

Evaluación del rendimiento comercial de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) según estratos altitudinales y tipos de suelo, Ingenio Pantaleón, Guatemala

Ronald Gamaliel Ralda Gómez

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

Evaluación del rendimiento comercial de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) según estratos altitudinales y tipos de suelo, Ingenio Pantaleón, Guatemala

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Administración de Agronegocios en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Ronald Gamaliel Ralda Gómez

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2015

Evaluación del rendimiento comercial de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) según estratos altitudinales y tipos de suelo, Ingenio Pantaleón, Guatemala

Presentado por:

Ronald Gamaliel Ralda Gómez

Aprobado:

Wolfgang Pejuán, Ph.D.
Asesor principal

Rommel Reconco, M.A.E., M.F.
Director
Departamento de Administración de
Agronegocios

Ernesto Gallo, M.B.A., M.Sc.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación del rendimiento comercial de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) según estratos altitudinales y tipos de suelo, Ingenio Pantaleón, Guatemala

Ronald Gamaliel Ralda Gómez

Resumen. En la variedad de un cultivo se encuentra el potencial genético que combinado con factores edafoclimáticos y de manejo determinan la productividad de la caña de azúcar. El rendimiento comercial de variedades de caña de azúcar del Ingenio Pantaleón en Guatemala, se evaluó para diferentes estratos altitudinales y tipos de suelo a través de modelos de regresión lineal múltiple. Para ejecutar los modelos de regresión se definieron las variables de mayor influencia sobre el rendimiento de la caña de azúcar para mantener un efecto constante de esas variables y encontrar el efecto neto de las variedades sobre la producción. Se combinaron cuatro estratos altitudinales con los diferentes tipos de suelo contenidos en cada estrato, obteniendo un total de 33 grupos. Se analizaron únicamente 12 grupos, debido a que contaban con más de cuatro variedades y con más de 15 lotes por variedad. En cada grupo se determinaron diferencias estadísticas de rendimiento entre variedades para identificar la mejor variedad según estrato altitudinal y tipo de suelo, donde 9 de los 12 grupos analizados mostraron diferencias estadísticas entre variedades. Además de la variedad, se agregó a la regresión el tercio de cosecha, número de corte, tipo de cosecha, edad, riego, fertilización al suelo y fertilización foliar. La variedad CP73-1547 y CP88-1165 presentaron los mayores rendimientos para el estrato alto y medio. La variedad CP73-1547 también resultó una de las mejores en el estrato bajo y litoral. La variedad PGM89-968 fue la mejor para el estrato bajo y la CP72-2086 para el estrato litoral.

Palabras clave: Estadística, pruebas de significancia, regresión lineal múltiple.

Abstract. The plant variety has the genetic potential that in combination with climate and management factors determine the productivity of sugar cane. The commercial yield of varieties of sugarcane from Ingenio Pantaleon in Guatemala was evaluated for different altitudinal strata and soil types through multiple linear regression models. To run the regression models, the most influential variables on the performance of sugarcane were defined to maintain a constant effect of these variables and find the net effect of sugar cane varieties on production. Four altitudinal strata were combined with different soil types contained in each stratum, yielding a total of 33 groups. Only 12 groups were analyzed because they had more than four varieties and more than 15 lots by variety. In each group, statistical yield differences between varieties were determined to identify the best varieties for each altitudinal stratum and soil type, where 9 of the 12 groups analyzed showed statistical differences between varieties. Besides the variety, the harvest period, cut number, type of harvest, age, irrigation, soil and foliar fertilization were added to the regression. The varieties CP73-1547 and CP88-1165 had the highest yields for the high and middle strata. The variety CP73-1547 was also one of the best in the low and coastal strata. The variety PGM89-968 was the best for low strata and CP72-2086 for coastal strata.

Key words: Multiple linear regression, significance tests, statistics.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4. CONCLUSIONES.....	24
5. RECOMENDACIONES.....	25
6. LITERATURA CITADA	26
7. ANEXOS.....	28

ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Clasificación de suelos por CENGICANÑA según factores limitantes y factores auxiliares.	6
2. Resultados de las regresiones de rendimiento de caña de azúcar (t/ha) sobre factores productivos como la variedad, número de corte (Ncor), tercio, riego, fertilización foliar (Ferf), fertilización al suelo (Fesu), edad, precipitación (PP), temperatura (T°), amplitud térmica (AT) y radiación (Rad) para los suelos 6, 8 y 10 del estrato alto, período 2012-2015, Guatemala.....	9
3. Diferencias en rendimiento de caña (t/ha) entre variedades para los suelos 6, 8 y 10 en el estrato alto, período 2012-2015, Guatemala.....	11
4. Resultados de las regresiones de rendimiento de caña de azúcar (t/ha) sobre factores productivos como la variedad, número de corte (Ncor), tercio, tipo de cosecha (cosecha), riego, fertilización foliar (Ferf), fertilización al suelo (Fesu), edad, precipitación (PP), temperatura (T°), amplitud térmica (AT) y radiación (Rad) para los suelos 2, 5, 7 y 8 del estrato medio, período 2012-2015, Guatemala.....	13
5. Diferencias en rendimiento de caña (t/ha) entre variedades para los suelos 2, 5, 7 y 8 en el estrato medio, período 2012-2015, Guatemala.....	15
6. Resultados de las regresiones de rendimiento de caña de azúcar (t/ha) sobre factores productivos como la variedad, número de corte (Ncor), tercio, tipo de cosecha (cosecha), riego, fertilización foliar (Ferf), fertilización al suelo (Fesu), edad, precipitación (PP), temperatura (T°), amplitud térmica (AT) y radiación (Rad) para los suelos 1,3 y 10 del estrato bajo, período 2012-2015, Guatemala.....	17
7. Diferencias en rendimiento de caña (t/ha) entre variedades para los suelos 1, 3 y 10 en el estrato bajo, período 2012-2015, Guatemala.....	19
8. Resultados de las regresiones de rendimiento de caña de azúcar (t/ha) sobre factores productivos como la variedad, número de corte (Ncor), tercio, tipo de cosecha (cosecha), riego, fertilización foliar (Ferf), fertilización al suelo (Fesu), edad, precipitación (PP), temperatura (T°), amplitud térmica (AT) y radiación (Rad) para los suelos 3 y 10 del estrato litoral, período 2012-2015, Guatemala....	20
9. Diferencias en rendimiento de caña (t/ha) entre variedades para los suelos 3 y 10 en el estrato litoral, período 2012-2015, Guatemala.....	22

1. Área sembrada por las distintas variedades en el Ingenio Pantaleón, Guatemala, año 2014.	28
2. Tabla de distribución de t de student.	29
3. Tabla de distribución de F con 5% de significancia.	30

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de caña de azúcar es el segundo de los cultivos permanentes con mayor extensión en Guatemala. Cuenta con 260 mil hectáreas y ha presentado un incremento de 39% en su extensión en los últimos 10 años (INE 2013). El sector azucarero generó un ingreso de \$978.1 millones en divisas para el año 2013, el cual representa el 31% de las exportaciones agrícolas y el 15% del total de exportaciones de Guatemala. La participación en el PIB nacional es de 3% y genera 425,000 empleos directos e indirectos. Del total de empleos, 32,000 corresponden a cortadores de caña, quienes trabajan de manera temporal en los meses de noviembre hasta mayo aproximadamente (AZASGUA 2014).

A nivel de industria azucarera guatemalteca, en la zafra 2013-14 se cultivaron ocho variedades de caña de azúcar con más del uno por ciento del área y que ocupan el 87% del área total. Esta distribución no es la más adecuada si se toma como base que en términos ideales el 90% del área debería de estar ocupada por seis variedades con una distribución homogénea para no depender de una o dos variedades solamente (Orozco *et al.* 2014). La composición varietal de la agroindustria azucarera de Guatemala presenta un predominio por las variedades CP provenientes de la estación experimental Canal Point, Florida debido a su fácil adaptabilidad a la zona cañera de la costa sur guatemalteca (CENGICANA 2012).

El Ingenio Pantaleón es el segundo ingenio más grande de Guatemala después del Ingenio Magdalena. Posee aproximadamente 54,000 hectáreas en producción que se encuentran distribuidas en la costa sur de Guatemala, en los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Santa Rosa y Retalhuleu. Debido a su amplia distribución, Pantaleón está dividido longitudinalmente en región oeste, centro y este. También está dividida en cuatro estratos altitudinales: el estrato litoral (menor a 40 msnm), bajo (40 – 100 msnm), medio (100 – 300 msnm) y alto (mayor a 300 msnm). Posee 35 variedades en producción comercial, de las cuales el 90% del área está sembrada por ocho variedades¹ (Anexo 1). El siguiente proyecto apoyará la toma de decisiones en el departamento de producción de caña del Ingenio Pantaleón, donde el principal interés es el rendimiento en toneladas de caña por hectárea.

En la variedad se encuentra el potencial genético, que combinado con factores como el clima, suelo, fertilidad, agua y la presencia o ausencia de plagas determinan los

¹ Corado Cano, E.E. 2014. Generalidades del Ingenio Pantaleón, Escuintla, Guatemala. Comunicación personal y correo electrónico.

rendimientos potenciales de cada variedad (CENGICANÑA 2012). Se define como variedad a un grupo de plantas con un solo taxón botánico que expresan los caracteres resultantes de cierto genotipo o combinación de genotipos (UPOV 2010).

La productividad de la caña se ve limitada según la altitud en la que se encuentra, debido que a menor altitud, la temperatura y la radiación solar aumentan, y estos dos factores son determinantes principales de la tasa fotosintética y productividad del cultivo (Soto y Gama 1997). La caña de azúcar es un cultivo que se adapta a varios tipos de suelos. Se ha cultivado comercialmente en suelos arcillosos y arenosos, aunque prefiere suelos francos, profundos y bien drenados (MAG 1991). El incremento en productividad requiere de un uso más específico de los recursos, incluyendo el suelo, el cual es un factor determinante en la producción de biomasa de los cultivos (De Paepe y Alvarez 2013).

Los modelos de regresión lineal múltiple son utilizados para pronosticar el resultado de una variable dependiente, según el efecto de dos o más variables independientes. También permite medir el efecto neto de una o más actividades sobre la variable dependiente. Los modelos de regresión múltiple son utilizados en fenómenos económicos más que en fenómenos naturales, sin embargo son aplicadas en problemáticas de producción por estudiantes de doctorados en economía agrícola (Wooldridge 2010).

El objetivo general del estudio es evaluar el rendimiento comercial de variedades de caña de azúcar según estratos altitudinales y tipos de suelo para lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los factores que afectan el rendimiento de la caña de azúcar para controlar estos factores al medir el efecto específico de la variedad sobre el rendimiento a través de la regresión lineal múltiple.
- Identificar las variedades existentes en los diferentes estratos altitudinales y tipos de suelo para evaluar aquellas que tengan suficientes observaciones para ejecutar la regresión.
- Evaluar las diferencias en rendimiento de las variedades identificadas en cada estrato altitudinal y tipo de suelo.
- Determinar, para cada altitud y tipo de suelo, la mejor variedad según el rendimiento comercial en toneladas de caña por hectárea.

2. METODOLOGÍA

La evaluación del rendimiento comercial de las variedades en los estratos altitudinales y tipos de suelo a estudiar se realizó a través de varias regresiones lineales múltiples, que relacionan dos o más variables independientes con respecto a una variable dependiente (Gujarati 2006). Para ejecutar la regresión, primero se definieron las variables del modelo para después ordenar y clasificar los datos y ejecutar la regresión. Se realizó una prueba “*F*” de significancia para detectar diferencias entre los coeficientes de las variedades y determinar la mejor variedad en términos de rendimiento según el estrato y tipo de suelo analizado.

Modelo de regresión

Una regresión se representa con una función donde la variable dependiente (Y) es explicada por una o más variables independientes (X) (Walpole *et al.* 2012). El modelo general del estudio contiene 13 variables independientes sugeridas por el encargado de variedades en el Ingenio Pantaleón con más de 20 años de experiencia y según estudios realizados que definen los factores que influyen en el rendimiento de la caña de azúcar.

La variedad es la variable independiente con mayor importancia en el estudio, incluida para determinar la mejor variedad en cada estrato y tipo de suelo analizado. Sin embargo, es necesario mantener el resto de factores controlados, “*ceteris paribus*”, por lo cual se agregó el resto de variables independientes. Las variables climáticas de precipitación, temperatura, amplitud térmica y radiación se agregaron para el control del ambiente. También se agregó al modelo el año de la zafra para controlar otros factores variables dentro de los años. En la variable zafra se controlan actividades como ataque y control de plagas, enmiendas al suelo, daño por madurante u otras actividades que influyen en el rendimiento y no se tomaron en cuenta por falta de datos. Se agregaron otras variables independientes que no son tan obvias como las variables climáticas o el año de la zafra, estas variables se incluyeron por las razones explicadas en los siguientes párrafos.

El sector azucarero de Guatemala divide sus períodos de cosecha en tres épocas, conocidas como tercios de cosecha. Los rendimientos de la caña son diferentes en cada tercio de cosecha debido a que la planta inicia una maduración natural, en la que detiene su crecimiento vegetativo para iniciar su crecimiento reproductivo. El momento de maduración es diferente para cada variedad, y al no cosecharse en dicha época reduce el rendimiento (Mago y Galínez 1986). Al igual que el tercio de cosecha, existe una edad de corte de mayor producción debido a la maduración de la planta, por lo que al cosechar la planta fuera de su ideal disminuye la producción (Larrahondo 1995).

El número de corte hace referencia a las veces que la planta ha sido cosechada después de su siembra. Los rendimientos de la caña de azúcar se reducen al aumentar los números de cortes después de la segunda o tercera vez que se cosecha la planta debido al desgaste del tiempo en la planta, además del daño que se le provoca a la planta al cosecharla (Marcano *et al.* 2013). La cosecha manual y mecanizada difieren en el rendimiento debido a que la eficiencia de la cosecha mecanizada es superior a la manual, aumentando el rendimiento en toneladas por hectárea (Bolaños *et al.* 2006).

El riego afecta el rendimiento de la planta y aunque la caña es un cultivo tolerante a sequía, necesita mucha agua para alcanzar altos rendimientos (Técnica Internacional 2014). La fertilización al suelo afecta significativamente la producción ya que al no realizarse, los requerimientos nutricionales no se cumplen disminuyendo el rendimiento (Romero *et al.* s.f.). La fertilización foliar es generalmente utilizada para la corrección de deficiencias y aplicación de micronutrientes, además el realizarla también aumenta la producción (Santos y Aguilar 2000). La función principal que se utilizó para todos los modelos de regresión se muestra en la Ecuación 1.

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \gamma_j Var_{ij} + \sum_{k=1}^2 \delta_k Zafra_{ik} + \sum_{l=1}^2 \rho_l Ter_{il} + \sum_{s=1}^n \varphi_s Ncor_{is} + \beta_2 Cos_i + \beta_3 Rie_i + \beta_4 Fesu_i + \beta_5 Ferf_i + \beta_6 Edad_i + \beta_7 PP_i + \beta_8 T^\circ_i + \beta_9 AT_i + \beta_{10} Rad_i + \mu_i \quad [1]$$

Donde:

Y_i : toneladas de caña por hectárea de cada lote “i”.

Var_{ij} : variedad “j” en el lote “i”, (j=2, 3, ..., m), (1 para variedad “j”; 0 para cualquier otro).

$Zafra_{ik}$: período de cosecha² “k” en el lote “i”, (1 para zafra “k”; 0 para cualquier otro).

Ter_{il} : tercio de cosecha “l” en el lote “i”, (1 para tercio “l”; 0 para cualquier otro).

$Ncor_{is}$: número de corte “s” en el lote “i”, (s=1, 2, ..., n), (1 para número de corte “s”; 0 para cualquier otro).

Cos_i : tipo de cosecha en el lote “i”, (1 para cosecha mecanizada; 0 para manual).

Rie_i : riego en el lote “i”, (1 para riego realizado; 0 para no realizado).

$Fesu_i$: fertilización al suelo en el lote “i”, (1 para fertilización realizada; 0 para no realizada).

$Ferf_i$: fertilización foliar en el lote “i”, (1 para fertilización realizada; 0 para no realizada).

$Edad_i$: meses transcurridos después de la siembra o cosecha anterior.

PP_i : precipitación pluvial acumulada en mm.

T°_i : temperatura diaria promedio en °C/día.

AT_i : amplitud térmica promedio, medida en diferencia de °C/día.

Rad_i : radiación acumulada en MJ/m² para los meses de vida de la planta.

² La zafra hace referencia al año de inicio y fin de la cosecha, por ejemplo la zafra 12-13 indica que la cosecha inició en noviembre del 2012 y finalizó en abril de 2013.

El tercio de cosecha ideal depende de las variedades sembradas. En general, se espera que el primer tercio sea de mayor producción que el segundo y tercer tercio. El ciclo de vida de la caña es de 4 a 5 años, en donde los primeros años son los más productivos. Se espera que los coeficientes de los números de corte disminuyan al aumentar el número de corte. El tipo de cosecha fue omitido en algunas regresiones por falta de observaciones, pero en general se dice que la cosecha mecanizada aumenta la producción de caña debido a que es más eficiente. El riego y la fertilización al suelo son dos de las actividades que mayor impacto han tenido en la producción de caña de azúcar, el realizarlo en las cantidades y momentos requeridos tendrá un efecto positivo sobre la producción.

La fertilización foliar es una actividad que se realizó por primera vez de forma comercial en la zafra 14-15 y se aplicaron diferentes fórmulas y en diferentes tiempos³, razón por la cual en algunos casos su coeficiente podría ser positivo y en otros negativo. El coeficiente de la edad depende de los meses de edad al que se coseche. Si la edad es mayor a la de mayor rendimiento, se espera que el coeficiente sea negativo, y si es menor, el coeficiente será positivo. La precipitación, la temperatura, amplitud térmica y la radiación tienen un efecto similar a la edad. Si la media de cada factor es superior a la media con mayor rendimiento, se espera que el coeficiente sea negativo, porque un exceso de lluvia, una temperatura y/o radiación mayor a la esperada causará una reducción en la productividad. En cambio si la media de estos factores es menor a la media con mayor rendimiento, el coeficiente será positivo.

Se ordenaron y clasificaron los datos, agrupando los diferentes tipos de suelo contenidos en cada estrato altitudinal y se ejecutó una regresión para cada combinación que contenga las observaciones suficientes.

Ordenamiento y clasificación de datos

El estudio utilizó datos históricos de producción y manejo de los años 2012 al 2014 del Ingenio Pantaleón, Guatemala, que se agruparon en una tabla de Excel, se tabularon en un mismo formato y se ordenaron los datos para cada estrato altitudinal según los tipos de suelo contenidos en cada uno. Pantaleón se encuentra dividido en cuatro estratos altitudinales, y realiza una clasificación de suelos según factores limitantes y factores auxiliares (CENGICAÑA 2012). La clasificación de suelos de CENGICAÑA incluye 13 tipos de suelo existentes en toda la costa sur guatemalteca, que se detallan en el Cuadro 1. Sin embargo, el Ingenio Pantaleón solamente contiene 11 tipos de suelo, excluyendo los tipos de suelo 9 y 11.

³ Toledo, I.V. 2015. Fertilización foliar del Ingenio Pantaleón, Escuintla, Guatemala. Comunicación personal.

Cuadro 1. Clasificación de suelos por CENGICAÑA según factores limitantes y factores auxiliares.

Grupo de suelo	Características
1	Suelos Mollisoles profundos de alta fertilidad
2	Suelos Andisoles profundos, bien drenados que presentan erosión ligera
3	Suelos de textura gruesa, moderadamente profundos y permeables (Mollisoles secos)
4	Suelos Inceptisoles moderadamente profundos de textura arcillosa y de baja permeabilidad
5	Suelos Inceptisoles de textura arcillosa, con relieve ligeramente inclinado susceptibles a la erosión y de baja permeabilidad
6	Suelos Andisoles moderadamente profundos, con relieve ligeramente inclinado a ondulado susceptibles a erosión
7	Suelos de textura arcillosa que se agrietan en el verano, con relieve ligeramente inclinado susceptibles a la erosión y muy lentamente permeables (Integrados Vérticos)
8	Suelos superficiales limitados por la presencia de talpetate (Andisoles superficiales)
9	Suelos Mollisoles afectados por la presencia moderada de sales en el perfil, de textura gruesa y altamente permeables
10	Suelos Entisoles con muy baja retención de agua, limitados por la presencia de capas de arena en el perfil
11	Suelos con relieve ligeramente inclinado a ondulado susceptibles a erosión, texturas pesadas de lenta permeabilidad y presencia de sodio (Alfisolos Vérticos)
12	Suelos Inceptisoles y Entisoles que forman parte del lomerío con pendiente elevada, de relieve ondulada a quebrada de baja fertilidad
13	Suelos de baja fertilidad con texturas pesadas de baja permeabilidad, muy secos en verano y son de relieve plano y ondulado (Los Llanos de la Costa Sur)

Fuente: CENGICAÑA, 2012. Modificado por el autor.

Los 11 tipos de suelo no se encuentran por completo en una sola altitud, por lo que al realizar la combinación de las 4 altitudes y los 11 tipos de suelo se obtiene una cantidad menor a las 44 posibles combinaciones. Del total de grupos, se analizaron solamente aquellos grupos que tengan cuatro o más variedades y con más de 15 lotes por variedad. Para los números de corte, se analizó solamente los números de corte que contenían al menos 15 lotes por número de corte y los demás fueron excluidos del análisis.

Ejecución

Los modelos de regresión se ejecutaron utilizando el programa IBM SPSS Statistics 22, con el cual se obtuvieron los coeficientes de las variables independientes y sus errores estándares. Además de información del modelo de regresión como la significancia general del modelo, significancia de las variables, el R^2 normal y ajustado de la regresión. El programa STATA IC/12.1, se utilizó para la prueba de significancia F entre variedades, donde se obtuvo una probabilidad que indica la diferencia estadística entre una variedad y otra. Además se ejecutó la prueba de White para detectar heteroscedasticidad en cada modelo de regresión. En caso de existir heteroscedasticidad se ejecutaron los modelos de regresión con los errores estándares robustos y la prueba de significancia de F con dichos errores estándares.

Pruebas de significancia

La prueba de significancia t se utiliza para determinar si cada uno de los coeficientes de una regresión son diferentes de cero y también para encontrar diferencias estadísticas entre coeficientes de la misma regresión. Esto lo hace a través de una prueba de hipótesis, donde la hipótesis nula indica que no hay diferencia estadística y la hipótesis alterna significa que si hay diferencia (Badii *et al.* 2012). Utilizando el programa SPSS se ejecutó la prueba t de Student para determinar la significancia de todos los coeficientes, comparando cada coeficiente con cero. El cálculo del estadístico t para la prueba de significancia se muestra en la Ecuación 2 y la distribución t de Student para la prueba de hipótesis se encuentra en el Anexo 2.

$$t_{(\alpha/2, n-(k+1))} = \frac{\widehat{\beta}_i - \beta_i}{ee(\widehat{\beta}_i)} \quad [2]$$

Donde:

t : estadístico t de Student

α : grado de significancia estadística

n : número de observaciones

k : número de variables independientes

$\widehat{\beta}_i$: coeficiente a comparar

β_i : valor de la hipótesis, para este caso es cero

$ee(\widehat{\beta}_i)$: error estándar del coeficiente a comparar

Se utilizó la prueba de significancia F de Fisher para regresiones lineales, para encontrar diferencias entre variedades como en una prueba de medias (Blackwell 2008). La prueba F se ejecutó en el programa STATA comparando todas las variedades entre sí, y después se ordenaron de mayor a menor coeficiente. El cálculo del estadístico F para la prueba de significancia se muestra en la Ecuación 3 y la distribución de F para prueba de hipótesis se encuentra en el Anexo 3.

$$F_{(q,n-(k+1))} = \frac{(L\hat{\beta} - c)' [\hat{\sigma}^2 L(X'X)^{-1} L']^{-1} (L\hat{\beta} - c)}{q} \quad [3]$$

Donde:

F : estadístico F de Fisher

q : número de restricciones

n : número de observaciones

k : número de variables independientes

L : matriz de coeficientes de las restricciones lineales en el vector de coeficientes de la regresión

$\hat{\beta}$: vector de los coeficientes de la regresión

c : vector de valores de la restricción según las hipótesis

$\hat{\sigma}$: varianza del error

X : matriz de valores de las variables independientes

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La combinación de los cuatro estratos altitudinales y los tipos de suelo contenidos en cada estrato altitudinal generó 33 grupos posibles para analizar. Del total de grupos obtenidos se corrieron las regresiones solamente a los grupos que contenían más de cuatro variedades y al menos 15 lotes por variedad, quedando 12 grupos a analizar. Los modelos de regresión ejecutados se agruparon según el estrato altitudinal y se discuten a continuación juntamente con la prueba de significancia para las variedades de cada regresión.

Modelos de regresión para el estrato alto

El estrato alto se encuentra desde 300 msnm hasta 700 msnm en algunos casos. Tiene una precipitación media anual de 3,679 mm, una temperatura promedio de 24.89°C, una amplitud térmica promedio de 11.98°C/día y una radiación promedio de 5,896 MJ/m²/año. Posee 6 tipos de suelo, sin embargo, solamente los suelos 6, 8 y 10 contenían más de cuatro variedades con más de 15 lotes por variedad, razón por la cual estas son las regresiones que se muestran en el Cuadro 2. La prueba de White para heteroscedasticidad arrojó una probabilidad de 0.005, 0.827 y 0.216 para las regresiones de los tipos de suelos 6, 8 y 10 respectivamente. Esto demuestra que el suelo 6 presentó heteroscedasticidad, por lo que se muestran los errores estándares robustos que fueron utilizados para las pruebas de significancia.

Cuadro 2. Resultados de las regresiones de rendimiento de caña de azúcar (t/ha) sobre factores productivos como la variedad, número de corte (Ncor), tercio, riego, fertilización foliar (Ferf), fertilización al suelo (Fesu), edad, precipitación (PP), temperatura (T°), amplitud térmica (AT) y radiación (Rad) para los suelos 6, 8 y 10 del estrato alto, período 2012-2015, Guatemala.

Variable	Suelo 6		Suelo 8		Suelo 10	
	Coef ^γ	EE.R ^δ	Coef	EE ^ε	Coef	EE
Constante	394.15 *	129.68	178.24 *	50.33	22.85	138.60
CP72-2086	nc ^λ	nc	-2.82	4.34	nc	nc
CP73-1547	-9.21 *	2.91	6.61 *	2.03	21.73 *	4.14
MEX79-431	nc	nc	nc	nc	-0.04	5.01
CP72-1312	-2.07	3.61	-3.48	3.20	21.54 *	5.42
CG98-10	-1.22	3.21	nc	nc	nc	nc
PR75-2002	-5.41 *	2.35	nc	nc	nc	nc

Variable	Suelo 6		Suelo 8		Suelo 10	
	Coef ^γ	EE.R ^δ	Coef	EE ^ε	Coef	EE
MEX82-114	nc	nc	19.27 *	2.79	nc	nc
CP88-1508	nc	nc	-1.39	4.27	nc	nc
PR87-2015	-4.20	3.88	nc	nc	nc	nc
Q_107	-0.24	3.83	nc	nc	nc	nc
Zafra 13-14	8.69	5.57	5.79	2.99	-16.40 *	6.04
Zafra 14-15	16.28	9.59	2.72	3.56	-23.52 *	8.40
Tercio 2	-3.06	2.25	-7.48 *	2.06	-4.30	3.38
Tercio 3	-7.42 *	3.78	-15.27 *	2.41	-11.05	5.66
Ncor1	-1.32	3.04	-2.13	2.55	-13.21 *	4.24
Ncor2	-7.43 *	3.51	-10.10 *	2.53	-27.47 *	4.52
Ncor3	-13.82 *	3.07	-13.09 *	2.71	-22.58 *	5.28
Ncor4	-12.26 *	3.78	-12.34 *	3.25	-37.67 *	4.63
Ncor5	-15.24 *	4.59	-9.73	11.61	-17.77	11.41
Ncor6	1.32	5.10	-13.41	16.45	nc	nc
Ncor7	nc	nc	-48.96 *	11.64	nc	nc
Ncor8	nc	nc	-29.64 *	8.64	nc	nc
Riego	7.03	3.96	3.32	3.13	nc	nc
Fesu	11.83 *	4.91	15.54 *	6.75	13.92	15.26
Ferf	-8.63 *	2.60	-0.74	2.03	6.17	3.49
Edad	-23.96 *	10.45	-7.07	3.94	17.22	10.78
PP	-0.01 *	0.00	-0.01 *	0.00	-0.01 *	0.01
T°	-14.54	8.32	-5.17 *	2.35	2.51	6.87
AT	1.43	12.67	0.53	2.19	4.95	4.10
Rad	0.06 *	0.02	0.02 *	0.01	-0.03	0.02
N	540		478		142	
R ²	0.27		0.36		0.67	

Nota: para todas las regresiones se tomó como base la variedad CP88-1165, la zafra 2012-2013, primer tercio de cosecha y número de corte cero.

γ Coeficiente de la regresión

δ Error estándar robusto del coeficiente

ε Error estándar del coeficiente

* Significancia estadística con $\alpha = 0.05$

λ No calculado por falta de observaciones

Los coeficientes de la zafra no muestran ninguna tendencia debido a diferencias intrínsecas de cada año y el efecto que tienen los diferentes tipos de suelo. Para el estrato alto, el resultado del tercio de cosecha concuerda con lo esperado ya que las variedades sembradas en este estrato, tienen el primer tercio como el de mayor producción. Los números de corte muestran sus coeficientes mayores en los primeros años, lo cual es de

esperarse debido al mayor vigor de la planta en edades tempranas, lo cual se corrobora con la disminución en producción después de los 4 años. El riego y la fertilización al suelo muestran un efecto positivo en la producción según lo esperado, porque al realizar estas actividades según los requerimientos del cultivo aumentan la producción. La fertilización foliar presentó un coeficiente negativo en el suelo 6, probablemente porque no se realizó en tiempo adecuado.

La edad de corte fue significativa solamente para el suelo 6, en donde la media fue 12.6 meses, la cual se encuentra por encima de la edad más productiva por lo que su coeficiente es negativo. La precipitación y la temperatura presentan coeficientes negativos porque el estrato alto es donde se presenta la mayor precipitación, por lo que al recibir una mayor precipitación reduce la producción. El coeficiente de la temperatura depende de las variedades utilizadas, para el suelo 8, las variedades agregadas no responden a altas temperaturas, por lo que si la temperatura ambiental aumenta, reducen su producción. La radiación tiene el efecto esperado, ya que al aumentar la radiación, aumenta la tasa fotosintética, aumentando la producción de los cultivos. La amplitud térmica fue el único coeficiente que no mostró un efecto significativo para la producción en los tres modelos. Posiblemente fue una variación insuficiente de la radiación o no tiene un efecto significativo en el rendimiento.

Se elaboró un análisis de diferencias de rendimiento entre variedades para cada modelo de regresión ejecutado en el estrato alto, comparando los coeficientes de todas las variedades entre sí. El resultado de las diferencias significativas y no significativas del rendimiento de cada variedad se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Diferencias en rendimiento de caña (t/ha) entre variedades para los suelos 6, 8 y 10 en el estrato alto, período 2012-2015, Guatemala.

Suelo 6			Suelo 8			Suelo 10		
Variedad	Dif ^γ		Variedad	Dif		Variedad	Dif	
CP88-1165	a [¥]	na ^λ	MEX82-114	a	na	CP73-1547	a	na
Q_107	ab	0.24	CP73-1547	b	12.66	CP72-1312	a	0.19
CG98-10	ab	0.98	CP88-1165	c	6.61	CP88-1165	b	21.54
CP72-1312	ab	0.85	CP88-1508	c	1.39	MEX79-431	b	0.04
PR87-2015	ab	2.13	CP72-2086	c	1.43			
PR75-2002	b	1.21	CP72-1312	c	0.65			
CP73-1547	b	3.79						

^γ Diferencia en rendimiento entre la variedad y la variedad anterior en el cuadro.

[¥] Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre variedades.

^λ No aplica.

La variedad que mejor se adapta al tipo de suelo 6 y el estrato alto es la CP88-1165, seguido de las variedades Q_107, CG98-10, CP72-1312, PR87-2015, que no muestran diferencias significativas con la primera con una diferencia máxima de 4.17 t/ha entre la

variedad CP88-1165 y la PR87-2015. La variedad PR75-2002 y CP73-1547 son las de menor rendimiento, diferentes a la CP88-1165, con una diferencia mínima de 5.38 t/ha entre la variedad CP88-1165 y la PR75-2002. El alto rendimiento de las variedades CP88-1165 y Q_107 concuerda con la recomendación de CENGICAÑA al ingenio Pantaleón que indica que estas variedades se desarrollan de manera óptima en el estrato alto y suelo 6. La variedad CG98-10 es recomendada en el suelo 6, aunque se menciona que tiene mejores rendimientos en el estrato medio. Las variedades PR87-2015 y PR75-2002 se recomiendan sembrar en el estrato alto y suelo 6, sin embargo la PR75-2002 presentó rendimientos bajos, diferentes de la mejor variedad. Las variedades CP72-1312 y CP73-1547 se consideran aptas para las cuatro altitudes, sin embargo solamente la variedad CP73-1547 se recomienda sembrar en el suelo 6. A pesar de la recomendación de la variedad CP73-1547, esta presentó un bajo rendimiento debido a que solamente el 4% de los lotes estudiados reciben riego y las pocas observaciones hacen que no exista un buen control de riego sobre esta variedad.

Los rendimientos obtenidos por la variedad MEX82-114 en el suelo 8 concuerdan con la recomendación de CENGICAÑA, y se muestra como la mejor variedad con diferencias significativas sobre el resto, donde la diferencia en rendimiento con la segunda mejor variedad es de 12.7 t/ha. La variedad CP73-1547 es recomendada solamente para el estrato alto y no para el tipo de suelo 8 y aun así tuvo un rendimiento alto, inferior a la variedad MEX82-114 y superior al resto con una diferencia mínima de 6.6 t/ha entre la CP88-1165 y la CP73-1547. Las variedades CP88-1165 y CP88-1508 son recomendadas para el estrato alto y suelo 8, sin embargo no presentaron rendimientos altos en este suelo, como lo hizo la variedad CP88-1165 en el suelo 6. Esto demuestra que la variedad CP88-1165 es susceptible a superficies limitadas por la presencia de talpetate (característica del suelo 8). Las variedades CP72-2086 y CP72-1312 no son aptas para el tipo de suelo 8 según CENGICAÑA, y solamente la CP72-1312 es recomendada para el estrato alto y la CP72-2086 se recomienda sembrar en los estratos medio, bajo y litoral. Los bajos rendimientos de las últimas dos variedades demuestran nuevamente que son pocas las variedades que soportan limitantes de superficie (presencia de talpetate) como la del tipo de suelo 8.

Las variedades con mayor rendimiento en el estrato alto y suelo 10 fueron las CP73-1547 y CP72-1312, que no presentaron diferencias significativas entre sí, aunque sí diferencias significativas con las variedades CP88-1165 y MEX79-431. La diferencia del rendimiento entre las variedades que sí mostraron una diferencia significativa es de aproximadamente 21.5 t/ha, sin embargo donde no hay diferencia significativa, la diferencia en producción es menor a 0.2 t/ha. Las dos primeras variedades se adaptan bien al estrato alto, y solamente la CP72-1312 se recomienda sembrar en tipo de suelo 10. La variedad CP73-1547 tuvo un alto rendimiento a pesar de estar en un suelo no recomendado por CENGICAÑA, se perfila a esta variedad como una variedad promisoría en el sector azucarero de Guatemala (Orozco *et al.* 2014). Las variedades CP88-1165 y MEX79-431 son recomendadas para el estrato alto, pero no para el suelo 10, por lo que presentaron bajo rendimiento, demostrando que estas variedades son susceptibles a suelos con baja retención de agua, limitados por capas de arena en el perfil.

Modelos de regresión para el estrato medio

El estrato medio (100 - 300 msnm) posee 11 tipos de suelo, de los cuales únicamente se corrió una regresión para cada uno de los suelos 2, 5, 7 y 8 que se muestran en el Cuadro 4 debido a la disponibilidad de suficientes observaciones. El estrato medio tiene una precipitación media anual de 2,900 mm, una temperatura promedio de 25.38°C, una amplitud térmica promedio de 12.24 °C/día y una radiación promedio de 5,884 MJ/m²/año. La prueba de White para heteroscedasticidad arrojó una probabilidad de 0.033, 0.061, 0.307 y 0.000 para las regresiones de los tipos de suelos 2, 5, 7 y 8 respectivamente. Esto demuestra que los suelos 2 y 8 presentaron heteroscedasticidad, por lo que se muestran los errores estándares robustos que fueron utilizados para las pruebas de significancia.

Cuadro 4. Resultados de las regresiones de rendimiento de caña de azúcar (t/ha) sobre factores productivos como la variedad, número de corte (Ncor), tercio, tipo de cosecha (cosecha), riego, fertilización foliar (Ferf), fertilización al suelo (Fesu), edad, precipitación (PP), temperatura (T°), amplitud térmica (AT) y radiación (Rad) para los suelos 2, 5, 7 y 8 del estrato medio, período 2012-2015, Guatemala.

Variable	Suelo 2		Suelo 5		Suelo 7		Suelo 8	
	Coef ^γ	EE.R ^δ	Coef	EE ^ε	Coef	EE	Coef	EE.R
Constante	55.43 *	18.74	167.67 *	47.77	-24.77	41.93	141.14 *	66.43
CP72-2086	-0.58	2.13	0.08	2.53	-5.99	4.06	-3.30	1.92
CP73-1547	8.56 *	1.41	-6.69	4.13	nc	nc	-1.71	2.61
MEX79-431	-9.94 *	3.58	nc	nc	nc	nc	nc	nc
CG98-78	-1.31	2.68	-1.66	4.24	-4.35	3.79	nc	nc
PGM89-968	nc ^λ	nc	nc	nc	-14.13 *	4.36	nc	nc
CP72-1312	9.32 *	2.95	nc	nc	nc	nc	nc	nc
RB84-5210	-6.21	6.28	nc	nc	nc	nc	-2.23	4.93
Zafra 13-14	-1.01	1.65	0.57	3.98	-22.19 *	4.81	-3.00	4.14
Zafra 14-15	-2.44	2.05	-9.18	4.82	-20.15 *	5.87	1.64	5.79
Cosecha	4.95 *	2.12	nc	nc	nc	nc	nc	nc
Tercio 2	-3.54 *	1.33	-15.18 *	2.98	nc	nc	0.97	2.42
Tercio 3	-6.29 *	1.94	-26.37 *	2.70	-2.10	5.57	-6.87 *	2.34
Ncor1	0.63	1.80	2.00	3.59	6.70	5.05	7.90 *	2.47
Ncor2	-1.62	2.05	-5.06	3.70	2.78	4.86	-2.82	3.23
Ncor3	-3.02	1.84	-6.14	4.14	10.55	5.33	-2.88	2.63
Ncor4	0.02	1.97	1.00	5.20	1.51	6.65	-5.15	2.66
Ncor5	0.13	2.26	-2.36	7.47	7.01	8.21	0.19	4.52
Ncor6	-1.28	3.36	-23.86	12.94	15.25	13.82	nc	nc
Ncor7	-0.94	7.14	nc	nc	-4.53	13.63	nc	nc
Ncor8	nc	nc	nc	nc	nc	nc	-3.62	6.18
Riego	-0.01	3.26	23.21 *	8.73	-5.07	3.42	0.76	2.38
Fesu	15.40 *	3.90	-2.64	5.52	19.42 *	8.33	0.59	2.39
Ferf	0.56	1.66	-4.10	2.80	9.76 *	3.57	3.79	3.52

Variable	Suelo 2		Suelo 5		Suelo 7		Suelo 8	
	Coef ^γ	EE.R ^δ	Coef	EE ^ε	Coef	EE	Coef	EE.R
Edad	3.48 *	1.51	-1.92	4.60	5.93	4.14	-3.66	5.39
PP	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
T°	-0.37	0.76	5.07 *	2.51	4.79 *	1.79	-1.25	2.52
AT	1.58	0.90	-16.04 *	3.31	-1.18	3.32	-1.49	2.35
Rad	0.00	0.00	0.01	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01
n	1003		308		109		398	
R ²	0.14		0.29		0.45		0.16	

Nota: para todas las regresiones se tomó como base la variedad CP88-1165, la zafra 2012-2013, primer tercio de cosecha y número de corte cero.

γ Coeficiente de la regresión
δ Error estándar robusto del coeficiente
ε Error estándar del coeficiente
* Significancia estadística con $\alpha = 0.05$
λ No calculado por falta de observaciones

Los coeficientes de la zafra no mostraron una tendencia para cada período como es de esperarse. CENGICANA recomienda cosechar en el primer tercio, debido a que los coeficientes del segundo y tercer tercio son menores al primero. Esta tendencia se mantiene en los tipos de suelos 2, 5 y 7, y no en el tipo de suelo 8, donde el segundo tercio fue mayor, sin embargo, la diferencia no fue significativa con respecto al primer tercio.

Los coeficientes de número de corte no presentaron la tendencia general de producción esperada, sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los coeficientes. El riego presentó dos coeficientes negativos, sin embargo, no significativos, y en el suelo 5 se tuvo un coeficiente positivo y significativo, según lo esperado. La fertilización al suelo, al igual que el riego, tuvo un coeficiente negativo y no significativo, sin embargo en los suelos 2 y 8 sus coeficientes resultaron positivos y significativos como lo esperado. La fertilización foliar mostró coeficientes positivos y negativos no significativos, sin embargo el suelo 7 sí presentó un coeficiente positivo y significativo, lo cual indica que bajo las condiciones que se realizó la actividad sí produjo un aumento en la producción.

El coeficiente de la edad mostró diferencias significativas solamente en el tipo de suelo 2, donde la edad promedio del estrato medio fue 12.33 meses y es menor a la edad de mayor producción, por lo que al aumentar la edad en el momento de corte, aumenta también la producción. La temperatura ambiental tiene un coeficiente positivo para las variedades sembradas en el tipo de suelo 5 y 7, porque ambos tienen medias de temperaturas menores que la temperatura de máxima producción del estrato. Los coeficientes de precipitación y la radiación no fueron significativos debido a que se encuentran cerca de la media y con poca variación. Sin embargo la amplitud térmica del suelo 5 presentó un coeficiente negativo y significativo, aunque tiene una temperatura menor a la media del estrato. Presenta una amplitud térmica de 12.53°C promedio por día, diferencia que es 0.30°C menos que la media del estrato.

Se elaboró un análisis de diferencias en rendimiento entre variedades para cada modelo de regresión ejecutado en el estrato medio, comparando los coeficientes de todas las variedades entre sí. El resultado de las diferencias significativas y no significativas del rendimiento de cada variedad se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Diferencias en rendimiento de caña (t/ha) entre variedades para los suelos 2, 5, 7 y 8 en el estrato medio, período 2012-2015, Guatemala.

Suelo 2		Suelo 5		Suelo 7		Suelo 8	
Variedad	Dif ^γ	Variedad	Dif	Variedad	Dif	Variedad	Dif
CP72-1312	a [¥]	CP72-2086	a	CP88-1165	a	CP88-1165	a
CP73-1547	a	CP88-1165	a	CG98-78	a	CP73-1547	a
CP88-1165	b	CG98-78	a	CP72-2086	ab	RB84-5210	a
CP72-2086	b	CP73-1547	a	PGM89-968	b	CP72-2086	a
CG98-78	b						
RB84-5210	bc						
MEX79-431	c						

γ Diferencia en rendimiento entre la variedad y la variedad anterior en el cuadro.
 ¥ Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre variedades.
 λ No aplica.

Las variedades CP72-1312 y CP73-1547 mostraron un mayor rendimiento en el tipo de suelo 2 y fueron significativamente diferentes de las variedades CP88-1165, CP72-2086, CG98-78, RB84-5210 y MEX79-431. La diferencia en rendimiento entre las primeras dos variedades y las siguientes supera los 8.5 t/ha. Las primeras dos variedades son de uso óptimo en el estrato medio, sin embargo, solamente la variedad CP73-1547 se recomienda en tipo de suelo 2, según CENGICAÑA. A pesar de estar en un suelo no óptimo, la variedad CP72-1312 obtuvo un alto rendimiento, ya que el suelo 2 se podría considerar favorable por ser un suelo profundo y bien drenado. La variedad CP88-1165 no se recomienda para el estrato medio ni suelo 2, pero presenta un rendimiento similar al de las variedades CP72-2086 y CG98-78, las cuales si se recomiendan en ambas condiciones. Esto demuestra que la variedad CP88-1165 es una variedad que también presenta rendimientos aceptables en el estrato medio. Las variedades RB84-5210 y MEX79-431 tienen como óptimo el estrato medio y suelo 2, y sin embargo, son las que mostraron el menor rendimiento, demostrando que aunque estén bajo la recomendación de CENGICAÑA, no se aseguran los mayores rendimientos.

En el estrato medio y suelo 5 no se mostraron diferencias significativas entre variedades. Sin embargo las variedades CP72-2086 y CP88-1165 presentaron los mayores rendimientos, seguidas de las variedades CG98-78 y CP73-1547. La variedad CP72-2086, obtuvo un rendimiento de 6.8 t/ha por encima de la variedad CP73-1547, y aunque no significativo, es considerada una variedad de alta producción y promisoras, por lo que debe de considerarse para estudios posteriores. La variedad CP72-2086 sí se recomienda para el estrato medio y suelo 5, sin embargo la variedad CP88-1164 se recomienda solamente

para suelo 5 y no para el estrato medio; se ha visto que esta variedad también presenta altos rendimientos en el estrato medio, al igual que en el estrato alto. Las variedades CG98-78 y CP73-1547 son recomendadas para el estrato medio, pero solamente la CG98-78 tiene el suelo 5 como óptimo, y la CP73-1547 presentó un menor rendimiento, demostrando que esta variedad es ligeramente susceptible a la baja permeabilidad representativa del suelo 5.

La variedad CP88-1165 tuvo el rendimiento más alto para el estrato medio y suelo 7, que no difiere de las variedades CG98-78 y CP72-2086, sin embargo si fue diferente de la variedad PGM89-968, con 14.1 t/ha de diferencia aproximada. Aunque la recomendación de CENGICANA dice que la variedad CP88-1165 no se recomienda para el estrato medio, en el suelo 2, 5, 7 y 8 de dicho estrato ha demostrado un rendimiento alto. Se recomienda reconsiderar esta variedad para el estrato medio y los tipos de suelo 2, 5, 7 y 8. Las variedades CG98-78, CP72-2086 y PGM89-968 son recomendadas para el estrato medio, sin embargo, solamente la CG98-78 tiene el suelo 7 como óptimo. Esto demuestra que la variedad PGM89-968 presenta una alta susceptibilidad a suelos arcillosos con baja permeabilidad como el tipo de suelo 7. La variedad CP72-2086 presenta una ligera susceptibilidad al tipo de suelo 7.

Las variedades analizadas en el estrato medio y suelo 8 no mostraron diferencias significativas, y no superan una diferencia entre variedades mayor a 1.7 t/ha. Sin embargo, la variedad CP88-1165 es la que presentó el mayor rendimiento, seguida por las variedades CP73-1547, RB84-5210 y CP72-2086. La primera variedad no es recomendada en el estrato medio, pero sí en el suelo 8, y como se ha visto anteriormente, aunque la variedad CP88-1165 no es recomendada en el estrato medio, resulta que en este estrato es una de las mejores variedades. Las últimas tres variedades si se desarrollan bien en el estrato medio, sin embargo solamente la RB84-5210 tiene el suelo 8 como óptimo. Al no mostrar diferencia significativa, se demuestra que en el estrato medio, las variedades CP73-1547 y CP72-2086 no son susceptibles a suelos limitados por la presencia de talpetate, como el tipo de suelo 8.

Modelos de regresión para el estrato bajo

El estrato bajo (40 - 100 msnm) posee nueve tipos de suelo, de los cuales se realizaron tres modelos de regresión para los suelos tipo 1, 3 y 10, los cuales se muestran en el Cuadro 6. El estrato bajo tiene una precipitación media anual de 1,745 mm, una temperatura promedio de 26.25°C, una amplitud térmica promedio de 12.11 °C/día y una radiación promedio de 6,177 MJ/m²/año. La prueba de White para heteroscedasticidad arrojó una probabilidad de 0.409, 0.006 y 0.001 para las regresiones de los tipos de suelos 1, 3 y 10 respectivamente. Esto demuestra que los suelos 3 y 10 presentaron heteroscedasticidad, por lo que se muestran los errores estándares robustos que fueron utilizados para las pruebas de significancia.

Cuadro 6. Resultados de las regresiones de rendimiento de caña de azúcar (t/ha) sobre factores productivos como la variedad, número de corte (Ncor), tercio, tipo de cosecha (cosecha), riego, fertilización foliar (Ferf), fertilización al suelo (Fesu), edad, precipitación (PP), temperatura (T°), amplitud térmica (AT) y radiación (Rad) para los suelos 1,3 y 10 del estrato bajo, período 2012-2015, Guatemala

Variable	Suelo 1		Suelo 3		Suelo 10	
	Coef ^γ	EE ^ε	Coef.	EE.R ^δ	Coef.	EE.R
Constante	-9.89	50.31	80.13 *	29.99	98.90 *	30.11
CP72-2086	0.28	3.17	4.45 *	1.70	0.03	3.11
CP73-1547	5.98	3.70	17.61 *	3.22	9.04 *	4.22
MEX79-431	-2.84	5.31	nc	nc	nc	nc
PGM89-968	3.29	5.04	7.64 *	3.31	4.23	3.81
CP72-1312	nc ^λ	nc	3.21	3.13	3.64	2.73
RB84-5210	nc	nc	13.00 *	3.94	nc	nc
CG96-135	nc	nc	1.79	5.71	nc	nc
Zafra 13-14	-8.69 *	4.20	2.84	2.44	6.44 *	2.82
Zafra 14-15	11.28 *	4.94	2.04	2.35	9.81 *	2.50
Cosecha	0.54	2.58	7.44 *	1.52	8.74 *	1.75
Tercio 2	-3.17	3.72	3.38	2.06	2.86	2.07
Tercio 3	-12.18 *	3.62	-3.45	2.07	-3.45	2.80
Ncor1	6.05	3.19	1.79	2.19	2.06	3.02
Ncor2	0.00	3.53	1.22	2.25	-3.32	2.84
Ncor3	7.45	4.28	0.55	2.51	-3.22	3.05
Ncor4	-2.40	4.09	-0.91	2.71	-3.72	4.13
Ncor5	12.72 *	5.28	8.08	5.10	1.88	4.66
Ncor6	2.74	9.02	0.47	6.02	-18.00 *	5.72
Ncor7	9.62	11.67	-39.61 *	8.06	-7.83	7.53
Ncor8	21.12	20.80	nc	nc	nc	nc
Riego	2.62	6.31	0.73	5.09	7.77	4.82
Fesu	12.99 *	3.73	2.72	2.95	2.69	3.96
Ferf	1.16	4.48	-0.05	1.86	1.29	1.99
Edad	9.34 *	3.23	1.71	2.52	-2.95	2.23
PP	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
T°	5.93 *	1.85	-0.57	1.35	-2.18	1.16
AT	-4.58 *	2.26	-0.37	1.06	1.31	1.22
Rad	-0.02 *	0.01	0.00	0.00	0.01 *	0.00
N		349		761		447
R ²		0.23		0.15		0.21

Nota: para todas las regresiones se tomó como base la variedad CP88-1165, la zafra 2012-2013, primer tercio de cosecha y número de corte cero.

γ Coeficiente de la regresión

δ Error estándar robusto del coeficiente

ε Error estándar del coeficiente

* Significancia estadística con $\alpha = 0.05$

λ No calculado por falta de observaciones

Los coeficientes de la zafra no mostraron una tendencia para cada período de zafra como fue esperado. En el estrato bajo, CENGICAÑA recomienda cosechar en el primer tercio, razón por la que los coeficientes del tipo de suelo 10 presentaron esa tendencia. En los tipos de suelos 3 y 10 no se mostró esta tendencia, sin embargo sus coeficientes no fueron significativos.

En los tipos de suelo 3 y 10 se mantuvo la tendencia donde los primeros cortes tuvieron los mayores rendimientos, donde los números de corte 6 y 7 de los tipos de suelo 10 y 3 respectivamente tienen un rendimiento significativamente menor, según lo esperado. Caso contrario para el suelo 1 que mostró el número de corte 5 con un rendimiento significativamente mayor que el corte 0. El número de corte 0 presentó un rendimiento menor y no significativo para el corte 1, 2 y 3. Que el número de corte 5 sea mayor al 0, no significa que este sea mayor a sus anteriores, por lo que no es tan inesperado que el número de corte 5 presente un coeficiente positivo. Al comparar el número de corte 5 con el número 1 o el número 3, ya no se muestra una diferencia significativa.

El riego no resultó significativo para ninguna de las regresiones, posiblemente por falta de observaciones, debido a que solamente un 4% de los lotes analizados no recibieron riego, y estas pocas observaciones hicieron que no existiera un buen control de riego en las regresiones. La fertilización al suelo presentó significancia solamente para la regresión del tipo de suelo 1, donde el coeficiente fue positivo, según lo esperado, indicando que la fertilización al suelo se realizó de manera eficiente, llenando los requerimientos de la planta. La fertilización foliar no presentó coeficientes significativos, además que no indicó una tendencia de aumento o reducción de producción.

El coeficiente de la edad mostró diferencias significativas solamente en el tipo de suelo 1, donde la edad promedio del tipo de suelo 1 fue 12.23 meses, menor a la edad de mayor producción, por lo que al aumentar la edad de cosecha, todavía aumenta la producción. La precipitación no mostró diferencias significativas con un efecto positivo en su coeficiente, debido a que la precipitación media del estrato bajo se encuentra cerca de su óptimo y no presenta mucha variación. Los coeficientes de la temperatura y amplitud térmica del tipo de suelo 3 y 10 no resultaron significativos. Sin embargo el modelo del tipo de suelo 1 tuvo un coeficiente positivo para la temperatura y negativo para la amplitud térmica. Esto es de esperar, pues a mayor temperatura, aumenta la producción, pero la planta se estresa cuando tiene un diferencial de temperatura alto. La radiación debería tener un coeficiente positivo como se muestra en el modelo del tipo de suelo 10, sin embargo es negativo en el tipo de suelo 1 debido a que los lotes de este modelo están $140 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$ sobre la media del estrato.

Se elaboró un análisis de diferencias en rendimiento entre variedades para cada modelo de regresión ejecutado en el estrato bajo, comparando los coeficientes de todas las variedades

entre sí. El resultado de las diferencias significativas y no significativas del rendimiento de cada variedad se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Diferencias en rendimiento de caña (t/ha) entre variedades para los suelos 1, 3 y 10 en el estrato bajo, período 2012-2015, Guatemala.

Suelo 1			Suelo 3			Suelo 10		
Variedad		Dif γ	Variedad		Dif	Variedad		Dif
CP73-1547	a [¥]	na ^λ	CP73-1547	a	na	CP73-1547	a	na
PGM89-968	a	2.69	RB84-5210	ab	4.62	PGM89-968	ab	4.81
CP72-2086	a	3.00	PGM89-968	bc	5.36	CP72-1312	ab	0.60
CP88-1165	a	0.28	CP72-2086	c	3.19	CP72-2086	b	3.60
MEX79-431	a	3.13	CP72-1312	cd	1.24	CP88-1165	b	0.03
			CG96-135	cd	1.43			
			CP88-1165	d	1.79			

γ Diferencia en rendimiento entre la variedad y la variedad anterior en el cuadro.

¥ Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre variedades.

λ No aplica.

Las variedades de la regresión ejecutada para el tipo de suelo 1 no presentó diferencias significativas, y los rendimientos entre variedades no difieren más de 9.1 t/ha. La variedad CP73-1547 es la que presentó el mayor rendimiento, seguido de las variedades PGM89-968, CP72-2086, CP88-1165 y MEX79-431. Las variedades CP73-1547, CP72-2086 y la MEX79-431 se desarrollan de manera óptima en el estrato bajo y suelo 1 según CENGICAÑA. La PGM89-968 es recomendada para sembrar en el estrato bajo, más no en el suelo 1, sin embargo al no mostrar diferencia con la mejor variedad, debe considerarse como una opción para este tipo de suelo. La variedad CP88-1165 había demostrado ser una de las mejores variedades en los estratos alto y medio, sin embargo, en este estrato bajo obtiene rendimientos menores, demostrando que existe un ligero efecto de la localidad en el rendimiento.

En el estrato bajo y suelo 3, la variedad CP73-1547 presentó el mayor rendimiento, sin diferencia significativa con la variedad RB84-5210, aunque superior a la variedad PGM89-968 con una diferencia aproximada de 10 t/ha. Las variedades CP72-2086, CP72-1312 y CG96-135 no presentaron diferencias significativas entre sí, aunque fueron estadísticamente menores a las variedades CP73-1547 y RB84-5210. También las primeras cuatro variedades tuvieron un rendimiento significativamente mayor que la CP88-1165. Las variedades CP73-1547 y RB84-5210 tienen el estrato bajo como localidad óptima para su desarrollo, más no el suelo 3 (CENGICAÑA 2012), sin embargo tienen un alto rendimiento y predominante en los tres tipos de suelo analizados para el estrato bajo. Por lo anterior, se recomienda estas dos variedades para el estrato bajo y los suelos 1, 3 y 10.

La localidad óptima para las variedades PGM89-968, CP72-2086 y CP72-1312 es el estrato bajo y suelo 3, pero su rendimiento fue inferior mostrando que estas variedades son ligeramente susceptibles a suelos de textura gruesa a pesar de ser recomendados en este tipo de suelo. La variedad CG96-135 y CP88-1165 no tienen el estrato bajo como localidad óptima, mostrando nuevamente la influencia de la altitud sobre el rendimiento.

La variedad CP73-1547 obtuvo el mayor rendimiento en el estrato bajo y suelo 10, sin diferencia estadística con las variedades PGM89-968 y CP72-1312, aunque sí es diferente de las variedades CP72-2086 y CP88-1165. La diferencia en rendimiento entre las variedades CP73-1547 y la CP72-2086 es de 5 t/ha. Las variedades CP73-1547 y PGM89-968 no tienen el suelo 10 como localidad óptima de desarrollo según CENGICAÑA, sin embargo presentaron un rendimiento mayor debido al efecto del estrato. La variedad CP72-1312 y CP72-2086 tienen el estrato bajo y suelo 10 como localidad óptima de desarrollo, sin embargo su rendimiento es aproximadamente 5 toneladas menor que la CP73-1547. La variedad CP88-1165 no tiene ni la altitud baja, ni el suelo 10 como localidad de desarrollo óptimo, mostrando un rendimiento menor a las otras variedades en comparación a los estratos superiores (alto y medio) donde la CP88-1165 es la variedad con mayor rendimiento.

Modelos de regresión para el estrato litoral

El estrato litoral (< 40 msnm) posee siete tipos de suelo, de los cuales se realizaron dos modelos de regresión para los suelos tipo 3 y 10, y se muestran en el Cuadro 8. El estrato litoral tiene una precipitación media anual de 1,377 mm, una temperatura promedio de 26.63°C, una amplitud térmica promedio de 11.82 °C/día y una radiación promedio de 6,272 MJ/m²/día. La prueba de White para heteroscedasticidad arrojó una probabilidad de 0.143 y 0.000 para las regresiones de los tipos de suelos 3 y 10 respectivamente. Esto demuestra que el suelo 10 presenta heteroscedasticidad, por lo que se muestran los errores estándares robustos que fueron utilizados para las pruebas de significancia.

Cuadro 8. Resultados de las regresiones de rendimiento de caña de azúcar (t/ha) sobre factores productivos como la variedad, número de corte (Ncor), tercio, tipo de cosecha (cosecha), riego, fertilización foliar (Ferf), fertilización al suelo (Fesu), edad, precipitación (PP), temperatura (T°), amplitud térmica (AT) y radiación (Rad) para los suelos 3 y 10 del estrato litoral, período 2012-2015, Guatemala

Variable	Suelo 3		Suelo 10	
	Coef ^γ	EE ^ε	Coef	EE.R ^δ
Constante	99.90 *	16.38	94.70 *	11.76
CP72-2086	8.55 *	1.50	7.54 *	2.11
CP73-1547	-5.87	3.35	14.93 *	3.25
MEX79-431	2.76	3.21	-5.83	4.78
Zafra 13-14	7.85 *	3.40	5.99	3.50

Variable	Suelo 3		Suelo 10	
	Coef ^γ	EE ^ε	Coef	EE.R ^δ
Zafra 14-15	-1.24	3.28	-6.36	4.14
Cosecha	1.60	1.53	1.64	1.61
Tercio 2	-8.19 *	2.31	-10.07 *	2.17
Tercio 3	-18.44 *	2.32	-21.77 *	2.51
Ncor1	5.42 *	1.92	4.00	2.17
Ncor2	0.61	2.14	1.83	2.65
Ncor3	-5.26 *	2.62	-1.32	2.96
Ncor4	-6.23 *	2.70	-5.69	3.63
Ncor5	-2.67	4.59	-3.67	4.00
Ncor6	-3.05	4.81	7.34	7.08
Ncor7	7.18	6.77	0.14	9.49
Ncor9	-25.63	18.39	nc ^λ	nc
Riego	7.05 *	2.92	-0.35	0.00
Fesu	6.71 *	2.95	8.37 *	4.47
Ferf	3.06	2.83	0.55	3.70
Edad	-3.78 *	1.56	2.40	1.72
PP	0.00	0.00	-0.02 *	0.01
T°	-2.43 *	0.89	0.14	1.18
AT	3.24 *	1.30	0.71	2.11
Rad	0.01 *	0.00	0.00	0.00
N	826		703	
R ²	0.2		0.27	

Nota: para todas las regresiones se tomó como base la variedad CP88-1165, la zafra 2012-2013, primer tercio de cosecha y número de corte cero.

γ Coeficiente de la regresión

δ Error estándar robusto del coeficiente

ε Error estándar del coeficiente

* Significancia estadística con $\alpha = 0.05$

λ No calculado por falta de observaciones

El estrato litoral es el único de los cuatro estratos donde los coeficientes de la zafra que mostró una tendencia marcada, sin embargo no puede atribuirse a una alta o baja producción a algún factor en específico, sino que es algo intrínseco de cada período de zafra y tipo de suelo. Debido a que las variedades sembradas en el estrato litoral se recomiendan ser cortadas en el primer tercio, para ambos modelos la producción disminuye al cosechar en el segundo y tercer tercio.

La regresión del tipo de suelo 10 no presentó diferencias significativas en los números de corte, aunque mantuvo la tendencia en que los primeros cortes son superiores al resto. Sin embargo, el modelo del tipo de suelo 3 si mostró diferencias significativas, donde el

primer corte fue mayor que el corte 0, y los números de cortes mayores a 3 años disminuyeron la producción, según lo esperado por CENGICANA.

El riego y la fertilización al suelo mantuvieron un efecto positivo en el rendimiento, sin embargo en el tipo de suelo 10, el riego presentó un coeficiente negativo aunque no fue significativo. La fertilización foliar no fue significativa, posiblemente por una alta variación en los datos, que dio como resultado un error estándar alto para este coeficiente.

El coeficiente de la edad mostró diferencias significativas en el tipo de suelo 3, a pesar de tener una edad promedio inferior a la ideal, obtuvo altos rendimientos a menores edades, por lo que al aumentar la edad de corte la producción disminuiría. La precipitación muestra diferencias significativas para el tipo de suelo 10, con un coeficiente negativo, lo cual es de esperar debido a que la precipitación media del tipo de suelo 10 es mayor a la media del estrato litoral.

La temperatura, amplitud térmica y radiación del tipo de suelo 10 no presentaron diferencias significativas. Sin embargo el modelo del tipo de suelo 3 tuvo un coeficiente negativo para la temperatura y positivo para la amplitud térmica y radiación. Esto es de esperar, porque la temperatura del estrato litoral es superior a la óptima de la planta que al aumentar más la temperatura causa un estrés en la planta. La amplitud térmica y radiación si presentaron un efecto positivo, pues con valores medios de 11.9°C/día para la amplitud térmica, un diferencial muy bajo que no causa estrés en la planta. La radiación de los lotes del estrato litoral y tipo de suelo 3 tiene un promedio de 6,075 MJ/m²/año, 290 MJ menos que el tipo de suelo 10. Lo anterior indica que si la radiación aumentara, la producción incrementaría.

Se elaboró un análisis de diferencias en rendimiento entre variedades para cada modelo de regresión ejecutado en el estrato litoral, comparando los coeficientes de todas las variedades entre sí. El resultado de las diferencias significativas y no significativas del rendimiento de cada variedad se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Diferencias en rendimiento de caña (t/ha) entre variedades para los suelos 3 y 10 en el estrato litoral, período 2012-2015, Guatemala.

Suelo 3			Suelo 10		
Variedad		Dif ^γ	Variedad		Dif
CP72-2086	a [¥]	na ^λ	CP73-1547	a	na
MEX79-431	ab	5.78	CP72-2086	b	7.39
CP88-1165	bc	2.76	CP88-1165	c	7.54
CP73-1547	c	5.89	MEX79-431	c	5.83

γ Diferencia en rendimiento entre la variedad y la variedad anterior en el cuadro.
 ¥ Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre variedades.
 λ No aplica.

La variedad CP72-2086 presentó rendimientos de 5.8 toneladas de caña por hectárea más que la variedad MEX79-431, aunque no fue significativa. Sin embargo, los rendimientos de la variedad CP72-2086 si son diferentes de las variedades CP88-1165 y CP73-1547. La variedad CP72-2086 tiene el estrato litoral y suelo 3 como localidad óptima según CENGICANA y las variedades MEX79-431 y CP73-1547 también tienen como localidad óptima el estrato litoral más no el suelo 3, por lo que se puede inferir que las últimas dos variedades mencionadas son ligeramente susceptibles a suelos de textura gruesa. La variedad CP88-1165 mostró rendimientos menores en el estrato litoral, por lo que se recomienda que esta variedad sea sembrada principalmente en los estratos alto y medio. La variedad CP73-1547 presentó una diferencia significativa y un rendimiento de 7.4 toneladas de caña por hectárea más que la variedad CP72-2086. Las variedades CP88-1165 y MEX79-431 no presentaron diferencias significativas entre sí, aunque son diferentes de la CP73-1547 y CP72-2086. Las variedades CP73-1547 y CP72-2086 se desarrollaron de manera óptima en el estrato litoral, más no en el suelo 10. Sin embargo presentaron altos rendimientos porque no son susceptibles a suelos con baja retención de agua. La variedad MEX79-431 presentó un rendimiento menor a las variedades CP, provenientes del Canal Point (Orozco *et al.* 2014), excepto la CP88-1165, que en estratos como el bajo y litoral no se desarrolla de manera óptima.

4. CONCLUSIONES

- Las variables independientes importantes para medir un efecto neto de las variedades sobre la producción de caña de azúcar y para mantener un efecto constante, “*ceteris paribus*”, de las mismas, son las variables del efecto del clima y variables características de producción de caña. Las variables de efecto clima incluyen la temperatura, precipitación, amplitud térmica y radiación, y como un control adicional del clima se agregó la variable de zafra. Las variables características de producción son tercio de cosecha, número de corte, tipo de cosecha, edad, si se realizó o no el riego, fertilización al suelo y fertilización foliar.
- Pantaleón cuenta con 35 variedades distribuidas en cuatro estratos altitudinales y 11 tipos de suelo. Del total de variedades, se analizaron 15, donde solamente la variedad CP88-1165, CP72-2086, CP73-1547 y MEX79-431 se analizaron para los cuatro estratos altitudinales. Las variedades restantes se encuentran en menor proporción y se analizaron para estratos y tipos de suelo específicos.
- Las variedades de los suelos 6, 8 y 10 del estrato alto tienen rendimientos diferentes, la diferencia máxima y mínima entre variedades fue de 21.7 t/ha y 0.04 t/ha respectivamente. Las variedades de los tipos de suelo 2 y 7 del estrato medio tienen rendimientos diferentes, cuyas diferencias máximas y mínimas en rendimiento fueron de 19.3 t/ha y 0.58 t/ha respectivamente. El estrato bajo posee diferentes rendimientos entre variedades para los suelos 3 y 10, y no en el suelo 1. Las diferencias máximas y mínimas entre rendimientos de las variedades para el estrato bajo fueron de 17.6 t/ha y 0.03 t/ha respectivamente. Las variedades de los suelos 3 y 10 del estrato litoral tienen rendimientos diferentes, cuyas diferencias máximas y mínimas fueron de 20.8 t/ha y 2.76 t/ha respectivamente.
- Las variedades CP73-1547 y CP88-1165 son las que mejor se adaptan a los tipos de suelo analizados para el estrato alto y medio. La variedad PGM89-968 es la segunda variedad que mejor se adapta al estrato bajo, después de la CP73-1547. La variedad CP72-2086 es la que mejor se adapta al estrato litoral, seguida de la variedad CP73-1547. La variedad CP73-1547 fue la única variedad con rendimientos altos a través de los cuatro estratos altitudinales a excepción de algunas combinaciones de suelo y estrato, donde sus rendimientos fueron bajos en comparación al resto de variedades.

5. RECOMENDACIONES

- Sembrar más lotes de las otras variedades, al menos 15 lotes en cada tipo de suelo para poder realizar nuevos análisis y definir para las 33 combinaciones de altitud y tipo de suelo una variedad ideal o realizar ensayos en diferentes todos los estratos altitudinales y tipos de suelo para definir diferencias en variedades a nivel experimental.
- Agregar al modelo información sobre ataques de plagas y daños por madurante, cosecha y otras actividades que tengan influencia en las toneladas de caña por hectárea.
- Evaluar otra medida para la amplitud térmica, o incluir otros factores climáticos que presenten un mayor efecto en la producción en nuevos modelos de producción de caña de azúcar.
- Realizar un estudio complementario que incluya los rendimientos de kilogramo de azúcar por tonelada de caña, asegurándose que los rendimientos de la fábrica sean constantes en el tiempo para que no influyan en la selección de las variedades.

6. LITERATURA CITADA

Asociación de azucareros de Guatemala (AZASGUA), 2015. Estadística de producción, exportaciones y economía (en línea). Consultado el 28 abril de 2015. Disponible en: <http://www.azucar.com.gt/economia.html>

Badii, M., Guillen, A., Cerna, E., Valenzuela, J. & Landeros, J. 2012. Análisis de regresión lineal simple para predicción. UANL, Monterrey, México. 67-81 p.

Blackwell M. 2008. Multiple hypothesis testing: the F test. En: GOV 2000. Harvard University. Estados Unidos. 7 p.

Bolaños, J.; Oviedo, M.; Chaves, M. 2006. Efecto de la cosecha mecanizada sobre los rendimientos industriales de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. 69 p.

Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, (CENGICANA). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O. y Espinosa, R. (eds.). Guatemala. 512 p.

De Paepe, J. y Álvarez, R. 2013. Desarrollo de un índice de productividad de suelo regional a través de una red neuronal artificial. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. 23-26 p.

Gujarati, D. 2006. Principios de econometría. 3 ed. The McGraw-Hill Companies, Inc. Madrid, España. 457 p.

Instituto Nacional de Estadística (INE). 2013. Encuesta nacional agropecuaria 2013. Guatemala. 50 p.

International Business Machines (IBM). 2010. Guía breve de IBM SPSS Statistics 19. Prentice Hall. 186 p.

Larrahondo, J.E. Calidad de la caña de azúcar. En: CENICANA, El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, Colombia. 337-354 p.

Mago, P. y Galínez, O. 1986. Época de siembra y cosecha en dieciocho (18) variedades comerciales de caña de azúcar en Rios Turbio, Venezuela. En: Caña de Azúcar, Vol 4. Venezuela. 27-63 p.

Marcano, M.; García, M.; Caraballo, L. 2003. Evaluación de doce variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) bajo condiciones de secano en un suelo de sabana del oeste del estado Monagas, Venezuela. *Revista UDO Agrícola* 3(1):65-73.

Mejicanos, G. 2014. Experiencias en el cultivo de la caña de azúcar variedad CP72-2086, ingenio Magdalena S.A. La Democracia, Escuintla, (2005-2010). Tesis Ing. Agr. Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 82 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. San José, Costa Rica. 13 p.

Orozco, H., Buc, R. y Ovalle, W. 2014. Censo de variedades de caña de azúcar en Guatemala, zafra 2013-2014. CENGICANÑA, Guatemala. 13 p.

Pestman W.R. 2009. Estadísticas matemáticas. Pruebas de hipótesis. 2 ed. Walter de Gruyter. Alemania. 155-200 p.

Romero, E.; Olea, I.; Scandaliaris, J.; Alonso, J.; Digonzelli, P.; Tonatto, J.; Leggio, M. s.f. La fertilización de la caña de azúcar en Tucuman (en línea). Consultado el 22 de octubre de 2015. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion-Cania-De-Azucar-Tucuman.pdf>

Santos, A. y Aguilar, D. 2000. Fertilización Foliar, un respaldo importante en el rendimientos de los cultivos (En línea). Consultado el 28 abril de 2015. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/fertilizacionfoliarrespaldoimportante.pdf>

Soto, M. y Gama, L. 1997. Climas. en: González-Soriano , E., R. Dirzo & R. Vogt (eds). Historia natural de Los Tuxtlas. UNAM-CONABIO, México D.F. 7-23 p.

Técnica Internacional. 2014. Efecto de Láminas y Frecuencias de Riego en el Rendimiento de Caña de Azúcar (en línea). División de Manejo de Agua. Consultado el 22 de octubre del 2015. Disponible en: <http://tecnicainternacional.com/manejodeaguas/tag/riego-optimo-en-cana-de-azucar>

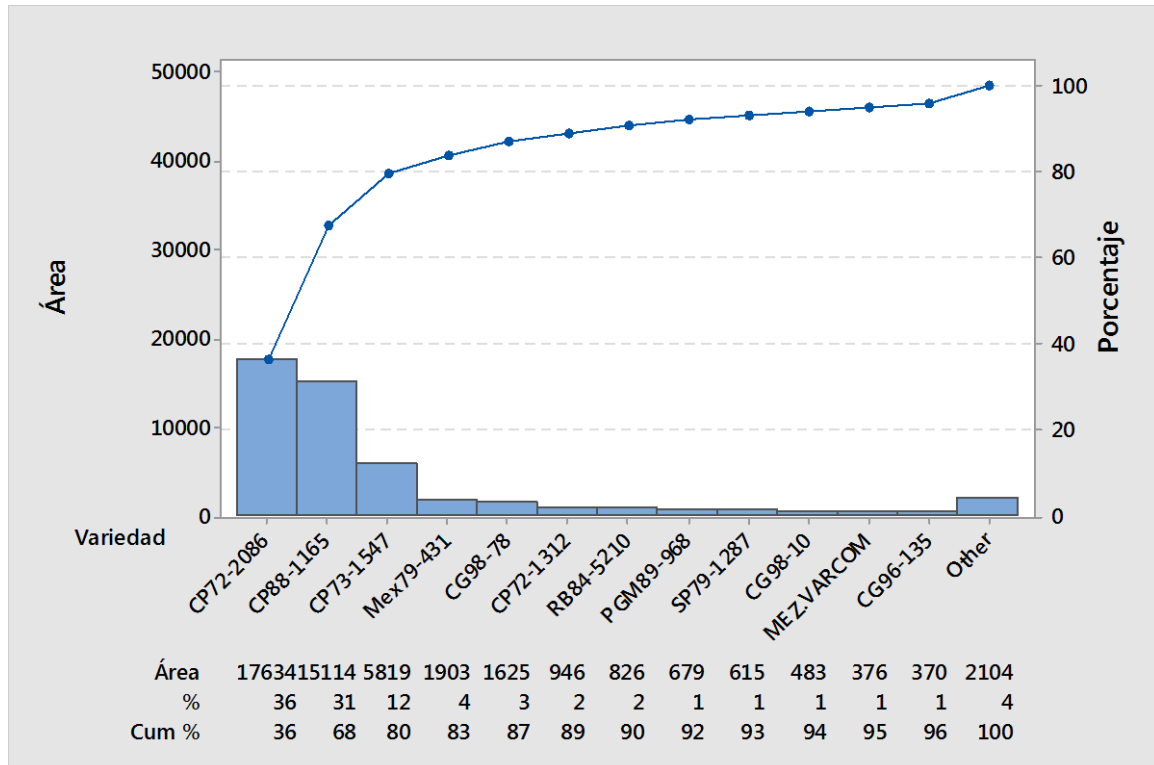
Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). 2010. Notas explicativas sobre la definición de variedad con arreglo al acta de 1991 del convenio de la UPOV. 6 p.

Walpole, R.E., Myres, R.H. Myres, S.L. y Ye, K. 2012. Estadística y Probabilidades para Ingenieros y Científicos. Regresión lineal múltiple y ciertos modelos de regresión no lineal. 9 ed. Pearson Education Inc. Boston, Estados Unidos. 443-503 p.

Wooldridge J.M. 2010. Introducción a la econometría, un enfoque moderno. Análisis de regresión múltiple: inferencia. 4ta edición. Cengage Learning. Michigan State University. Estados Unidos. 117-167 p.

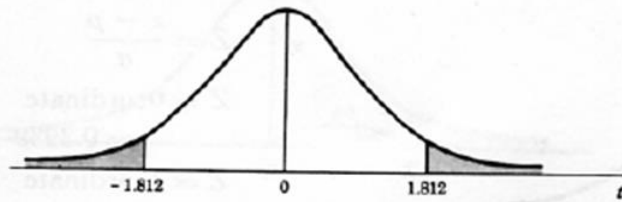
7. ANEXOS

Anexo 1. Área sembrada por las distintas variedades en el Ingenio Pantaleón, Guatemala, año 2014.



Anexo 2. Tabla de distribución de t de student.

TABLE 3
Percentage Points of the t Distribution



Example

For 10 degrees of freedom:

$$P [t > 1.812] = 0.05$$

$$P [t < -1.812] = 0.05$$

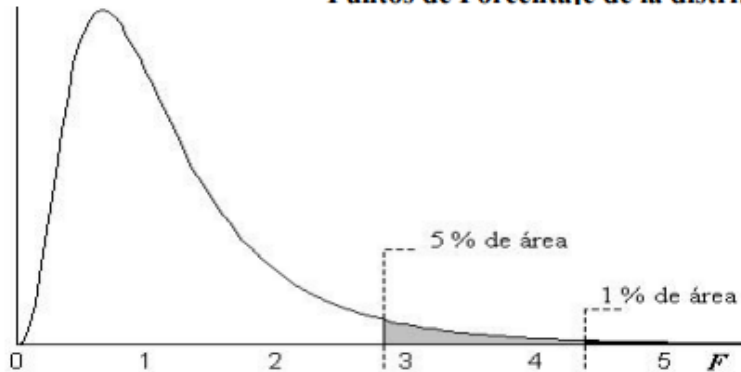
$n \backslash \alpha$.25	.20	.15	.10	.05	.025	.01	.005	.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.397	3.745
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Source: This table is abridged from Table III of Fisher & Yates: *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* published by Oliver & Boyd Ltd., Edinburgh, and by permission of the authors and publishers.

Anexo 3. Tabla de distribución de F con 5% de significancia.

DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

Puntos de Porcentaje de la distribución F



Ejemplo:

Para $n_1 = 9, n_2 = 12$ grados de libertad:

$$P[F > 2.80] = 0.05$$

$$P[F > 4.39] = 0.01$$

30

n_2	5 % (normal) y 1 % (negritas) puntos para la distribución de F																						n_2		
	n1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞	
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	254	254	1
2	4052	4999	5404	5624	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6083	6107	6143	6170	6209	6234	6260	6286	6302	6324	6334	6350	6360	6366	2
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.48	19.49	19.49	19.49	19.50	3
4	98.50	99.00	99.16	99.25	99.30	99.33	99.36	99.38	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.44	99.45	99.46	99.47	99.48	99.48	99.49	99.49	99.49	99.50	99.50	4
5	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66	8.64	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	5
6	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92	26.83	26.69	26.60	26.50	26.41	26.35	26.28	26.24	26.18	26.15	26.13	6
7	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.87	5.84	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.65	5.64	5.63	7
8	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.45	14.37	14.25	14.15	14.02	13.93	13.84	13.75	13.69	13.61	13.58	13.52	13.49	13.46	8
9	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.39	4.37	4.37	9
10	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.96	9.89	9.77	9.68	9.55	9.47	9.38	9.29	9.24	9.17	9.13	9.08	9.04	9.02	10
11	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.87	3.84	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.69	3.68	3.67	11
12	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60	7.52	7.40	7.31	7.23	7.14	7.09	7.02	6.99	6.93	6.90	6.88	12
13	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.53	3.49	3.44	3.41	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	13
14	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.36	6.28	6.16	6.07	5.99	5.91	5.86	5.79	5.75	5.70	5.67	5.65	14
15	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.24	3.20	3.15	3.12	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	15
16	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.56	5.48	5.36	5.28	5.20	5.12	5.07	5.00	4.96	4.91	4.88	4.86	16
17	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.03	2.99	2.94	2.90	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71	17
18	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.01	4.92	4.81	4.73	4.65	4.57	4.52	4.45	4.41	4.36	4.33	4.31	18
19	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.86	2.83	2.77	2.74	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54	19
20	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.60	4.52	4.41	4.33	4.25	4.17	4.12	4.05	4.01	3.96	3.93	3.91	20

Fuente: Universidad Autónoma Metropolitana, México.