

## EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL ARCO SECO DE PANAMÁ.

Dr. Antonio N Menéndez Sierra  
 Consultor independiente  
[amenendez90@Hotmail.com](mailto:amenendez90@Hotmail.com)  
 Cel: +507 6646 0614

*Para su normal desarrollo y sobrevivencia, cada especie tiene una temperatura mínima, máxima y óptima*

**1824: “El efecto invernadero retiene el calor en la atmósfera” - Jean Baptiste Joseph Fourier**

**1856: “El aumento del CO<sub>2</sub> provocará un calentamiento global” - Eunice Newton Foote**

**1896: “El cambio climático se debe a la actividad humana” - [Svante Arrhenius](#) (1903)**

**1960: “El cambio climático se acelera” - Charles David Keeling**

**1965: “Hacia el año 2000, el clima cambiará” - Lyndon B. Johnson**

**1972: “Si duplicamos las emisiones de CO<sub>2</sub>, la temperatura subirá 3°C” - Jule Charney**

**1990: “La mayor magnitud del calentamiento polar será en latitudes altas del hemisferio norte” - José Miguel Viñas**

**2006: “Los fenómenos naturales serán cada vez más extremos” - Al Gore**

**2007: “Las olas de calor serán cada vez peores” - David Attenborough**

# Importancia de la temperatura

La temperatura determina la distribución geográfica de las plantas



**LEYENDA**  
Mapa 2.11 Zonas climáticas y su relación con las regiones naturales

Zona climática	Región natural	Zona climática	Región natural	Zona climática	Región natural	Zona climática	Región natural	Zona climática	Región natural
<b>Subtropical</b>	Selva y bosque tropical Sabana	<b>Templado</b>	Bosque templado Pradera Mediterránea	<b>Polar</b>	Tundra Pradera de alta montaña Hielos perpetuos	<b>Seco</b>	Estepa Desierto	<b>Frio</b>	Bosque boreal o taiga

Fuente: Atlas universal y de México, Macmillan Castilo, 2006.

## ADEMÁS



La duración del ciclo del cultivo y sus diferentes fases



El pronóstico del rendimiento.



Los coeficientes de evapotranspiración.



La absorción de los nutrientes.



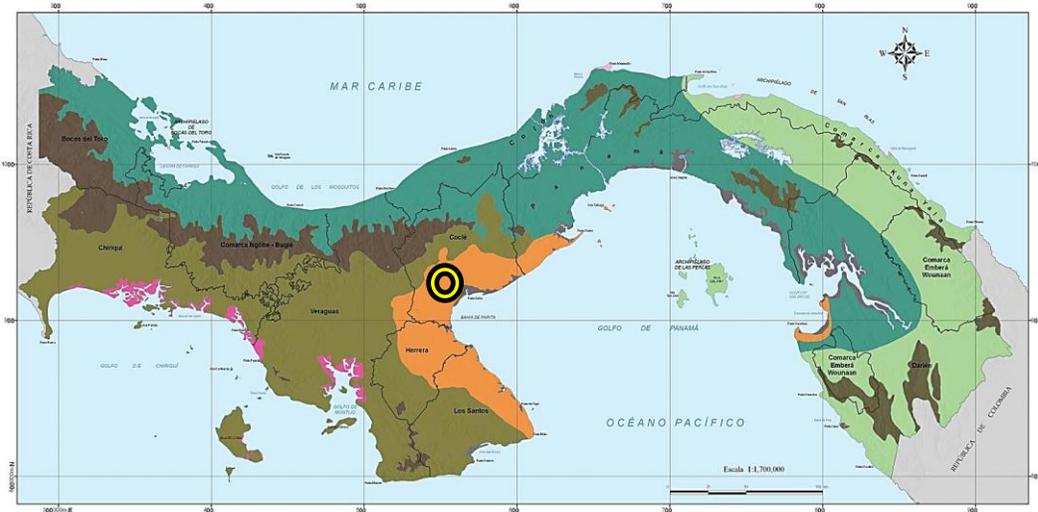
La aparición de plagas y enfermedades.

# Materiales y Métodos

2009 - 2015

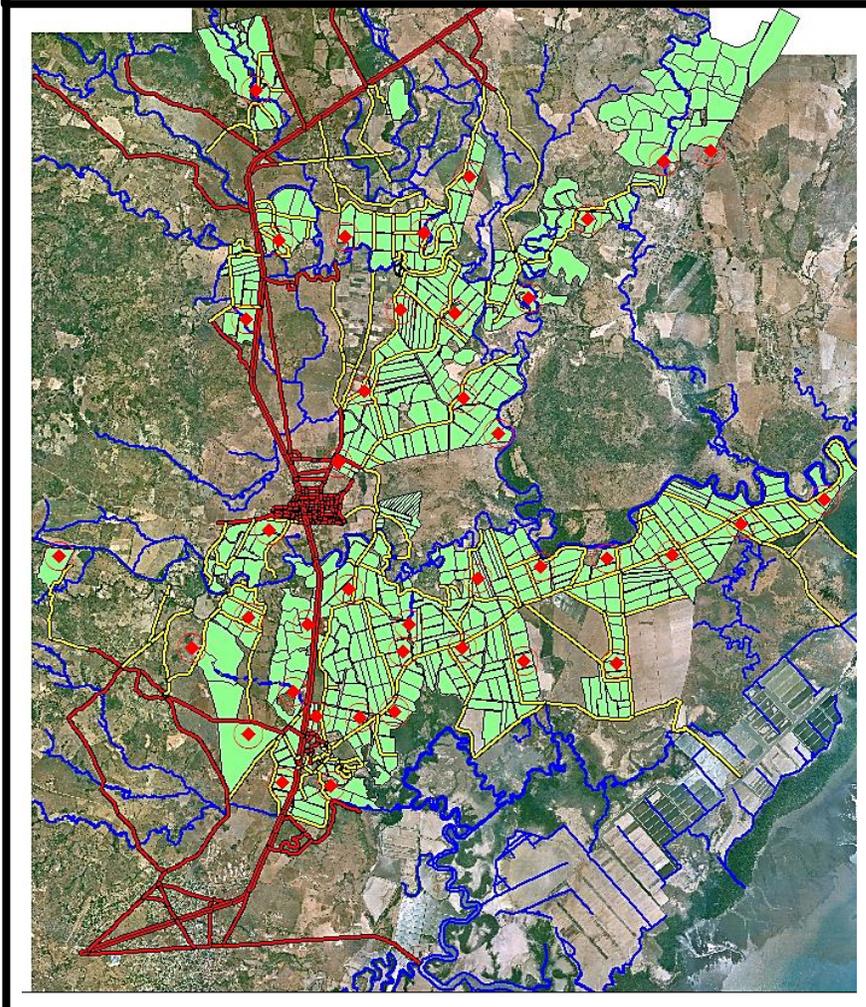
Ecorregiones terrestres de Panamá

Mapa 3.1.1



Variedad	Cepas (Número de cortes)									Total
	00-R	01-R	02-R	03-R	04-R	05-R	06-R	07-R	08-R	
BT-7742	4	37	30	7	4	3	3	2	3	83
B-74-125	3	-	5	15	23	15	12	11	3	78
B-80-689	10	22	20	11	-	-	-	-	-	54
Variedades	7	8	3	7	3	-	-	-	-	24
Ragnar	-	4	-	4	-	-	-	-	-	8
DB-7160	-	-	-	3	4	-	-	-	-	7
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>34</b>	<b>28</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>171</b>

## Puntos de Observación Permanente

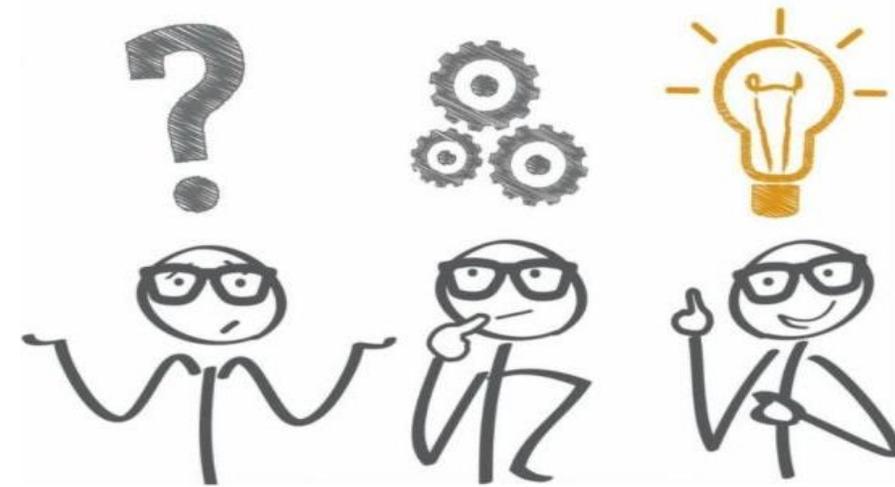


# Puntos de Observación Permanente



## DEFINICIÓN

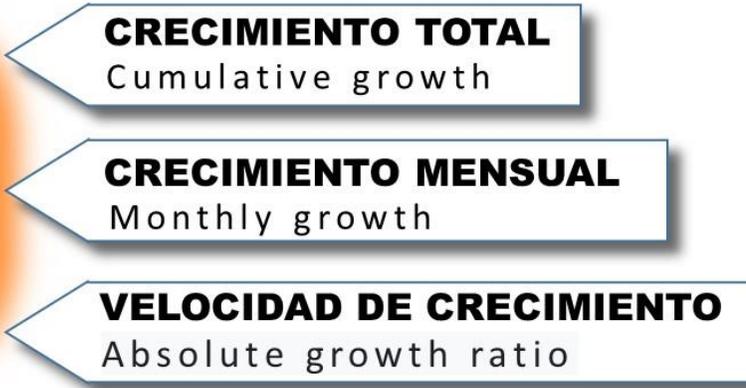
*Parcelas de 4 surcos de 20 m de largo, montadas sobre campos comerciales; donde se miden, mensualmente, la altura y el diámetro central a 10 cañas, distribuidas al azar, marcadas desde el inicio y se cuentan los tallos de los dos surcos centrales; que se mantienen en tiempo y espacio*



## FUNDAMENTO

*Si se montan, de forma representativa, una cantidad suficiente de POP y se mantienen ocupando los mismos lugares por varios años, se pueden generar modelos que permitan estimar, con tiempo suficiente, lo que esta ocurriendo, tomarlo en cuenta y corregirlo.*

# Variables Dependientes



## OBJETIVO

*Medir cambios que por lo general, están condicionados a factores genéticos, es decir cambios no accidentales y normalmente irreversibles, que ocurren en el organismo durante su vida, desde la fecundación, pasando por la formación del organismo maduro hasta su envejecimiento y muerte.*



$$CG = Gt$$

$$MG = Gt - G(t*1)$$

$$AGR = \frac{G}{t}$$

## FUNDAMENTO

*Los cambios en el desarrollo de las plantas están acompañados de cambios en la velocidad de crecimiento, por lo que determinado los puntos de cambio de velocidad se podrían identificar el comienzo, el final y la duración de las diferentes etapas de desarrollo.*

# Variables Independientes

## INDICADORES DE CALOR

**GRADOS DÍA DE CRECIMIENTO (GDD o GDC)**  
Growing Degree Days

**UNIDADES TÉRMICAS (HU o UT)**  
Heat Units

**TIEMPO TÉRMICO (TT)**  
Thermal Time

## DEFINICIÓN

Es la suma de calor que expresa la cantidad total de energía a que la planta estuvo sometida en un periodo de tiempo.

**t<sub>max</sub> y t<sub>min</sub>**

Estación Automática tipo MISOL Wireless



$$GD = \frac{(t_{max} - t_{min})}{2} - t_b \quad GDD = \sum GD_{1 \rightarrow n}$$

## FUNDAMENTO

Diferencia entre tiempo cronológico y tiempo fisiológico,

**Tiempo cronológico (Tc):** el tiempo necesario para que una planta cambie de un estado de desarrollo a otro.

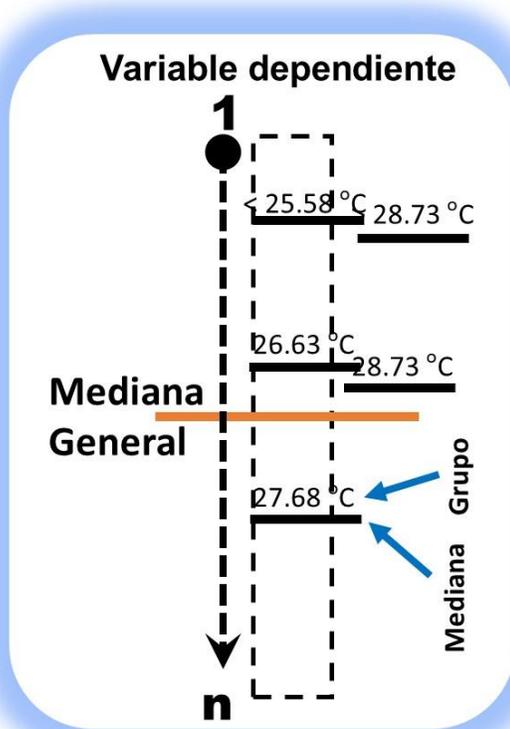
**Tiempo fisiológico (Tf):** la energía necesaria para que la planta cambie de un estado a otro

# Procedimientos

## VARIABLE INDEPENDIENTE



ESTADÍSTICA NO PARAMÉTRICA



### CONTRASTE

Análisis de varianza de clasificación por rangos de Kruskal-Wallis (H).

Análogo no paramétrico del análisis de varianza de un factor. Detecta diferencias en la ubicación de la distribución.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)$$

K = Numero de muestras.

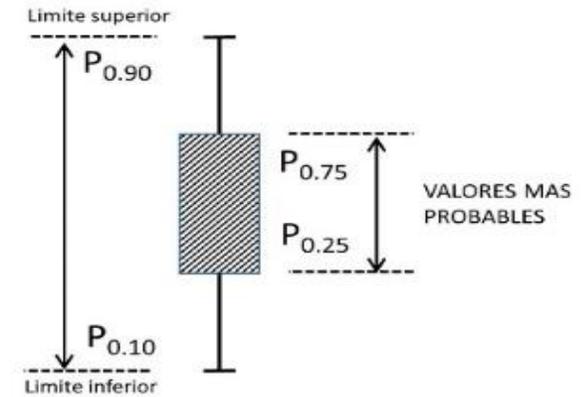
n<sub>j</sub> = Número de casos de la muestra de orden j.

N = Número total de casos de todas las muestras combinadas.

R<sub>j</sub> = Suma de rangos en la muestra de orden j.

### REPRESENTACIÓN

#### CAJA Y BIGOTE



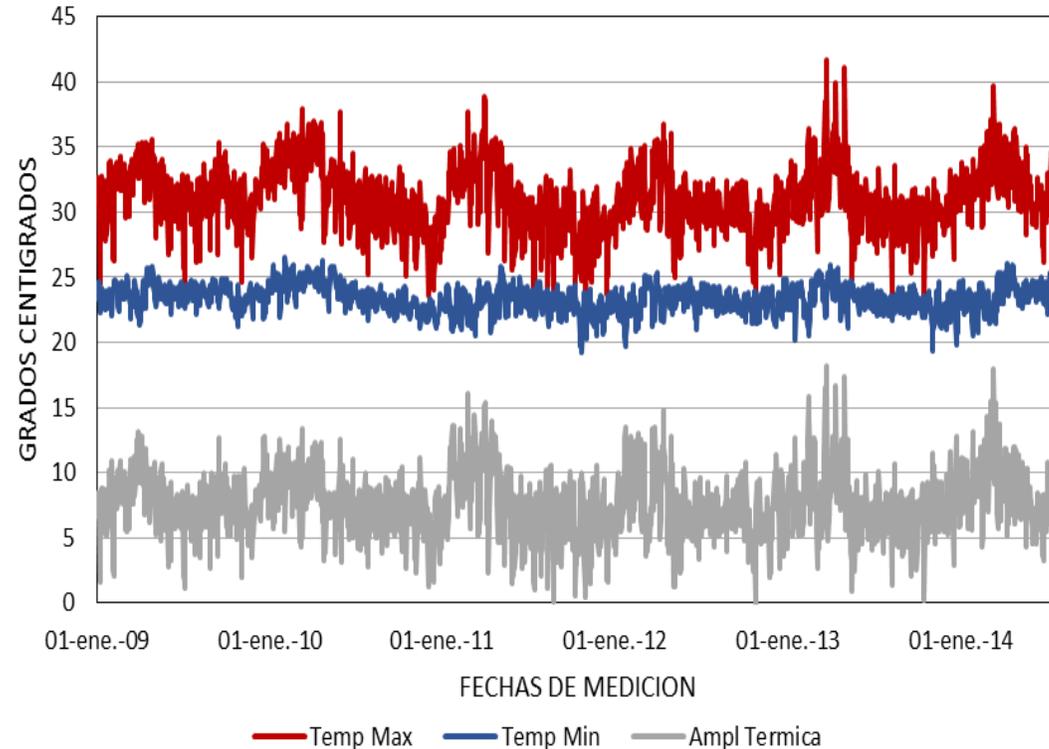
Regresiones simples



Modelos lineales discontinuos

# Resultados y Discusión

CALESA - VARIACION DIARIA DE LA AMPLITUD TERMICA Y LA TEMPERATURA MAXIMA Y MINIMA



## TEMPERATURAS

Promedio anual  $27.9 \pm 1.4$  °C

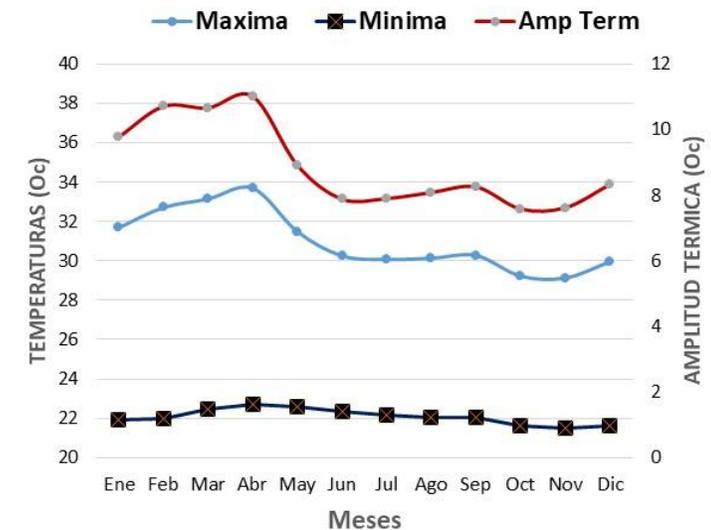
Máximas 41.6 y 21.3 °C

Mínimas 26.5 y 19.2 °C

Mes mas caluroso Abril

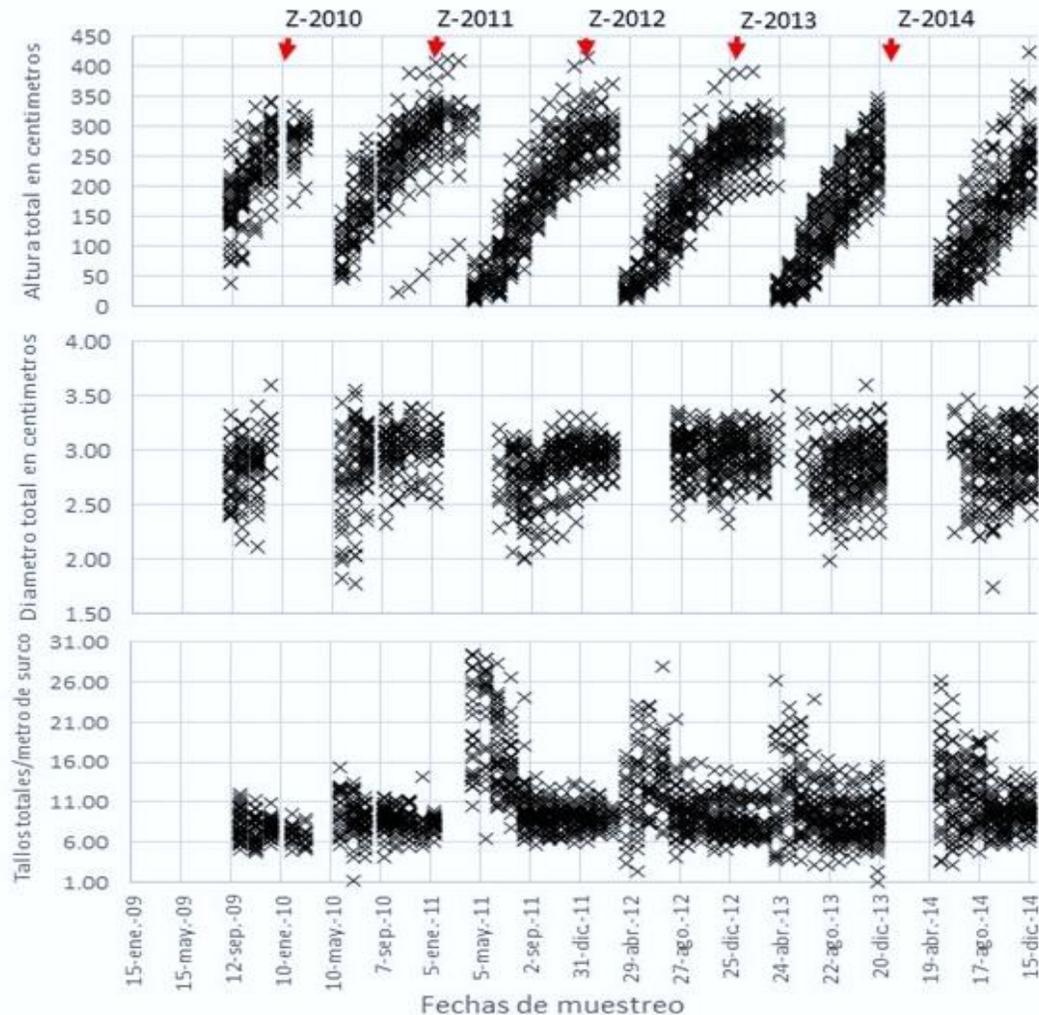
Mes mas fresco Noviembre

Amplitud térmica 7.7 °C



Las variaciones diarias son aleatorias y no guardan relación con el año o el mes, pudiendo considerarse como el resultado casual de la interacción directa de la temperatura con la cantidad y duración de la lluvia, el grado de nubosidad y/o el viento, entre otras.

## CRECIMIENTO DE LA CAÑA



El crecimiento de la caña de azúcar resulto también estacional y muy variable (figura 3), con un promedio anual de altura de  $309.8 \pm 53.6$  cm; los meses de mayor crecimiento son Junio – Julio – Agosto y Septiembre con crecimientos que pueden llegar hasta 1.5 cm/día. El diámetro por su parte se incrementa mensualmente y su mayor valor se presenta poco antes de la cosecha ( $3.18 \pm 0.1$  cm promedio) mientras que el mayor número de tallos por metro lineal de surco se observa en los meses de abril, mayo y junio, cuando empiezan a disminuir para estabilizarse en septiembre – octubre hasta valores de  $8.9 \pm 1.2$  tallos/metro que como promedio son los que llegan a cosecha.

Estos valores son circunstanciales y están afectados, por los niveles de humedad del suelo, el genotipo y las condiciones de cultivo en cada punto específico.

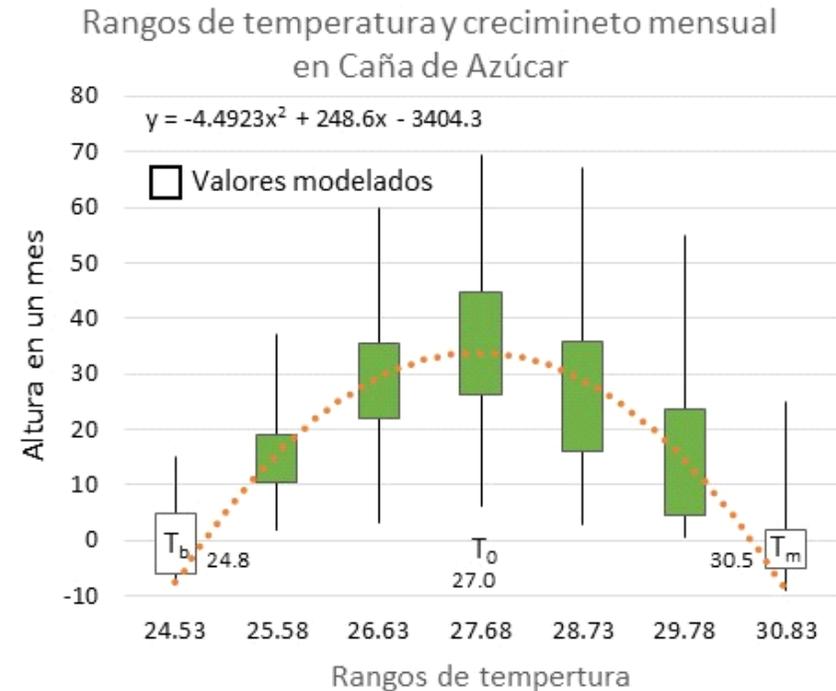
# Temperatura base

**Tabla 3.-- Prueba de Kruskal-Wallis para altura/mes por rangos de temperatura promedio mensual**

<i>Rangos de Temperatura</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>	<i>Mediana</i>
< 25.58	28	310.589	15.00
26.63	262	732.807	29.45
27.68	603	922.066	36.00
28.73	350	652.364	24.95
> 28.73	210	339.552	12.05

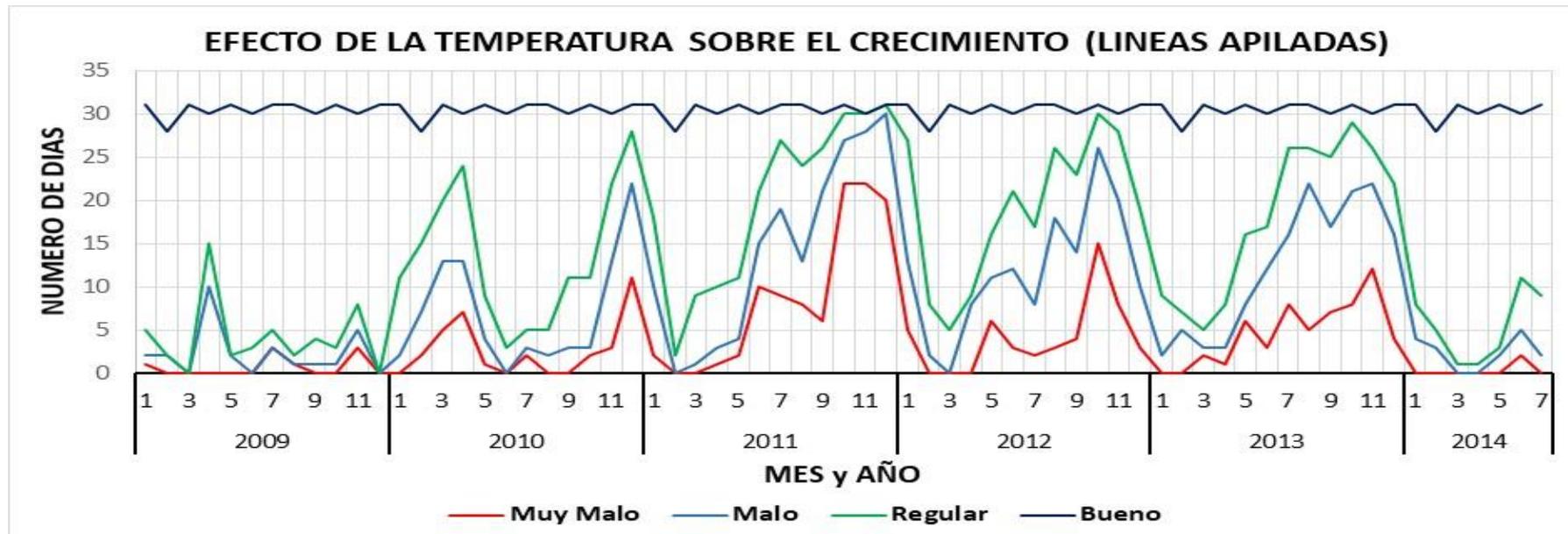
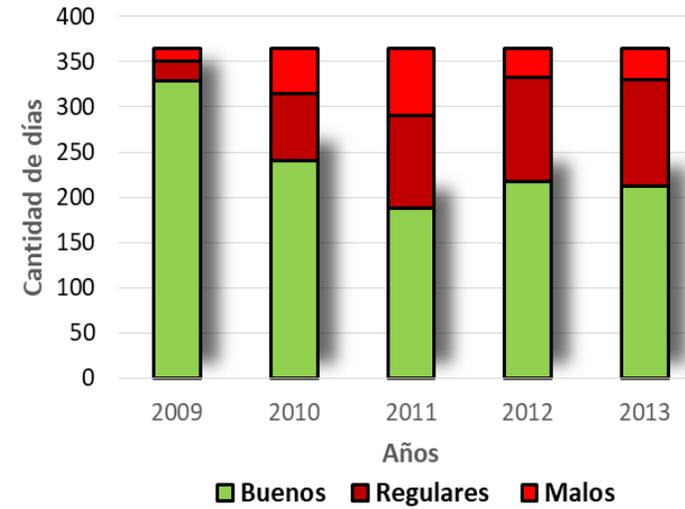
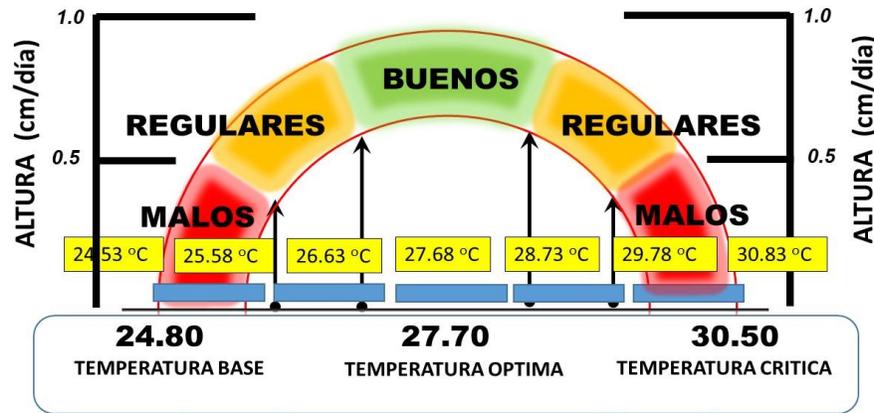
Estadístico H = 348.095 Valor-P = 0

- TEMPERATURA BASE 24.8 °C
- TEMPERATURA OPTIMA 27.7 °C
- TEMPERATURA MÁXIMA, critica, 30.5 °C



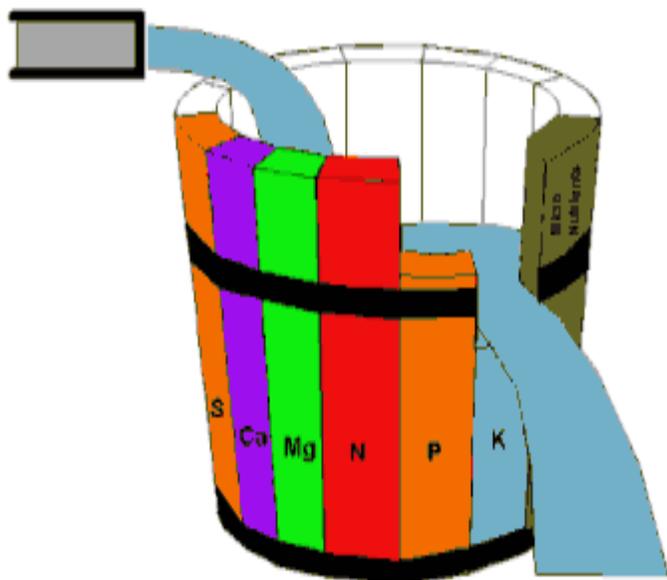
$$y = -4.4923x^2 + 248.6x - 3404.3$$

# El Cambio Climático – Años buenos y Malos



# Ley del mínimo

Liebig; 1840



*El rendimiento de los cultivos esta regulado por el factor mas limitante y el rendimiento solo se puede incrementar con la corrección de ese factor limitante.*



# Etapas de crecimiento

$$ALTURA = 24.3087 - 0.135882 * GDC + 0.00123554 * GDC^2 - 0.00000117853 * GDC^3 + 3.31647E - 10 * GDC^4$$

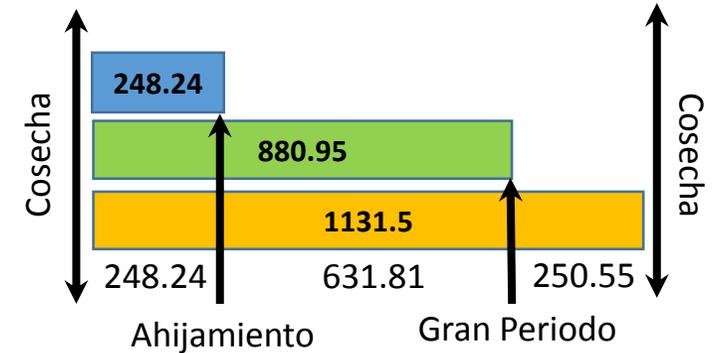
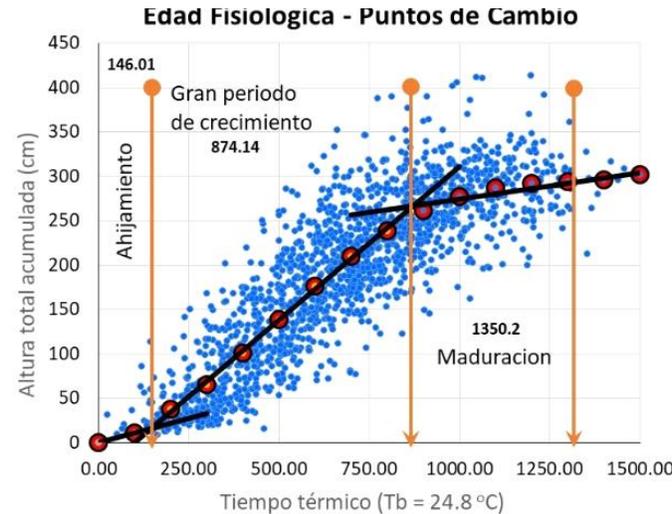
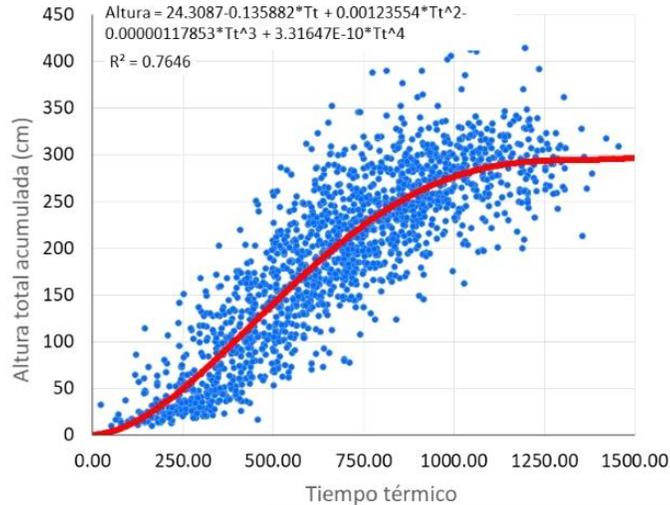
(R<sup>2</sup>= 0.7646; F= 1318.67; α = 0.0000; σ = 34.48)

Ahijamiento:  $y = 0.121x + 21.29$

Gran Periodo de Crecimiento:  $y = 0.3453x - 34.36$

Maduración:  $y = 0.0594x + 215.56$

## Puntos de cambio (puntos de corte de las tangentes):



GDC entre el corte y el final del ahijamiento			
Causa de Variación	Media	Desviación Típica	CV%
Año	294.29	146.68	49.8%
Variedad	203.81	52.77	40.6%
Clase Agrícola	227.18	49.69	19.7%
Mes de corte	267.68	137.39	51.3%
Promedio	248.24	96.63	40.4%

GDC entre el corte y el final del GPC			
Causa de Variación	Media	Desviación Típica	CV%
Año	865.57	110.21	12.8%
Variedad	870.54	72.14	8.3%
Clase Agrícola	883.70	37.54	4.2%
Mes de corte	903.98	130.36	14.4%
Promedio	880.95	87.56	9.93%

GDC de duración del GPC			
Causa de Variación	Media	Desviación Típica	CV%
Año	567.98	109.18	19.2%
Variedad	666.73	99.78	15.0%
Clase Agrícola	656.22	81.30	12.4%
Mes de corte	636.30	100.13	15.7%
Promedio	631.81	97.60	15.6%

**Tb** El tiempo cronológico aumenta, El tiempo fisiológico se detiene

**Top** El tiempo cronológico aumenta El tiempo fisiológico aumenta

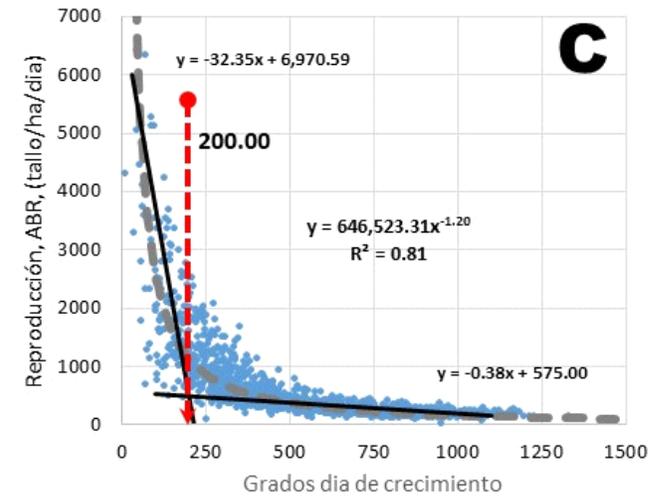
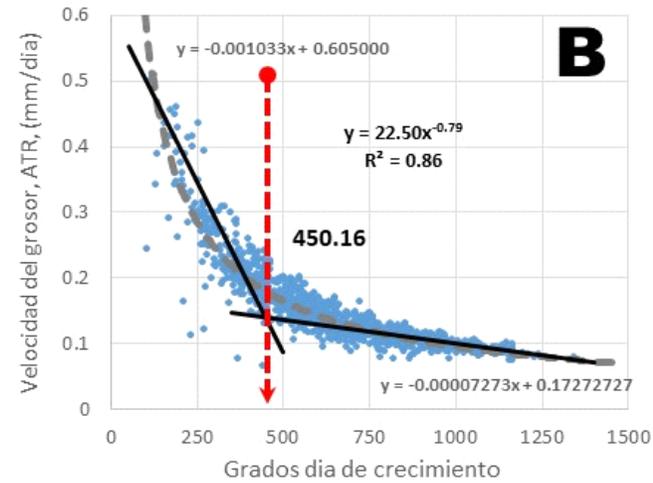
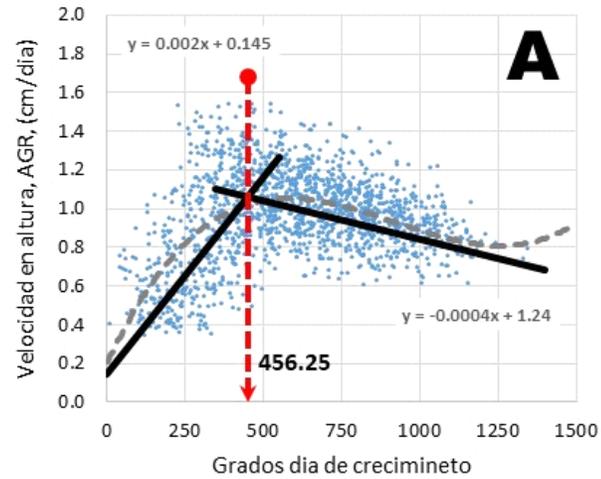
**Tmx** El tiempo cronológico aumenta, El tiempo fisiológico se detiene

< CRECIMIENTO  
> CICLO DEL CULTIVO

< CRECIMIENTO  
< CICLO DEL CULTIVO

TEMPERATURA °C	CONDICIÓN	EDAD		CRECIMIENTO Total (m)
		FISIOLÓGICA GDC	CRONOLÓGICA Días	
26.25	< Optima		351	3.37
<b>28</b>	<b>Optima</b>	<b>880</b>	<b>293</b>	<b>3.37</b>
29.5	> Optima		196	1.76

# Velocidad de crecimiento



450 GDC  $\approx$  120 días

Realizar actividades que incrementen o mejoren la velocidad de crecimiento

200 GDC  $\approx$  60 días

Realizar actividades que detengan el ahijamiento

# Conclusiones

1. A pesar del conocimiento que se tiene de la importancia de la temperatura en el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, en el caso de los cultivos comerciales de fondo industrial, con grandes extensiones de área, no se toma en consideración ni en la evaluación de la producción ni en la planeación de las actividades culturales.
2. La relación de la temperatura con el crecimiento esta expresada en el modelo cuadrático “ $y = -4.4923x^2 + 248.6x - 3404.3$ ”; a partir de este modelo se calculó la temperatura base ( $T_b = 24.8$  °C), la temperatura optima ( $T_o = 27.7$  °C) y la temperatura máxima ( $T_m = 30.5$  °C)
3. Temperaturas por debajo de 24.8 y por encima de 30.5 °C pueden detener el crecimiento.
4. Con el Tipo de Utilización de la Tierra (TuT) promedio de CALESA y en las condiciones del arco seco de Panamá, durante el gran periodo de crecimiento la caña de azúcar puede crecer hasta 1.5 cm/día si las temperaturas son óptimas.
5. Con el aumento de la amplitud térmica disminuye el crecimiento pudiendo llegar a 0 con valores superiores a los 11°C.
6. En condiciones de alta variabilidad de la data la transformación de las variables independientes a rangos y el uso de técnicas no paramétricas facilita el análisis de la información.

# Conclusiones

7. Al igual que el enyerbamiento, las plagas y enfermedades o el riego entre otros la temperatura promedio diaria debe ser un factor a tomar en cuenta a la hora de analizar el nivel de producción esperada ya que al igual que los otros cumple con la ley del mínimo.
8. La variabilidad inducida en la temperatura por el cambio climático causa efectos negativos y significativos en el crecimiento y por ende en la producción de la caña de azúcar, al punto que en el periodo estudiado el 35% del tiempo, como promedio, resulto de regular a malo para el cultivo, observándose una tendencia al incremento en los últimos años.
9. Los cálculos de los tiempos térmicos (GDC) resultaron en 248.24 GDC, desde que la caña retoña hasta terminado el ahijamiento; 880.95 GDC, desde que termina el ahijamiento a que comienza la maduración y 1131.5 GDC hasta que termina la maduración lo que representa una duración de 248.24 GDC para el ahijamiento, 631.81 para el GPC y 250.55 GDC para la maduración.
10. Como el margen óptimo de temperatura efectiva en la zona es de 3 °C, si este se mantuviera constante el agricultor tendría unos (450/3) 150 días calendario para trabajar y obtener la máxima velocidad de crecimiento, pero como las curvas no son lineales los mejores márgenes se consiguen lo más cercano al corte posible.

# Recomendaciones

Como tanto los valores como los resultados de este trabajo pueden estar sujetos a variaciones en función de los cambios que se introduzcan en el “Tipo de utilización de la Tierra (TuT) estos estudios deberían replicarse en espacio y tiempo.

Dentro de la producción comercial los puntos de observación permanente constituyen un apoyo básico al estudio y al conocimiento de los cultivos en las condiciones reales en las que se desarrollan por lo que deberían ser generalizados y utilizados normalmente.

La forma más sencilla de evaluar si el desarrollo de un campo es normal o no consiste en evaluar la velocidad de crecimiento en altura y grosor (AGR, ATR) a los 456 GDC y la de reproducción ampliada de tallos (ABR) a los 200 GDC y compararla con los estándares de 1.06 cm/día, 0.14 mm/día y 500 tallos/ha/día; si son superiores los campos resultan normales, si son inferiores deberán analizarse y tomar medidas para corregir las insuficiencias.

**GRACIAS**