

# Sistema de simulación para determinar el impacto de infección de la Moniliasis en un cultivo de cacao en Villavicencio, bajo condiciones ambientales favorables a la enfermedad

Andrés Linares and Geraldine Rojas

Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos  
Km 12 Vía Puerto López, Villavicencio, Colombia  
{carlos.linares,geraldine.rojas}@unillanos.edu.co  
<http://www.unillanos.edu.co>

**Resumen** El cacao ha sido, por muchos años, uno de los principales ingresos en el departamento del Meta, además de ser una alternativa para mejorar la calidad de vida de las familias cacaoteras. La Universidad de los Llanos, viendo el potencial productivo y social de este tipo de cultivo, promueve el estudio del cacao permitiendo aplicar los conocimientos adquiridos en el área dedicada a éste en la granja de la universidad. No obstante, éste no se encuentra en las mejores condiciones, lo cual favorece la aparición de enfermedades como la Moniliasis. Es en este escenario donde se desea implementar una herramienta de simulación en la que se tomen en cuenta los factores ambientales de la región durante diferentes meses modelando la evolución de la Moniliasis y de esta manera, con los resultados obtenidos se facilite la toma de decisiones frente a las medidas para un mejor manejo cultural en cada temporada.

**Keywords:** Unillanos, Agentes, Simulación, Cacao, Factores ambientales, Moniliasis

## 1. Introducción

El cacao es un árbol de origen americano cuyo fruto lleva el mismo nombre. Su producción en Colombia contribuye ampliamente al aspecto socioeconómico del país, al existir cerca de 147000 hectáreas cultivadas que benefician a un buen número de familias [1].

El potencial de estos cultivos es alto, pero también son propensos a enfermedades. Una de las más graves es la Moniliasis; una enfermedad que se presenta en los frutos de cacao y es provocada por el hongo *Moniliophthora roreri*, el cual está presente en muchos de los países de América Latina ya que se adapta a un gran número de ambientes [2]. Así pues, es una de las mayores causas de problemas fitosanitarios que afectan la producción y calidad del producto final; por lo cual, un buen manejo y cuidado del fruto es fundamental para evitar que la Moniliasis pueda presentarse en cualquier etapa de del cultivo.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

El objetivo principal del proyecto es el análisis mediante el ejercicio de simulación basado en agentes, siguiendo un modelo epidemiológico, para determinar la influencia de la variabilidad de condiciones ambientales de Villavicencio, durante un semestre, sobre el progreso de la enfermedad Moniliasis en un cultivo que cubre una extensión de  $12000m^2$ , permitiendo tomar las mejores decisiones para aplicarlas en el momento y en futuros cultivos que se trabajen dentro de la Universidad de los Llanos.

### 2.2. Objetivos específicos

- Demostrar la influencia de determinadas condiciones ambientales en la aparición de la enfermedad Moniliasis.
- Modelar el comportamiento del ciclo de la enfermedad Moniliasis durante un tiempo de simulación.
- Proveer información al cultivador sobre la probabilidad de aparición de la enfermedad Moniliasis en su cultivo de cacao en determinada época del año.
- Facilitar la toma de decisiones al cultivador tras el análisis de los resultados obtenidos con la simulación.
- Contrastar la cantidad de cacao sano y enfermo por Moniliasis al final de la simulación.

## 3. Descripción del problema

La producción del cultivo de cacao está determinada por dos factores: el primero es la parte genética con un 17% de responsabilidad, y el otro es el manejo cultural del mismo con un porcentaje del 83%. En consecuencia, si no se realiza un buen manejo del cultivo, éste no va a expresar su potencial productivo, abriendo paso a uno de los mayores limitantes el cual hace referencia a las enfermedades.

Los factores ambientales también juegan un papel muy importante en el aspecto fitosanitario, ya que de fallar en ello puede acarrear graves consecuencias que impactarán sobre el cultivo y afectarán económicamente a las familias cacaoteras, como la aparición de la enfermedad Moniliasis. Sin embargo, es posible alertar el evidente riesgo según las variaciones del clima con el fin de realizar una correcta toma de decisiones para actuar a tiempo y estar preparado en determinadas épocas.

Aunque el ejercicio de simulación puede llevarse a varios contextos, en este caso se recoge en la Universidad de los Llanos (Villavicencio), donde existen cultivos de cacao los cuales sirven de objeto de estudio para estudiantes de agronomía y agroindustrial.

Para escenarios particulares y/o generales, contar con una herramienta de simulación de propagación de enfermedades en la que se tengan presentes las

condiciones ambientales por su gran influencia en el cultivo, se convierte en un gran apoyo para el proceso de toma de decisiones al identificar el efecto del ambiente sobre el cultivo y estar preparado tomando acciones preventivas para siempre librar la mayor parte de producción esperada sin afectar la economía de los cultivadores.



**Figura 1.** Mazorcas de cacao enfermas con Moniliasis.

#### 4. Justificación

El presente proyecto se realiza con el fin de brindar una herramienta que ayude a la identificación de aquellas temporadas del año donde se le debe dar mayor importancia al manejo de los cultivos y así evitar grandes pérdidas en producción, basándose en una simulación para analizar del desarrollo de la enfermedad Moniliasis bajo condiciones ambientales favorables a la aparición del basidiomycota *Moniliophthora roreri* que la provoca y su impacto epidemiológico en los frutos y plantas.

#### 5. Metodología

Para el presente proyecto se siguió la serie de pasos expuesta a continuación:

- Formulación del problema.
- Recolección de datos.
- Planteamiento de escenarios.
- Diseño y desarrollo del modelo simulado.
- Validación de resultados.
- Análisis de resultados.

### 5.1. Formulación del problema

La selección del caso a estudiar, surge tras indagar sobre las condiciones del cultivo de cacao que se tiene en la Universidad de los Llanos ya que es una buena manera de realizar una simulación a pequeña escala, pero que se puede llevar a un entorno mucho más general.

### 5.2. Recolección de datos

Para este caso se tienen fuentes de información, ajenas a la toma de datos de manera presencial, como datos históricos del clima para cada mes del año en la ciudad de Villavicencio, los cuales se obtuvieron de la página del IDEAM y de un portal web en el que se presenta la información meteorológica recogida en el aeropuerto Vanguardia [3]; y artículos, libros, entre otros de esta índole, en los que se exponen los efectos del clima sobre los cultivos de cacao, información de éste y la enfermedad de la Moniliasis.

Algunos de los datos promedios generales de temperatura, precipitaciones y viento, en la ciudad de Villavicencio durante el año (pero teniendo en cuenta que se simula cada seis meses), se consignan en la tabla 1.

Así pues, los puntos de referencia, con los que se validan los resultados obteni-

Mes	T (°C)	Lluvias (mm acumulados/mes)	Viento (km/h)	Días de lluvia
Enero	27.4	64	5.6	8
Febrero	28.1	129	5.9	10
Marzo	28.0	227	6.4	15
Abril	25.9	526	5.3	23
Mayo	25.9	627	5.3	27
Junio	24.6	522	5.2	27
Julio	24.9	442	5.0	26
Agosto	26.0	419	5.4	24
Septiembre	26.7	403	5.8	22
Octubre	27.1	476	6.2	22
Noviembre	27.2	413	6.4	21
Diciembre	27.7	158	7.0	14

**Tabla 1.** Valor promedio de variables climáticas en Villavicencio

dos por la simulación, se establecen mediante textos investigativos en los que se evidencia, enuncia y/o explica la variación del clima durante varias temporadas del año para la ciudad de Villavicencio y que favorecen al desarrollo de una enfermedad en las mazorcas de cacao, como lo es la Moniliasis.

A continuación, se resumen los datos e información más relevante para el presente proyecto.

#### ■ *Ciclo de vida de la Moniliasis*

Sólo los frutos sufren esta enfermedad y pueden ser atacados en cualquier fase

desarrollo del cultivo; a su vez, la sintomatología puede cambiar dependiendo de la edad de los frutos. Para efectos del ejercicio de simulación que se expone en este documento, se limita a un cultivo ideal en el que los frutos de los árboles de cacao están en su etapa reproductiva y son de la misma edad. Algunos de los síntomas en esta etapa son la aparición de puntos negros y brillantes que forman una mancha de color café. De 8 a 10 días luego de ello, aparece una capa blanca formada por las semillas del hongo las cuales pasarán a convertirse en un polvo color crema. Dicho polvillo, con la ayuda del viento, puede contaminar frutos en un área de hasta treinta metros a su alrededor [4].



**Figura 2.** Ciclo de vida de la Moniliasis.

■ ***Condiciones ambientales que favorecen la aparición de la Moniliasis***

Las condiciones ambientales influyen directamente en la evolución de *M. roreri*. Las temporadas de lluvia facilitan la germinación y el incremento de esporas, volviendo más agresivo el hongo afectante.

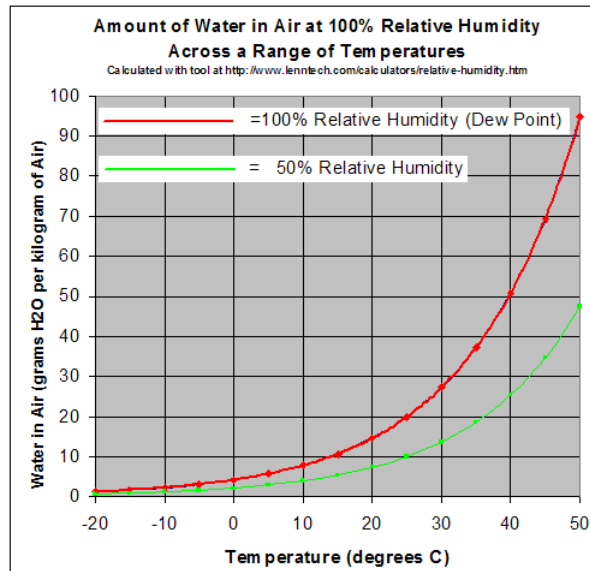
En el caso de las lluvias, puede llegar a afectar más una lluvia ligera que una muy fuerte. Con la primera, las gotas golpearán suavemente el fruto infectado ocasionando que las esporas sean más volátiles y puedan llegar a otras mazorcas mediante corrientes de aire; mientras que gotas más concurrentes y fuertes, derribarían el fruto o lavarían el polvo provocado por la enfermedad.

■ ***¿Qué relación tienen la temperatura y las precipitaciones con la humedad relativa?***

La cantidad de vapor de agua que puede contener una masa de aire, depende de la temperatura. En tanto que la temperatura del aire aumenta, éste puede contener más humedad.

De igual manera sucede con las lluvias; en Villavicencio, entre más precipi-

taciones ocurran más humedad relativa se presentará en el ambiente, lo cual favorece la aparición de hongos.



**Figura 3.** Relación de proporción entre la humedad relativa y la temperatura.

#### ■ *Generalidades del clima en Villavicencio*

La ciudad de Villavicencio se caracteriza por un clima cálido y muy húmedo. (Veáse la figura 4 con las gráficas para cada variable).

Al año, la media de lluvia total es de 4383 mm, presentando anualmente una temporada seca y una temporada de lluvias. Entre los meses de diciembre y marzo, se manifiesta la temporada seca. En este tiempo, llueve de diez a catorce días al mes. Mientras que de abril a noviembre se tiene la temporada de mayores lluvias; llueve de veintidos a veintiseis días en los meses mencionados.

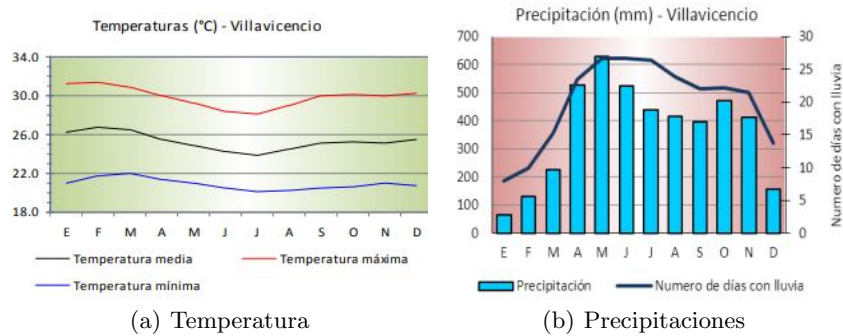
Con una temperatura promedio de 25.5 °C, al medio día puede llegar a un máximo entre 28°C y 32°C. Mientras que en la madrugada la temperatura mínima varía entre 20°C y 22 °C.

A lo largo del año, la humedad relativa del aire puede oscilar entre 67% y 83 %. Es mayor en junio y julio, y menor en el primer trimestre del año [5].

### 5.3. Planteamiento de escenarios

Los intervalos de simulación se manejan por 6 meses, el cual es el tiempo que tarda un cultivo en dar cosecha.

Así pues, contemplamos los siguientes escenarios de manera general:



**Figura 4.** Gráficas de variables climáticas en Villavicencio durante el año.

- ¿Qué sucede si se toma como mes de inicio, un mes del primer semestre del año?
- ¿Qué sucede si se toma como mes de inicio, un mes del segundo semestre del año?

#### 5.4. Diseño y desarrollo del modelo simulado

La simulación basada en agentes se puede definir como un método informático que permite construir modelos constituidos por agentes que interaccionan entre sí dentro de un entorno para llevar a cabo experimentos virtuales. Este tipo de simulación es útil para ver el comportamiento de una situación epidemiológica en la que la enfermedad se extiende por condiciones favorables a la misma, aumentando el número de afectados en una determinada población.

**Variables del sistema** Aunque son muchas los parámetros de clima que influyen en la reproducción del *Moniliophthora roreri*, para efectos de la simulación sólo se tienen en cuenta la temperatura, precipitaciones y vientos de Villavicencio, las cuales son las variables de mayor proliferación de la Moniliasis trayendo terribles consecuencias sobre las plantaciones de cacao.

Tomando como foco del proyecto el terreno que se encuentra en la Universidad de los Llanos para el cultivo de cacao, se tiene un área de 1.2 hectáreas ( $12000m^2$ ), cuyos árboles se encuentran separados cada tres metros entre sí.

Para acotar el alcance de la simulación, tomaremos el ideal de que se tiene un único tipo de clon cultivado y que todos los árboles se encuentran en la misma edad o etapa de desarrollo del fruto. Además, partimos de que un árbol de cacao que se encuentre y se mantenga en perfectas condiciones, puede alcanzar un máximo de 100 mazorcas cosechadas y un mínimo de 40. Pero cuando pasa por una temporada muy seca, puede quedarse con 10 o 20 mazorcas dado que el mismo árbol se encarga de “abortarlas” por no resistir el peso de éstas o que una fuerte lluvia tumba algunos frutos.



**Figura 5.** Terreno de cultivo de cacao en la Unillanos.

**Detalles de la implementación** Haremos uso de la herramienta Gama, un entorno de desarrollo de simulación y modelado para crear modelos basados en agentes espacialmente explícitos. Maneja un lenguaje de alto nivel e intuitivo: GAML, el cual es codificado en Java.

Una vez que el modelo está listo, algunas características le permiten explorarlo y calibrarlo, variando los parámetros definidos como entradas de la simulación en cuestión [6].



**Figura 6.** Página de inicio del software Gama.



- Características del mundo:

La sección **global** contiene todas las características del mundo que simularemos.

Acá se pueden definir los atributos, acciones y comportamientos que describen al agente global, es decir, aquel agente que se crea cuando un usuario ejecuta un experimento y que inicializa la simulación a través de su acción de inicio. (Veáse figura 7).

```

11@global d
12 // Declaraciones iniciales
13 int distanceBetweenPlants <- 3; // Distancia en metros
14 int plantsPerRow <- 33; // 33 plantas por fila para hacer 1 hectarea.
15 int plantsNumber <- plantsPerRow * plantsPerRow;
16 int startMonth <- 0;
17 int maxInfectionDistance <- 30;
18 int maxInfectedPlantsInit <- 3;
19 int infectedPlants <- 0;
20 float infectedPercentage <- 0.0;
21 int daysPerMonth <- 30;
22 int maxNumberOfFruits <- 100;
23 float limitSoftRain <- 4.5;
24 float sumOfPotentials <- 0.0;
25 float lastMonthPotential <- 0.0;
26 float lastMonthPotentialSum <- 0.0;
27 float lastMonthPotentialAVG <- 0.0;
28
29
30 float infectionPotential;
31
32 float windConstant <- 2.6;
33 float temperatureConstant <- 0.08;
34 float rainConstant <- 7.0;
35 float infectionConstant <- 0.025;
36
37 float todayTemperature;
38 float todayWindSpeed;
39 float todayRainForce;
40 float todayHumidity;
41 bool isRaining;
42 // -----
43
44
45
46 // Preparación del tamaño del terreno
47 geometry shape <- square(distanceBetweenPlants * plantsPerRow + (distanceBetweenPlants - 1));
48 // -----
49
50
51
52 // Definición de variables climáticas
53 list<string> months <- ["Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio",
54 "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre",
55 "Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio"];
56
57 list<float> maxTemperature <- [31.1, 31.4, 30.9, 29.9, 29.3, 28.4,
58 28.2, 29.1, 30.1, 30.1, 30.1, 30.3,
59 31.1, 31.4, 30.9, 29.9, 29.3, 28.4];
60 list<float> minTemperature <- [21.0, 21.6, 22.0, 21.2, 21.0, 20.5,
61 20.2, 20.3, 20.4, 20.7, 20.9, 20.7,
62 21.0, 21.6, 22.0, 21.2, 21.0, 20.5];
63 list<float> avgTemperature <- [27.4, 28.1, 28.0, 25.9, 25.9, 24.6,
64 24.9, 26.0, 26.7, 27.1, 27.2, 27.7,
65 27.4, 28.1, 28.0, 25.9, 25.9, 24.6];
66
67 list<int> precipitation <- [64, 129, 227, 526, 627, 522,
68 442, 419, 403, 476, 413, 158,
69 64, 129, 227, 526, 627, 552];
70 list<int> rainyDays <- [8, 10, 15, 23, 27, 27,
71 26, 24, 22, 22, 21, 14,
72 8, 10, 15, 23, 27, 27];
73
74 list<float> wind <- [5.6, 5.9, 6.4, 5.3, 5.3, 5.2,
75 5.0, 5.4, 5.8, 6.2, 6.4, 7.0,
76 5.6, 5.9, 6.4, 5.3, 5.3, 5.2];
77 // -----
78

```

Figura 7. Características del mundo.

- Especies y comportamientos:

Las especies que habitarán nuestro mundo, se definen en la sección **species** tal como se muestra en la siguiente imagen.

```

175 // Declaración de la planta
176 species cocoa {
177
178   // Propiedades de la planta
179   bool isInfected <- false;
180   int daysInfected <- 0;
181   int daysTillFullDisease <- int(gauss({40, 10}));
182   int daysToSpores <- rnd(3, 7);
183   int numberOfFruits <- int(gauss({70, maxNumberOfFruits - 70}));
184   // -----
185
186
187   // Aspecto de la planta en la simulación
188   file plant_icon <- file("../icons/plant.png");
189   terrain myCell <- (one_of (terrain where each.isAvailable ));
190
191   aspect name:icon {
192     draw plant_icon size: 1;
193   }
194   // -----
195
196
197
198   // Ubicación de la planta en la simulación
199   init {
200     location <- myCell.location;
201     if length(myCell.cocoas) > 1 {
202       myCell <- (one_of (terrain where (each.isAvailable and length(each.cocoas) = 0)));
203       location <- myCell.location;
204     }
205   }
206   // -----
207
208

```

**Figura 8.** Especies de la simulación.

Luego de esto, se definen los métodos en que se actualiza el color del terreno conforme la evolución de la enfermedad, y la especie tendrá un comportamiento denominado **infect** con el que se simula el impacto de la Moniliasis sobre los frutos de plantas cercanas en un alcance de expansión de las esporas y bajo las condiciones ambientales establecidas. También tiene otro comportamiento llamado **removeFruits** para considerar la posible caída de frutos por lluvias fuertes.

- Entradas y salidas:

En la sección de **experiment** se definen las entradas y salidas en nuestro mundo creado (Véase figura 10).

Para las entradas se contemplan aquellas variables a las que se podrá modificar su valor al inicio de la simulación; y en las salidas se imprimen los resultados obtenidos con las condiciones iniciales, además de mostrar algunas gráficas como la relación de plantas infectadas vs plantas sanas.

## 5.5. Validación de resultados

Para validar si los resultados obtenidos con la simulación, tienen sentido con la información recolectada tras documentarnos y con los datos proporcionados por el tomador de decisiones, éste último revisó el sistema simulado para dar sus observaciones.

```

225 // Indica como se contagia la enfermedad entre plantas
226 reflex infect when: daysInfected >= (daysStillFullDisease + daysToSpores) {
227   ask COCOA at distance (maxInfectionDistance) {
228     if self.isInfected = false {
229       float distance_x_cocoa <- self.location.x - myself.location.x;
230       float distance_y_cocoa <- self.location.y - myself.location.y;
231
232       if distance_x_cocoa < 0 {
233         distance_x_cocoa <- distance_x_cocoa * -1;
234       }
235       if distance_y_cocoa < 0 {
236         distance_y_cocoa <- distance_y_cocoa * -1;
237       }
238
239       float total_distance <- distance_x_cocoa + distance_y_cocoa;
240
241       if total_distance > 0 {
242         float infection <- infectionPotential * (myself.numberOffruits / maxNumberOffruits);
243
244         float probability <- infection / (total_distance * total_distance);
245
246         if probability > 0 {
247           if flip(probability) {
248             isInfected <- true;
249           }
250         }
251       }
252     }
253   }
254 }
255 // -----
256
257
258 // Los días de lluvia intensa, algunos frutos infectados se caen.
259 reflex removeFruits when: isInfected {
260   if infectionPotential = 0.0 {
261     numberOffruits <- numberOffruits - rnd(0, 2);
262     if numberOffruits < 0 {
263       numberOffruits <- 0;
264     }
265   }

```

**Figura 9.** Comportamientos de las especies.

Tras el ejercicio, el ingeniero Álvaro nos dio el visto bueno aprobando que los resultados y la relación entre las variables y el progreso de la Moniliasis en el cultivo indicado, se cumple dentro del comportamiento real de la enfermedad.

## 5.6. Análisis de sensibilidad

Tras realizar la simulación por repetidas veces, podemos recoger datos y realizar un análisis estadístico que a su vez nos permite identificar la sensibilidad del modelo simulado, y más adelante listar los resultados mediante los diagramas de cajas de la figura 11.

## 6. Resultados

A partir de los datos de salida obtenidos tras la simulación, que también fue ejecutada varias veces, podemos resumir en la siguiente lista, los resultados más significativos:

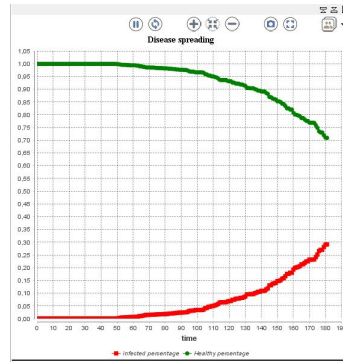
- El mes con mayor potencial de contagio es Diciembre con un 0,52.
- El mes con menor potencial de contagio es Mayo 0,24.
- Si el mes de inicio de la cosecha está en el primer semestre del año, el potencial de contagio varía entre 0,31 y 0,36.
- Si el mes de inicio es en el segundo semestre del año, el potencial de infección en la cosecha varía entre 0,38 hasta 0,43.

```

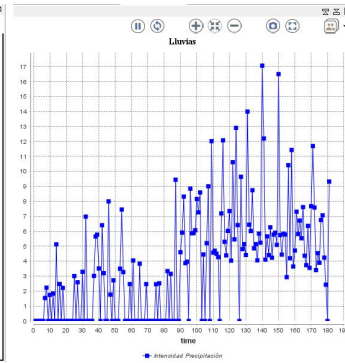
139 experiment cocoa_moniliasis type:gui {
140   parameter "Initial number of infected plants:" var: nb_infected_init min: 1 max: 10 category: "Plants";
141   parameter "Probability of infection:" var: probability_infection min: 0.001 max: 0.1 category: "Plants";
142   parameter "Max distance of infection:" var: max_infection_distance min: 1 max: 20 category: "Plants";
143   parameter "Number of cacao plants per row:" var: nb_cacao_plants_per_row min: 1 max: 35 category: "Crop";
144   parameter "Distance between cacao plants in meters:" var: distance_between_cacaos min: 1 max: 5 category: "Crop";
145
146   output {
147     monitor "Current day" value: current_day;
148     monitor "Current month" value: int(current_day / 30);
149     monitor "Infected plants rate" value: infected_rate;
150     monitor "New infected in last month" value: nb_infected_current_month;
151
152     display map {
153       grid terrain lines: #black;
154       species cacao aspect: icon;
155     }
156
157     display chart {
158       chart "Disease spreading" {
159         data "infected percentage" value: infected_rate color: #red;
160         data "Healthy percentage" value: 1 - infected_rate color: #green;
161       }
162     }
163   }
164 }
165 }

```

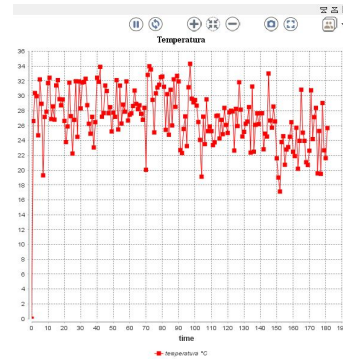
(a) Definición de entradas y salidas.



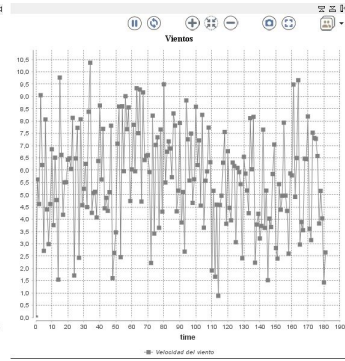
(b) Avance enfermedad.



(c) Intensidad precipitación.



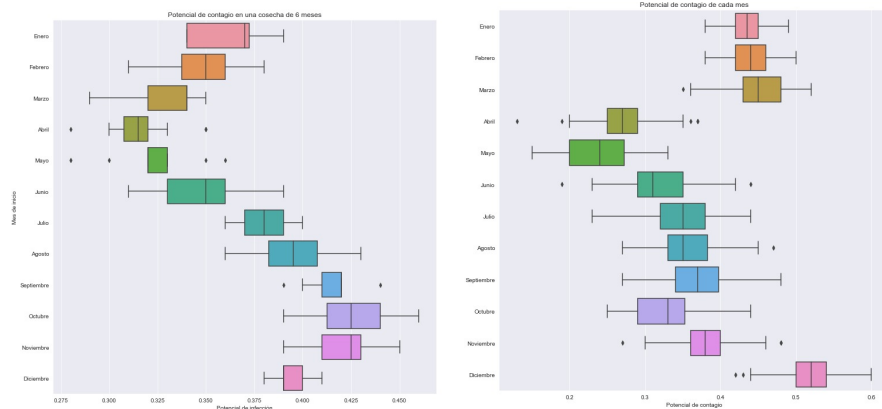
(d) Temperatura.



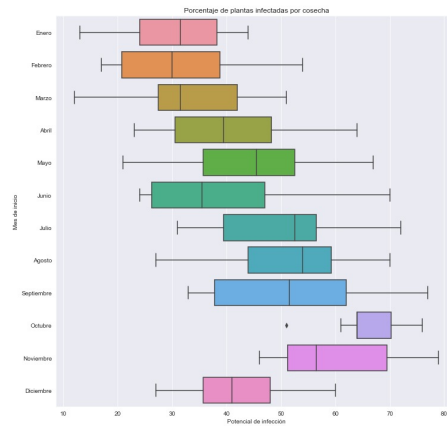
(e) Velocidad viento.

**Figura 10.** Entradas y salidas de la simulación.

- Con una cosecha que empieza en el mes de Octubre, el 66% de las plantas estarían infectadas por Moniliasis.



(a) Potencial de contagio en una cosecha de 6 meses. (b) Potencial de contagio de cada mes.



(c) Porcentaje de plantas infectadas por cosecha.

**Figura 11.** Análisis estadístico y de sensibilidad por diagramas de cajas.

- Con una cosecha que empieza en el mes de Enero, sólo el 31 % de las plantas estarían infectadas por Moniliasis.

## 7. Conclusiones

La simulación de sistemas ha sido una herramienta muy útil para la ingeniería, ya que con ésta se han reducido muchos gastos antes de tomar decisiones cruciales; tanto en la investigación como en la producción.

Para este proyecto, podemos destacar tres grandes conclusiones que permiten al tomador de decisiones determinar las acciones correctivas y preventivas que se deben tener presentes dentro del manejo cultural de las plantaciones de cacao:

- Comprobamos que el primer trimestre del año es menos húmedo, por lo que el porcentaje de plantas enfermas es menor.
- El segundo semestre del año presenta un gran período de alerta para los cultivadores ya que es en esta temporada donde se presentan los mayores índices de humedad.
- Diciembre es el mes es más «destrutivo» porque presenta los vientos más fuertes, lluvias más altas que los meses secos. pero menos intensas que los meses húmedos, y la temperatura es más alta.

## Referencias

1. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Manejo fitosanitario del cultivo del cacao. Colombia (2012)
2. Javier Correa Álvarez, Sergio Castro Martínez y Jairo Coy: Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
3. Clima Villavicencio / Vanguardia, <https://www.tutiempo.net/clima/12-2018/ws-802340.html>
4. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Manejo fitosanitario del cultivo del cacao. Colombia (2012)
5. Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos, <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf>
6. Gamma Platform documentation, <https://gama-platform.github.io/wiki/Home>