RESUMEN

La Sigatoka negra es la enfermedad más importante que afecta al banano y que es causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*. La práctica más utilizada para su control es la aplicación de fungicidas químicos que ayudan a la reducción de los niveles de infección, los que se dividen según su forma de acción en Protectantes, Sistémicos y de Contacto.

Cada vez que se requiere conocer los niveles de tolerancia o resistencia alcanzados por el hongo *Mycosphaerella f.* a determinado fungicida, se realiza el análisis de sensibilidad probando diferentes dosis del fungicida sobre el patógeno, y midiendo o evaluando su crecimiento o desarrollo – en cualquiera de sus fases de vida – bajo un ambiente controlado. Cada una de las unidades de observación son sometidas a algún nivel de concentración del producto y comparadas con el crecimiento o desarrollo del testigo absoluto con nivel 0 de concentración, lo que da como resultado una inhibición promedio por cada dosis. Este resultado lleva a la obtención de la dosis letal media (DL50) o concentración efectiva media (CE50), la cual es una forma de expresar el grado de toxicidad de una sustancia.

El presente trabajo plantea aplicar técnicas Logit y Probit a través de la creación y uso de una aplicación informática para el análisis estadístico en los estudios de sensibilidad desarrollados en el CIBE e incrementar la confiabilidad y reducir el tiempo de los análisis, además de centralizar la información. Por ello, el objetivo principal de la presente tesis, es desarrollar una aplicación informática que utilizando técnicas estadísticas Logit y Probit ayude en el adecuado análisis de la información relacionada con este tipo de estudios, aplicando técnicas basadas en estadística descriptiva e inferencial y minería de datos; la aplicación de estas herramientas de análisis a través de la informática hará posible estimar las relaciones entre la dosis y la inhibición por ella obtenida, y contrastar la hipótesis para comparar estadísticamente el efecto que tuvieron las dosis entre ellas. Los modelos a usarse para este efecto son los de regresión Logit y Probit, con lo cual se determinó la relación entre la variable independiente “dosis” y su efecto sobre la variable dependiente “inhibición”.

El primer capítulo muestra una explicación detallada sobre el hongo *Mycosphaerella f.* causante de la Sigatoka negra sobre los cultivos de banano. Se hace una revisión de la biología del hongo, los ciclos de vida del hongo, se explica también los síntomas de la enfermedad, además de sus causas y efectos en el banano; adicionalmente se explica brevemente sobre los tipos de fungicidas suministrados y su comportamiento sobre el hongo; formas de evaluar la sensibilidad; el impacto económico que esta enfermedad produce. Finalmente se habla de las herramientas informáticas ó software frecuentemente utilizados para el análisis estadístico.

El segundo capítulo detalla el proceso de sensibilidad, la población objetivo y la descripción de las variables; la metodología estadística, tal como la estadística descriptiva, se complementa con el análisis de varianza y los métodos de regresión. Los métodos de regresión en los que se basa nuestro estudio son: (1) el análisis de regresión lineal, (2) el análisis de regresión Logit y (3) el análisis de regresión Probit; finalmente se define minería de datos como metodología importante para la construcción de ciertos modelos estadísticos.

El tercer capítulo detalla el desarrollo de la herramienta informática, en el cual se muestra la infraestructura y el recurso humano necesario, los componentes y módulos construidos, los paquetes utilitarios utilizados para el desarrollo del sistema y las técnicas estadísticas y de minería de datos utilizadas en el mismo. Posteriormente, se muestra el análisis y resultados obtenidos mediante el uso de la herramienta informática, aplicado a hongos obtenidos de la finca *“El Paraíso”*, y de una serie de ensayos en el área de Fitopatología del CIBE con el fungicida sistémico *Azoxistrobina*, ha diferentes niveles de dosis, que para este estudio serán del 0.1%, 1%, 5% y 10% del fungicida.

Finalmente, el capítulo cuatro establece las conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.…………………………………………………………………………..II

ÍNDICE GENERAL………………………………………………………………….V

ABREVIATURAS..........................................................................................VIII

SIMBOLOGÍA.................................................................................................IX

ÍNDICE DE FÍGURAS………………………………………………...……...........X

ÍNDICE DE GRÁFICOS……………………………………………...…..............XI

ÍNDICE DE TABLAS………………………………………………………………XII

INTRODUCCIÓN……………………………………………………………..……..1

CAPÍTULO I

1. SÍNTESIS DEL HONGO *MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS*………………..3
   1. Biología del hongo *Mycosphaerella fijiensis*……………………………4
   2. Ciclo de vida del hongo *Mycosphaerella fijiensis*……………………...6
   3. Síntomas de la Sigatoka Negra…………………………………………..8
   4. Causas y efectos en el banano………………………………………….10
   5. Control Químico…………………………………………………………...11
      1. Fungicidas………………………………………………………….11
         1. Fungicidas Protectantes…………………………………..12
         2. Fungicidas Sistémicos…………………………………….12
         3. Fungicidas de Contacto…………………………………...13
   6. Comportamiento de *Mycosphaerella fijiensis* a los fungicidas……….13
   7. Impacto económico de la Sigatoka Negra en la producción bananera del Ecuador……………………………………………………14
   8. Formas de evaluar la sensibilidad en *Mycosphaerella fijiensis*……...15
   9. Herramientas informáticas para análisis estadísticos..*………………*.17

CAPÍTULO II

1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE SENSIBILIDAD Y LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS………………………………………18
   1. Descripción del proceso de sensibilidad…………………..……….19
   2. Población objetivo……………………………………………………..20
   3. Descripción de variables……………………………………………..20
   4. Estadística descriptiva………………………………………………...21
   5. Análisis de varianza para un solo factor…………………………….22
   6. Regresión Lineal Simple……………………………………..………26
   7. Regresión Logit y Probit………………………………………………27
      1. Tipos y codificación de variables de los modelos. …………….28
      2. Modelo Logit………………………………………………………..29
      3. Modelo Probit……………………………………………………....30
      4. Coeficientes de riesgo…………………………………………….30
      5. Estimación de coeficientes……………………………………….32
      6. Pruebas de hipótesis………………………………………………32
         1. Criterio de Razón de Verosimilitudes…………………...33
         2. Criterio de Hosmer-Lemeshow…………………………..33
         3. Criterio de Wald……………………………………………34
   8. Minería de datos…………………………….…………………………34
   9. Software utilizado para el desarrollo de la herramienta…………..36

CAPÍTULO III

1. DESCRIPCIÓN, MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS MEDIANTE EL USO DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA……………37
   1. Herramienta informática desarrollada para el análisis estadístico del proceso de sensibilidad…………………………………………38
      1. Esquema general…………………………………………………..38
      2. Infraestructura y recursos humanos……………………………..39
      3. Técnicas estadísticas desarrolladas en la herramienta………..39
      4. Componentes y módulos de la aplicación informática…………40
   2. Resultados y análisis…………………………………………………45
      1. Análisis Descriptivo o Univariado…………………………….45
      2. Análisis de Regresión Lineal Simple...………………………50
      3. Análisis de Varianzas para un solo factor (ANOVA)……….52
      4. Análisis de Regresión Logit y Probit…………………………54

CAPÍTULO IV

1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…………………………….63
   1. Conclusiones…………………………………………………………..63
   2. Recomendaciones…………………………………………………….65

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

|  |  |
| --- | --- |
| ANOVA | Análisis of Varianza |
| CIBE | Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador |
| CL50 | Concentración letal media |
| Q1 | Cuartil 1 |
| Q2 | Cuartil 2 |
| Q3 | Cuartil 3 |
| DCA | Diseño completamente aleatorio |
| DL50 | Dosis letal media |
| m | Metro |
| mm | Milímetros |
| µm | Micras |
| ppm | Partes por millón |
| SST | Suma cuadrática total |
| SStr | Suma cuadrática de los tratamientos |
| SSe | Suma cuadrática del error |

SIMBOLOGÍA

|  |  |
| --- | --- |
| °C | Grados centígrados |
| % | Porcentaje |
| X | Variable independiente |
| Y | Variable dependiente |
| N | Número de observaciones |
| A | Número de tratamientos |
|  | Observación dependiente i-ésima |
|  | Observación independiente i-ésima |
|  | Coeficientes de regresión |
|  | Estimadores de los coeficientes de regresión |
|  | Hipótesis nula |
|  | Hipótesis Alternativa |

ÍNDICE DE FIGURAS

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | Pág. |
| Figura | 1. | 1 | Hoja infectada con Sigatoka Negra en su cuarta fase. | 10 |
| Figura | 2. | 1 | Diagrama de caja. | 22 |
| Figura | 3. | 1 | Interfaz principal de la aplicación. | 38 |
| Figura | 3. | 2 | Modelo lógico de la herramienta. | 39 |
| Figura | 3. | 3 | Infraestructura. | 39 |
| Figura | 3. | 4 | Módulos de la aplicación informática. | 41 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | Pág. |
| Gráfico | 3. | 1 | Análisis comparativo del porcentaje de inhibición obtenido en las diferentes dosificaciones de Azoxistrobina aplicada a *Mycosphaerella f*. | | 49 |
| Gráfico | 3. | 2 | Cálculo de la DL50 a través del modelo de regresión lineal. | | 52 |
| Gráfico | 3. | 3 | Diferencias estadísticas significativas entre los promedios de las dosis evaluadas. | | 54 |
| Gráfico | 3. | 4 | Análisis del comportamiento sobre las probabilidades de cada observación evaluadas en el modelo de regresión LOGIT. | | 60 |
| Gráfico | 3. | 5 | Análisis del comportamiento sobre las probabilidades de cada observación evaluadas en el modelo de regresión PROBIT. | | 60 |

ÍNDICE DE TABLAS

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | Pág. |
| TABLA | 2. | 1 | Observaciones de un análisis de varianza para un solo factor. | | 23 |
| TABLA | 2. | 2 | Contraste de hipótesis de diferencias de medias. | | 24 |
| TABLA | 2. | 3. | Tabla de análisis de varianza para un solo tratamiento. | | 25 |
| TABLA | 2. | 4. | Contraste de hipótesis para el criterio de Razón de Verosimilitudes. | | 33 |
| TABLA | 2. | 5. | Contraste de hipótesis para el criterio de Hosmer-Lemeshow. | | 33 |
| TABLA | 2. | 6. | Contraste de hipótesis para el criterio de Wald | | 34 |
| TABLA | 3. | 1 | Estadística descriptiva de la variable Crecimiento del tubo germinativo. | | 46 |
| TABLA | 3. | 2 | Estadística descriptiva de la variable Inhibición. | | 47 |
| TABLA | 3. | 3 | Modelo de regresión lineal simple. | | 51 |
| TABLA | 3. | 4 | Resumen del modelo LOGIT. | | 55 |
| TABLA | 3. | 5 | Tabla de variables en la ecuación del modelo LOGIT. | | 56 |
| TABLA | 3. | 6 | Resumen del modelo PROBIT. | | 57 |
| TABLA | 3. | 7 | Tabla de variables en la ecuación del modelo PROBIT. | | 58 |