

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y  
AGROPECUARIAS

COORDINACIÓN DE POSTGRADO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

**INTERACCIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD  
RELATIVA AMBIENTAL SOBRE EL DESARROLLO DE LA  
ENFERMEDAD PUDRICIÓN DEL COGOLLO EN *Agave tequilana*  
*Weber var. azul***

FELIPE BERNACHE PÉREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO DE ÁREAS DE TEMPORAL

LAS AGUJAS, MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JAL.2007

## **DEDICATORIAS**

A la memoria de mi padre:

Fortino Bernache Neri

A la memoria de mis suegros:

Carmen Hernández Real

Manuel Garibaldi Urzúa

Con cariño a mi madre:

Maria de Jesús Pérez Valladolid.

Con todo mi amor a mi esposa que me apoyó en cada momento para realizar este trabajo y que siempre creyó en mí:

Profra. Dulce Maria Garibaldi Hernández

Con cariño a mis hijos por brindarme todo su apoyo y paciencia:

Felipe de Jesús

Rocío del Carmen

Dulce Belén

A mi hermana:

Alicia y su esposo Carlos

A mis amigos y compañeros:

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron para la realización de este trabajo y me brindaron su ayuda y apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater Universidad de Guadalajara.

Al Dr. Salvador Mena Munguía por brindarme su confianza para realizar esta tesis.

Al Dr. José Luís Martínez Ramírez por brindarme su amistad y darme todo su apoyo y paciencia para la elaboración de este trabajo.

Al M.C Javier Vázquez Navarro por creer en mí.

Al Dr. Pedro Posos Ponce por sus valiosas enseñanzas.

AL M.C Juan Bojorquez Martínez al brindarme su apoyo y su amistad.

Al Dr. Luís Alberto Rendón Salcido por su valiosa participación.

A todos los maestros de la Universidad de Guadalajara por sus valiosas enseñanzas y consejos que me ofrecieron en mi formación profesional.

## CONTENIDO

	Página
Dedicatoria.....	I
Agradecimiento.....	II
Lista de cuadro.....	V
Lista de imágenes.....	VI
Lista de tablas.....	VII
Lista de graficas.....	VIII
Resumen.....	IX
1. Introducción.....	1
2. Objetivos e Hipótesis.....	4
3. Revisión de Literatura.....	5
3.1 Descripción botánica.....	5
3.2 Sintomatología de la enfermedad.....	6
3.2.1 El patógeno.....	7
3.3. Importancia económica del agave tequilero.....	8
3.4. Respuesta del agave tequilero con el clima	8
3.5. Influencia Climática sobre el desarrollo de la pudrición del cogollo en <i>agave</i>	9
4. Materiales y Métodos.....	10
4.1 Área de estudio.....	10
4.1.2 El Arenal.....	10
4.1.3 Orografía.....	10
4.1.4 Hidrografía.....	10
4.1.5 Climatología.....	10
4.1.6 Fauna.....	11
4.1.7 Suelo.....	11

4.2 Diseño experimental.....	11
4.3 Análisis estadístico.....	15
5. Resultados y Discusión.....	16
6. Conclusiones.....	32
7. Recomendaciones.....	33
8. Bibliografía.....	34

LISTA DE CUADRO

Página

Inventario general del *Agave tequilana*.....

7

## LISTA DE IMÁGENES

	Página
Escala de Daño	
Grado 1.....	13
Grado 2.....	13
Grado 3.....	14
Grado 4.....	14
Grado 5.....	15

## LISTA DE TABLAS

No. de Tabla	Título	Página
1	Datos climáticos de la primera epidemia que se presentó en el Llano de las Rosas en El Arenal Jal.	16
2	Fecha de la primera epidemia y escala para evaluar el grado de Pudrición de cogollo causada por <i>Erwinia sp.</i>	17
3	Fechas y porcentajes de pudrición de cogollo del agave durante la primera epidemia.	18
4	Datos climáticos durante la segunda epidemia municipio de El Arenal Jal.	23
5	Fechas y porcentajes de pudrición de cogollo del agave durante la segunda epidemia.	24
6	Relación de datos climáticos entre la primera y segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.	28

## LISTA DE GRÁFICAS

No. de Gráfica	Título	Página
1	Temperaturas presentes durante la primera epidemia de pudrición del cogollo del agave.	19
2	Humedades relativas presentes durante la primer epidemia de pudrición del cogollo del agave.	20
3	Evaluación del avance de la pudrición del cogollo del agave.	21
4	Representación gráfica del modelo matemático Polinomial.	22
5	Temperaturas presentes durante la segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.	25
6	Humedad Relativa presente durante la segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.	26
7	Resultado del modelo Polinomial de la segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.	27
8	Temperaturas presentes entre la primera y segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.	29
9	Humedad Relativa presentes entre la primera y segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.	30
10	Modelo matemático ajustado para las dos epidemias de pudrición del cogollo en agave basado en la temperatura y la Humedad relativa.	31

## Resumen

Actualmente el cultivo del *Agave tequilana* Weber. var. azul es uno de los cultivos más importantes en México y que además tiene poca investigación. El desarrollo de este cultivo ha sido afectado por plagas y enfermedades, de ahí que la preocupación en los últimos años radica en el crecimiento de los problemas fitosanitarios. Este trabajo pretendió medir el efecto de los factores climáticos como son temperatura y humedad relativa sobre el desarrollo de pudrición de cogollo en plantaciones de agave azul en el municipio de El Arenal, Jal. El comparar los factores ambientales en relación de las epidemias de pudrición de cogollo del agave ocurridas en los años 1998-1999 y 2003-2004, los resultados indican que la temperatura es el factor que ejerce mayor influencia sobre el incremento de la enfermedad de pudrición del cogollo del agave. Las temperaturas mínimas de 10 °C o inferiores favorecen el desarrollo de la pudrición del cogollo. Se generó un modelo matemático polinomial cuyas curvas de regresión explican la evolución de ambas epidemias de pudrición del cogollo del agave. El contar con este modelo predictorio podrá determinar las mejores épocas para establecer medidas de control químico que reduzcan el daño y las siguientes pérdidas que ocasiona la pudrición del cogollo.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el agave tequilero (*Agave tequilana* Weber. var. azul) se ha convertido en uno de los cultivos más importantes en México; particularmente en la zona protegida por la denominación de origen. Como consecuencia la superficie cultivada se vio incrementada drásticamente, en el año 2000 con una superficie de 40,000 hectáreas con 107 millones de plantas sobresaliendo el estado de Jalisco con el 92 % de la superficie total.

El desarrollo de este cultivo ha sido afectado por plagas y enfermedades, de ahí que la principal preocupación en años recientes radica en el crecimiento de problemas fitosanitarios provocados por hongos, bacterias, virus e insectos principalmente, los cuales atacan al cultivo y provocan daños y pérdidas en las plantas de agave.

Las enfermedades más comunes son: pudrición del cogollo provocada por la bacteria *Erwinia* sp. Pudrición de raíz causada por el hongo *Fusarium oxysporum*, el amarillamiento causado por el hongo *Cercospora* y el anillo rojo causada por un patógeno aun sin definir.

Se realizó en el año 2005, un monitoreo de enfermedades dentro de la denominación de origen donde encontró que el 57% de las plantaciones esta enferma con al menos una de las cuatro enfermedades antes mencionadas y solo el 43% de los predios están libres de enfermedades. (Consejo Regulador del Tequila, 2005a).

El aumento de las enfermedades en las plantaciones del agave están influenciadas por varios factores como son: Suelo, topografía, daños mecánicos, mala aplicación de insumos, abandono del cultivo, daños por insectos y el clima. Este último factor donde las temperaturas y la humedad relativa pueden ser los

elementos que estimulen el desarrollo de las enfermedades. (Bernache, 2004, no publicado)

El medio ambiente desempeña un papel preponderante para el desarrollo y manejo de enfermedades fungosas. Si el medio ambiente favorece el desarrollo de la enfermedad, las plantaciones de agave se ven sometidas a una fuerte presión por parte de los patógenos. (Consejo Regulador del Tequila, 2005b)

Uno de los patógenos que a la fecha daña severamente las plantaciones de agave es la pudrición del cogollo, sus síntomas son: lesiones necróticas y acuosas en las hojas que en la mayoría de los casos inician en la espina apical o en las espinas laterales, estas lesiones avanzan hacia el centro de la hoja y en el centro del cogollo causa una pudrición descendente que llega hasta la piña y puede provocar la muerte de la planta. En campo se ha encontrado la presencia de *Erwinia sp.* (Pudrición del cogollo). Se han aislado diferentes especies de bacterias asociadas a la pudrición del cogollo, entre ellas la más común es *Erwinia carotovora* misma que se ha diagnosticado en dicho síndrome. El Consejo Regulador del Tequila reporta que se tiene 15.4 % de pudrición de cogollo en el monitoreo de enfermedades dentro de la denominación de origen tequila realizada en el año 2005 (Consejo Regulador del Tequila, 2005a).

Si el patógeno cuenta con las condiciones adecuadas para efectuar un fuerte ataque, esta puede llegar a niveles de epidemia (Consejo regulador del tequila, 2005b).

Se realizó un experimento en agaves de tres años para determinar la influencia de los factores ambientales sobre el desarrollo de la enfermedad pudrición de cogollo donde se encontró que la temperatura y humedad relativa si favorecen el crecimiento de la enfermedad (Martínez *et al*, 2005).

El agave tequilero es uno de los cultivos a los que menos investigaciones se le ha dedicado en México, incluyendo la investigación relacionada a su manejo fitosanitario (González, 2007).

Como se aprecia en los antecedentes antes mencionados no se cuenta con suficiente información acerca de la enfermedad pudrición del cogollo, ni con las interacciones de esta con el medio ambiente, por lo cual se considera necesario realizar este trabajo con la finalidad de elucidar el efecto de los factores climáticos sobre el desarrollo de esta enfermedad que es muy agresiva en las plantaciones de Agave en el Estado de Jalisco.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivos**

A) Asociar el efecto de la temperatura y humedad relativa en el desarrollo de pudrición del cogollo en las plantaciones de agave azul.

B) Determinar, analizar y comparar las curvas de regresión asociadas con las epidemias de pudrición del cogollo ocurridas en los años 1998-1999 y 2003-2004.

C) Generar un modelo matemático conjunto que explique el desarrollo de ambas epidemias.

### **2.2. Hipótesis**

La temperatura y la humedad relativa influyen en el aumento de plantas con la enfermedad de pudrición del cogollo

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Descripción botánica

El *Agave tequilana* Weber pertenece al subgénero *Agave* y a la sección *Rigidae*, a la cual también pertenecen una gran cantidad de especies productoras de fibra y mezcaleras que se extienden en México y Centroamérica estando ausentes en los Estados Unidos. Este grupo es fácilmente reconocible por la forma de sus hojas angostas y muy rígidas. Es una Planta surculosa que se extiende radialmente de 1.2 a 1.8 m de altura. Su tallo es grueso, corto de 30 a 50 cm. de altura al madurar. Las hojas de 90 a 120 cm. lanceoladas, acuminadas de fibras firmes, casi siempre rígidamente estiradas, cóncavas de ascendentes a horizontales. Lo mas ancho se encuentra hacia la mitad de la hoja angosta y gruesa hacia la base, generalmente de color glauco azulado a verde grisáceo. El margen de las hojas es recto a ondulado o repando, los dientes generalmente de tamaño regular y espaciados irregularmente, en su mayoría de 3 a 6 mm de largo a la mitad de la hoja. Los ápices delgados, curvos o flexos desde poca altura de la base piramidal. Los dientes son de color claro a oscuro, de uno a dos cm. de separación; rara vez son remotos o largos. La espina por lo general es corta de 1 a 2 cm de largo, rara vez larga achatada o abiertamente surcada de arriba, su base es ancha café obscura decurrente o no decurrente. La inflorescencia es una panícula de 5 a 6 metros de altura, densamente ramosa a lo largo, con 20 a 25 umbelas largas difusas de flores verdes y estambres rosados; las flores de 68 a 75 mm de largo con bractéolas sobre los pedicelos de 3 a 8 mm de longitud. el ovario de 32 a 38 mm de largo, cilíndricos con cuello corto, inconstricto, casi terminado en punta sobre la base. El tubo floral es de 10 mm de ancho, funeliforme y surcado. Los pétalos son desiguales de 25 a 28 mm de longitud por 4 mm de ancho, lineares, erectos pero rápidamente flojos en anthesis, cambiando entonces a cafosos y secos. Los filamentos de 45 a 50 mm de largo doblados hacia adentro junto al pistilo, insertos de 5 a 7 mm cerca de la base de tubo;

anteras de 25 mm de largo. El fruto es una cápsula ovalada a brevemente cúspidada (Gentry, 1982).

La variedad azul es la permitida por la norma oficial (NOM.-006-SCFI-2005) para la elaboración del tequila. Además es desde hace muchos años la preferida por los productores e industriales (Valenzuela,1994)

### 3.2 Sintomatología de la enfermedad

Pudrición del cogollo

Síntomas: son lesiones necróticas y acuosas en las hojas que en la mayoría de los casos inician en la espina apical o en las espinas laterales, estas lesiones avanzan hacia el centro de la hoja y en el centro del cogollo, causan una pudrición descendente que llega hasta la piña y puede provocar la muerte de la planta. (López y Montesinos, 2002).



En campo, se ha encontrado que la presencia de *Erwinia* sp. (Pudrición de cogollo) se asocia en la mayoría de las ocasiones con un inicio a nivel de la base de las espinas, ya sean laterales o apicales, predominando en estas últimas, sobre todo en las hojas centrales de la planta, de donde posteriormente avanza la enfermedad hacia la piña (Consejo Regulador del tequila, 2005a)

### 3.2.1 El Patógeno

A la fecha se han aislado diferentes especies de bacterias asociadas a la pudrición del cogollo, entre ellas la mas común es *Erwinia carotovora* misma que se ha diagnosticado en dicho síndrome. *E. carotovora* pertenece a la familia de las entero bacterias. La bacteria es un bacilo corto de 1 a 3 micras y tiene flagelos peritricos, son anaeróbicos facultativos y causan un gran número de pudriciones acuosas. Encontraron que *Erwinia carotovora* puede sobrevivir en muchos ambientes, incluyendo el suelo, ríos, lagos y a nivel de océanos. La longevidad de la bacteria fue considerada en función de la temperatura del suelo puede invernar en residuos de las plantas contaminadas principalmente en suelos después de la cosecha (López y Montesinos, 2002).

Se realizó un muestreo en las plantaciones de agave de las enfermedades mas comunes dentro de la de la denominación de origen realizada en 11 regiones donde informa que encontró que el 57% de las plantaciones están enfermas con al menos una de las cuatro de enfermedades: anillo rojo, pudrición de tallo, pudrición de cogollo y amarillamiento. Solo el 43% de los predios están libres de enfermedad. El porcentaje que reporta el Consejo Regulador del Tequila para las plantaciones de agave que tienen problemas con la enfermedad pudrición de cogollo es del 15.4 % (El Consejo Regulador del Tequila, 2005a)

Cuadro No 1 Inventario General del *Agave tequilana* Weber variedad azul, dentro del territorio protegido por la denominación de origen tequila

Estado	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Guanajuato	271165	345178	2085818	2454294	1675093	638099	257768
Jalisco	50907745	66469775	79861421	69854043	35168389	23574270	10502654
Michoacan	334262	803599	3017627	4675567	2622368	629639	59443
Nayarit	8278354	4529727	5896064	4741375	1431349	2972663	1908104
Tamaulipas	240753	588357	2172813	4277145	1123958	173805	137805
Totales	60,032,276	72,736,636	93,033,743	86,002,424	42,021,157	27,988,476	12,865,774

Consejo Regulador del Tequila (2007)

### 3.3 Importancia Económica del agave Tequilero

Empleos Requeridos:

*Industria.*- Las empresas antes mencionadas utilizaron durante este periodo una fuerza laboral de 11,751 personas: 4,035 administrativos, 3,983 empleados de campo, 2,768 producciones y 965 técnicos.

*Campo.*- Se estima que el empleo que se genera en campo aproximadamente es de 23,200 agricultores y jornaleros dedicados a la siembra, cultivo y cosecha del agave en forma independiente.

El consumo de agave para la producción de tequila durante 2006 fue un total de 778.5 miles de toneladas de Agave *tequilana* (Cámara de la industria del tequila, 2006)

### 3.4 Respuesta del agave tequilero con el clima

El *Agave tequilana* no se desarrolla a las temperaturas inferiores a -4 °C y limitada capacidad de aclimatación a estas temperaturas por lo que el clima debe de ser considerado al establecer una plantación comercial (Pimienta,1999).

El *Agave* es susceptible al daño por heladas y bajas temperaturas. Las zonas mas afectadas por heladas, se localizan en Los altos Jalisco, aunque hay algunos otros sitios dentro de la zona de denominación de origen del tequila, donde ocasionalmente se presenta este fenómeno. En las partes bajas del terreno o en sitios donde se estaciona el aire frío es común el daño por heladas. Las plantas de 0 a 3 años son más susceptibles que las plantas de mayor edad.

El daño por heladas favorece el desarrollo de enfermedades, sobre todo causadas por la bacteria como *Erwinia*. (Consejo Regulador del Tequila, 2005b)

La pudrición del cogollo es una de las enfermedades de mayor importancia económica en el agave. Además fue una de las enfermedades responsables de la

muerte de gran número de plantaciones de agave tequilero alrededor del año de 1997, principalmente en plantaciones mal atendidas o abandonadas. En ese año cayó una nevada afectando principalmente los altos de Jalisco. (González,2007)

Vicente (2002) sugiere implementar un monitoreo constante de las condiciones climáticas que imperen en la región protegida por la denominación de origen del tequila.

### **3.5 Influencia Climática sobre el desarrollo del la pudrición del cogollo en *Agave tequilana* Weber.var Azul.**

El Agave se ha visto afectado fuertemente por enfermedades entre las que destaca la pudrición del cogollo. Se realizo un experimento para determinar la influencia climática sobre el desarrollo de la enfermedad antes mencionada. Se midieron la temperatura y la humedad ambientales. Al inicio de la prueba se tenia un 15.76% de plantas enfermas y al termino de las evaluaciones fue del 88.66% de plantas enfermas. Los datos fueron analizados mediante regresión múltiple, se obtuvo el siguiente modelo matemático que se ajusta al comportamiento de la enfermedad observado. % de enfermedad:  $21.5 - .088 T_{max} - .06 T_{min} + .010 H_{rmax} + .010 H_{rmin}$  (Martínez *et al*, 2005).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Área de estudio:

#### 4.1.2 El Arenal Jalisco

El municipio se encuentra en el noroeste del estado de Jalisco, en las coordenadas  $20^{\circ} 42' 44''$  a  $20^{\circ} 52' 15''$  de latitud norte y de los  $103^{\circ} 37' 45''$  de longitud oeste, a una altura de 1,450 metros sobre el nivel del mar.

Limita con los municipios de Amatitan al norte, al este linda con Zapopan al oeste y al sur con Tala (SEI-JAL, 2005)

#### 4.1.3 Orografía

El municipio esta formado por zonas planas 60 %, zonas semiplanas y accidentadas en igual proporción 20 % cada una. Entre la cabecera y el río Grande o Santiago y extendiéndose un poco al oriente para lindar con el municipio de Tequila, se encuentra un valle; la altura media de estas tierras es de los 1,050 a los 1,100 msnm. En la zona norte que colinda con la barranca de Achio, la altura es de los 700 msnm; al sur se encuentra el cerro de Amatitan con alturas de los 2,200 msnm.

#### 4.1.4 Hidrografía

Sus recursos hidrológicos son proporcionados por los ríos y arroyos que conformar la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Los ríos son: Grande o Santiago y Arenal. Los arroyos importantes son: Amatitan, el ganado y Las pilas.

#### 4.1.5 Climatología.

El clima es semiseco, con inviernos secos y semicálidos, sin cambios térmicos invernal bien definidos. La temperatura media anual es de  $26.1^{\circ} \text{C}$ , como máxima de  $31.9^{\circ} \text{C}$  y mínima de  $14.5^{\circ} \text{C}$  El régimen de lluvias se registra entre los meses de junio y julio, contando con una precipitación media de los 951.7

milímetros. El promedio anual de días con heladas es de 5. Los vientos dominantes son en dirección del este.

#### Vegetación y Floración.

Su vegetación se compone de árboles frutales, arbustos y plantas de ornato, también hay guayabas, mamey, pino, mango, ciruela, roble y huizache.

#### 4.1.6 Fauna

El tlacuache, la zorra, el coyote, el tejón, el zorrillo, el venado son algunas especies que poblan esta región, además de existir algunos reptiles.

#### 4.1.7 Suelo.

La composición de los suelos es de tipo predominantemente Luvisol Vértico y Crómico, con una textura fina en los primeros 30 centímetros del suelo. En la ribera del río Santiago hay suelos de tipos Feozem Háplico, con textura media y gruesa, con fragmentos de piedra en la superficie y cerca de ella; además existe una pequeña parte suelos de tipos Vertisol Pélico, con textura fina; en las faldas de la mesa de San Juan, los suelos de tipos Regosol Éutrico, con textura media y gruesa. El municipio tiene una superficie territorial de 20,744 Hectáreas, de las cuales 8,223 son utilizadas con fines agrícolas, 7,021 en la actividad pecuaria, 2,000 son de uso forestal, 120 son suelo urbano y 3,380 hectáreas tienen otro uso. En lo que a la propiedad se refiere, una extensión de 12,936 hectáreas es privada y otra de 7,808 es ejidal; no existiendo propiedad comunal (SEI-JAL,2005)

## 4.2 Diseño experimental

Durante los meses de octubre a marzo de los años 1998 y 1999 en el municipio de Arenal Jalisco en el predio conocido como el Llano de las rosas, se realizó un inventario fitosanitario con el fin de registrar el avance de la enfermedad influenciada por el clima y posteriormente esos datos fueron analizados mediante un modelo estadístico Polinomial.

Para la calificación del daño se utilizó una escala propuesta por investigadores de la Universidad de Guadalajara (Martínez et al, 1998). Se tomaron datos de temperatura y humedad de la estación climatológica más cercana ubicada en el municipio de El Arenal, Jalisco.

Se usaron los datos de otra epidemia ocurrida en 2003-2004 en el mismo municipio de arenal Jalisco (Martínez et al.). En esta ocasión se tomó para su estudio una población de 2,800 plantas se calificó la enfermedad durante los meses de diciembre 2003 a marzo del 2004 en forma periódica usando la misma escala de daño. Se tomaron datos climáticos empleando los sensores (data logger) para temperatura y humedad relativa marca Hobo modelos Hobo RH y Hobo Temp.

Se corrieron análisis estadísticos de regresión para estudiar cada epidemia en forma independiente y además se analizó de igual forma ambas epidemias para ver la posibilidad de generar un modelo que explique el comportamiento de las dos epidemias en función de los factores ambientales propuestos.

Escala para evaluar el grado de Pudrición de cogollo causada por *Erwinia sp.* (Martínez, et al, 1998)

Grado 1	Planta sana
Grado 2	De 1 a 5 lesiones acuosas con una longitud de 1 a 30 cm. iniciando en las espinas apicales o laterales
Grado 3	Una o mas lesiones acuosas de mas de 30 cm. o bien mas de 6 lesiones de 5 a 30 cm.
Grado 4	Lesiones necróticas apicales en el cogollo que avanzan hasta casi llegar a la piña
Grado 5	Cogollo completamente dañado llegando hasta la piña, planta evidentemente muerta



Grado 1  
Planta sana.



Grado 2  
De 1 a 5 lesiones acuosas con una longitud de 1 a 30 cm. iniciando en las espigas apicales o laterales.



Grado 3

Una o más lesiones acuosas de más de 30 cm. o bien más de 6 lesiones de 5 a 30 cm.



Grado 4

Lesiones necróticas apicales en el cogollo que avanzan hasta casi llegar a la piña.



Grado 5

Cogollo completamente dañado llegando hasta la piña, planta evidentemente muerta.

### **4.3 Análisis Estadístico**

El modelo estadístico de regresión que se utilizó para analizar los resultados de cada epidemia en forma independiente fue el modelo Polinomial y además también se utilizó para explicar el comportamiento de las dos epidemias en función de los factores ambientales propuestos utilizando el programa estadístico Estat Graphic

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de las dos epidemias en forma independiente y posteriormente el modelo matemático que explica el desarrollo de ambas epidemias.

Tabla 1 Datos climáticos de la primera epidemia que se presentó en el Llano de las Rosas en El Arenal Jal

Fecha	No. de lectura	Temp.Max.	Temp.Min.	Hum.Rel.Max	Hum.Rel.Min.
26 de Oct.98	1	28.84	18.07	98.1	43.42
2 de nov.	2	27	13.47	97.4	34.15
5 de nov.	3	26.92	12.46	98.2	30.35
16 de nov.	4	28.79	10.64	84.9	29.49
23 de nov.	5	28.11	10.04	63.47	16.7
30 de nov.	6	26.35	7.61	81.1	21.3
7 de dic.	7	27.91	12.32	89.8	24.32
14 de dic.	8	20.17	2.04	37.52	8.4
21 de dic.	9	25.38	7.77	88.4	28.15
28 de dic.	10	25.78	7.51	73.7	14.31
4 de Ene.99	11	27.6	11.72	69.22	16.88
11 de ene	12	27.2	7.11	55.7	12.17
18 de ene	13	25.09	11.23	68.13	25.9
25 de ene	14	26.84	9.08	68.43	13.08
1 de feb	15	22.06	7.62	87	32.76
8 de feb	16	26.95	5.55	62.09	10.82
15 de feb	17	22.76	5.41	91.3	11.58
22 de feb	18	29.06	7.66	53.12	9.13
1 de marzo	19	28.78	8.36	58.28	6.98
8 de mar	20	29.6	7.02	77.7	8.02
15 de mar	21	31.71	11.05	83.7	8.02
22 de mar	22	31.24	9.89	52.96	6.18
28 de mar	23	33.53	12.06	46.59	7.07

Tabla No 2 Fecha de la primera epidemia y escala para evaluar el grado de Pudrición de cogollo causada por *Erwinia sp.*

Fechas	No. De lectura	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
26 de Oct.98	1	192	6	1	1	0
2 de nov.	2	187	11	1	1	0
5 de nov.	3	177	21	1	1	0
16 de nov.	4	175	23	1	1	0
23 de nov.	5	172	25	1	1	1
30 de nov.	6	172	25	1	1	1
7 de dic.	7	163	34	1	1	1
14 de dic.	8	155	41	2	1	1
21 de dic.	9	152	41	5	1	1
28 de dic.	10	140	47	9	2	2
4 de ene.99	11	135	47	13	3	2
11 de ene	12	123	47	17	9	4
18 de ene	13	85	65	29	16	5
25 de ene	14	83	67	29	16	5
1 de feb	15	74	69	35	17	5
8 de feb	16	56	73	37	25	9
15 de feb	17	35	80	39	28	9
22 de feb	18	27	56	55	37	25
1 de mar	19	12	56	67	37	28
8 de mar	20	0	47	83	42	28
15 de mar	21	0	45	85	42	28
22 de mar	22	0	38	89	41	32
28 de mar	23	0	21	106	41	32

En la Tabla 2 se observa número de lectura 1 inicia con 192 plantas sanas. 6 plantas en grado 2, 1 planta en grado 3, 1 planta en grado 4 y 0 plantas

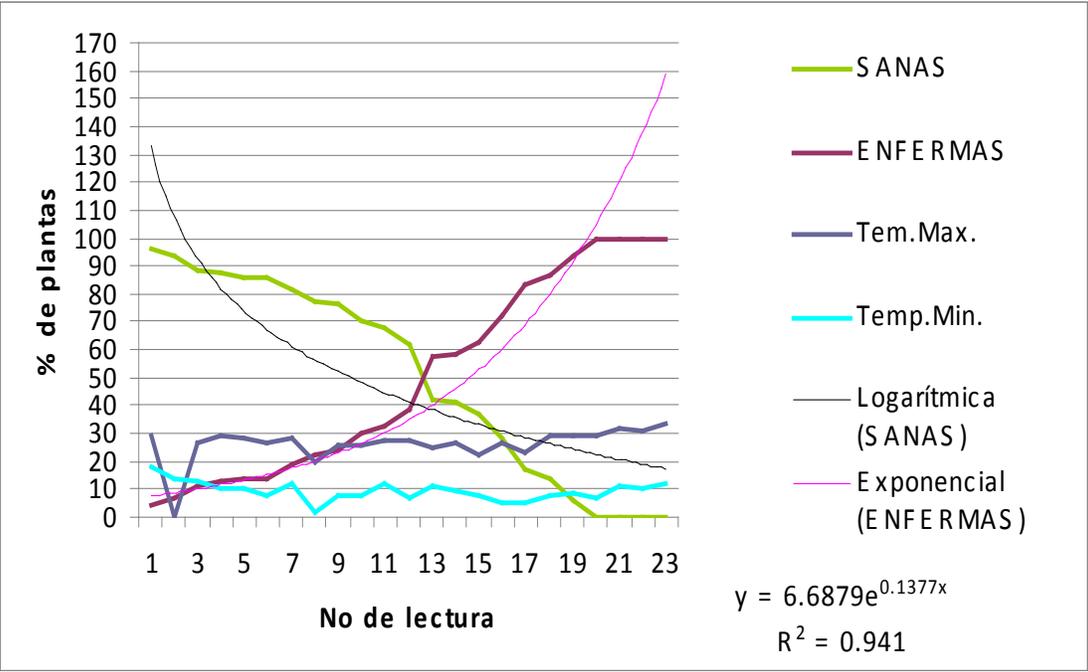
en grado 5 y el numero de lectura 20 el grado 1 tiene 0 plantas sanas y el 100% los agaves están enfermos en solo 134 días.

Tabla No 3 Fechas y porcentajes de pudrición de cogollo del agave durante la primera epidemia

Fechas	No. de lectura	grado 1 %	grado 2 %	grado 3 %	grado 4 %	grado 5 %	Sanas %	Enfermas %
26 de Oct.98	1	96	3	0.5	0.5	0	96	4
2 de nov.	2	93.5	5.5	0.5	0.5	0	93.5	7
5 de nov.	3	88.5	10.5	0.5	0.5	0	88.5	11.5
16 de nov.	4	87.5	11.5	0.5	0.5	0	87.5	12.5
23 de nov.	5	86	12.5	0.5	0.5	0.5	86	14
30 de nov.	6	86	12.5	0.5	0.5	0.5	86	14
7 de dic.	7	81.5	17	0.5	0.5	0.5	81.5	18.5
14 de dic.	8	77.5	20.5	1	0.5	0.5	77.5	22.5
21 de dic.	9	76	20.5	2.5	0.5	0.5	76	24
28 de dic.	10	70	23.5	4.5	1	1	70	30
4 de ene.99	11	67.5	23.5	6.5	1.5	1	67.5	32.5
11 de ene	12	61.5	23.5	8.5	4.5	2	61.5	38.5
18 de ene	13	42.5	32.5	14.5	8	2.5	42.5	57.5
25 de ene	14	41.5	33.5	14.5	8	2.5	41.5	58.5
1 de feb	15	37	64.5	17.5	8.5	2.5	37	63
8 de feb	16	28	36.5	18.5	12.5	4.5	28	72
15 de feb	17	17.5	40	39	14	4.5	17.5	83.5
22 de feb	18	13.5	28	27.5	18.5	12.5	13.5	86.5
1 de marzo	19	6	28	33.5	18.5	14	6	94
8 de mar	20	0	23.5	41.5	21	14	0	100
15 de mar	21	0	22.5	42.5	21	14	0	100
22 de mar	22	0	19	44.5	20.5	16	0	100
28 de mar	23	0	10.5	53	20.5	16	0	100

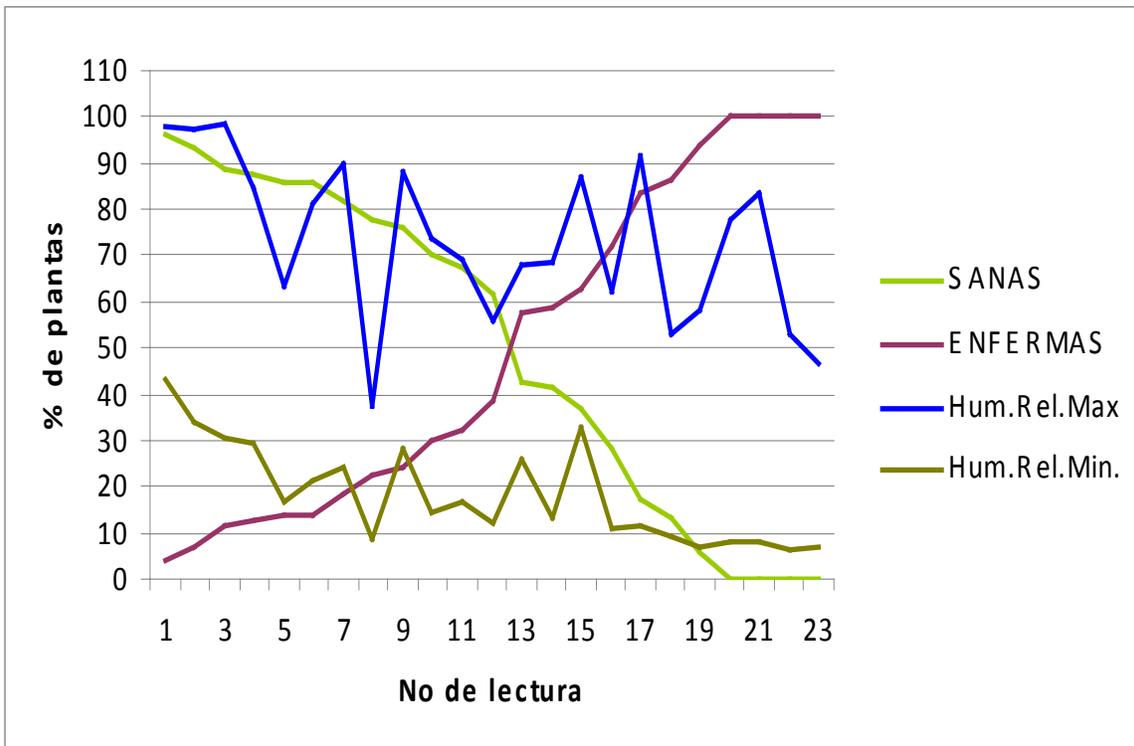
En la tabla 3 se observa que el numero de lectura 8 el grado 1 de estar en 96 % baja al 77.5 % de agaves sanos, en tanto que los agaves enfermos del 4 % aumentaron al 22.5 %. En esta fecha se presentaron temperaturas inferiores a 10 °C. En el número de lectura 20 el grado 1 es de 0% mientras que el 76.5 % se encuentra entre los grados 3 y 5 donde la enfermedad esta muy avanzada haciendo muy difícil y costoso el control de la pudrición del cogollo.

Con los datos obtenidos se observa que el medio ambiente si desempeña un papel para el desarrollo de la enfermedad como lo menciona el (Consejo Regulador de Tequila 2005b)



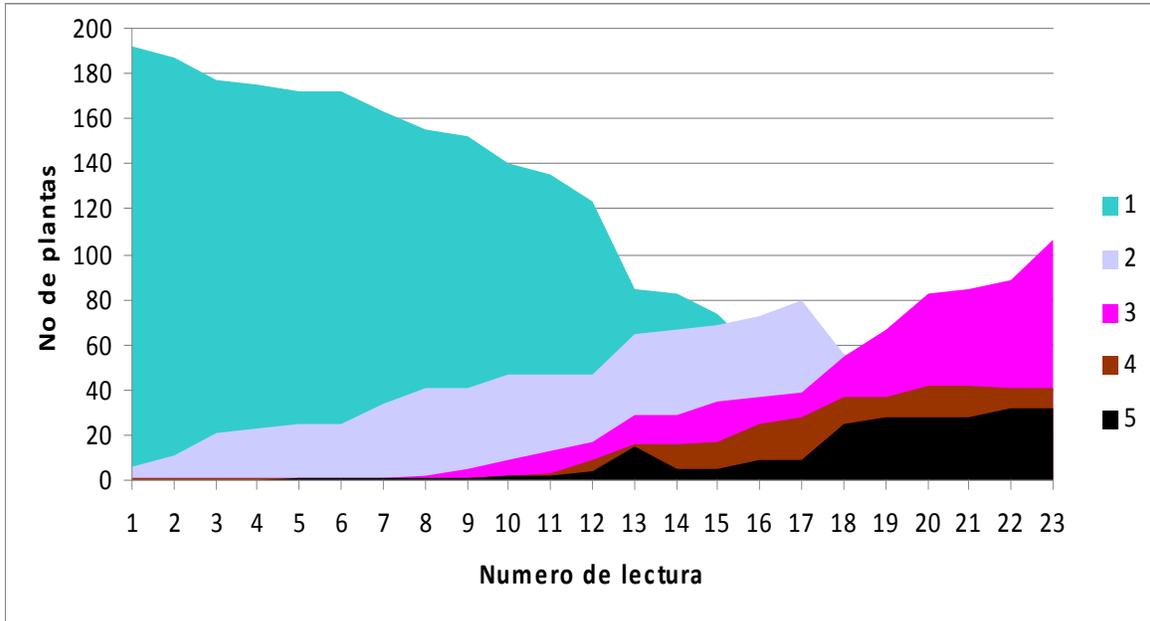
Gráfica 1 Temperaturas presentes durante la primera epidemia de pudrición del cogollo del agave.

De acuerdo al modelo matemático Polinomial que es el que mas se ajustó se observa que en los números de lectura 4 y 5 se presentaron temperaturas mínimas de 10 °C con esto se tiene el medio propicio para que la enfermedad pudrición del cogollo inicie su desarrollo pasando del 4% de plantas enfermas al 14 %. En el número de lectura 8 se presentaron temperaturas inferiores a los 10 °C en donde se observa como avanza en gran medida el porcentaje de la enfermedad pasando de 4% inicial al 22.5%.



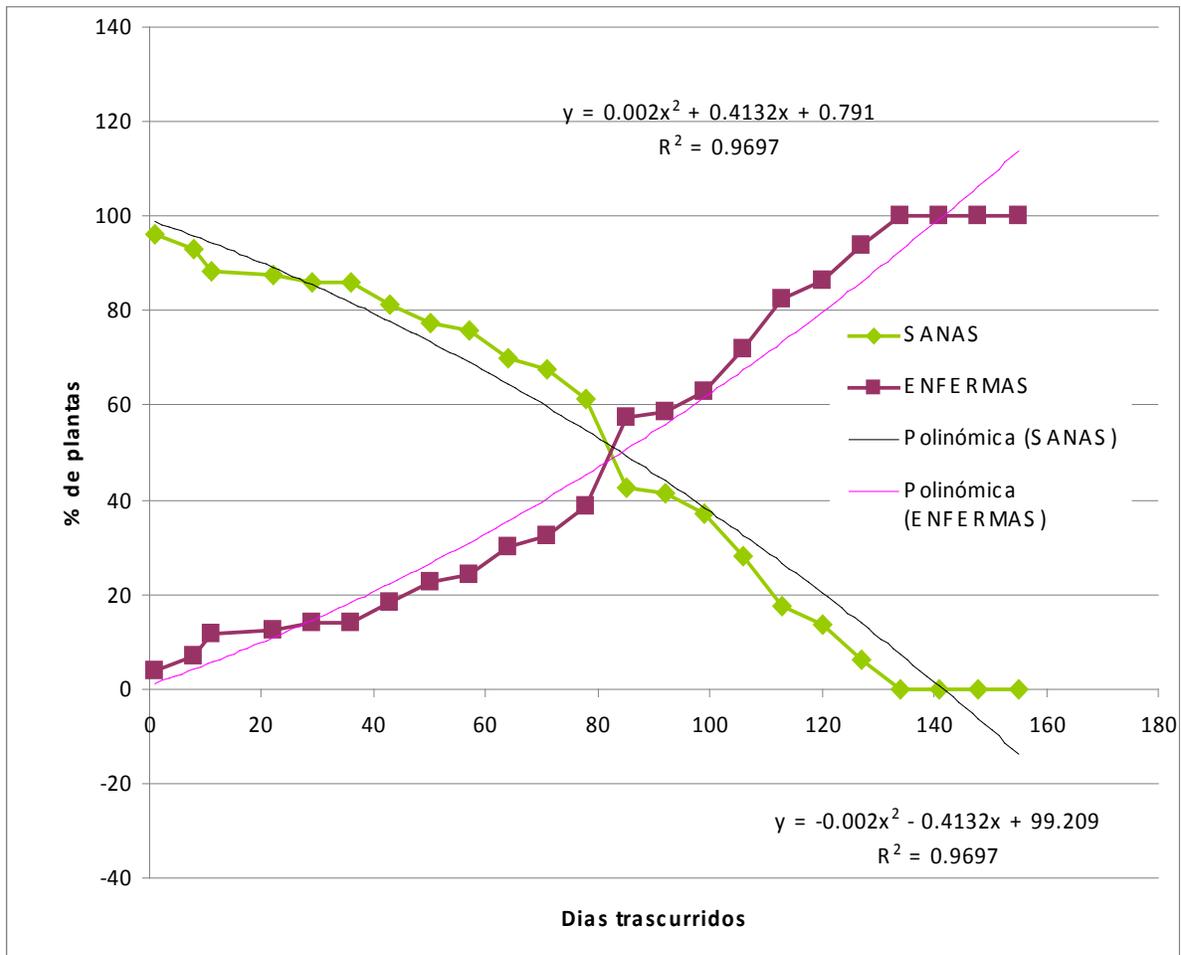
Gráfica 2 Humedades relativas presentes durante la primera epidemia de pudrición del cogollo del agave.

De acuerdo al modelo matemático Polinomial se observa que la humedad relativa no influye en el desarrollo de la enfermedad de pudrición del cogollo.



Gráfica 3 Evaluación del avance de la pudrición del cogollo del agave.

En esta gráfica se observa que de acuerdo al modelo matemático polinomial en el número de lectura 4 se presentaron temperaturas mínimas de 10 C° en donde baja un 8.5 % de plantas sanas del grado 1 y se aumenta en el grado 2 un 8,5 % en este número de lectura se deberían aplicar productos químicos para la prevención de las plantas y así controlar la enfermedad de pudrición del cogollo. En el número de lectura 8 se presentaron temperaturas por abajo de 10 C° en donde el grado 1 de plantas sanas bajó un 18.5%, el grado 2 de plantas enfermas aumentó 17.5%, el grado 3 de plantas enfermas aumentó un 0.5% y el grado 5 de plantas enfermas aumentó un 0.5% al tener estas temperaturas se observa que la enfermedad aumenta su desarrollo. En el número de lectura 23 se observa que el grado 1 es de 0% plantas sanas y en los grados 3, 4 y 5 es del 89.5 % de plantas enfermas en donde la pudrición del cogollo es muy difícil y costosa para poder controlar.



Gráfica 4 Representación gráfica del modelo matemático Polinomial

El modelo matemático Polinomial se puede usar en cualquier municipio que tenga plantaciones de agave y de preferencia que se encuentre dentro de la denominación de origen. Este modelo se aplica cuando se presenten temperaturas mínimas de 10 °C siendo la fórmula para las plantas enfermas:

$$Y = 0.002 X^2 + 0.4132 X + 0.791$$

Siendo la  $R^2 = 0.9697$

Donde  $X$  es Número de días transcurridos a partir de que se registran temperaturas mínimas de 10 grados centígrados o menores

Tabla 4. Datos climáticos durante la segunda epidemia municipio de El Arenal Jal.

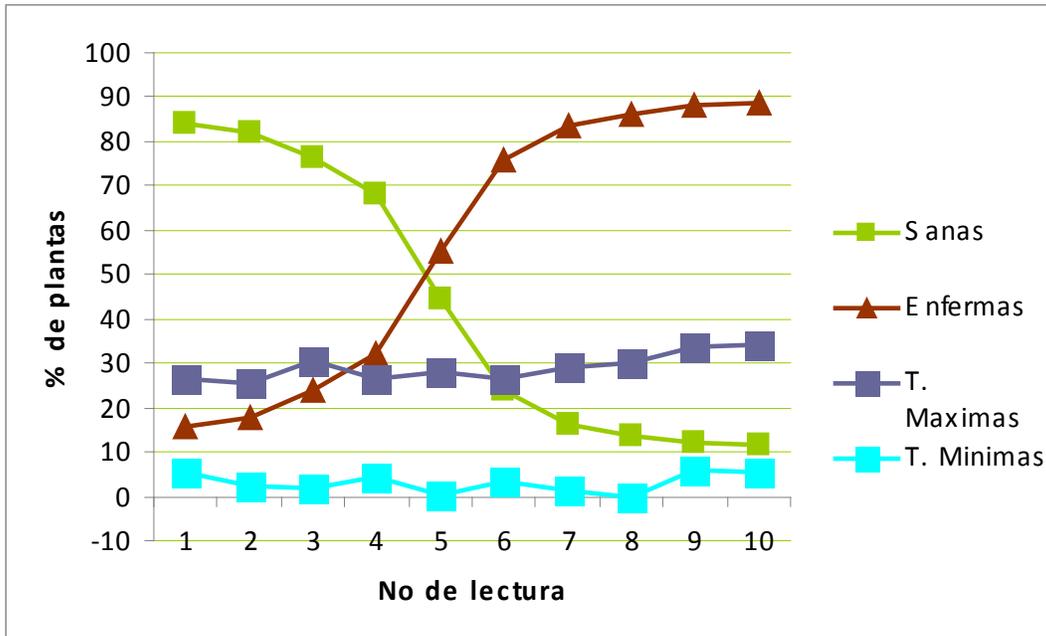
Fecha	No. De lectura	T. Máximas	T. Mínimas	HR. Max	HR: Min
15 de Dic 03	1	26.41	5.33	100	10.4
19 Dic.	2	25.22	2.21	86.2	7.6
8 de Enero 04	3	30.64	1.96	93.6	13.5
19 de Enero	4	26.41	4.29	100	29.3
06 de Febrero	5	27.9	0.1	99	9
17 de Febrero	6	26.41	3.24	97	8
24 de Febrero	7	28.9	1.4	96	10
03 de Marzo	8	29.9	-0.3	97	7
10 de Marzo	9	33.7	6	91	12
18 de Marzo	10	34.4	5.2	91	9

Tabla No. 5 Fechas y porcentajes de pudrición de cogollo del agave durante la segunda epidemia.

Fechas	No. De lectura	Grado 1 %	Grado 2 %	Grado 3 %	Grado 4 %	Grado 5 %	Enfermas %	Sanas %
15 de Dic 03	1	84.29	10.59	1.07	0.29	3.76	15.71	84.29
19	2	82.07	12.46	1.15	0.29	4.04	17.94	82.06
8 de Enero 04	3	76.27	17.9	1.32	0.36	4.15	23.73	76.27
19 Enero	4	67.97	25.52	1.72	0.47	4.33	32.04	67.96
06 de Febrero	5	44.56	45.49	4.72	0.72	4.51	55.44	44.56
17 Febrero	6	23.94	62.46	6.98	1.43	5.19	76.06	23.94
24 Febrero	7	16.36	66.03	9.91	2.43	5.26	83.63	16.37
03 de Marzo	8	13.71	65.68	11.24	3.94	5.44	86.3	13.7
10 Marzo	9	11.95	63.96	12.85	4.94	6.3	88.05	11.95
18 Marzo	10	11.35	62.03	13.64	5.55	7.44	88.65	11.35

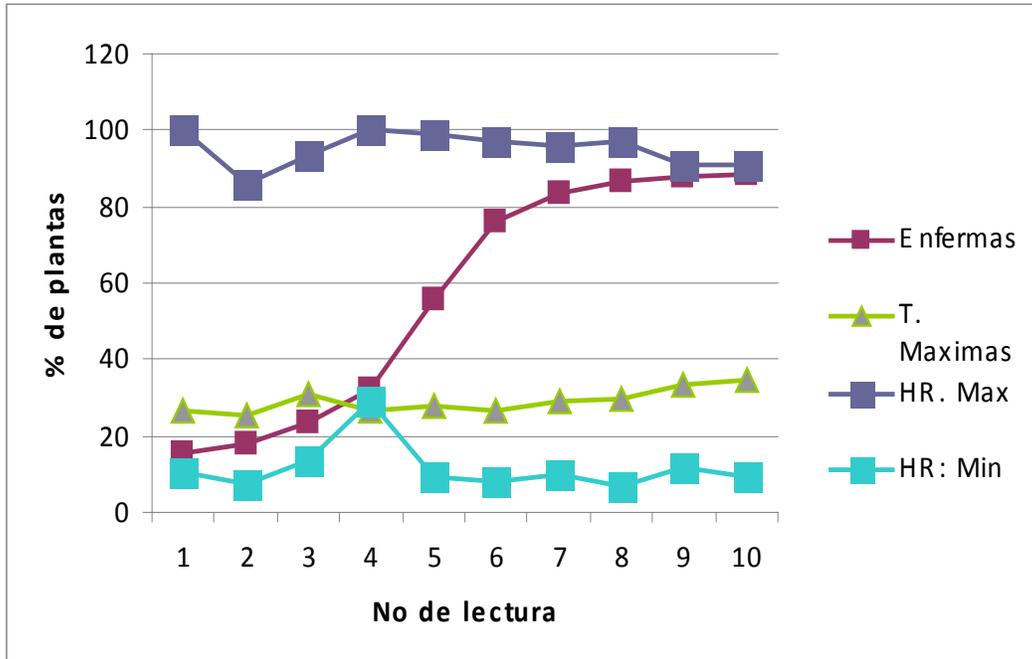
En la segunda epidemia se inicia con el número de lectura 1 con 84.29% de plantas sanas en grado 1, el 10.59 % de plantas enfermas en grado 2, el 1.07% de plantas enfermas en grado 3, el 0.29% de plantas enfermas en grado 4 y el 3.76 de plantas enfermas en grado 5 y el número de lectura 10 el grado 1 de plantas sanas de estar en el 96% a bajó al 11.35% en tanto que los agaves enfermos de estar 15.71% aumentaron al 88.65%.

Con estos datos se observa que con las condiciones adecuadas el patógeno llega a niveles de epidemia como lo menciona el (Consejo Regulador del Tequila 2005b)



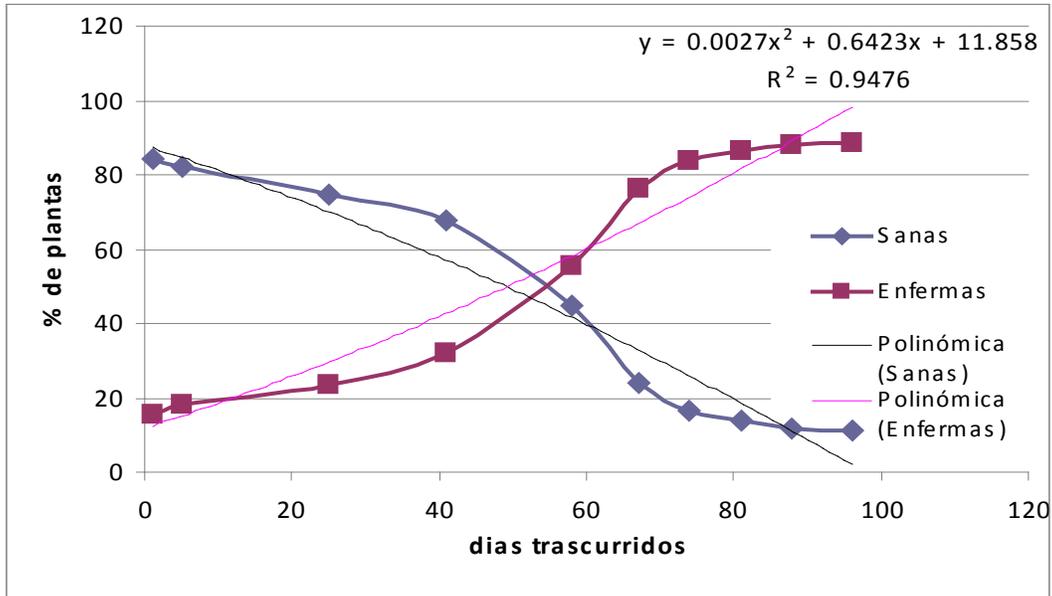
Gráfica 5 Temperaturas presentes durante la segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.

De acuerdo al modelo matemático Polinomial se observa que en el número de lectura 2 se presentaron temperaturas mínimas de 2.21 °C en donde se inicia el avance de plantas enfermas de estar con el 15.71 aumentaron al 17.94%. En esta segunda epidemia todos los números de lecturas presentaron temperaturas inferiores a 10 °C con estas condiciones se observa que en el número de lectura 10 se tenía el 11.35 % agaves sanos y el 88.65% agaves enfermos. En esta segunda epidemia se tuvo en menos número de lecturas mas plantas enfermas. Con estos resultados obtenidos del modelo matemático cuando se presenten temperaturas inferiores a 10° C se puede iniciar aplicaciones de productos que fortalezcan el agave así como productos que controlen la enfermedad.



Gráfica 6 Humedad Relativa presente durante la segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.

De acuerdo a los resultados obtenidos al modelo matemático polinomial la humedad relativa no influye en el desarrollo de la enfermedad de pudrición del cogollo.



Gráfica 7 Resultado del modelo Polinomial de la segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave

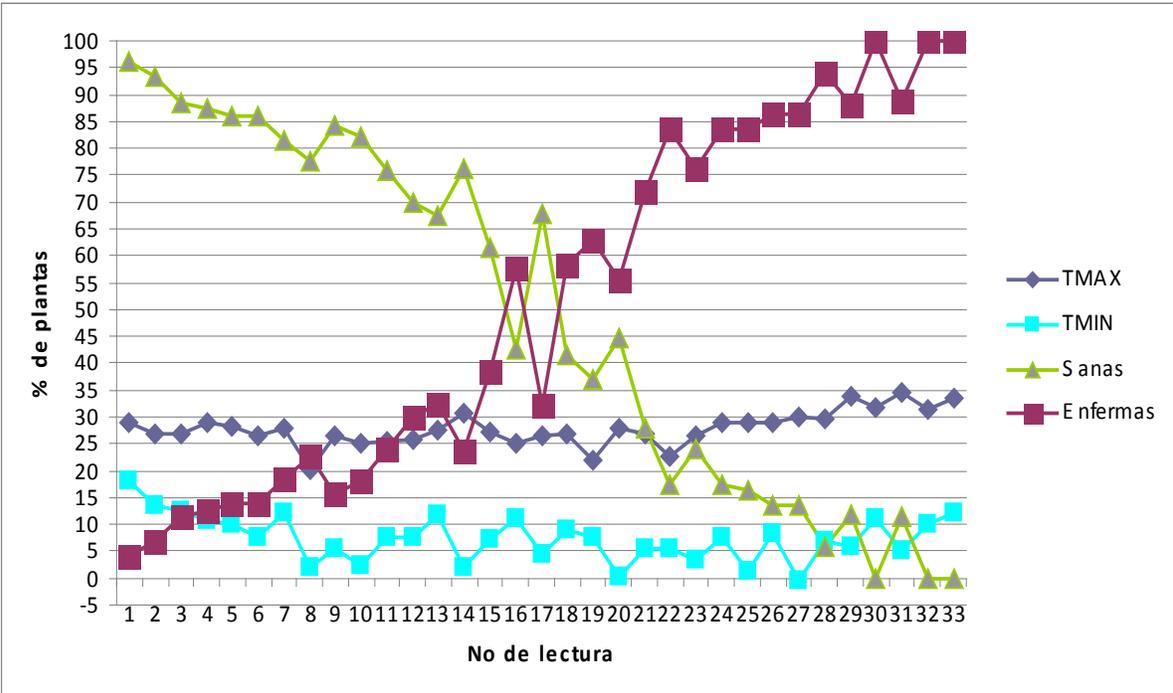
Este modelo se puede usar en cualquier municipio que tenga plantaciones de agave y de preferencia que se encuentre dentro de la denominación de origen. Este modelo se aplica cuando se presenten temperaturas mínimas inferiores a 10 °C siendo la fórmula para la plantas enfermas  $Y = 0.0027X^2 + 0.6423X + 11.858$

Siendo la  $R^2 = 0.9476$

Tabla No. 6 Relación de datos climáticos entre la primera y segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave

Fechas	No de lectura	T MAX	T MIN	HR MAX	HR MIN	Sanas %	Enfermas %
26 de Octubre	1	28.84	18.07	98.1	43.42	96	4
2 de noviembre	2	27	13.47	97.4	34.15	93.5	7
5 de noviembre	3	26.92	12.46	98.2	30.35	88.5	11.5
16 de noviembre	4	28.79	10.64	84.9	29.49	87.5	12.5
23 de noviembre	5	28.11	10.04	63.47	16.7	86	14
30 de noviembre	6	26.35	7.61	81.1	21.3	86	14
7 de Diciembre	7	27.91	12.32	89.8	24.32	81.5	18.5
14 de diciembre	8	20.17	2.04	37.52	8.4	77.5	22.5
15 de diciembre	9	26.41	5.33	100	10.4	84.29	15.71
19 de diciembre	10	25.22	2.21	86.2	7.6	82.06	17.94
21 de diciembre	11	25.38	7.77	88.4	28.15	76	24
28 de diciembre	12	25.78	7.51	73.7	14.31	70	30
4 de Enero	13	27.6	11.72	69.22	16.88	67.5	32.5
8 de enero	14	30.64	1.96	93.6	13.5	76.27	23.73
11 de enero	15	27.2	7.11	55.7	12.17	61.5	38.5
18 de enero	16	25.09	11.23	68.13	25.9	42.5	57.5
19 de enero	17	26.41	4.29	100	29.3	67.96	32.04
25 de enero	18	26.84	9.08	68.43	13.08	41.5	58.5
1 de Febrero	19	22.06	7.62	87	32.76	37	63
06 de febrero	20	27.9	0.1	99	9	44.56	55.44
8 de febrero	21	26.95	5.55	62.09	10.82	28	72
15 de febrero	22	22.76	5.41	91.3	11.58	17.5	83.5
17 de febrero	23	26.41	3.24	97	8	23.94	76.06
22 de febrero	24	29.06	7.66	53.12	9.13	17.5	83.5
24 de febrero	25	28.9	1.4	96	10	16.37	83.63
1 de marzo	26	28.78	8.36	58.28	6.98	13.5	86.5
3 de marzo	27	29.9	-0.3	97	7	13.7	86.3
8 de marzo	28	29.6	7.02	77.7	8.02	6	94
10 de marzo	29	33.7	6	91	12	11.95	88.05
15 de marzo	30	31.71	11.05	83.7	8.02	0	100
18 de marzo	31	34.4	5.2	91	9	11.35	88.65
22 de marzo	32	31.24	9.89	52.96	6.18	0	100
28 de marzo	33	33.53	12.06	46.59	7.07	0	100

En la tabla 6 se observa como en las dos epidemias influyen las temperaturas mínimas en el desarrollo de la pudrición del cogollo. El numero de lectura 8 (primer epidemia) se presentaron temperaturas inferiores de 10 C° en donde se observó que las plantas sanas de tener el 96% bajaron al 77.5% y las plantas enfermas de estar al 4% aumentaron al 22.5 %. El numero de lectura 10 (segunda epidemia) se presentaron temperaturas inferiores a 10 C° y se observó que las plantas sanas de tener 84.29% bajaron al 82.06% y las plantas enfermas de estar al 15.71% subieron al 17.94%

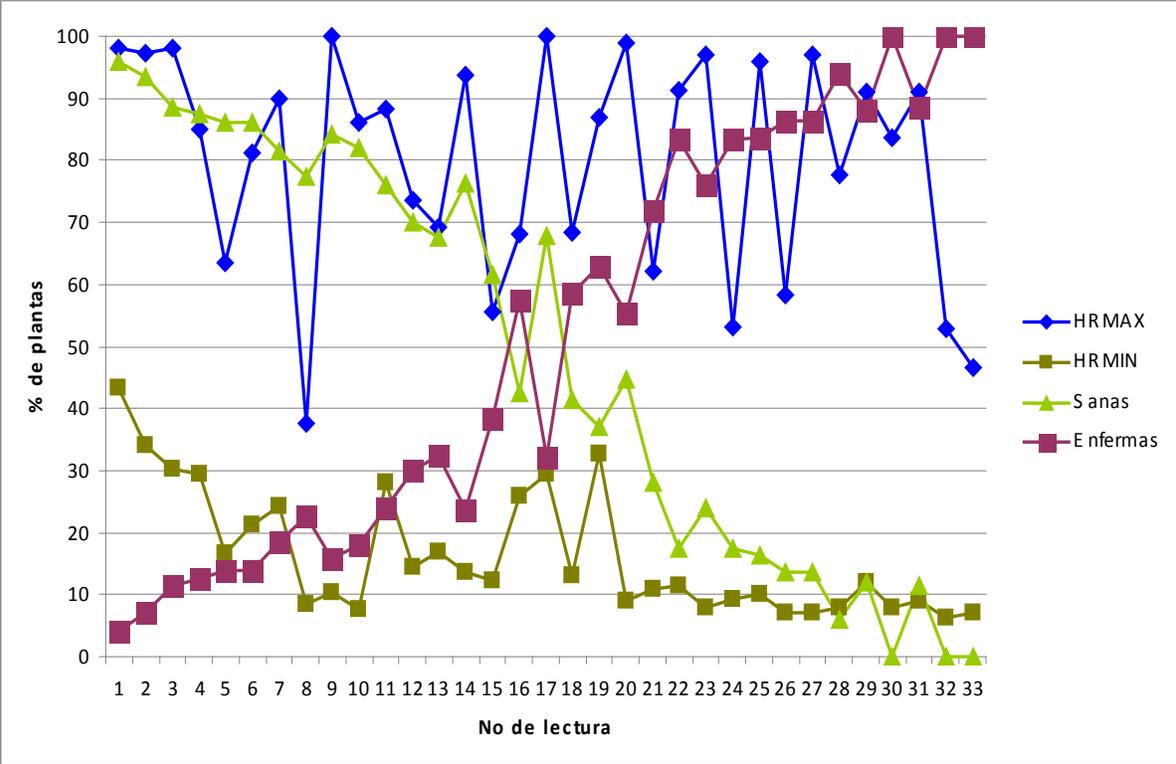


Gráfica No. 8 Temperaturas presentes entre la primera y segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.

De acuerdo a los datos obtenidos con la ecuación matemática polinomial con las 2 epidemias se ratifica que:

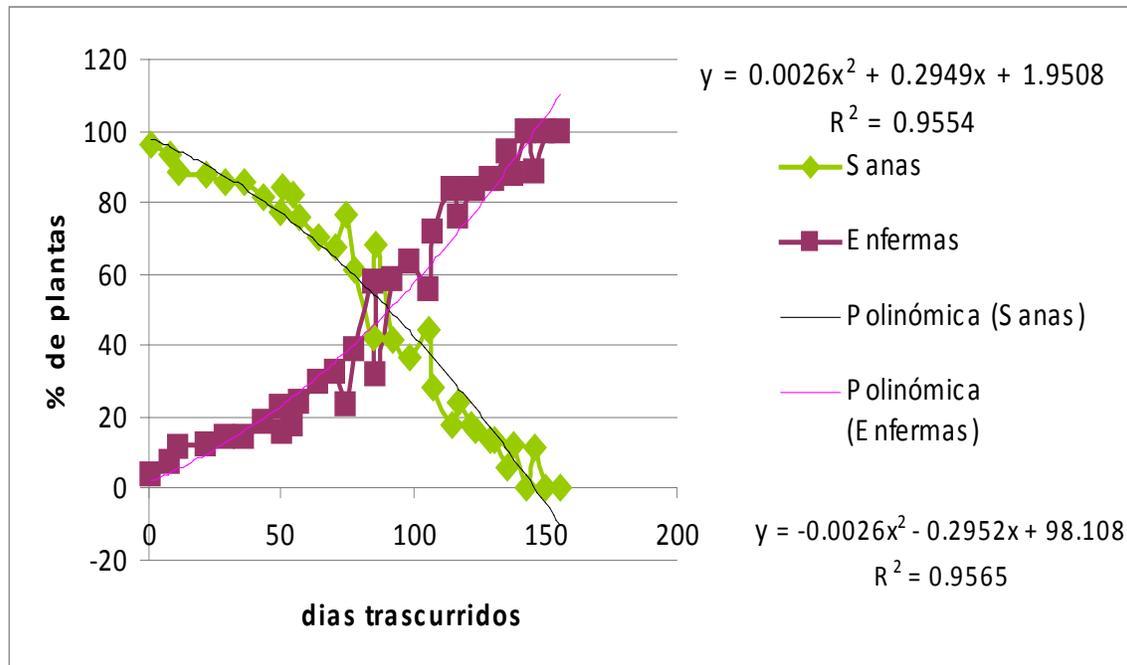
Cuando se presentaron temperaturas mínimas de 10 °C inicia el avance de pudrición del cogollo como se observa en los números de lecturas 4 y 5.

Cuando se presentaron temperaturas mínimas inferiores de 10 °C como se observa en los Números de lecturas 8 y 9 el desarrollo de la pudrición del cogollo es más agresivo.



Gráfica No. 9 Humedad Relativa presentes entre la primera y segunda epidemia de pudrición del cogollo del agave.

De acuerdo a los resultados del modelo matemático Polinomial la humedad relativa no tiene un efecto importante para el desarrollo de la enfermedad.



Gráfica No. 10 Modelo matemático ajustado para las dos epidemias de pudrición del cogollo del agave basado en la temperatura y la humedad relativa.

El modelo matemático Polinomial explica el desarrollo de ambas epidemias. Este modelo es aplicable por número de observaciones iniciando cuando se presenten temperaturas de 10 C°. Se puede utilizar en los municipios que tengan agave azul de preferencia que estén dentro de la denominación de origen

Siendo la fórmula  $Y = 0.0026 X^2 + 0.2949 X + 1.9508$

Teniendo la  $R^2 = 0.9565$

Donde  $Y$  es Por ciento de plantas enfermas

Donde  $X$  es días transcurridos con temperatura mínima de 10 grados centígrados

Con este modelo matemático se podrá determinar que cuando se presenten temperaturas inferiores a 10°C se tendrán que aplicar productos que fortalezcan el agave así como también productos que controlen esta enfermedad.

## 6. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que la temperatura mínima es el factor climático que ejerce mayor influencia sobre el incremento de la enfermedad de pudrición del cogollo del agave y la humedad relativa no influye sobre el desarrollo de la enfermedad.
2. Con los datos antes mencionados la hipótesis se acepta parcialmente
3. Al determinar, analizar y comparar las curvas de regresión asociadas con las epidemias de pudrición del cogollo se observa que al presentarse temperatura mínimas de 10 °C es cuando inicia el desarrollo de la enfermedad y que al presentarse temperaturas mínimas inferiores 10 °C se tendrán en menos días mas porcentaje de plantas enfermas.
4. El modelo matemático mas adecuado que explicó el comportamiento de las 2 epidemias es el Polinomial utilizando el programa estadístico Estat Graphic y la fórmula es:  **$Y = 0.0026 X^2 + 0.2949 X + 1.9508$**   
Donde:  **$Y =$  Por ciento de Plantas Enfermas**  
Donde  **$X =$  es días transcurridos con temperatura mínima de 10 grados Centígrados**

## 7. RECOMENDACIONES

1. Cuando se presenten temperaturas mínimas inferiores a  $10^{\circ}\text{C}$  se pueden aplicar productos que fortalezcan el agave y además productos bactericidas para el control de la enfermedad.
2. Es importante monitorear las plantaciones cuando se presenten las temperaturas mínimas antes mencionadas y así tener controlada la enfermedad.
3. Es necesario contar con los datos climáticos de cada municipio que se encuentre en la denominación de origen y aplicar el modelo matemático polinomial generado durante la investigación de este trabajo.
4. Es importante continuar con este tipo de evaluaciones y generar más información que nos ayude cuando se presenten las condiciones favorables para esta enfermedad.

## 8. BIBLIOGRAFÍAS

Bernache Pérez Felipe, 2004. Diplomado “Agentes bióticos del agave tequilero” Impartido en la Universidad Autónoma de Nayarit octubre del 2004.

Cámara Nacional de la Industria Tequilera, 2006. Informe estadístico, [En línea] [www.tequileros.org](http://www.tequileros.org). Informe, 06, estadístico, 9/20/07 número de páginas 04

Consejo Regulador del Tequila, 2005a Establecimiento de un sistema de monitoreo por muestreo de enfermedades en *Agave tequilana weber variedad azul*, dentro de la denominación de origen tequila, [En línea] [www.crt.org.mx/economia](http://www.crt.org.mx/economia), estadística, agave, muestreó, 9/20/07 Número de páginas 15

Consejo Regulador del Tequila, 2005b. Plagas y enfermedades del *agave tequilana weber variedad azul*, Folleto técnico. Editorial Pandora, 2005, número de páginas. 111

Consejo Regulador del Tequila, 2007. Inventario general del *Agave tequilana weber variedad azul*, dentro del territorio protegido por la denominación de origen tequila, [En línea] [www.crt.org.mx/economía](http://www.crt.org.mx/economia), estadística, agave, inventario de plantas de agave, 9/20/07 Número de páginas 17

Gentry, H.S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.

González Hernández Héctor, Del Real Laborde José Ignacio Solís Aguilar Juan Fernando (2007) Manejo de plagas de agave tequilero, Colegio de Postgraduados, Tequila Sauza s.a. de c.v. Número de páginas 123.

López M.M, Montesinos E, 2002 Patología vegetal I, Ed. Grupo mundiprensa, pp.523-527

Martínez Ramírez José Luis, Posos Ponce Pedro, Gudiño Ocegüera J., Fucikovsky Zak L. 2005 Climatic influences on the development of the Heart rot of the agave *Agave tequilana* Weber var. *Azul*. Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco México. Instituto de fitosanidad, montecillo, México 2005 APS anual Meeting. July 30- August 3, Austin, Texas

Pimienta Barrios Eulogio Robles Munguía Celia Ruiz Corral José Ariel, Nobel Park, S, García Galindo Javier, 1999, Regiones terminas óptimas y marginales para el cultivo de Agave tequilana en el estado de Jalisco, Universidad de Guadalajara, Programa general de apoyo y desarrollo tecnológico a la cadena productiva Agave-Tequila, Editorial Pandora número de páginas 47

SEI-JAL. INEGI, 2005, Sistema estatal de información Jalisco, en base a datos tomados de la enciclopedia temática de Jalisco.

Valenzuela Zapata Ana Guadalupe 1994, El agave tequilero: su cultivo e industrialización, Monsanto, editorial ágata 1994, número de páginas 119.

Vicente Ramírez Ismael 2002, Diagnóstico del estado de sanidad del agave (*Agave tequilana* Weber variedad *azul*) en la zona protegida por la denominación de origen del tequila, Tesis de Maestro en ciencias en manejo de áreas de temporal. Número de páginas 60.