permisos para realizar la cosecha (Chingo, 2017).

Los muestreos post aplicación se realizaron en cuatro puntos del lote, en cada estación se obtuvieron cinco tallos molederos cortados continuos en al menos 1 metro lineal o una macolla completa. El corte se hizo similar al corte comercial: a ras del suelo, despunte adecuado, limpieza de los tallos, etc.

Cada tallo se cortó en trozos de entre 40 y 50 cm de longitud, esto para facilitar sumanejo. Con estos trozos se preparó un paquete, cuyo peso oscilaba entre 13.607 Kg y 22.679 Kg; posterior a esto los tallos fueron transportados a un molino experimental donde se extrajeron los jugos y se prepararon para su respectivo análisis, adhiriéndoles la identificación (generalmente en una etiqueta), que contenía toda la información: No. de finca, No. de lote, No. de estación, No. de muestras; grupo de muestreo y fecha de muestreo.

Finalmente se llevaron al laboratorio donde se analizaron los jugos y se determinó; brix, % de sacarosa y se calcularon los valores de pureza del jugo en porcentaje, rendimiento potencial y comercial (kg de azúcar/tonelada métrica de caña). Se realizaron análisis estadísticos, utilizando matrices y graficas de Excel como instrumentos de recolección de información para describir cada uno de los fenómenos aestudiar.

Resultados

Evaluación del DRONE

Figura 6

Evaluación de boquillas



Fuente. Autoría propia

Condiciones Meteorológicas

Informe de condiciones meteorológicas 7:00 A.M.

Tabla 4

Condiciones meteorológicas en el momento de aplicación a las 7:00 a.m






















RESULTADO						
Estación	Dir. Viento (m/s)	Vel. Viento (m/s)	Rafaga (m/s)	Temp. (°C)	Hum. Relativa (%)	
Ortigal	CALMA	0.0 	0.49	21.66 	98.1	
Miranda	SE	0.5 	0.764	20.88 	97.8	
Cenicana	SSE	0.5 	0.774	21.63 	91.9	
El Tiple	SSE	0.1 	0.529	22.02 	89.3	
El Naranjo	CALMA	0.0 	0	21.31 	100	
Florida	E	0.5 	0.764	21.63 	83.2	
Bocas del Palo	N	0.4 	0.872	22.17 	91.9	

Figura 7

Gotas registradas en tarjetas hidro sensibles a las 7 a.m



Fuente. Autoría propia

Tabla 5

Número de gotas registrado en las tarjetas hidro sensibles en el horario de las 7:00 a.m

Tarjetas	Gotas	Superficie (cm ²)	Total
1	23	7,6*2,6	19,76
2	31	7,6*2,6	19,76
3	31	7,6*2,6	19,76
4	34	7,6*2,6	19,76
5	31	7,6*2,6	19,76
6	27	7,6*2,6	19,76
7	177	7,6*2,6	118,56
Promedio	29,5		

Fuente. Tomada de Sanabria (2022).

En la aplicación de herbicidas, el número de gotas por cm² debe estar entre 20 y 30 gotas; se observa en esta aplicación de las 7:00 AM, que los datos resultan ser homogéneos, por lo que

se cuenta con vientos en calma, baja temperatura y humedad relativa alta.

Informe de condiciones meteorológicas 10:00 A.M.

Tabla 6

Condiciones meteorológicas en el momento de aplicación a las 10:00 a.m

RESULTADO							
Estacion	Dir. Viento (m/s)	Vel. Viento (m/s)	Rafaga (m/s)	Temp. (°C)	Hum. Relativa (%)		
Ortugal	ESE	1.1	2.381	25.964	76.81	▲	●
El Naranjo	ENE	1.9	2.92	24.50	82.3	▲	●
Bocas del Palo	SE	1.7	2.852	26.27	73.48	▲	●
El Tiple	SSW	1.2	2.411	26.13	69.23	▲	●
Corinto	NWW	1.4	2.479	25.29	74.45	▲	●
Genicana	WNW	0.6	1.45	25.76	70.33	▲	●
Jamundi	SE	2.0	4.145	26.75	68.74	▲	●

Figura 8

Gotas registradas en tarjetas hidro sensibles a las 10 a.m.



Fuente. Autoría propia

Tabla 7

Número de gotas registrado en las tarjetas hidro sensibles en el horario de las 10:00 a.m.

Tarjetas	Gotas	Superficie (cm ²)	Total
1	20	7,6*2,6	19,76
2	24	7,6*2,6	19,76
3	30	7,6*2,6	19,76
4	32	7,6*2,6	19,76
5	26	7,6*2,6	19,76
6	20	7,6*2,6	19,76
7	152	7,6*2,6	19,76
Promedio	25,33	7,6*2,6	19,76

Fuente. Tomada de Sanabria (2022).

Para la segunda aplicación se registran vientos de velocidad 1,1m/segundo, una temperatura promedio de 25°C y una humedad relativa promedio 76.

Informe de condiciones meteorológicas 12:00 M.

Tabla 8

Condiciones meteorológicas en el momento de aplicación a las 12:00 m.






















RESULTADO						
Estacion	Dir. Viento (m/s)	Vel. Viento (m/s)	Rafaga (m/s)	Temp. (°C)	Hum. Relativa (%)	
Ortigal	N	1.2 	2.078	28.75 	76.81	
Miranda	W	1.9 	3.146	28.89 	82.3	
Bocas del Palo	ENE	1.3 	2.205	28.25 	73.48	
El Tiple	W	0.6 	1.323	28.55 	69.23	
Corinto	N	1.7 	2.666	28.54 	74.45	
Cenicana	NNE	2.2 	4.008	28.16 	70.33	
Jamundi	ESE	0.8 	1.98	28.12 	68.74	

Figura 9

Gotas registradas en tarjetas hidrosensibles a las 12 m.



Fuente. Autoría propia

Tabla 9

Número de gotas registrado en las tarjetas hidrosensibles a las 12:00 m

Tarjetas	Gotas	Superficie (cm ²)	Total
1	15	7,6*2,6	19,76
2	22	7,6*2,6	19,76
3	29	7,6*2,6	19,76
4	34	7,6*2,6	19,76
5	26	7,6*2,6	19,76
6	19	7,6*2,6	19,76
7	145	7,6*2,6	19,76
Promedio	24,16	7,6*2,6	19,76

Fuente. Tomada de Sanabria (2022).

Como se mencionó anteriormente, en la aplicación de herbicidas el número de gotas por

cm² debe estar entre 20 y 30 gotas. Observando el conteo en las tarjetas, se cumple con los parámetros que recomienda CENICAÑA, pero no se obtiene homogeneidad.

Resultados post aplicación con el DRONE

Figura 10

Datos de Sacarosa (%) en diferentes edades del cultivo



Fuente. Sanabria (2022).

Con relación a la concentración de sacarosa en los diferentes muestreos del cultivo, estos señalaron una línea ascendente de acuerdo al madurador y la edad de lacaña para el área aplicada con el DRONE hasta el final del ciclo del cultivo, obteniendo como resultado final, 16% de concentración de sacarosa en 12,8 meses de edad del cultivo, época para la cual se realizó la cosecha.

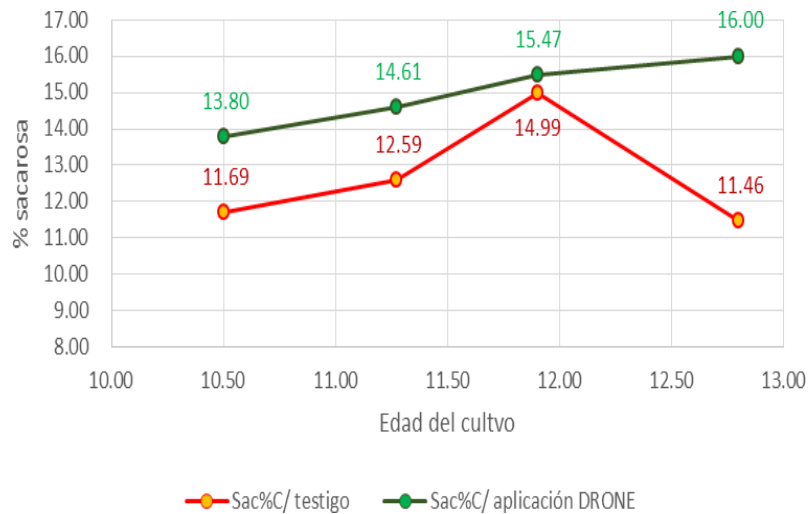
Tabla 10

Medición de Brix y Sacarosa

Muestra	Brix por densidad	Brix por refrac.	Comentario
Solución de sacarosa al 20 %	20,00 %	20,00%	Idéntico porque se trata solo de sacarosa.
Maltosa	20,02%	20,34%	Diferente porque no se trata de sacarosa.

Figura 11

Monitoreo pos-aplicación



Fuente. Sanabria (2022).

Al observar la curva de sacarosa, desde el momento de la aplicación, la parcela con el madurante aplicado con el DRONE, presenta un incremento de sacarosa constante con respecto al testigo; es decir, permite mayor estabilidad, mientras la parcela del testigo, hasta el tercer muestreo, presenta una curva ascendente en sacarosa, pero desciende para el cuarto muestreo, presentando una disminución 4.5% de sacarosa al final del ciclo del cultivo; se puede observar que no es constante en su rendimiento.

Figura 12

Parámetros visuales pos-aplicación



Fuente. Sanabria (2022).

Implementación de matriz de Vester

Se plantea el uso de la Matriz de Vester, la cual es una técnica de investigación que fue diseñada por el alemán Frederick Vester y aplicada con éxito en diversos campos. Con la matriz de Vester, se clasifican los problemas de acuerdo al tipo de relaciones para determinar quién es causa y quién es efecto.

Según Betancourt (2016), el uso de esta matriz facilita la identificación y determinación de las causas y consecuencias de una situación problemática, ubicándolas, espacialmente, en cuadrantes con la siguiente clasificación:

Cuadrante 1 Problemas Críticos

Tienen un total de activos y pasivos altos.

Se entienden como problemas de gran causalidad que a su vez son causados por la mayoría de los demás. Requieren gran cuidado en su análisis y manejo ya que de su intervención

dependen en gran medida los resultados finales.

Cuadrante 2 Problemas Pasivos

Tienen un alto total de pasivo y bajo total de activo.

Se entienden como problemas sin gran influencia causal sobre los demás, pero que son causados por la mayoría. Se utilizan como indicadores de cambio y de eficiencia de la intervención de problemas activos.

Cuadrante 3 Problemas Indiferentes

Presentan un bajo total de activos y pasivos.

Son problemas de baja influencia causal; es decir, que no son causados, ni causan a los demás. Son problemas de baja prioridad dentro del sistema analizado.

Cuadrante 4 Problemas Activos

Presentan un alto total de activos y bajo total de pasivos.

Son problemas de alta influencia sobre la mayoría de los restantes, pero, no son causados por otros. Son problemas claves, ya que son causa primaria del problema central y por ende, requieren atención y manejo crucial. (Betancourt, 2016).

Tabla 11

Matriz de Vester (Problemas temática seleccionada)

Problemas temática seleccionada	
1	Desconocimiento de aplicación de maduradores en pequeños agricultores
2	Pérdida de tallos molinables (tonelaje de caña) por la no aplicación de maduradores
3	Perdida de sacarosa hasta un 25% en áreas no aplicadas
4	Riesgo de aplicación de maduradores con ultralivianos en áreas pequeñas por derivas a otros cultivos
5	Reducción de área aplicar por obstáculos (cuerdas, guadales etc.)
6	Daños a las socas por sobre dosis de maduradores
7	Daños a la flora y la fauna por las altas velocidades del viento
8	Mayor entrada de materia extraña vegetal al molino
9	Desconocimientos de las tecnologías en aplicación de maduradores
10	Derrame del producto por emergencia en cultivos de cañas pequeñas

Fuente. Tomada de Sanabria (2022).

La matriz de Vester se utilizó para identificar y priorizar las variables. Se determinaron las variables positivas para solucionar los problemas revelados con base en las variables negativas; de igual forma, se evidenció el foco principal del problema, puesto que la matriz permite hacer un análisis multidireccional.

Tabla 12*Valoración del contraste de problemáticas Matriz de Vester (activos – pasivos)*

		Matriz De Vester										
		Situación Problemática										
Cód	Variable	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Inf.*
P1	Desconocimiento de aplicación de maduradores en pequeños agricultores	0	3	3	2	1	3	3	1	3	3	22
P2	Perdida de tallos molinables (tonelaje de caña) por la no aplicación de maduradores	3	0	3	2	2	3	3	0	3	0	19
P3	Perdida de sacarosa hasta un 25% en áreas no aplicadas	3	1	0	1	0	3	3	0	3	3	17
P4	Riesgo de aplicación de maduradores con ultralivianos en áreas pequeñas por derivas a otros cultivos	0	3	1	0	0	2	3	0	1	3	13
P5	Reducción de área aplicar por obstáculos (cuerdas, guadales etc.)	0	3	3	0	0	0	1	2	1	0	10
P6	Daños a las socas por sobre dosis de maduradores	0	0	2	0	1	0	3	0	3	3	12
P7	Daños a la flora y la fauna por las altas velocidades del viento	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3
P8	Mayor entrada de materia extraña vegetal al molino	3	0	0	1	0	0	0	0	3	3	10
P9	Desconocimientos de las tecnologías en aplicación de maduradores	3	1	1	2	3	3	0	3	0	3	19
P10	Derrame del producto por emergencia en cultivos de cañas pequeñas	0	0	1	0	0	3	3	0	2	0	9
Dependencia		12	11	14	9	8	17	19	6	20	18	90

Fuente. Tomada de Sanabria (2022).

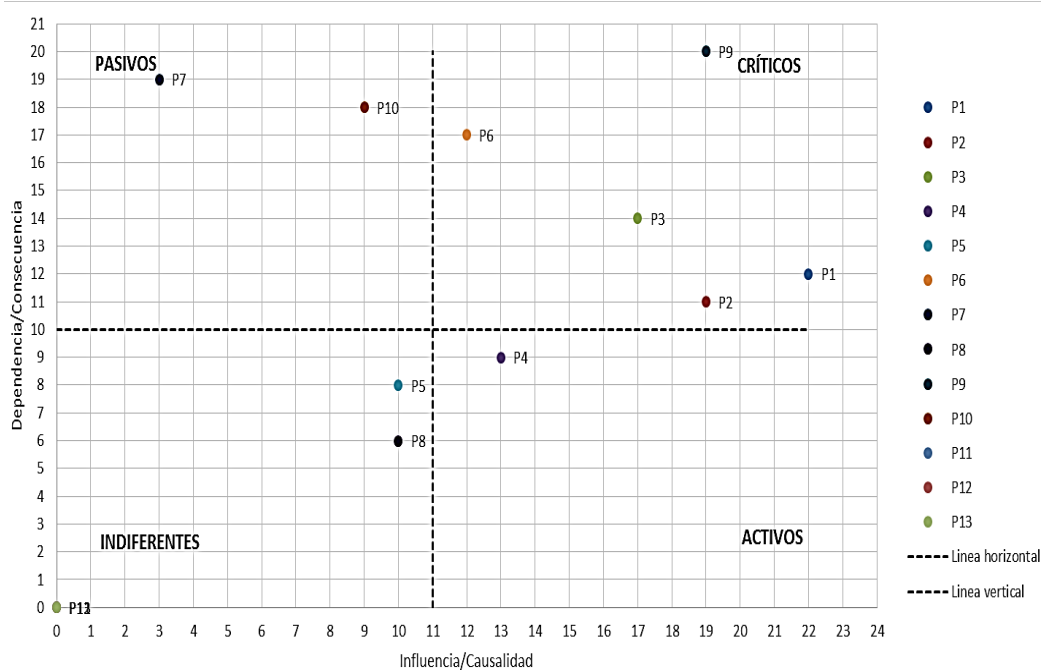
Influencia

Luego de obtener los resultados en la matriz de Vester; variables influyentes de Xy

variables dependientes de Y, se realizó el grafico de dispersión para determinar en qué posición se ubican las variables dentro del gráfico, con la finalidad de establecer qué variables negativas se tienen que atacar, inicialmente, según el análisis de este estudio.

Figura 13

Posición de las variables según el cuadrante de la matriz de Vester



Fuente. Autoría propia

En la tabla 13, se identifica en qué zona de la matriz de Vester se ubica cada variable con relación al número asignado a cada una de ellas.

Tabla 13*Identificación de Variables por Zonas*

Identificación de Variables por Zonas dentro de la Matriz de Vester			
VARIABLES	Y	X	Zonas
1	12	22	ZONA DE CONFLICTO
2	11	19	ZONA DE CONFLICTO
3	14	17	ZONA DE CONFLICTO
4	9	13	ZONA DE SALIDA/RESULTADOS
5	8	10	ZONA EXCLUIDA
6	17	12	ZONA DE CONFLICTO
7	19	3	ZONA DE PODER
8	6	10	ZONA EXCLUIDA
9	20	19	ZONA DE CONFLICTO
10	18	9	ZONA DE PODER

Fuente. Tomada de Sanabria (2022).

De acuerdo con el resultado de los cuatro cuadrantes, se clasificaron todos los problemas:

Problemas Pasivos.

P7: Daños a la flora y la fauna por las altas velocidades del viento.

P10: Derrame del producto por emergencia en cultivos de cañas pequeñas.

Problemas Críticos.

P1: Desconocimiento de aplicación de maduradores en pequeños agricultores.

P2: Pérdida de tallos molinables (tonelaje de caña) por la no aplicación de maduradores.

P3: Pérdida de sacarosa hasta un 25% en áreas no aplicadas.

P6: Daños a las socas por sobre dosis de maduradores.

P9: Desconocimientos de las tecnologías en aplicación de maduradores.

Problemas Activos.

P4: Riesgo de aplicación de maduradores con ultralivianos en áreas pequeñas por derivas a otros cultivos.

Problemas Indiferentes.

P5: Reducción de área aplicar por obstáculos (cuerdas, guadales etc.).

P8: Mayor entrada de materia extraña vegetal al molino.

Resultados de la Oficina de Control Interno en las zonas de la matriz de Vester.

Cuadrante (IV) Zona de Salida Resultado

En este cuadrante, se identifican las principales problemáticas que se presentaron en el proceso de aspersión para la maduración del cultivo, es decir, es el foco principal de los problemas, ya que las variables pertenecientes a la zona de conflicto, son factores estrechamente determinantes y correlacionados con el proceso y/o limitación de los procesos que se pueden llevar a cabo de una manera más ágil y efectiva en cuanto a la utilización del DRONE.

Cuadrante (I) Zona de Conflicto

En este cuadrante, se identifican las problemáticas derivadas del foco de los problemas que, a su vez, pueden generar un incremento considerable de las demás problemáticas. Es oportuno mencionar que, en este cuadrante, se hace la confrontación de variables negativas Vs. positivas.

Cuadrante (III) Zona Excluida

En este cuadrante se encuentran, específicamente, la reducción del área a aplicar por obstáculos y la entrada de materia extraña vegetal al molino, en estas problemáticas identificadas

en las variables descritas anteriormente, la disposición de recursos, esfuerzos y tiempo para solucionarlas no serán muy altos.

Cuadrante (II) Zona de Poder

En este cuadrante además de identificarse las consecuencias de las problemáticas en su mayoría provenientes de los problemas hallados en la zona de conflicto, sino también, se evidenció la razón de ser del presente proyecto.

Conclusiones

Al llevar a cabo la calibración adecuada de las boquillas, se aseguró una buena aplicación y óptimo aprovechamiento de los insumos químicos; la calibración garantizó las dosis correctas de las aplicaciones y se evitaron desperdicios de los productos.

Con la tarjeta hidro sensible, se definió la cobertura de aplicación por hectárea, obteniendo un promedio de 29,5, 25,33 y 24,16 gotas/cm² aplicadas en los horarios estipulados y se verificó que las cantidades de gotas se encuentran dentro de los rangos estipulados por CENICAÑA.

Al llevar a cabo la aplicación del producto en diferentes momentos del día, se tuvieron en cuenta los parámetros necesarios en cuanto a condiciones climáticas y se contó con temperatura y humedad relativa adecuadas, que permitieron aplicaciones de buena calidad, evitando daños a cultivos aledaños por el efecto de la deriva, esto se pudo constatar en los muestreos pos-aplicación; también se evitó la vaporización del producto y pérdidas de gotas que deben llegar al objetivo.

Con la aplicación del madurante sobre el cultivo, el corte de la caña se hizo a ras de cogollo, recuperando los dos últimos entrenudos que se pierden en los cortes de caña convencionales, conservándose, de esta manera, el nivel de producción de toneladas de caña por hectárea (TCH); sin aplicación de producto, se generan posibles pérdidas para la fábrica y para el agricultor.

Las evaluaciones pos-aplicación, mostraron una producción de 104,932 toneladas de caña por hectárea, (TCH), para un total de 134,014 toneladas de caña en 1,28 hectáreas con datos de concentración de sacarosa de 16,00%. Estos datos, entregados al propietario, generaron gran satisfacción y convencimiento sobre los beneficios que genera la aplicación de madurantes en el

cultivo de la caña de azúcar con la tecnología propuesta.

Con la matriz de Vester, se evaluaron todas las situaciones que se presentan a la hora de hacer una aplicación de madurantes con equipos DRONE y por las cuales, los pequeños agricultores de la región no acceden a esta tecnología; después del análisis pos-aplicación y con la obtención de los resultados, se pudieron desestimar todas estas situaciones e invitar a los demás agricultores a utilizar esta tecnología.

Referencias Bibliográficas

- Amaya, E. A., Cock, J. H., Hernández, A. y Irvine, J. E. (1995). *Biología*. En Cenicaña, (Ed.), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali* (28-62). Cenicaña.
- Asocaña. (2017). *Sector Agroindustrial de la Caña* [comunicado informativo].
<https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Betancourt, D. F. (2016, 19, junio). *Matriz de vester para la priorización de problemas. Ingenio Empresa*. www.ingenioempresa.com/matriz-de-vester.
- Carbonell, G. J. A., Quintero, D. R., Torres, A. J. S., Osorio, M. C. A., Isaacs, E. C. H. y Victoria, K. J. I. (2011). Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. *Cenicaña*, (Serie Técnica no. 38), 1-126.
- Chingo, R. E. W. (2017). *Diagnóstico de muestreo precosecha en el cultivo de caña de azúcar, ingenio La Unión, Escuintla* [Tesis de pregrado, no publicada].
- Conadesuca. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. (2015, Enero). *Ficha Técnica del Cultivo de la Caña de Azúcar (Saccharum officinarum L.)* [Ficha técnica].
- Larrahondo, J.E. y Villegas, T. F. (1995). *Control y características de maduración*. En Cenicaña, (Ed.), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali* (297-313). Cenicaña.
- Villegas, T. F. y Arcila, A. J. (1995). *Uso de madurantes*. En Cenicaña, (Ed.), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali* (315-335). Cenicaña.
- Villegas, T. F. y Arcila, A. J. (2003). Maduradores en caña de azúcar: manual de procedimientos y normas para su aplicación. *Cenicaña*, (Serie Técnica no. 32), 1-70.