



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE ADOPCIÓN DE LABORES CULTURALES DE ALTA Y BAJA INVERSIÓN ECONÓMICA EN MANEJOS PARA EL CONTROL DEL PSÍLIDO DE LA PAPA (*BACTERICERA COCKERELLI*), EN LOTES DE PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*), MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MODELOS BASADOS EN AGENTES.

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR: Jordan Andrés Vicente Astudillo

DIRECTOR: Ing. Mg. Quimbiulco Sánchez Klever Mauricio

ASESOR EXTERNO: Israel Navarrete M.Sc.

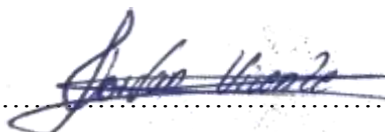
LATACUNGA-ECUADOR

SEPTIEMBRE 2020

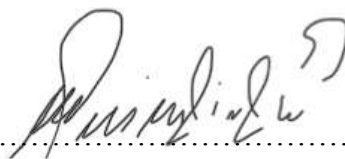
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo Vicente Astudillo Jordan Andres, con C.C. 1725240954 declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: “Evaluación de la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes.”, siendo el Ing.Quimbiulco Sánchez Klever Mauricio.M.Sc. tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Vicente Astudillo Jordan Andres
C.I. 1725240954



Ing. Mg. Quimbiulco Sánchez Klever
C.I. 1709561102

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte Vicente Astudillo Jordan Andres, identificada/o con C.C. N° 1725240954, de estado civil **soltero** y con domicilio en Quito, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.- LA/EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería en Ecoturismo**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**Evaluación de la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes.**” la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico

Fecha de inicio de la carrera: Abril 2015 – Agosto 2015

Fecha de finalización: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Aprobación del consejo directivo: 7 de julio del 2020

Tutor.- Ing. Mg. Klever Mauricio Quimbiulco Sánchez

Tema: “Evaluación de la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes.”

CLÁUSULA SEGUNDA.- LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA.- Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA.- OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA.- El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA.- El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA.- CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.- Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

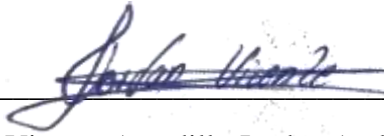
CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.- LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA.- El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA.- En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA.- Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los catorce días del mes de septiembre del 2020.



Vicente Astudillo Jordan Andres
EL CEDENTE

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez
EL CESIONARIO

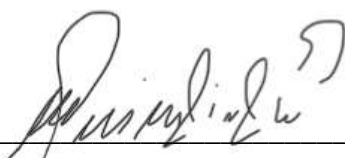
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“Evaluación de la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes.”, de Vicente Astudillo Jordan Andres, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 14 de septiembre del 2020

Fecha de presentación



Ing. Mg. Quimbiulco Sánchez Klever Mauricio

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Lectores del Proyecto de Investigación con el título:

“Evaluación de la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes.”, de Vicente Astudillo Jordan Andres, de la carrera (a la que corresponden), considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 14 de septiembre del 2020



Lector 1 (Presidente)
Ing. Mg. Emerson Jácome Mogro
CC: 050197470-3



Lector 2
Ing. Mg. Guido Euclides Yauli Chicaiza
CC: 050160440-9



Lector 3
Ing. Mg. Cristian Santiago Jiménez Jácome
CC: 050194626-3

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mi familia, por a verme dado las fuerzas y la sabiduría necesaria, para poder concluir con mi carrera universitaria.

Quiero agradecer a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a todos sus profesionales, que fueron mis maestros, los cuales me enseñaron muchísimo a lo largo de mi trayectoria como estudiante, siempre los recordare a cada uno de ellos.

Quiero agradecer a Israel Navarrete y a mi tutor Klever Quimbiulco, gracias a su guía y apoyo fue posible el desarrollo de este proyecto.

A mis compañeros y amigos, con los que compartimos en un salón de clases, siempre los recordare.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres y hermano, que a pesar de la adversidad, siempre estuvieron para apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A toda mi familia, quienes me apoyaron en los momentos que más los necesite, muy especialmente a mis tíos Rigoberto y Elena, que me abrieron las puertas de sus hogar.

A todos esas personas que me ayudaron a lo largo de mi carrera universitaria, y muy especialmente a Jenifer por la compañía en estos años de mi vida estudiantil.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: “Evaluación de la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes.”

AUTOR: Vicente Andres Vicente Astudillo

RESUMEN

El presente trabajo, tiene como finalidad evaluar la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en los manejos de control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), los métodos de investigación fue una revisión de material bibliográfico relacionado con el psílido de la papa, una vez seleccionado material de interés, se plasmó esta información en un modelo teórico en la plataforma Miro, se establecieron temáticas relacionadas con la diseminación, ecología y labores culturales para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), además el rendimiento de cultivos de papa libres e infectados con Punta morada. Una vez establecida la información, se procede a la creación de un modelo basado en agentes, el cual simula una sociedad de productores de papa, sus lotes serán infestados con el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), para su respectivo control se implementar labores culturales, pero, para que el agricultor pueda implementarla, debe cumplir con ciertos parámetros, uno de estos y el más importante, es su capacidad adquisitiva, dependiendo de esta podrá o no implementar una labor cultural de alta o baja inversión económica en su cultivo. El modelo contempla deslizadores bajo los nombres umbral y rendimiento de cultivos cercas, dos interruptores de labores de alta y baja inversión económica, al ser modificados se estableció un total de 8 escenarios y un tratamiento control, en este último los agricultores no actuaran. El tratamiento control presento altos niveles de población del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), un menor porcentaje de cultivos sanos y mayor porcentaje de cultivos infectados, siendo este el peor escenario. En escenarios con umbrales del 80% se puede notar comportamientos parecidos al tratamiento control, ha umbrales del 20% los agricultores actúan con mayor rapidez, el escenario 4 presento un mayor índice de cultivos sanos y una menor presencia del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) con labores culturales de alta inversión económica, el escenario donde mostro, mayor porcentaje de otros cultivos, fue el escenario 8, con labores culturales de baja inversión económica, umbral 20% y rendimiento de cultivos cercanos menor a 10 ton/ha.

Palabras clave: Psílido de la papa, *Bactericera cockerelli*, *Candidatus liberibacter*, Punta Morada en Papa, PMP, labor cultural, Modelo Basado en agentes, NetLogo

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES DEPARTMENT

TOPIC: “Evaluation of the dynamics of adption of cultural labors of high and low economic investment in management for the control of potato psyllid (*Bactericera cockerelli*), in potato lots (*Solanum tuberosum*), through the application of modeling based in agents”

AUTHOR: Vicente Andres Vicente Astudillo

ABSTRACT

This research aims to evaluate the dynamics of the adoption of cultural tasks of high and low economic investment in the management of control of the potato psyllid (*Bactericera cockerelli*) in potato plots (*Solanum tuberosum*). The research methods were a review of bibliographic material related to the potato psyllid, this information was translated into a theoretical model on the Miro platform, themes related to dissemination, ecology, and cultural work for the control of the potato psyllid were established; also, the yield of free and infected potato crops with a purple point. Once the information was found, an agent-based model was created, which simulates a society of potato producers where their plots will be infested with the potato psyllid (*Bactericera cockerelli*), so control tasks will be implemented; therefore, farmers must comply with specific parameters, one of these and the most important is their purchasing power to apply high or low investment in their plots. The model includes sliders under the names: threshold and crop yield fences, two work switches of high and low economic investment, when modified a total of 8 scenarios and control treatment were established, in the latter, the farmers will not act. The control treatment showed high population levels of the potato psyllid (*Bactericera cockerelli*), a lower percentage of healthy crops, and a higher percentage of infected crops, this being the worst scenario. In scenarios with thresholds of 80%, behaviors similar to the control treatment can be observed, with thresholds of 20%, farmers act faster; scenario 4 presented a higher index of healthy crops and a lower presence of the potato psyllid (*Bactericera cockerelli*) with cultural labors of high economic investment; the scenario with a higher percentage of other crops, was scenario 8, with cultural chores of low financial investment, threshold 20% and yield of nearby crops less than 10 tons/ha.

Keywords: Potato psyllid, *Bactericera cockerelli*, *Candidatus liberibacter*, Purple Point in Potato, PMP, cultural work, Agent-based model, Netlogo

Contenido

1	INFORMACION GENERAL.....	1
1.1	Línea de investigación	2
1.2	Sub líneas de investigación de la Carrera	2
1.3	Línea de vinculación.....	2
2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4	BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
4.1	Beneficiarios Directos.....	4
4.2	Beneficiarios Indirectos	4
5	PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	4
6	Objetivos	6
6.1	Objetivo general.....	6
6.2	Objetivos Específicos	6
7	Tabla de actividades por objetivo.....	6
8	Fundamentación científica	8
8.1	Psílido de la papa (<i>Bactericera cockerelli</i>).....	8
8.1.1	Taxonomía de <i>Bactericera cockerelli</i>	8
8.1.2	Origen y distribución	8
8.1.3	Ciclo biológico de <i>Bactericera cockerelli</i>	9
8.1.4	Huevecillos	9
8.1.5	Ninfa.....	9
8.1.6	Adulto	9
8.1.7	Diseminación de <i>Bactericera cockerelli</i>	10
8.1.8	Temperaturas mínimas y máximas de desarrollo, reproducción y supervivencia de <i>Bactericera cockerelli</i>	10
8.1.9	Daños que ocasiona <i>Bactericera cockerelli</i>	10
8.2	<i>Candidatus liberebacter</i>	11
8.2.1	Punta morada (PMP)	11

8.2.2	Sintomatología de Punta Morada en papa	12
8.2.3	Punta morada en Ecuador (<i>Solanum tuberosum</i>)	12
8.3	Control de <i>Bactericera cockerelli</i> y punta morada (PMP)	12
8.3.1	Control químico de <i>Bactericera cockerelli</i>	13
8.3.2	Control biológico de <i>Bactericera cockerelli</i>	13
8.4	Labores culturales para el control de <i>Bactericera cockerelli</i>	14
8.4.1	Rotación de cultivos para el control de <i>Bactericera cockerelli</i>	14
8.4.2	Malla antiáfidos para el control de <i>Bactericera cockerelli</i>	14
8.5	Modelo basado en agentes	15
8.5.1	Software para MBA.....	15
8.6	NetLogo	16
8.6.1	Terminología de NETLOGO.....	16
8.6.2	Mundo de NETLOGO	18
8.6.3	Tipos de agentes	18
8.6.4	Protocolo ODD.....	19
9	PREGUNTA CIENTIFICA	19
10	Metodología.....	19
10.1	Búsqueda de material bibliográfico	19
10.2	Construcción de modelo teórico	19
10.3	Construcción de modelo basado en agentes	19
10.4	Protocolo ODD del modelo construido	20
10.5	Factores en estudio.....	22
10.6	Construcción de escenarios.....	22
11	RESULTADOS	24
11.1	Resultados obtenidos de la revisión de materiales bibliográficos	24
11.2	Resultados obtenidos del desarrollo del modelo basado en agentes.....	26
11.3	Resultados obtenidos la dinámica de agricultores	27
12	CONCLUSIONES.....	36
13	RECOMENDACIONES	37
14	PRESUPUESTO.....	38
15	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
16	ANEXOS.....	43

1 INFORMACION GENERAL

Título del Proyecto:

“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE ADOPCIÓN DE LABORES CULTURALES DE ALTA Y BAJA INVERSIÓN ECONÓMICA EN MANEJOS PARA EL CONTROL DEL PSÍLIDO DE LA PAPA (*BACTERICERA COCKERELLI*), EN LOTES DE PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*), MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MODELOS BASADOS EN AGENTES.”

Fecha de inicio:

Junio 2020

Fecha de finalización:

Septiembre 2020

Lugar de ejecución:

Latacunga Salache

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Ingeniería Agronómica.

Proyecto de investigación vinculado:

Centro Internacional de la Papa (CIP)

Equipo de Trabajo:

Responsable del Proyecto: Jordan Andres Vicente Astudillo

Tutora: Ing. Klever Mauricio Quimbuilco Sánchez M.Sc.

Asesor externo: Israel Navarrete M.Sc.

Lector 1: Ing. Emerson Jacome Mg.

Lector 2: Ing. Guido Yauli Mg.

Lector 3: Ing. Cristian Jiménez Mg.

Coordinador del Proyecto

Nombre: Jordan Andres Vicente Astudillo

Teléfonos: 0989127370

Correo electrónico: jordan.vicente0954@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Agricultura- Agricultura, silvicultura y pesca- Agronomía

1.1 Línea de investigación

Desarrollo y seguridad alimentaria

Se entiende por seguridad alimentaria cuando se dispone de la alimentación requerida para mantener una vida saludable. El objetivo de esta línea será la investigación sobre productos, factores y procesos que faciliten el acceso de la comunidad a alimentos nutritivos e inocuos y supongan una mejora de la economía local.

1.2 Sub líneas de investigación de la Carrera

Producción agrícola

1.3 Línea de vinculación

Gestión de los recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano social.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), puede generar grandes pérdidas a los productores de papa, el principal control de este pequeño insecto hoy en día, es la aplicación indiscriminada de insecticidas, si bien puede controlarlo, el cabo de un tiempo es capaz de generar resistencia antes insecticidas, debido a su rápida segregación, pero la gran desventaja que presenta un control químico, es que no es lo suficientemente rápido para evitar la infección de la bacteria que trasmite denominada como *Candidatus liberibacter*, es causante de la enfermedad conocida en el Ecuador como Punta Morada, una de las estrategias de control es la implementación de labores

culturales, si bien son capaces de evitar la propagación del psílido de la papa, son costosas, muchos de los agricultores no estarían en condiciones de poder aportar una labor cultural. Para poder simular estos problemas de la sociedad, se usó un Modelo Basado en Agentes, para poder entender que ocurriría después de un tiempo determinado.

3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) se alimenta del floema de al menos 20 familias de diferentes cultivos, económicamente es perjudicial para los cultivos de solanáceas, las cuales son su principal familia. Se encuentra presente en Estados Unidos, México, Centroamérica, Nueva Zelanda, Australia. Si bien este insecto se lo conoce desde hace mucho tiempo, recientemente se lo considero como plaga importante (Bing & Xian, 2009), se lo considera como insecto vector de la bacteria *Candidatus liberiberibacter*, causante de la enfermedad denominada como punta morada de papa (*Solanum tuberosum*) (Rubio O. , Almeyda, Cadena, & Sánchez , 2011). Para un adecuado manejo de esta enfermedad, gran parte de las estrategias están enfocadas al psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), para lo cual es necesario conocer su biología, ecología, distribución geográfica y dinámica poblacional (Mayaneza, Crosslin , & Buchman , 2009). Hoy en día, la aplicación de insecticidas es el principal método que han adoptado muchos agricultores para su control, pero el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) es capaz de generar resistencia, esto se debe a su alta fecundidad y a sus cortos tiempos de segregación. Por ende, se debe considerar otro tipo de estrategias para su control, que limiten el impacto del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) y de su enfermedad asociada. (Munyanza , 2013).

Los modelos basados en agentes son entidades programadas en computadora, capaces de interactuar con su entorno y otros agentes. Mediante la directriz de un código, pueden llevar a cabo un sin número de situaciones (Aguilera & Posada , 2017), uno de los mejores software para poder llevar a cabo un modelo basado en agentes es NetLogo, el cual permite simular sociedades principalmente y otros tipo de enfoques que se deseen modelar (Ginovart, 2015).

4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1 Beneficiarios Directos

Esta investigación está dirigida a las instituciones públicas y privadas, que deseen realizar proyectos en torno a agricultores que cultivan papa (*Solanum tuberosum*) los cuales estén siendo afectados con la enfermedad Punta morada, el empleo de Modelos Basados en Agentes (MBA) pueden predecir situaciones futuras y como se comportaría tanto la plaga (*bactericera cockerelli*) y los agricultores. Es ayudada mucho en la toma de decisiones.

4.2 Beneficiarios Indirectos

Los agricultores que estén siendo afectados por Punta Morada en Papa y deseen implementar una alternativa no química, en el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*). El uso de modelos basados en agentes es una técnica fácil que estudiantes pueden tomar para desarrollar sus proyectos, principalmente se usan en ciencias sociales pero puede ser empleado en diversas ramas del saber.

5 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), fue reportado por primera vez en Estados Unidos en 1909 (Šulc, 1909), desde ese momento, no se ha logrado establecer un adecuado manejo para esta plaga, que afecta a la familia de las solanáceas, conocido comúnmente en Ecuador como paratrioza, se lo considera como el insecto vector de *Candidatus Liberibacter*, se han realizado una serie de estudios para determinar el daño que este produce y el desarrollo de estrategias para su manejo sin embargo no se ha podido llegar a obtener resultados contundentes debido a la complicación del pato sistema de la plaga, hospedero y enfermedad (Bujanos Muñiz & Ramos Méndez , 2015).

La presencia de psílido de la papa sorprendió a los agricultores en México, Estados Unidos y Nueva Zelanda, ya que hasta el momento se creía que las condiciones ambientales de fríos extremos no permitían una buena adaptabilidad del insecto, sin embargo estos han encontrado nuevos hospederos silvestres como la dulcamara (*Solanum dulcamara*) o la hierba mora (*Solanum nigrum*), estas plantas crece todo el año y le brinda un ambiente favorable al insecto, una vez que las condiciones ambientales mejoran migran hacia los cultivos de papa y posteriormente se reproducen (Cuesta X. , 2017).

Debido a su capacidad de dispersión el insecto habita en una gran cantidad países tales como: Estados Unidos, México, Canadá (solo en verano), El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua. En el año 2006 se reportó la primera vez la presencia del psílido en Nueva Zelanda y en los últimos años en el oeste de Australia. Es una plaga de un importante impacto negativo a los productivos, puede llegar a generar pérdidas totales de cultivos, según reportes varios agricultores en Estados Unidos y México han abandonado sus cultivos debido a una alta severidad del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) (Olaniyan & Rodriguez, 2020).

En nuestro país en el año 2015, en la provincia del Carchi-San Gabriel se observaron sintomatología de punta morada (*Candidatus Phytoplasma aurantifolia*) la cual es transmitida por el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), se propago rápidamente generando así grandes pérdidas económicas a los productores de papa de la zona (Caicedo, y otros, 2015). Sin embargo no fue hasta el año 2017 que se reportó oficialmente por primera vez la presencia del psílido de la papa en la provincia de Pichincha, la investigadora (Castillo, et al., 2019) cree que pudo haber llegado desde Centro América o Estados Unidos debido al intercambio de productos agrícolas, así se estipula que llegó mediante material vegetativo a nuestro territorio (Castillo, Fu, & Burckhardt, 2019). Actualmente este insecto se ha propagado por las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi. Mientras que en las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Bolívar se ha reportado presencia de PMP en cultivos, probablemente por el uso de semilla contaminada, hasta el momento no se ha encontrado presencia de BC en estas localidades. En tanto en las provincias de Cañar, Azuay y Loja no se han encontrado las presencias del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) o Punta Morada (Castillo, 2019).

6 Objetivos

6.1 Objetivo general

Evaluar la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes.

6.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un modelo teórico con materiales bibliográficos y teorías de propagación del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), para el sustento de la simulación basada en agentes, en el software NetLogo.
- Desarrollar un modelo basado en agentes, en el software NetLogo, para la simulación de estrategias en el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) en cultivos de papa (*Solanum tuberosum*).
- Describir la dinámica y comportamiento de agricultores que implementan labores culturales como cambio de cultivo y uso de mallas antiafidas, para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*).

7 Tabla de actividades por objetivo

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
Examinar materiales bibliográficos y teorías de propagación del psílido de la papa (<i>Bactericera cockerelli</i>), para el sustento de la simulación basada en agentes, en el software NetLogo.	<p>Se usó la base de datos construida por (Villacres, Quimbiulco, 2019)</p> <p>Se realizó una investigación y lectura de artículos científicos, libros, manuales en portales de difusión científica como: google académico, scielo, scopus, biblioteca virtual de wageningen</p> <p>Se analizó el material bibliográfico y se plasmó las ideas más relevantes en un modelo teórico</p>	Creación de un modelo teórico que conceptualiza ideas para el MBA	Modelo teórico publicados en la plataforma Miro.

<p>Desarrollar un modelo basado en agentes, en el software NetLogo, para la simulación de estrategias en el control del psílido de la papa (<i>Bactericera cockerelli</i>) en cultivos de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)</p>	<p>Las ideas descritas en el modelo teórico, fue la basa para la programación de un código que se creó para el desarrollo del MBA</p> <p>Para el aprendizaje del lenguaje de programación de NetLogo se investigó en manuales de usuario.</p>	<p>Sé obtuvo un modelo basado en agentes de la adaptación de labores culturales para el control del psílido de la papa (<i>Bactericera cockerelli</i>)</p>	<p>Archivo que lee el software NetLogo</p>
<p>Describir la dinámica y comportamiento de agricultores que implementan labores culturales como cambio de cultivo y uso de mallas antiafidas, para el control del psílido de la papa (<i>Bactericera cockerelli</i>).</p>	<p>Se exportaron archivos Excel y gráficos que registraron lo ocurrido en el MBA</p> <p>Se analizó esta gráficas y sus comportamientos</p>	<p>Gráficos de curvas que explican cómo ha evolucionado la población del psílido de la papa (<i>Bactericera cockerelli</i>)</p>	<p>Archivos y graficas proporcionadas por el software</p>

8 Fundamentación científica

8.1 Psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*)

Es un pequeño insecto el cual llega a medir un aproximado de 2,5 mm, Los hospederos son: papa, tomate, berenjena, ají, entre otros. (Toledo , El cultivo de la papa en Honduras, 2013)

8.1.1 Taxonomía de *Bactericera cockerelli*

El psílido de la papa se identificó en 1909, los insectos fueron recolectados en plantas de ají (*Capsicum annuum*), las semillas fueron exportadas desde Sudamérica, en un principio pertenecían al género *Triozza*, luego fueron ubicados en el género *Paratriozza* y finalmente ser colocados en el género *Bactericera*. Hoy en día se le ha dado la siguiente clasificación (Bujanos Muñiz & Ramos Méndez , 2015).

Tabla N1: Taxonomía de *Bactericera cockerelli*

Hemíptera	<i>Triozidae</i>
Orden	<i>Hemiptera</i>
Suborden	<i>Homoptera</i>
Súper familia	<i>Psylloidea</i>
Familia	<i>Triozidae</i>
Género	<i>Bactericera</i>
Especie	<i>cockerelli</i>

Fuente: (Bujanos Muñiz & Ramos Méndez , 2015)

8.1.2 Origen y distribución

Se estipula que el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) es originario del sur de los Estados Unidos y del norte de México, en los estados de Arizona, Nuevo México, Texas y estados mexicanos vecinos (Espinosa, 2014), donde se estiman pérdidas de 26 millones de dólares, en varios cultivos pero principalmente en solanáceas. También se lo ha encontrado en Canadá, debido a las bajas temperaturas se creía imposible su dispersión en este país, sin embargo a encontrado hospederos temporales como plantas silvestres o arbustos, el insecto migra desde el sur de los Estados Unidos hacia Canadá (Munyanza , 2013).

Actualmente se encuentra en los países de Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua; en Centroamérica (Padilla, Casasola, & Floribeth, 2010). Debido a intercambios comerciales ha llegado hasta Nueva Zelanda y Australia; en Oceanía (Munyanza, 2013).

8.1.3 Ciclo biológico de *Bactericera cockerelli*

Su desarrollo presenta tres etapas en su ciclo biológico, las cuales incluyen: huevo, ninfa y adulto (Ramírez et al., 2008).

8.1.4 Huevecillos

Los huevos son depositados en la parte inferior de la hoja principalmente cerca del borde (Munyanza, 2013). Tienen una forma ovoide, de una coloración amarillenta brillante, en uno de sus extremos se puede apreciar un pequeño filamento, el cual tiene como función darle sostén en la hoja (Bujanos Muñiz & Ramos Méndez, 2015). Poseen un tamaño aproximado de 0,3mm de alto y 0,1 mm de ancho. Generalmente se los puede encontrar en el envés de la hoja en casi todos sus estadios (Olaniyan & Rodriguez, 2020).

8.1.5 Ninfa

Este estadio a su vez se divide en cinco sub estadios en los cuales varía su tamaño y sus características. Se ubican en la parte inferior de las hojas, se desplaza a través del tallo para encontrar un sitio para alimentarse, durante todo este periodo son sedentarios, prefieren lugares protegidos y sombreados (Ramírez, y otros, 2008). Según su etapa puede oscilar su tamaño de 0,40 por 0,20 cm y 0,75 por 1,53 cm (Munyanza, 2013).

8.1.6 Adulto

Apenas emerge presenta una coloración verde amarilla y un par de alas blancas, sin embargo, estas últimas se tornan transparentes al cabo de 3 o 4 horas. Así mismo en 7 días presenta un cambio en la coloración de su cuerpo pasando a obtener un color café oscuro o negro (Bujanos Muñiz & Ramos Méndez, 2015). En esta etapa son más activos a comparación de sus estadíos más tempranos, son buenos voladores y en caso de ser necesario pueden llegar a saltar (Munyanza, 2013). A temperaturas adecuadas el insecto posee un promedio de vida en hembras de unos 48,7 días y en machos un promedio de 22,0 días (Abdullah, 2008). Las hembras adultas ovopositan aproximadamente 500 huevos, sin embargo han reportes de hembras que han llegado a ovopositar hasta 1500 huevos (Cuesta, Peñaherrera, Velásquez, & Castillo, 2018).

8.1.7 Diseminación de *Bactericera cockerelli*

Al psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) se lo ha encontrado flotando en el aire a una altura de 1500 m, debido a esta característica, este insecto ha recorrido cientos de kilómetros de su lugar de origen, logrado así llegar a localidades en la que las condiciones climáticas son favorables para su desarrollo (Espinosa, 2014). También es capaz de trasportarse a través de material vegetativo y debido al intercambio comercial, ocurren importaciones accidentales de este tipo de materiales infectados; de manera se cree que entro a Nueva Zelanda y Ecuador (Walker , Allen , Tegg, White , & Wilson , 2015).

8.1.8 Temperaturas mínimas y máximas de desarrollo, reproducción y supervivencia de *Bactericera cockerelli*

Tabla N° 2: temperaturas de desarrollo de *Bactericera cockerelli*

El psílido de la papa se verá afectado o beneficiado, en las temperaturas.	Temperatura (C °)
Desarrollo normal	16 – 31
Mayor número de ovoposiciones	24 – 27
Reducción de ovoposiciones (temperatura máxima)	32 – 34
Reducción de ovoposiciones (temperatura mínima)	8 – 15
Supervivencia afectada (temperatura máxima)	> 35
Supervivencia afectada (temperatura mínima)	< 7

Fuente: (Espinosa, 2014)

8.1.9 Daños que ocasiona *Bactericera cockerelli*

El psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) se alimenta de al menos 20 diferentes familias de cultivos, sin embargo, la principal familia hospedadora de este insecto, son las solanáceas (Olaniyan & Rodriguez, 2020). Puede generar pérdidas parciales o totales de cultivos, los afecta en su etapa de ninfa, causando así un amarillamiento y debilitamiento de las plantas, lo cual afecta el rendimiento y la calidad del fruto o tubérculo (Padilla, Casasola, & Floribeth, 2010).

Se lo considera responsable de la transición de *Candidatus liberebacter solanacearum* (causante de punta morada), no se tiene claro como este lo transmite, pero se cree que al alimentarse, propaga la enfermedad (Almeyda , Sánchez , & Garzón , 2008) (Muyaneza, Crosslin, & Upton, 2007) (Melgoza, y otros, 2018). Se estima que un adulto puede llegar

a infectar a una planta de papa con la bacteria en un tiempo estimado de seis horas de contacto con la planta. En su etapa de ninfa es poco probable la transmisión de *Candidatus liberibacter solanacearum*, sin embargo es capaz de generar pérdidas considerables en el cultivo (Espinosa, 2014).

Si bien *Bactericera cockerelli* es considerado como principal insecto vector de *Candidatus* no toda la población es portadora de la enfermedad, un estudio afirma que con la mera presencia del insecto en el cultivo puede generar pérdidas de hasta un 93% del rendimiento. Existen reportes de agricultores en México y Estados Unidos con un índice de afección y severidad elevado, al cabo de un tiempo su control ya no era rentable y optaban por abandonar sus cultivos, siendo así un foco de libre infección para los demás agricultores (Muyaneza , y otros, 2008), si los insectos son controlados, el cultivo puede llegar a recuperarse y continuar con su desarrollo normal (Espinosa , Rivera , Brown , & Weller , 2014).

8.2 Candidatus liberebacter

Son bacterias gran negativa de la familia de la *Rhizobiaceae*, son considerados como parásitos obligados en plantas e insectos, es imposible adaptarlas a un medio de cultivo. Se han identificado alrededor de cinco haplotipos a nivel mundial; sin embargo solo los haplotipos A y B están asociados con el psílido de la papa en América (Tomilhero , Ibanez , Azucena , Carvalho , & Tamborindeguy , 2016). Se la asocia con enfermedades como Zebera chip y Punta morada (Tapia , Rojas , Alviter , Ocampo , & Espinoza , 2015). Es capaz de multiplicarse en las células eucariotas de plantas e insectos vectores, se lo conoce como parásito intercelular. La coevaluación de las bacterias con su hospedador ha permitido una fácil adaptación (Palomo , Siverio, & Cubero, 2017). Plantas que han sido afectadas con la bacteria (*Candidatus liberibacter*), presentan abultamiento en el floema necrótico y dispersión a través del sistema vascular, acumulación en exceso de almidón, formación de floema fuera de lo normal. Se estima que la necrosis que presenta se da debido al bloqueo en el flujo de nutrientes, el cual conlleva a cambios anatómicos como el moteado (Tapia , Rojas , Alviter , Ocampo , & Espinoza , 2015).

8.2.1 Punta morada (PMP)

La enfermedad es transmitida por varias especies, se describió por primera vez por Long en el años de 1935 en los Estados Unidos (Long , 1935), una vez establecido afecta a cultivos de papa, con lo cual es capaz de general pérdidas millonarias a los agricultores.

Según informen dependiendo del avance de la infección puede disminuir la producción de tubérculos entre 10 y 100 % (Rubio, Cadena, & Vázquez, Manejo integrado de punta morada de la papa en el Estado de México, 2013).

En Ecuador es una enfermedad nueva, en los últimos años se ha venido propagando en nuestro territorio, mientras tanto que países los países vecinos de Colombia y Perú no se ha reportado su presencia, sin embargo se están preparando para una oportuna llegada tanto del insecto vector como el patógeno (Cuesta , y otros, 2018).

8.2.2 Sintomatología de Punta Morada en papa

Esta enfermedad puede atacar al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en cualquier etapa fenológica, presenta un desarrollo anormal, cierto ejemplares afectados presentan un tamaño mayor o menor al normal, las hojas superiores tienden a enrollarse y se tornan de una coloración amarilla o morado, los peciolos se ensanchan, crecimiento anormal en nudos del tallo; la distancia entre estos se acorta, presenta tallos en forma de zigzag, formación de tubérculos aéreos y una muerte prematura del cultivo (Cuesta , Peñaherrera , Velásquez , & Castillo , 2018).

8.2.3 Punta morada en Ecuador (*Solanum tuberosum*)

Según el (MAGAP , 2019) el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) posee un rendimiento aproximado de 16,28 ton/ha, sin embargo con la presencia de punta morada en los cultivos se ve seriamente afectado su rendimiento (Castillo, 2019). En Ecuador se observó por primera vez zonas paperas que fueron atacados por PMP en la provincia de Carchi en el año 2013, se estima que produjo perdidas en rendimiento de más del 50% de los cultivos (INIAP, 2018). Puede producir una pérdida total del cultivo, se ha reducido el área de siembra de papa y por ende la pérdida de varias plazas de trabajo. Ante una oferta reducida y una demanda creciente los precios de papa en nuestro país se han elevado, así mismo ha incrementado el uso de agroquímicos en los cultivos (Castillo, 2020).

8.3 Control de *Bactericera cockerelli* y punta morada (PMP)

Cuando la enfermedad conocida como punta morada se establece en el cultivo, no se puede ser controlada, debido a que no existe un método eficaz para su control pero se recomienda eliminar plantas que presenten sintomatología asociada a PMP (Rubio, Cadena, & Vázquez, Manejo integrado de punta morada de la papa en el Estado de México, 2013). Debido a esto la gran mayoría de las estrategias a implementar deben centrarse al psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), debido a su rápida capacidad de

reproducción (Cuesta , Peñaherrera , Velásquez , & Castillo , 2018). Los productores han aplicado diferentes estrategias para el manejo de la plaga, siendo el control químico el que mayormente se emplea. A pesar de tácticas usadas por parte de los agricultores no ha sido posible controlar el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) por completo. (Vereijssen , 2020)

8.3.1 Control químico de *Bactericera cockerelli*

Según (Ghraralari , y otros, 2009) con la implementación de abamectina, existe una alta tasa de mortalidad en adultos de *Bactericera cockerelli* y las pruebas indican que abamectina no afecta a plantas expuestas, este ingrediente activo resulta ser muy bueno para un programa de rotación de plaguicidas en contra del psílido de la papa. También se pueden usar una gran variedad de subgrupo químicos o ingredientes activos como: carbamatos, organofosforados, endosulfán, pirenetroides, neonicotinoides, flupyradifurone, spinosinos, entre otros (Bujanos Muñoz & Ramos Méndez , 2015).

Si no se tiene un adecuado programa de rotación de insecticidas, fácilmente paratarioza (*Bactericera cockerelli*) es capaz de crear resistencia ante cualquier pesticida, si se usa continuamente; eventualmente los insectos sensibles morirán y los insectos resistentes se multiplicarán hasta que la población está compuesta por individuos resistentes (Toledo, 2014).

Actualmente, la aplicación de plaguicidas, es la principal estrategia de control que han adoptado los productores de papa, sin embargo el número de fumigaciones supera cualquier expectativa, siendo así que, en Nueva Zelanda se realizan hasta 15 aplicaciones de insecticidas en un ciclo de cultivo, mientras que en México este número se duplica, llegando así a aplicar 30 veces productos agro tóxicos; el uso indiscriminado e irracional de este recurso trae como consecuencias la degradación del medio ambiente, la inocuidad de los alimentos y el deterioro salud humana (principalmente de agricultores que aplican insecticidas) (Olaniyan & Rodriguez, 2020). Agricultores mexicanos han aplicado controles químicos en sus cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y han perciben que su eficiencia biológica no es satisfactoria (Vega , y otros, 2008).

8.3.2 Control biológico de *Bactericera cockerelli*

Para el control biológico del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) se han empleado hongos endoparásitos, insectos depredadores y parasitoides. En el caso de hongos se han usado *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* e *Isaria fumosorosea*; los cuales han

demostrado ser efectivos en el control de *Bactericera cockerelli* causando una mortalidad de un 78 al 99%. Entre sus enemigos naturales podemos destacar a larvas de crisopa, coccinélidos, geocóridos, anthocóridos, míridos, nabidos y larvas de sírfidos; disminuyen drásticamente la población de *Bactericera cockerelli* y disminuye la ovoposición, se estima un control de 77,2 a 95,4 % (Delgado , y otros, Candidatus Liberibacter solanacearum patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control, 2019).

Un control biológico puede llegar a ser eficiente, sin embargo presente ciertas desventajas como el desconocimiento de su manejo, falta de apoyo económico, falta de personal especializado, no está disponible en el mercado, insectos benéficos susceptibles ante la aplicación de insecticidas (Ceballos Vázquez , 2010), sin embargo los agricultores no implementan este control debido a que no garantizan un control total de la plaga en el cultivo (Pérez , 2018)

8.4 Labores culturales para el control de *Bactericera cockerelli*

8.4.1 Rotación de cultivos para el control de *Bactericera cockerelli*

Se debe evitar sembrar papa (*Solanum tuberosum*) en un mismo sitio, por lo cual es recomendable cambiar de cultivo (Cuesta , Peñaherrera , Velásquez , & Castillo , 2018), que no sean pertenecientes a la familia de las solanáceas como tomate, ají, berenjena. También es importante eliminar rastrojos del cultivo anterior, esto con la finalidad de evitar la diseminación del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) por medio de material vegetativo (Toledo , 2013). Se debe rotar con cultivos como maíz, hortalizas, frejol (Espinoza , Rivera , Brown , & Weller , 2014).

8.4.2 Malla antiáfidos para el control de *Bactericera cockerelli*

Mediante estudios realizados en Nueva Zelanda afirman de las cubiertas de mallas reducen el número de ninfas y adultos de *Bactericera cockerelli*, además incrementan el tamaño del tubérculo, obtuvieron mejores resultados en comparación de parcelas que no fueron cubiertas donde si hubo presencia del insecto (Merfield , y otros, 2018). Se reduce el daño al follaje a causa de punta morada, y también se reduce la presencia de otras enfermedades como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) (Vereijssen, Smith , & Weintraub, 2018), una investigación muy similar en México demostró que la implementación de una malla reducía la afección de PMP, pero aquí obtenían rendimientos menores a comparación de cultivos sin malla, también cabe señalar que esta estrategia es muy costosa, su costo es igual o menor a 9 ciclos de aplicaciones con

insecticidas (control químico), por ende no todos los agricultores estarían dispuestos a pagar un alto precio por la protección de sus cultivos de papa (Vázquez, Rubio, & Ramos, 2019).

8.5 Modelo basado en agentes

El empleo de los modelos basados en agentes busca estudiar fenómenos que se presenten las sociedades, este método economiza tiempo y recursos, nos permite analizar variables para posteriormente seleccionar las de mayor interés y seguir con la investigación (Quezada & Canessa, 2010)

Una simulación basada en agentes es un método por computadora relativamente nuevo, el cual nos permite tratar de manera sencilla la complejidad de un gran número de problemas que presenta la sociedad, una de las grandes virtudes de esta técnica es que, permite explicar cómo una estructura social evoluciona a través de sus acciones. El uso de MBA se usa principalmente en ciencias sociales, sin embargo se puede emplear en otras áreas (Ignacion & Valdecasas).

Los MBA consisten en un conjunto de elementos o agentes, los cuales poseen características específicas e interactúan entre sí, esto mediante la definición de reglas que permitan un desarrollo en su entorno. Con esta herramienta se puede implementar un mundo en el cual podamos observar y pronostica futuros escenarios, al mismo tiempo experimentar posibles decisiones y analizar el comportamiento de los agentes ante la implementación de las mismas (Barbati, Bruno, & Genovese , 2012).

8.5.1 Software para MBA

Los modelos basados en agentes son modelos computacionales, y para poder usarlos es necesario implementarlos en un código de programación y ejecución en un entorno informativo convenientes, esto con la finalidad de obtener datos que posteriormente serán analizados, el desarrollo de códigos de computación se lo desarrollo mediante el uso de lenguajes como FORTRAN, BASIC, C, JAVA o C++, estos dificultan su uso en MBA, sin embargo existen plataformas que facilitan su uso, permitiendo un manejo adecuado. Esto facilita enormemente la tarea de programación y ejecución que toda simulación y modelación requiere. Por ejemplo STARLOGO, es un software que fue diseñado para ser usado en el ámbito educativo, una de las mejores opciones dentro de la simulación de modelos basados en agentes es NETLOGO, es muy usado, ya que dispone de elementos

interesantes tanto para poder ilustrar y divulgar el empleo de los modelos basados en agentes como para poder trabajar activamente con ellos (Ginovart, 2015).

8.6 NetLogo

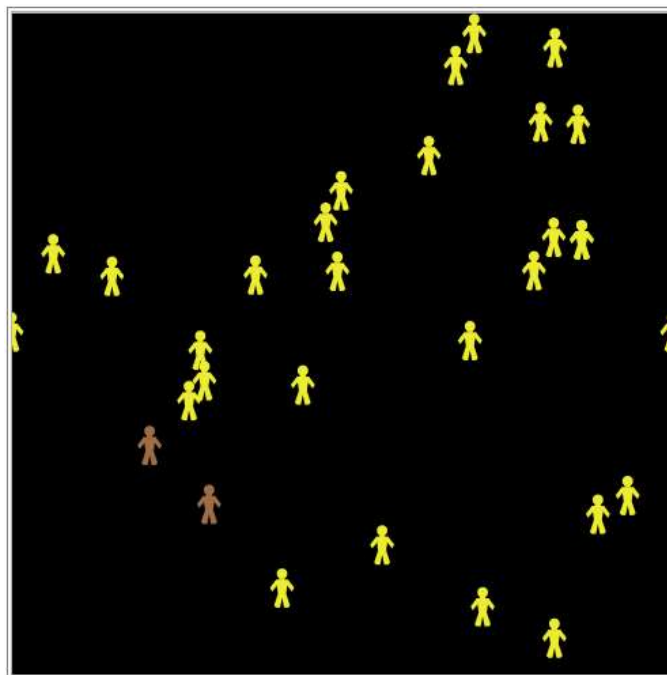
Es un software empleado para programar y simular fenómenos naturales y sociales. Fue creado en 1999 y está en continuo desarrollo por parte del Centro de Aprendizaje Conectado y Modelado Basado en Computadora. Es adecuado para situaciones complejas de la realidad que se desarrollan a lo largo del tiempo, el usuario puede dar indicaciones a un gran número de agentes, todos operan de forma independiente, esto hace posible examinar el comportamiento de los individuos y también de la población entera, es una herramienta fácil de usar, pero es lo suficientemente avanzado para investigaciones en diferentes campos (Wilwinsky, 2019).

8.6.1 Terminología de NETLOGO

Si bien la terminología es semejante a otros programas, es ciertamente distinto, esto debido a versiones anteriores del software o decisiones por parte de los desarrolladores, NETLOGO emplea el lenguaje de JAVA (Bennetl, 2015).

- Agente: Se lo denomina a toda entidad que contenga datos, comportamiento y puede o no recibir órdenes de movimiento independiente (Bennetl, 2015).

Gráfico N°1: Ejemplo de agentes



Fuente: (Vicente, 2020)

- Comando: Son instrucciones que el programa recibe y debe ejecutar, los comandos pueden ser invocados de los comandos primitivos (comandos definidos por el software) o de los procedimientos que genere el usuario (Bennetl, 2015).

Gráfico N° 3: Ejemplo de comando

```
observer> ask turtles [forward 2];;pedir a los agentes, caminar dos espacios
```

Fuente: (Vicente, 2020)

- Procedimiento: Puede ser uno o varios comandos, se lo escribe mediante la palabra to, seguida del nombre del procedimiento y la secuencia de comandos, los cuales realizaran una acción, para indicar que es el fin del procedimiento se escribe la palabra clave end (Bennetl, 2015).

Gráfico N° 4: Ejemplo de procedimiento

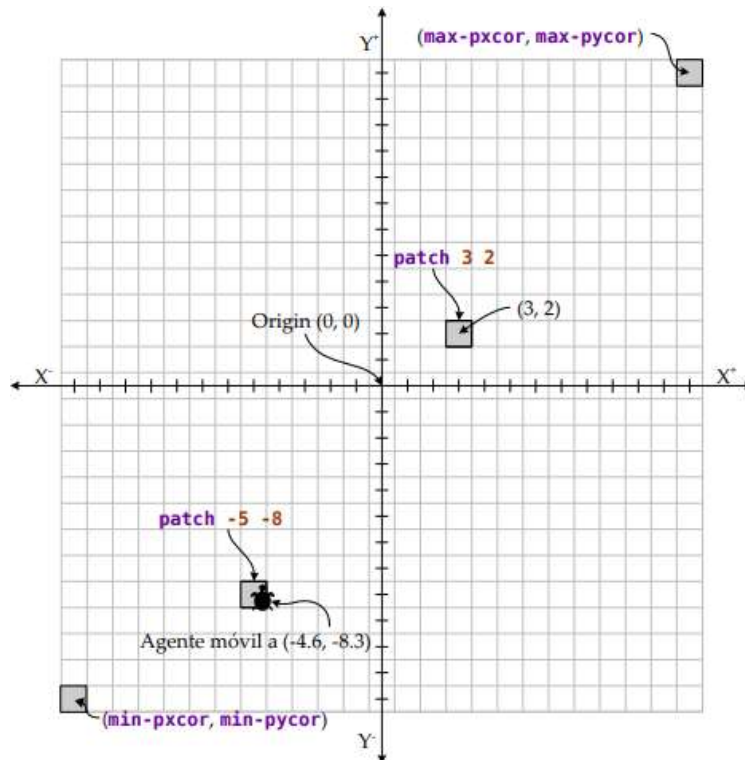
```
to iniciar;;para el procedimiento iniciar, seguir las siguientes indicaciones
ca
  crt 10 [;;crear 10 tortugas
    set xcor -16 set ycor 16;;situar tortugas en las coordenadas x:-16 y:16
    set color brown;;pedir que todos los agentes obtengan una tonalidad marrón
    set shape "cow";;pedir que todos los agentes obtengan una forma de "cow"
  end;;final del procedimiento
```

Fuente: (Vicente, 2020)

8.6.2 Mundo de NETLOGO

El programa emplea un plano cartesiano para poder situarse en el espacio, mediante el cual podemos usarlo para ubicar a los agentes en la simulación (Bennetl, 2015).

Gráfico N°5: Mundo de NetLogo



Fuente: (Bennetl, 2015)

8.6.3 Tipos de agentes

- Observador (observer): Es un agente que no se puede visualizar en NetLogo pero es el único que puede realizar algunas operaciones globales en el modelo (Bennetl, 2015).
- Parcela (patch): Es una cuadrícula en el mundo, carece de movimiento, pero cada uno puede tener su propio color, etiqueta o valor (Bennetl, 2015).
- Tortuga (turtle): Este agente puede moverse alrededor del mundo, según las instrucciones que se la haya especificado. Puede poseer un color, forma, tamaño, valor, entre otros (Bennetl, 2015).
- Enlace (link): Se mueve en relación a otro agente, no es posible darle instrucciones de movimiento directamente, el movimiento de este deja un rastro, y podremos inspeccionar los lugares por donde ha circulado en el mundo (Bennetl, 2015).

8.6.4 Protocolo ODD

Si bien el uso de MBA es muy factible, presenta una carencia, es la falta de una descripción formal del modelo, para que el usuario que lo vea por primera vez, tenga una noción de lo que está visualizando y poder entender lo que ocurre dentro de la simulación. El empleo del protocolo ODD tiene como finalidad crear una descripción práctica del MBA creado, que sea sencilla de entender, así mismo ayudarle al autor del modelo a organizar su información de forma ordenada (Buffa, 2015)

9 PREGUNTA CIENTIFICA

¿Cómo influye la capacidad económica del agricultor ante la implementación de las labores culturales en la dinámica población del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*)?

10 Metodología

10.1 Búsqueda de material bibliográfico

Este trabajo se respaldó bibliográficamente, por lo cual se buscó información relacionada con el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*). A través de diferentes portales webs, se consultaron artículos científicos, libros y manuales; tanto en inglés como en español. En los portales de investigación se buscó las siguientes palabras claves: *Bactericera cockerelli*, control de *Bactericera cockerelli*, *Solanum tuberosum*, labores culturales, *Solanum tuberosum*, *Candidatus liberibacter*, Punta morada.

10.2 Construcción de modelo teórico

Una vez establecida la información de interés, se procedió a la contextualización de ideas, mediante la construcción de un modelo teórico en la plataforma online Miro, posteriormente se realizaron correcciones del modelo, se estableció temas relacionados con la ecología y diseminación del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), rendimientos e información general del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y labores culturales para el control del psílido.

10.3 Construcción de modelo basado en agentes

La investigación fue desarrollada en el programa NetLogo (versión 6.1.1) (<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/download.shtml>). Para crear un modelo basado en

agentes, es necesario crear un código que será ejecutado por el programa, para facilidad de usuarios de este software, existe en la web muchos tutoriales y manuales, para el presente trabajo se estudió y se consultó en las siguientes fuentes: (Rand , 2019), (Wilensky, 2016), (Bennetl, 2015). Se escribió un código (Anexos), el cual se ejecuta para dar inicio a la simulación basado en agentes. Finalmente obtenemos el MBA, en el cual podemos visualizar datos como, la población del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), porcentaje de lotes (sanos, enfermos y otros cultivos), dinámica de agricultores que adoptan una labor cultural.

10.4 Protocolo ODD del modelo construido

En el MBA comprende la aparición de la plaga conocida como psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), sobre cultivos sanos de papa (*Solanum tuberosum*), apreciamos como avanza la infestación y reproducción del insecto dentro del cultivo. Sobre cada cultivo se sitúa un agricultor, el cual observara su entorno y según cómo evolucione la el porcentaje de cultivos infectados en su alrededor, implementara una labor cultural sobre su cultivo para evitar la infección de su lote, sin embargo solo podrá actuar su cumple con ciertos condicionantes.

Tanto los agricultores como el psílido de la papa, están definidos como tortugas, sin embargo ambos tienen características distintas, el psílido de la papa posee un pequeño tamaño, es capaz de moverse por cualquier sitio, cuando encuentre un cultivo sano lo infectara cambiando su tonalidad a un violeta característico de PMP y se reproducirá. Vivirá un tiempo limitado de 10 ciclos, al cabo de este tiempo el insecto morirá, cumpliendo así su ciclo biológico. Los agricultores se mantienen estáticos sobre su lote, son capaces de evaluar su entorno y actuar sobre su cultivo, implementando una labor cultural, sin embargo depende de varias condiciones de debe cumplir para su implementación, una de estas es su capacidad adquisitiva o riqueza, cada agricultor posee un color representativo, siendo así amarillo (alto poder adquisitivo), azul (mediano poder adquisitivo) y rojo (bajo poder adquisitivo). Los cultivos están representados con pathces, siendo así, parches de color verde (cultivos sanos), parches de color amarillo (cultivos infestados), parches de color marrón (otros cultivos) y parches de color verde oscuro (cultivos con malla antiafida), cuando el porcentaje de lotes infectados aumenta o disminuye se ve reflejado en la variable porcentaje de cultivos infectados, si el cultivo está sano o protegido con una malla antiafida será 17 ton/ha, pero si el cultivo está

infectado su rendimiento será de 2 ton/ha, esta información se refleja en la variable rendimiento de cultivos.

Uno de los principales factores para la supervivencia y reproducción de la plaga es la temperatura, para poder controlar este factor, el modelo posee un deslizador (slider) bajo el nombre de temperatura, con el que podemos controlar la temperatura del modelo y como nos indica la literatura, puede vivir a una temperatura de entre 7 a 32 ° C, a temperaturas mayores a esta se ve comprometida la supervivencia del insecto, las ovoposiciones y eclosiones, a una temperatura de 35 ° C o mayor el insecto no puede vivir, en su contraparte a temperaturas oscilantes entre 7 y 15 ° C se ven afectadas las ovoposiciones y eclosiones, finalmente el insecto no resiste temperaturas menores a 7 ° C.

Para la implementación de una labor cultural, depende de las variables rendimiento de cultivos cercanos, porcentaje de infectados y la labor que este activa en ese momento, el agricultor evaluara su entorno y si, el rendimiento de cultivos es menor al valor establecido por el deslizador rendimiento de cultivos cercanos, el porcentaje infectados es igual o mayor al valor impuesto por el slider umbral, hay que considerar también la labor cultural que se implemente en el momento de la simulación, las labores de alto costo solo lo podrán implementar agricultores con un alto poder adquisitivo, si bien todos podrán cambiar su cultivo una vez que haya sido afectado, solamente los agricultores de alto y mediano poder adquisitivo podrán cambiarlo inmediatamente.

Para la implementación de una labor cultural dependerá del rendimiento de los cultivos cercanos y el porcentaje de infección alrededor de cada lote. También dependerá del poder adquisitivos de cada agricultor, si posee un alto poder adquisitivo podrá adquirir una labor cultural de un alto y bajo costo, si su poder adquisitivos el mediano podrá adquirir a una labor cultural de bajo costo, si su poder adquisitivo es bajo no podrá beneficiarse de una labor cultural, sin embargo todos los agricultores si han sido afectados después de un tiempo de cinco ciclos podrán cambiar a otro cultivo o un cultivo sano de papa. El agricultor evaluara su entorno y si, el rendimiento de cultivos es menor al valor establecido por el deslizador rendimiento de cultivos cercanos, el porcentaje infectados es igual o mayor al valor impuesto por el slider umbral podrá acceder a una labor cultural.

Para configurar la simulación se debe pulsar el botón reiniciar (setup), este posicionara los cultivos, mayormente estará compuesto por cultivos sanos de papa, en menor número cultivos infectados y otros cultivos. Sobre todos los cultivos se posicionara un agricultor.

Se crearan 10 psilidos de papa (*Bactericera cockerelli*) se posicionaran de forma aleatoria sobre los cultivos. Para correr la simulación se pulsara el botón empezar (go), el psílido de papa comenzara a moverse y si encuentra un cultivo sano (patch de color verde) lo infectará, cambiando el patch a color violeta, al mismo tiempo también se reproducirá. Los agricultores evaluarán las variables y protegerán su cultivo cambiando a otro cultivo (patch de color marrón) o implementando una malla antiafida (patch de color verde oscuro). Cuando el agricultor posea otro cultivo, observa su entorno y si la infección baja a un 20% volverá a su cultivar papa, en el caso de que el agricultor haya implementado una labor cultural de alto costo no cambiara y se mantendrá permanentemente con esta labor.

10.5 Factores en estudio

- Poblacion de *Bactericera cockerelli*
- Porcentaje de lotes de papa sanos e infectados y otro tipo de cultivos
- Dinamica de adopción de una labor cultural

10.6 Construcción de escenarios

Se establecieron 9 escenarios diferentes, modificando los slider o deslizadores Rendimiento de cultivo cercano y Umbral. Y los switches o interruptores Practica de alta inversión económica y Practica de baja inversión económica.

Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha

Tabla N° 3: Escenarios de modelo, labores culturales

Escenarios	Inversión de la labor cultural	Umbral, porcentaje de permisividad a la presencia de PMP en su entorno	Rendimiento de cultivos cercanos menor a (ton/ha)
Escenario 1	Alta inversión económica implementación de malla antifida	El agricultor permite 80% de presencia de PMP	El agricultor acepta hasta 5 ton/ha como rendimiento promedio en su entorno

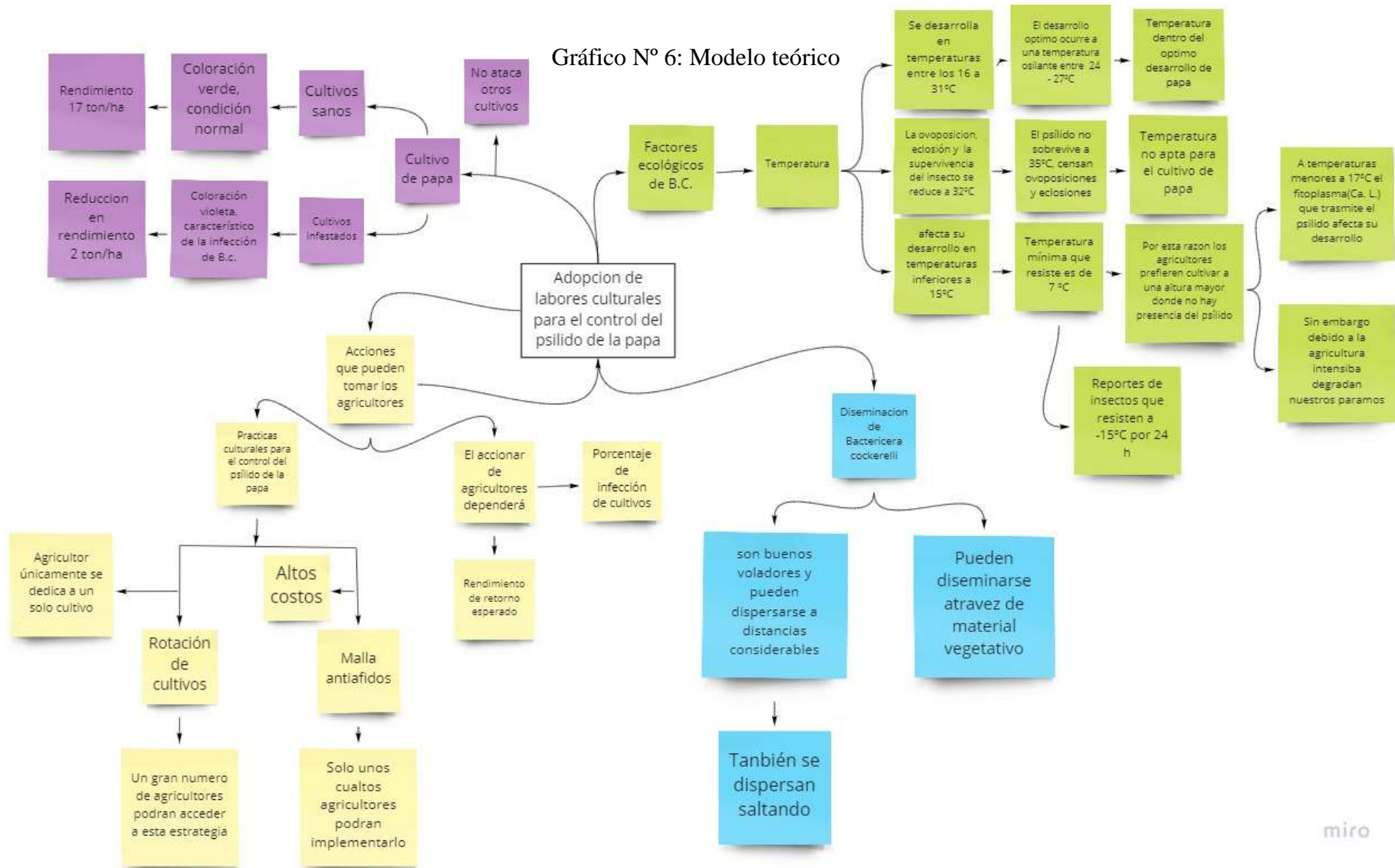
Escenario 2	Alta inversión económica implementación de malla antifida	El agricultor permite 80% de presencia de PMP	El agricultor acepta hasta 10 ton/ha como rendimiento promedio en su entorno
Escenario 3	Alta inversión económica implementación de malla antifida	El agricultor permite 20% de presencia de PMP	El agricultor acepta hasta 5 ton/ha como rendimiento promedio en su entorno
Escenario 4	Alta inversión económica implementación de malla antifida	El agricultor permite 20% de presencia de PMP	El agricultor acepta hasta 10 ton/ha como rendimiento promedio en su entorno
Escenario 5	Baja inversión económica implementación de cambio de cultivo	El agricultor permite 80% de presencia de PMP	El agricultor acepta hasta 5 ton/ha como rendimiento promedio en su entorno
Escenario 6	Baja inversión económica implementación de cambio de cultivo	El agricultor permite 80% de presencia de PMP	El agricultor acepta hasta 10 ton/ha como rendimiento promedio en su entorno
Escenario 7	Baja inversión económica implementación de cambio de cultivo	El agricultor permite 20% de presencia de PMP	El agricultor acepta hasta 5 ton/ha como rendimiento promedio en su entorno
Escenario 8	Baja inversión económica implementación de cambio de cultivo	El agricultor permite 20% de presencia de PMP	El agricultor acepta hasta 10 ton/ha como rendimiento promedio en su entorno
T. Control	El agricultor no implementa ninguna labor cultural	-	-

Fuente: (Vicente, 2020)

11 RESULTADOS

11.1 Resultados obtenidos de la revisión de materiales bibliográficos

Una vez que se ha establecido las ideas y se lo ha conceptualizado en un modelo teórico (Anexo 22), se obtuvo el material que sustentó al modelo basado en agentes. Se consultó en las siguientes referencias: (Abdullah , 2008), (Bujanos Muñiz & Ramos Méndez , 2015), (Castillo, 2019), (Cuesta , Peñaherrera , Velásquez , & Castillo , 2018), (Espinosa, 2014) (Cuesta , Peñaherrera , Velásquez , & Castillo , 2018) (Kranz , 1990) (MAGAP , 2019) (Merfield , y otros, 2018), (Monar , Reinoso , Rivanedeira , & Cuesta , 2007) (Munyanza , 2013) (Olaniyan & Rodriguez, 2020; Tapia , Rojas , Alviter , Ocampo , & Espinoza , 2015), (Walker , Allen , Tegg, White , & Wilson , 2015), (McQuaid, y otros, 2017), (Milne, Bell, Hutchison, & Whitmore, 2015), (Parga , y otros, 2011), (Delgado, y otros, 2019), (Bolanos, Gallegos, Ochoa, & Isuasti, 2019)

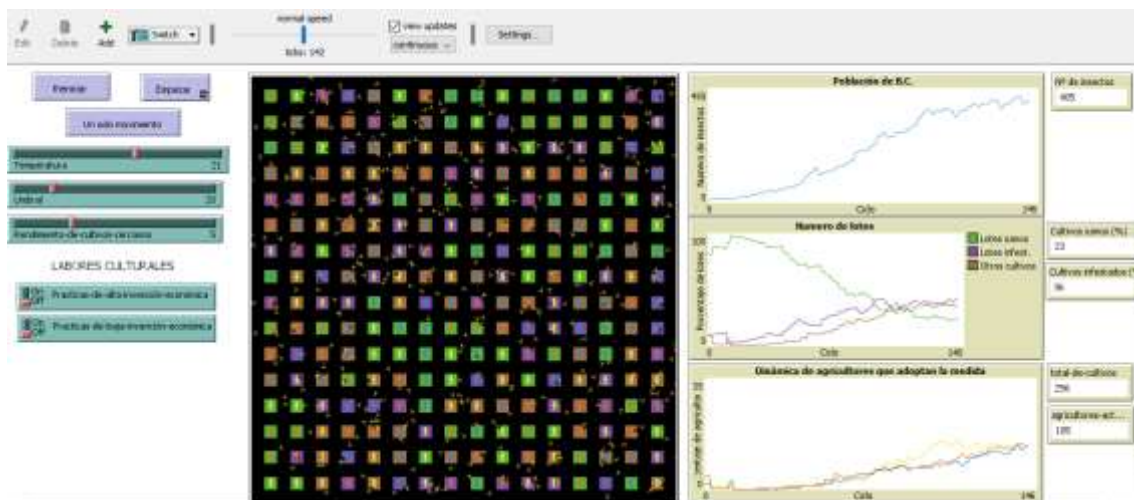


Fuete: (Vicente, 2020) Link: https://miro.com/app/board/o9J_ktTY130=/

11.2 Resultados obtenidos del desarrollo del modelo basado en agentes

Toda la información del modelo teórico se constituye en la fuente principal para la construcción del MBA. Para poder obtener este resultado fue necesario la programación de un código (Anexo 1-20), el cual le da indicaciones al programa, para la creación diferentes agentes tales como: agricultores, bactericidas, cultivos sanos, infectados y otros, que interactúan y evolucionan entre ellos con el paso de los ciclos (tabla N° 4, 5, 6).








Gráfico N° 7: Modelo basado en agentes

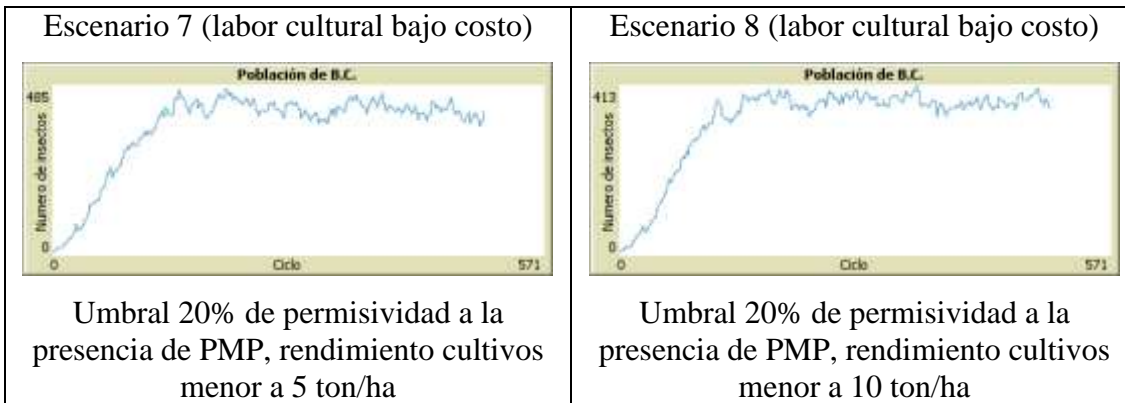


Fuente: (Vicente, 2020)

11.3 Resultados obtenidos la dinámica de agricultores

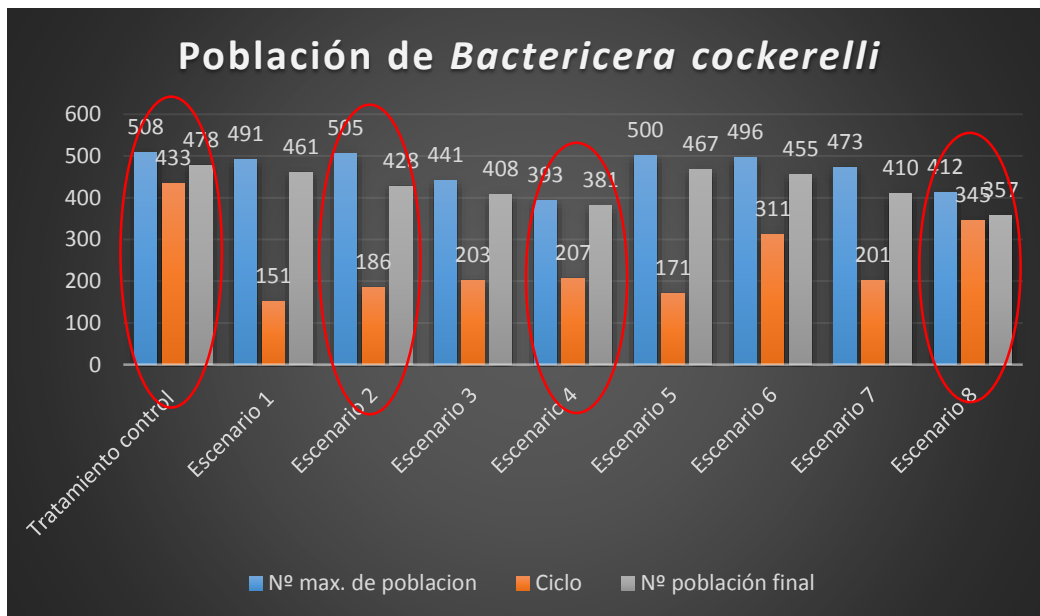
Tabla N° 4: Resultados de la población de *Bactericera cockerelli*

Tratamiento control (Sin accionar del agricultor)	
	
<p>Escenario 1 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 5 ton/ha</p>	<p>Escenario 2 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha</p>
<p>Escenario 3 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 20% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 5 ton/ha</p>	<p>Escenario 4 (1 uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 20% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha</p>
<p>Escenario 5 (labor cultural bajo costo)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 5 ton/ha</p>	<p>Escenario 6 (labor cultural bajo costo)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha</p>



Fuente: (Vicente, 2020)

Gráfico N° 8: Comparación entre escenarios (Población de *Bactericera cockerelli*)



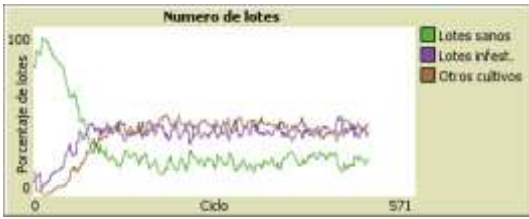

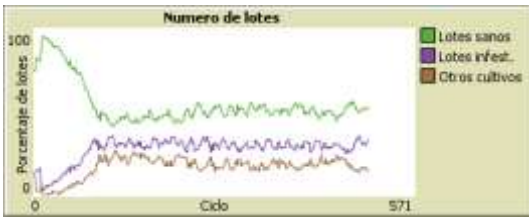


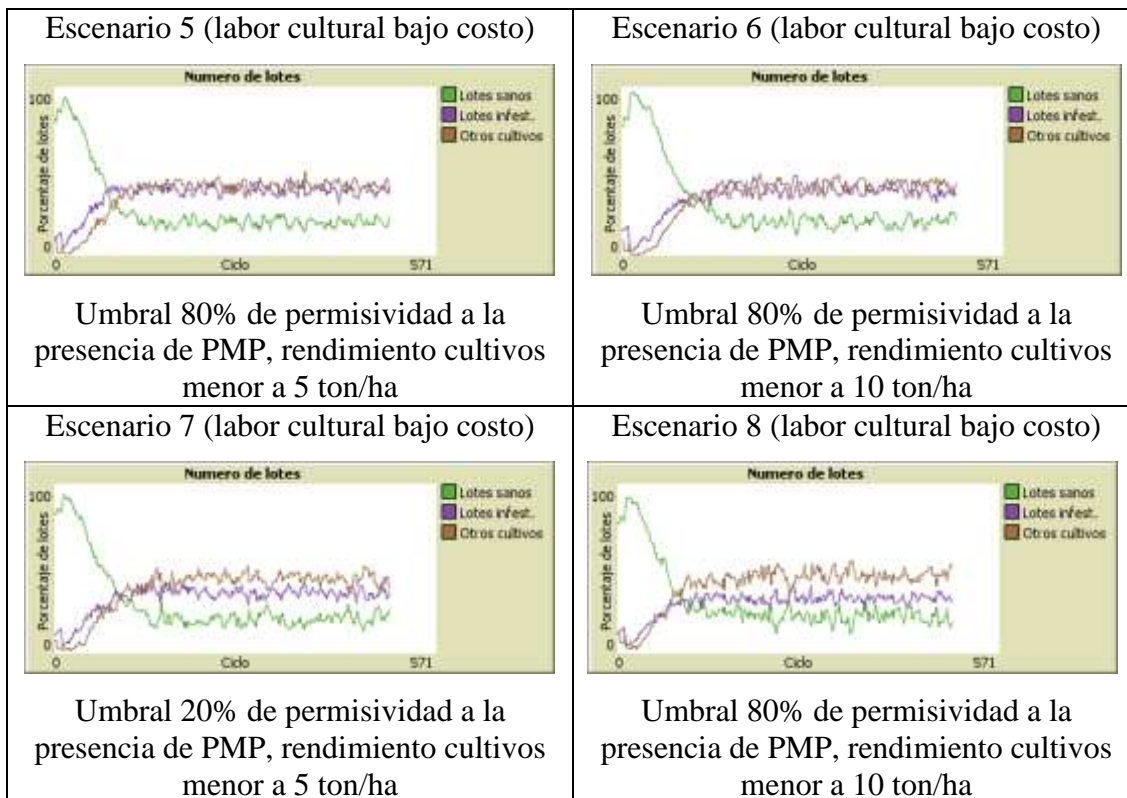
Fuente: (Vicente, 2020)

La población inicial siempre fue de 10 insectos, en todos los escenarios se pudo notar que la población del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), subió considerablemente de forma exponencial (tabla N°4), siendo el tratamiento control el que ha presentado un mayor número de psílicos, la investigación realizado por (Ramírez , y otros, 2008) manifiesta que si no se aplica ningún tipo de control, las poblaciones del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) se mantienen constantemente altas. Sin embargo escenarios donde se implementan labores culturales ya sean de alta o bajo inversión económica, con umbrales del 80% de permisibilidad de PMP, presentan poblaciones altas e inclusive similares al tratamiento control, esto se debe a que el insecto no encuentra un cultivo de papa

(*Solanum tuberosum*) adecuado para su reproducción, debido a que en estos escenarios, hay una mayor cantidad de otros cultivos (Gráfico N°11). En escenarios donde el umbral de permisividad es igual al 20% presenta una menor cantidad de psíldos, los escenarios 4 y 8 con umbrales bajos, permitieron un mejor manejo para el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), presentando así poblaciones reducidas, (Rubio O. , y otros, 2006) expone que, la implementación de un controles a umbrales bajos, reduce considerablemente la poblacion del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*)

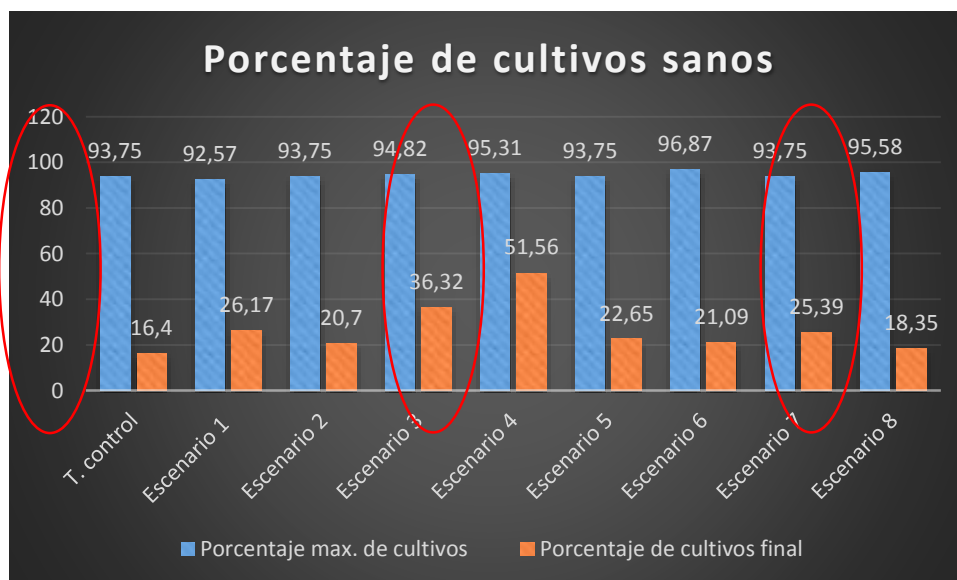
Tabla N° 5: Resultados del porcentaje de lotes sanos, infectados y otros cultivos

Tratamiento control (Sin accionar del agricultor)	
	
<p>Escenario 1 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 5 ton/ha</p>	<p>Escenario 2 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha</p>
<p>Escenario 3 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 20% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 5 ton/ha</p>	<p>Escenario 4 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 20% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha</p>



Fuente: (Vicente, 2020)

Gráfico N° 9: Comparación entre escenarios (Porcentaje de cultivos sanos)

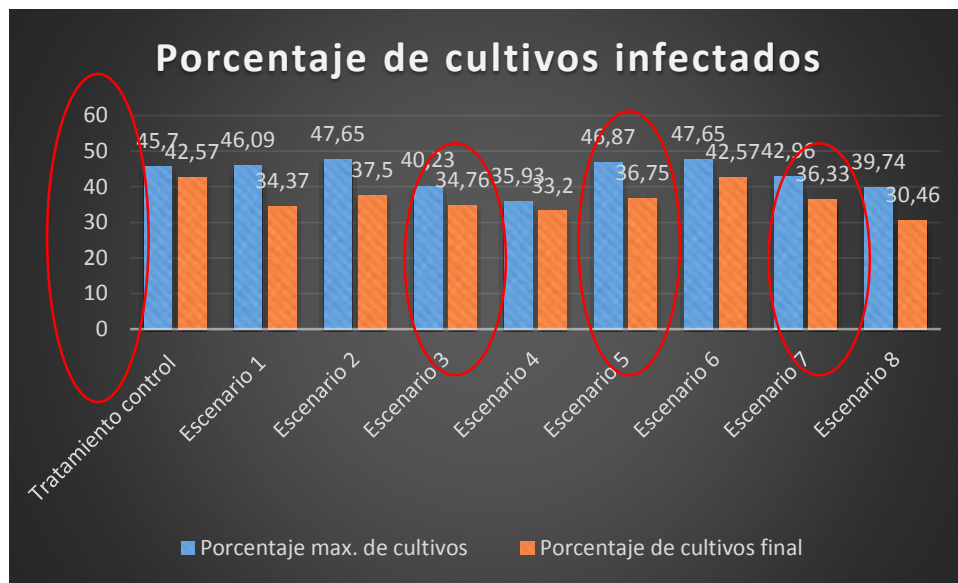


Fuente: (Vicente, 2020)

Bajo todos los escenarios, se puede notar que al iniciar la simulación, el índice de cultivos sanos es alto, pero al paso de los ciclos, empieza a caer el número total de cultivos libre de infección (tabla N°5) el tratamiento control presento el menor porcentaje de cultivos sanos, de igual manera cultivos

con umbrales del 80% presentan caídas del porcentaje de cultivos sanos, los escenarios 3 y 4 con labores culturales de alta inversión económica representan el porcentaje más alto de cultivos sanos, siendo este de 36,32% y 51,56% respectivamente. Si bien en los escenarios con labores culturales de baja inversión económica, presenta niveles bajos de cultivos sanos, no presenta un número elevado de cultivos infectados, esto se debe a que, a que hay un mayor porcentaje de otros cultivos (GraficoN°11).

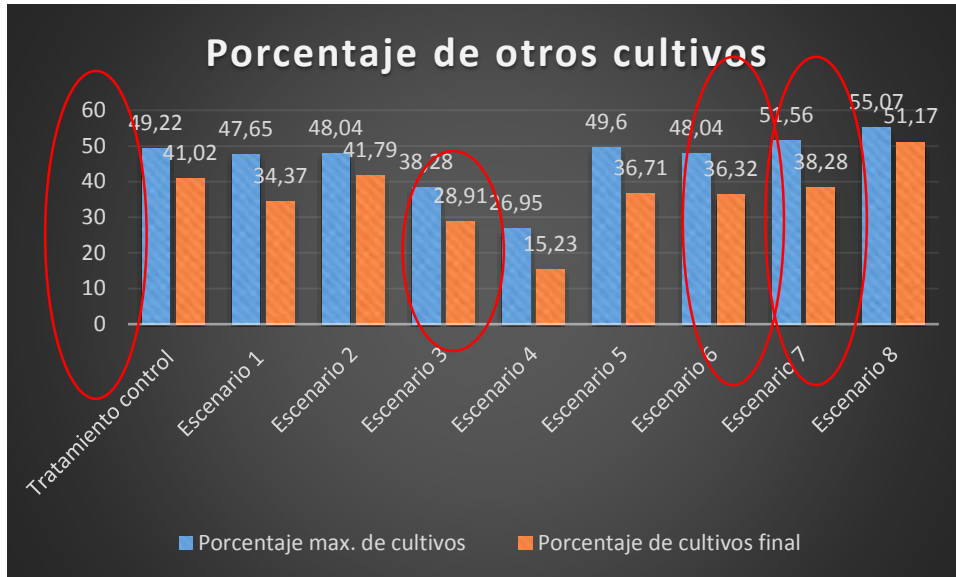
Gráfico N° 10: Comparación entre escenarios (Cultivos infectados)



Fuente: (Vicente, 2020)

En el tratamiento control muestra la mayor cantidad de cultivos infectados, pero mientras corría la simulación, los escenarios con umbrales del 80% de permisividad de PMP presentar una mayor cantidad de cultivos afectados en comparación al tratamiento control, al finalizar la simulación bajo considerablemente esta cantidad y se encontraron por debajo del tratamiento control. Con la implementación tanto labores de alta y baja inversión económica, acompañadas de umbrales de 20% presentan una menor cantidad de cultivos infectados, los escenarios donde se encontro un menor porcentaje de cultivos infectados fueron los escenario 4 y 8 (Gráfico N°10).





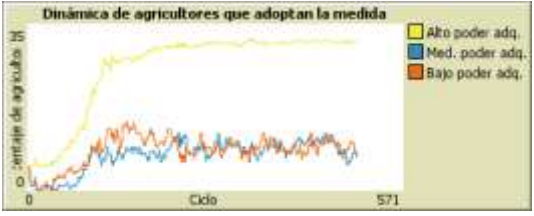


Gráfico N° 11: Comparación entre escenarios (otros cultivos)

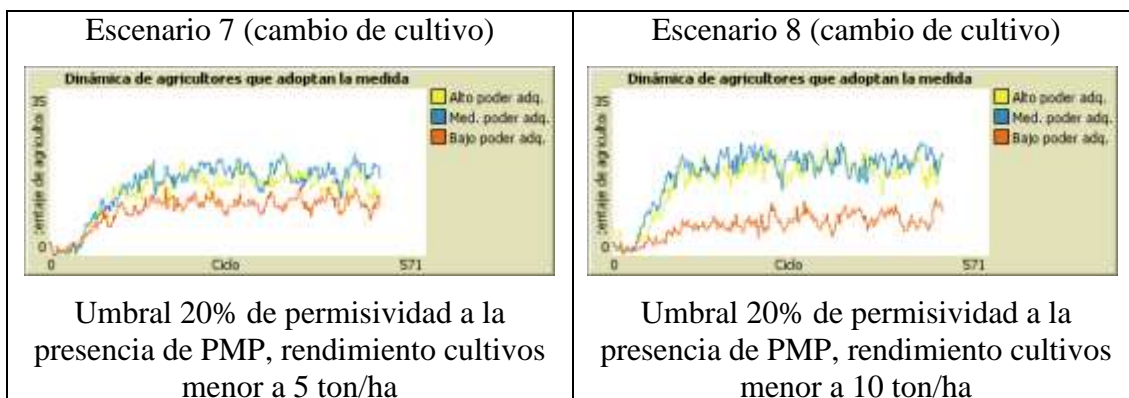


Fuente: (Vicente, 2020)

El porcentaje de otros cultivos de igual manera que cultivos infectados, inicia con bajos porcentajes y con el avance de la infección de *Bactericera cockerelli* el porcentaje de otros cultivos tiende a subir, el escenario donde se mostró una menor cantidad de otros cultivos fue el escenario número 4, esto se debe a que en gran parte, a que existe un alto número de lotes protegidos con labores culturales de alta inversión económica (malla antiáfida). El escenario 8 presento un mayor porcentaje de otros cultivos, alcanzando en medio de la simulación un porcentaje máximo de 55,07%, al finalizar se encontró con un porcentaje del 51,17% (Gráfico N°11). Un aspecto a notar es la relación entre la población del psílido de la papa y el porcentaje de otros cultivos, cuando hay una infección es alta, el número de otros cultivos tiende a ser mayor en comparación al resto de cultivos, la plaga al encontrar este tipo de cultivos no puede reproducirse y por ende no sube tanto la población como se esperaría, además como el agricultore observa que el porcentaje de cultivos afectados a su alrededor no disminuye prefiere mantenerse con otro cultivo, a volver a cultivar papa (*Solanum tuberosum*).

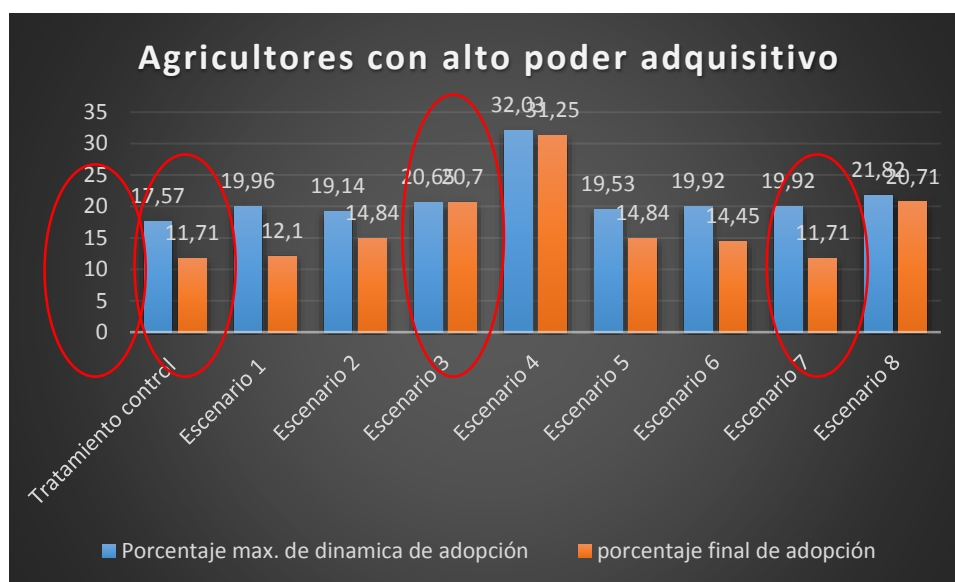
Tabla N° 6: Resultado de dinámica de agricultores que adoptan una labor cultural

<p>Tratamiento control</p>  <p>Sin accionar del agricultor</p>	
<p>Escenario 1 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 5 ton/ha</p>	<p>Escenario 2 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha</p>
<p>Escenario 3 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 20% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 5 ton/ha</p>	<p>Escenario 4 (uso de malla antiafida)</p>  <p>Umbral 20% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha</p>
<p>Escenario 5 (cambio de cultivo)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 5 ton/ha</p>	<p>Escenario 6 (cambio de cultivo)</p>  <p>Umbral 80% de permisividad a la presencia de PMP, rendimiento cultivos menor a 10 ton/ha</p>



Fuente: (Vicente, 2020)

Gráfico N° 12: Dinámica de adopción de labores culturales (Agricultores con alto poder adquisitivo)

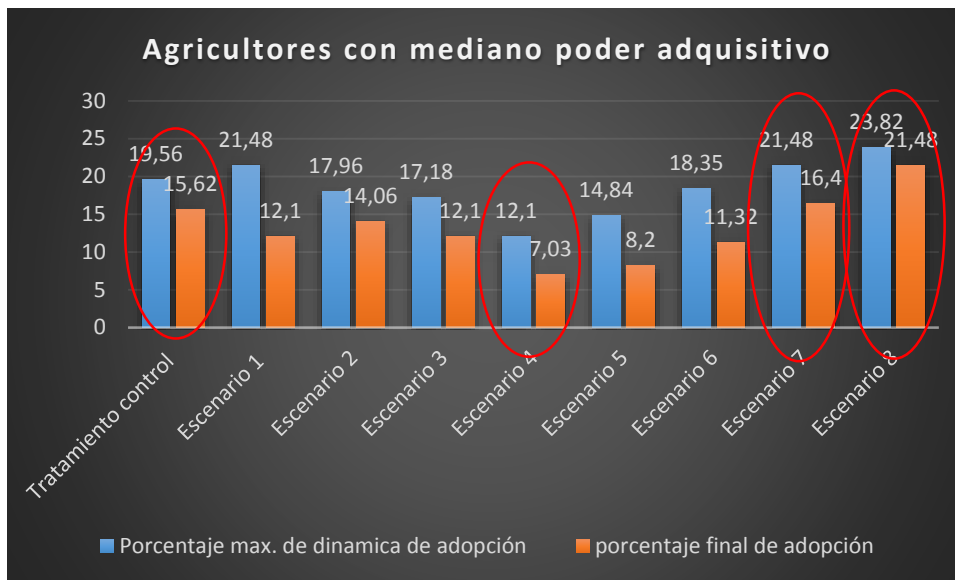


Fuente: (Vicente, 2020)

El tratamiento control indica ser el escenario donde los agricultores menos actúan, escenarios donde el umbral es del 80% de permisibilidad y con labores culturales de baja inversión económica, muestran una baja adopción de labores culturales, siendo el escenario 5 y 6 donde actúan en menor medida, estos presentaron un porcentaje de 14,84% y 14,45% respectivamente, pero en el escenario 7 con umbral del 20% de permisividad de PMP y rendimiento de cultivos cercanos menor a 5 ton/ha, presentan una implementación aún más baja, siendo este de 11,71%, este comportamiento es debido a que en estos escenarios el índice de cultivos afectados reduce y este al disminuir el agricultor cambia a un cultivo sano de papa (*Solanum tuberosum*). A umbrales de 20% y con la implementación de prácticas de alta inversión económica presentan una mayor adopción de labores, el escenario cuatro

es el que mayor porcentaje presenta, siendo del 33%, esto indica que todos los agricultores con un alto poder adquisitivo han adoptado una labor cultural.

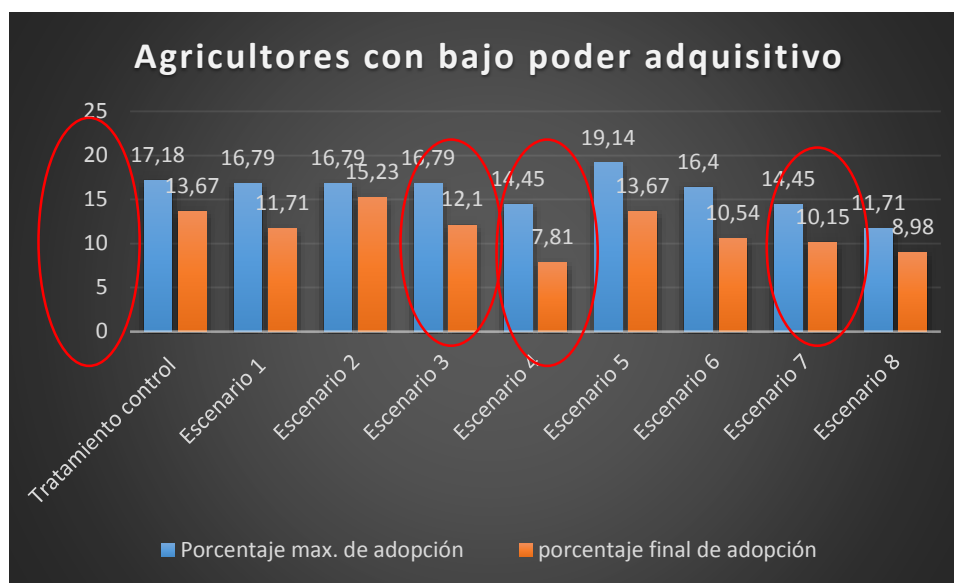
Grafica N°13: Dinámica de adopción de labores culturales (Agricultores con mediano poder adquisitivo)



Fuente: (Vicente, 2020)

Los agricultores con un mediano poder adquisitivo actuarán menos en el escenario 4 y 5, teniendo presencia del 12,1% y 7,03%, esto se debe principalmente a que los únicos que pueden implementar una labor cultural de alta inversión económica son los agricultores con un alto poder adquisitivo, al no poder implementar esta labor sus cultivos se ven afectados. En los escenarios siete y nueve con umbrales del 20% han tenido una mayor presencia, implementado rápidamente en sus cultivos, una labor cultural de bajo costo (Grafica N°13)

Grafica N°14: Dinámica de adopción de labores culturales (Agricultores con bajo poder adquisitivo)



Fuente: (Vicente, 2020)

Los agricultores con un bajo poder adquisitivo han mostrado una baja adopción de labores culturales en la gran mayoría de escenarios, esto se debe a que no pueden implementar un labor cultura con rapidez, esto limita la respuesta de los agricultores ante un incremento de la infección de *Bactericera cockerelli*., el escenario donde han mostrado mayor adopción ha sido en el escenario 6 donde muestra una porcentaje de 19,14% como máximo y 13, 67% al finalizar. Este dato muestra una diferencia notoria entre agricultores con alto y mediano poder adquisitivo.

12 CONCLUSIONES

- La investigación realizada, estableció un modelo teórico publicado en la plataforma Miro, se determinó las siguientes temáticas en relación al psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*): diseminación, ecología y labores culturales para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), rendimiento de cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) libres e infectados con Punta morada. Sirvió de sustento para la construcción del MBA.
- Mediante la aplicación de programación, se construyó un modelo basado en agentes en el software Netlogo, el cual simula una sociedad de productores de papa (*Solanum tuberosum*), afectada por PMP y se pudo observar que los agricultores toman diferentes decisiones en base a su capacidad adquisitivo.

- Tanto para la implementación de mallas antiafidos como para cambio de cultivo con umbrales de 80% de permisividad, existe una población alta del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) y bajo número de cultivos sanos, los datos se asemejan mucho al escenario en el cual el agricultor no toma ninguna acción.
- En umbrales del 20% de permisividad, hay una menor presencia del psílido de la papa, un mayor número de cultivos sanos.
- Cuando existe un número elevado de cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) infectados con PMP, el agricultor prefiere cambiarse a otro cultivo y permanece en él, debido a esto, el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) no encuentra un lugar donde reproducirse y la población no aumenta.
- Agricultores con un bajo poder adquisitivo, toman la decisión de cambiar su cultivo como una labor cultural más económica, mientras que agricultores con un alto poder adquisitivo, implementan más rápidamente labores culturales como malla antiafidos y cambio de cultivo dentro de sus cultivos, evitando así la infección de sus cultivos y la propagación del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*).

13 RECOMENDACIONES

- Varios estudios realizados en Nueva Zelanda han reportado que el empleo de mallas antiafidas aumentan la producción de tubérculos de papa, sin embargo estudios realizados en México muestra resultados diferentes, por lo que recomendamos realizar una investigación más profunda sobre la implementación de malla antiafida en nuestro país.
- Si bien la aplicación de insecticidas reduce la población del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), no es lo suficientemente rápida como para evitar la transmisión de *Candidatus liberibacter*, por lo tanto se recomienda buscar estrategias complementarias para el control de este insecto vector.
- El uso de modelos basados en agentes (MBA), puede facilitar los primeros pasos de una investigación o proyecto, por lo que recomendamos el uso de esta herramienta, no solamente para el caso de PMP sino para otras enfermedades que puedan presentarse.

14 PRESUPUESTO

	Unidad	Cantidad	V. Unitario (\$)	V. Total (\$)
Artículos científicos	Unidad	10	15,00	150,00
Computador (Básico)	Unidad	1	750,00	750,00
Internet	Mes	4	33,00	33,00
Consultoría de programación	Hora	4	20,00	80,00
TOTAL GENERAL:				1013,00

15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah , N. (2008). *Life history of the Potato Psyllid Bactericera cockerelli (Homoptera:Psyllidae) in Controlled Environment agriculture in Arizona*. Yemen: African Journal of Agricultural Research Vol. 3.
- Aguilera, A., & Posada , M. (2017). *INTRODUCCIÓN AL MODELADO BASADO EN AGENTES Una aproximación desde NetLogo*. Mexico : EL COLEGIO DE SAN LUIS .
- Almeyda , I., Sánchez , J., & Garzón , J. (2008). *Vectores causantes de punta morada de la papa en Coahuila y Nuevo León, Mexico*. Nuevo León : Agricultora Técnica en México .
- Barbati, M., Bruno, G., & Genovese , A. (2012). *Applications of agent-based models for optimization problems: A literature review*. Napoles : ELSEVIER.
- Bennetl, N. (2015). *Serie Tutorial de NetLogo: Introducción y Conceptos Básicos* . Nuevo Mexico : Santa Fe Institute Summer Internship/Mentorship (SIM) y Summer Complexity.
- Bing, X., & Xian, T. (2009). *Life History and Life of actericera cockerelli (Homoptera: Psyllidae) on Eggplant and Bell Pepper*. Entomological Society of American .
- Bolanos, C., Gallegos, P., Ochoa, J., & Isuasti, M. (2019). *Potato purple top, lethal wilt of oil palm, and papaya twisted neck syndrome: Phytoplasma-associated diseases in Ecuador*. Villa Clara: Biot. Veg. vol.19 no.1 .
- Buffa, B. (2015). *MÉTODOS MATEMÁTICOS PARA MODELOS BASADOS EN AGENTES* . Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba .
- Bujanos Muñoz, R., & Ramos Méndez , C. (2015). *El Psílido de la papa y tomate Bactericera(=Paratrioza) cockerelli (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): ciclo biológico la realacion con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la region del OIRSA*. San Salvador: editorialaltauro.

- Caicedo, J., Pozo, A., Cevallos, A., Simbaña, L., Rivera, L., & V., A. (2015). *First report of Candidatus Phytoplasma aurantifolia (16SrII) associated with potato purple top in San Gabriel- Carchi, Ecuador* . San Gabriel : New Disease Reports.
- Castillo, C. (2019). *Punta morda de papa en Ecuador, actualidad*. Quito: VII CONGRESO ECUATORIAO DE LA PAPA .
- Castillo, C. (2020). *Situación y perspectivas punta morada de la papa y Bactericera cockerello en Ecuador*. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Castillo, C., Fu, Z., & Burckhardt, D. (2019). *First Record of the tomato potato psyllid Bactericera cockerelli from South America*. Quito: Bulletin of insectology.
- Ceballos Vázquez , M. (2010). *Control biológico de plagas: Breve reseña sobre aspectos relevantes para su aplicación*. La Habana: Departamento de Plagas Agrícolas en la Dirección de Protección de Plantas del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA).
- Cuesta , X. (29 de Junio de 2017). *VII Congreso ecuatoriano de la papa adaptación al cambio climatico*. Carchi: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Obtenido de Repositorio INIAP: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4472/1/iniapsc368.pdf>
- Cuesta , X., Peñaherrera , D., Velásquez , J., & Castillo , C. (2018). *GUÍA DE MANEJO DE LA PUNTA MORADA DE LA PAPA*. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Cuesta , X., Velásquez, J., Racines, M., Monteros , C., Jaramillo, P., & Castillo , C. (2018). *LA PUNTA MORADA DE LA PAPA*. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Delgado , J., Beltrán , M., Cerna, E., Aguirre, L., Lendero, J., Rodríguez, Y., & Ochoa, Y. (2019). *Candidatus Liberibacter solanacearum patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control*. Ciudad de Mexico: TIP.
- Delgado, J., Beltrán, M., Cerna, E., Aguirre, L., Lendero, J., Rodríguez, Y., & Ochoa, Y. (2019). *Candidatus Liberibacter solanacearum patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control*. México : TIP vol.22 2019 Epub.
- Espinosa, H. (2014). *EL PSILIDO DE LA PAPA, Bactericera cockerelli, UN PROBLEMA QUE PODEMOS MANEJAR*. La Lima : FUNDACION HONDUREÑA DE INVESTIGACION FHA.
- Espinoza , H., Rivera , J., Brown , J., & Weller , S. (2014). *MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS DE PAPA EN HONDURAS*. La lima: FUNDACION HONDUREÑA DE INVESTIGACION AGRÍCOLA.
- Ghraralari , A., Nansen , C., Lawson , D., Gilley, J., Muyanenza , J., & Vaughn , K. (2009). *Knockdown Mortality, Repellency, and Residual Effects of Insecticides for Control od Adult Bactericera cockerelli (Hemiptera: Psyllidae)*. Texas: BioOne .

- Ginovart, M. (2015). *¿Qué pueden ofrecer los modelos basados en agentes vivos en el contexto docente?* València : MODELING IN SCIENCE EDUCATION AND LEARNING Volumen 8(2).
- Ignacion, J., & Valdecasas, G. (s.f.). *La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenomenos sociales.*
- INIAP. (2018). *Acciones del INIAP respecto a la enfermedad Punta Morada de la Papa.* Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Kranz , J. (1990). *Epidemics of Plant Diseases* . New Delhi: Ecological studies ; vol. 13.
- Long , H. D. (1935). *Purple-top disease linked with hair-sprout tubers.* . Iowa State Hort. Soc. Rept. 0:314-316. .
- MAGAP . (2019). *INFORME DE RENDIMIENTOS OBJETIVOS DE PAPA EN EL ECUADOR 2018.* Quito: Ministerio de Agricultura y Ganaderia.
- Mayaneza, J., Crosslin , J., & Buchman , J. (2009). *Seasonal Occurrence and Abundance of the Potato Psyllid.* Wapato : Potato Assosation of America .
- McQuaid, C., Bosch, F., Szyniszewska, A., Alical, T., Pariyo, A., Chiza, P., & Aidan, C. (2017). *Spatial dynamics and control of a crop.* Francia: PLoS Comput Biol 13 Vol (7).
- Melgoza, C., León , C., López , J., Hernández , L., Sixto , F., & Garzón , J. (2018). *Presencia de Candidatus Liberibacter solanacearum en Bactericera cockerelli Sulc asociada con enfermedades en tomate, chile y papa.* Texcoco: Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.9 no.3.
- Merfield , C., Winder , L., Stilwell , S., Hofmann, R., Bennett, J., Wagent , J., & Hodge , S. (2018). *Mesh crop covers improve potato yield and inhibit tomato potato psyllid and blight: The roles of mesh pore size and ultraviolet radiation.* Canterbury: WILEY.
- Milne, A., Bell, J., Hutchison, W., & Whitmore, A. (2015). *The Effect of Farmers' Decisions on Pest Control with Bt Crops: A Billion Dollar Game of Strategy.* Australia: PLoS Comput Biol 11 Vol. (2).
- Monar , C., Reinoso , I., Rivanedeira , J., & Cuesta , X. (2007). *FICHA TECNICA DE LA VARIEDAD DE PAPA INIAP_179-19 (Natividad).* Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Munyanaza , J. (2013). *Bactericera cockerelli* . Washinton D.C.: EPPO.
- Muyaneza , J., Buchman , J., Upton , J., Goolsby , J., Crosslin , J., Bester , G., . . . Venkatesan, S. (2008). *Impact of Different potato Psyllid Populations on Zebra Chips Disease Incedence, Serverity, and Potato Yield* . Texas: Subtropical Plant Sciense .
- Muyaneza, J., Crosslin, J., & Upton, J. (2007). *Association of Bactericera cockerelli (Homoptera: Psyllidae) with "Zebra Chip", a New Potato Disease in South United states and Mexico.* Texas: Entomological Society of America.
- Olaniyan , O., & Rodriguez, N. (2020). *Bactericera cockerelli (Sulc), a potential threat to China`s potato industry.* New Zeland : ELSEVIER.

- Padilla, M., Casasola, L., & Floribeth, U. (2010). *SFE desarrolla Plan de Acción ante la cerca de la Paratrioza (Bactericera cockerelli Sulc.)*. Costa Rica: MAG.
- Palomo, J., Siverio, F., & Cubero, J. (2017). *Candidatus Liberibacter: agentes causales de enfermedades importantes en cultivos de interés en España*. Salamanca: Centro Regional de Diagnóstico. Junta de Castilla y León. Aldearrubia.
- Parga, V., Zamora, V., Borrego, F., Covarrubius, J., López, A., & Almeyda, I. (2011). *Evaluación, Selección y Caracterización de Genotipos de Papa Tolerantes al Síndrome de Punta Morada*. Texcoco: Rev. mex. fitopatol vol.29 no.1.
- Pérez, L. (2018). *Control biológico, una estrategia tan sostenible como rentable*. Argentina : ACTUALIDAD EN I+D.
- Quezada, A., & Canessa, E. (2010). *Modelado basado en agentes: una herramienta para complementar el análisis de fenómenos sociales*. Viña del Mar: Flvances en Psicología Latinoamericana/Bogota (Colombia)/Vol.28 (2).
- Ramírez, M., Santamaria, E., Mendez, J., Rios, J., Hernandez, J., & Mendez G. (2008). *EVALUACION DE INSECTICIDAS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DE PARATRIOZA (Bactericera cockerelli B. y L.) (HOMOPTERA:TRIOZIDAE) EN EL CULTIVO DE CHILE JALAPEÑO (Capsicum annum L.)*. Durango : RCHSZA .
- Rand, W. (7 de Marzo de 2019). *Complexity Explorer*. Obtenido de Complexity Explorer : <https://www.youtube.com/watch?v=LHDR45HNAb0&list=PLF0b3ThojznRKYcrw8moYM UUJK2Ra8Hwl&index=28&pbjreload=101>
- Rubio, O., Almeyda, I., Cadena, M., & Sánchez, R. (2011). *RELACIÓN ENTRE Bactericera cockerelli Y PRESENCIA DE Candidatus liberibacter EN LOTES DE PAPA*. Metepec: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.2.
- Rubio, O., Almeyda, H., Ireta, J., Sánchez, J., Fernández, R., Borbón, J., & Díaz, C. (2006). *DISTRIBUCIÓN DE LA PUNTA MORADA Y Bactericera cockerelli Sulc. EN LAS PRINCIPALES ZONAS PRODUCTORAS DE PAPA EN MÉXICO*. México: Agric. Téc. Méx vol.32 no.2.
- Rubio, O., Cadena, M., & Vázquez, G. (2013). *Manejo integrado de punta morada de la papa en el Estado de México*. Metepec: Inifap.
- Šulc, K. (1909). *Trioza cockerelli n.sp, novinka ze Severní Ameriky, mající i hospodářský význam [Trioza cockerelli n.sp., a novelty from North America, being also of economic importance]*. Acta Societaris Entomologicae Bohemiae 6(4): 102-108.
- Tapia, M., Rojas, R., Alviter, Á., Ocampo, S., & Espinoza, J. (2015). *Aspectos biológicos, ecológicos, epidemiológicos y manejo de Candidatus Liberibacter*. Montecillo: Revista Chapingo Serie Horticultura.
- Toledo, M. (2013). *El cultivo de la papa en Honduras*. La Esperanza: Secretaría de Agricultura y Ganadería Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria.

- Toledo, M. (2014). *Manejo Integrado del Insecto Paratrioza (Bactericera cockerelli) en el Cultivo de Papa en Honduras*. Tegucigalpa: Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria Secretaría de Agricultura y Ganadería Gobierno de la República de Honduras.
- Tomilhero , A., Ibanez , F., Azucena , M., Carvalho , W., & Tamborindeguy , C. (2016). *Effects of "Candidatus Liberibacter solanacearum" (haplotype B) on Bactericera cockerelli fitness and vitellogenesis* . Texas : Insect Science .
- Vázquez, M., Rubio, O., & Ramos, D. (2019). *Calidad fisicoquímica de tubérculos de papas producidos con y sin malla antiáfidos*. Texcoco: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
- Vega , M., Rodríguez, C., Díaz, O., Bujanos, R., Mota, D., Martínez, L., . . . Garzón , J. (2008). *SUSCEPTIBILIDAD A INSECTICIDAS EN DOS POBLACIONES MEXICANAS DELSALERILLO, Bactericera cockerelli (Sulc) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE)*. México : Agrociencia vol.42 no.4 .
- Vereijssen , J. (2020). *Ecology and management of Bactericera cockerelli and Candidatus Liberibacter solanacearum in New Zeland* . Lincoln: Elsevier.
- Vereijssen, J., Smith , G., & Weintraub, P. (2018). *Bactericera cockerelli (Hemiptera: Triozidae) and Candidatus Liberibacter solanacearum in Potatoes in New Zealand: Biology, Transmision, and Implications for Management*. Lincoln: OXFORD.
- Walker , P., Allen , G., Tegg, R., White , L., & Wilson , C. (2015). *The tomato potato psyllid, Bactericera cockerelli (Sulc, 1909) (Hemiptera:Triozidae):a review of the threat of the psyllid to Australian solanaceous crop industries and surveillance for incursions in potota crops*. Australian: Australian Entomology.
- Wilensky, U. (2016). *Diccionario de NetLogo en español*. Northwestern University, Evanston. IL: Center for ConnectedLearning and Computer-Based Modeling.
- Wilwnsky, U. (26 de Septiembre de 2019). *Northwestern NetLogo User Manual version 6.1.1*. Obtenido de Northwestern NetLogo User Manual version 6.1.1: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>

16 ANEXOS

ANEXO N° 1: VARIABLES

```
globals [contar-bactericeras
total-de-cultivos
cultivos-sanos
cultivos-infectados
otros-cultivos
agricultores-actuan
agricultores-con-malla
agricultores-con-rotacion
agricultored-con-labor-baja]

breed [bactericera bactericeras]
breed [farmer farmers]

bactericera-own [ciclo]
farmer-own [riqueza]
patches-own [num-lotes
cultivos-afectados
porcentaje-infectados
rendimiento
rendimiento-vecino
rendimiento-esperado
cambio-infectado]
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Se establecen las variables globales mediante el comando `globals`, añadimos las familias, esto nos permitirá determinar dos tipos de tortugas, posteriormente se establece las variables de tortugas y `patches`.

ANEXO N° 2: PROCEDIMIENTO REINICIO DE SIMULACION

```
to setup
clear-all
setup-patches
setup-bactericera
setup-farmer
count-patches
contador
rendimiento-cultivo
reset-ticks
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Mediante este procedimiento reiniciaremos toda la simulación y se ejecutaran mediante los procedimientos establecidos, se ejecutara cada vez que pulsemos un botón en la interfaz.

ANEXO N° 3: PROCEDIMIENTO CREACIÓN DEL CULTIVO

```
to setup-patches
ask patches [
  let coin (random 10)
  set pcolor green
  if (coin = 0) [set pcolor violet]
  if (coin = 1) [set pcolor brown]
  ask patches [
    if pxcor mod 2 = 0 [set pcolor black]
    if pycor mod 2 = 0 [set pcolor black]]
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Se creara 4 tipos de patches, los que harán de cultivo, existirán pathes de color; negro (no serán tomados en cuenta), marrón (otros cultivos) verde (cultivos sanos), violeta (cultivo infectado).

ANEXO N° 4: PROCEDIMIENTO CREACIÓN DE PLAGA

```
to setup-bactericera
create-bactericera 10 [;;crear 10 bactericeras
  set xcor random-xcor set ycor random-ycor;;situar a las bactericeras de manera aleatoria
  set shape "bug";;forma de bactericeras
  set heading 135;;giro de bactericeras
  set size 0.5;;tamaño de bactericeras
  set color black;;coloración bactericeras
  set ciclo 10];;dar a la variable ciclo de 10 unidades
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Con este procedimiento crearemos a la primera familia, la cual la llamaremos bactericera, esta será la plaga que ataque a nuestro cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). Se creara 10 insectos, los cuales estarán distribuidos de manera aleatoria en el mundo, tendrán una forma de “bug”, un tamaño de 0,5, poseerán un color negro y la variable ciclo se le agregará en valor de 10.

ANEXO N° 5: PROCEDIMIENTO CREACIÓN DE AGRICULTORES

```
to setup-farmer
ask patches [ if pcolor = violet [ sprout-farmer 1 ]];;sobre cada cultivo infectado se posicionara un agricultor
ask patches [ if pcolor = green [ sprout-farmer 1 ]];;sobre cada cultivo sano se posicionara un agricultor
ask patches [ if pcolor = brown [ sprout-farmer 1 ]];;sobre cada cultivo infectado se posicionara un agricultor
ask farmer [set shape "agricultor"];;forma del agricultor
ask farmer [set color one-of [45 95 25] set size 0.7];;cada agricultor tomara un color
ask farmer [if color = 45 [set riqueza 2]];capacidad de adquisicion alta
ask farmer [if color = 95 [set riqueza 1]];capacidad de adquisición media
ask farmer [if color = 25 [set riqueza 0]];capacidad de adquisición baja
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Sobre todos los cultivos se posicionara un agricultor, adoptara forma de “agricultor”, su tamaño será de 0,7, cada agricultor tomara un color que representara su capacidad de adquisición, siendo así:

amarillo alta capacidad adquisitiva, azul mediana capacidad adquisitiva y rojo baja capacidad adquisitiva.

ANEXO N° 6: PROCEDIMIENTO EJECUTAR SIMULACIÓN

```
to go
  if (Temperatura >= 15 ) and (Temperatura <= 31 )
    [move-bactericera
     infect-plant
     reproduce
     bactericera-dead
     count-patches
     contador
     cambiar-cultivo
     rendimiento-cultivo
     cambiar-cultivo-infectado
     tick]

  if (Temperatura >= 32) and (Temperatura <= 34)
    [stop-infect
     move-bactericera
     bactericera-dead
     contador
     rendimiento-cultivo
     cambiar-cultivo-infectado]

  if (Temperatura >= 7) and (Temperatura <= 15)
    [stop-infect
     move-bactericera
     bactericera-dead
     contador
     rendimiento-cultivo
     cambiar-cultivo-infectado]

  if Temperatura = 35 or Temperatura < 7
    [kill-all
     contador
     rendimiento-cultivo
     cambiar-cultivo-infectado]

  if not any? bactericera [ stop ]
  tick
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Con el procedimiento go correrá la simulación y dependiendo la temperatura (la cual podemos modificarla con la ayuda de un slider o deslizador), se ejecutaran diferentes procedimientos, los cuales hacen referencia a lo expuesto por (Munyanza , 2013) el cual nos indica que a temperaturas oscilantes entre 7 a 32 ° C el insecto puede vivir y desarrollarse sin dificultad, su reproducción y supervivencia se ve afectada a temperaturas mayores a 32 ° C y menores a 15 ° C, no resiste a temperaturas menores de 7 ° C y mayores a 35°, en caso de que no exista ningún insecto en el mundo, ya sea por que haya muerto la población total de bactericeras, la simulación se detendrá automáticamente.

ANEXO N° 7: PROCEDIMIENTO CONTAR

```
to contar
  set contar-bactericeras count bactericera ;;Población total de Bactericera cockerelli
  set cultivos-sanos count patches with [pcolor = green or pcolor = 53] ;;Número de lotes libre de infección
  set cultivos-infectados count patches with [pcolor = violet] ;;Número de lotes infectados
  set otros-cultivos count patches with [pcolor = brown] ;;Número de lotes con otro tipo de cultivos
  set total-de-cultivos count patches with [pcolor = green or pcolor = violet or pcolor = brown or pcolor = 53] ;;Número total de lotes
  set agricultores-actuan count patches with [pcolor = 53 or pcolor = brown] ;;Número de agricultores que adoptan una labor cultural
  set agricultores-con-malla count farmer with [pcolor = 53 or pcolor = brown and color = 45] ;;Agricultores con alto poder adquisitivo
  set agricultores-con-rotacion count farmer with [pcolor = brown and color = 95] ;;Agricultores con mediano poder adquisitivo
  set agricultores-con-labor-baja count farmer with [pcolor = brown and color = 25] ;;Agricultores con bajo poder adquisitivo
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Se contarán los siguientes parámetros: población de bactericera, cultivos sanos, cultivos infectados, otros cultivos, total de cultivos, dinámica de agricultores que adoptan una labor cultural, y se añadirán a sus respectivas variables.

ANEXO N° 8: PROCEDIMIENTO MOVIMIENTO DE LA PLAGA

```
to move-bactericera
  ask bactericera [;;pedir a bactericera
    rt random 360;;gitar hacia de forma aleatoria 360° a la derecha
    lt random 360;;gitar hacia de forma aleatoria 360° a la izquierda
    forward 1;;pedir a bactericera dar un paso
    set ciclo ciclo - 1;;reducir de la variable ciclo 1 unidad
  ]
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Se pedirá a cada una de los agentes bajo el seudónimo de bactericera, girar de forma aleatoria ya sea a la derecha o izquierda, dar un paso y reducir del variable ciclo una unidad.

ANEXO N° 9: PROCEDIMIENTO CONTAR CULTIVOS INFECTADOS

```
to count-patches
  ask farmer [set num-lotes count farmer in-radius 3];;pedir a los agricultores, contar en un radio de 3
  ask farmer [set cultivos-afectados count patches in-radius 3 with [pcolor = violet]];;pedir a los agricultores, contar en su alrededor cultivos infectados
  ask farmer [set porcentaje-infectados ((cultivos-afectados / num-lotes) * 100)];;pedir a los agricultores, porcentaje de cultivos infectados
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Cada agricultor observará su entorno y contará el número de cultivos que se encuentra a su alrededor, posteriormente contará cuántos cultivos colindantes están infectados y finalmente obtendrá un porcentaje de cultivos infectados.

ANEXO N° 10: RENDIMIENTO DEL CULTIVO

```

to rendimiento-cultivo
  rendimiento del cultivo
  ask patches [if pcolor = green [set rendimiento 17];rendimiento del cultivo de 17 ton/ha
  ask patches [if pcolor = violet [set rendimiento 2];rendimiento del cultivo de 2 ton/ha
  ask patches [if pcolor = 53 [set rendimiento 17];rendimiento bajo malla de 17 ton/ha

  promedio de rendimiento de cultivos alrededor del mismo
  ask patches [set rendimiento-vecino (sum [rendimiento] of patches in-radius 5) / 5];rendimiento de cultivos cercanos

  rendimiento esperado y costo por estrategia
  ask patches [
    if pcolor = green [set rendimiento-esperado ((rendimiento - rendimiento-vecino) / 1)];rendimiento esperado en condiciones normales (costo de estrategia de 1)
    if pcolor = violet [set rendimiento-esperado ((rendimiento - rendimiento-vecino) / 2)];rendimiento esperado en cultivos infectados (costo de estrategia de 2)
    if pcolor = 53 [set rendimiento-esperado ((rendimiento - rendimiento-vecino) / 3)];rendimiento esperado bajo esa malla estirada (costo de estrategia de 3)
    if pcolor = brown [set rendimiento-esperado ((rendimiento - rendimiento-vecino) / 4)];rendimiento esperado con la implementación de rotación de cultivos (costo de estrategia 4)
  ]
end

```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Los cultivos tendrán un rendimiento, según (MAGAP , 2019), el rendimiento aproximado de un cultivo de papa es de 17 toneladas por hectárea. Ciertamente la presencia del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) reduce el rendimiento, (Cuesta , Peñaherrera , Velásquez , & Castillo , 2018) afirma que, plantas infectadas con PMP, reduce considerablemente la producción de tubérculos. Para obtener el rendimiento esperado del cultivo se usó la ecuación de (Kranz , 1990), el cual postula:

$$\text{rendimiento esperado} = \left(\frac{\text{rendimiento del cultivo} - \text{rendimiento de cultivos cercanos}}{\text{costo de estrategia}} \right)$$

ANEXO N° 11: PROCEDIMIENTO CAMBIAR CULTIVO INFECTADO

```

to cambiar-cultivo-infectado
  ask patches [if pcolor = violet [set cambio-infectado cambio-infectado + 1];añadir a la variable cambio infectado uno
  ask patches [if pcolor = green [set cambio-infectado 0]]
  ask patches [if pcolor = brown [set cambio-infectado 0]]
  ask patches [if cambio-infectado = 5 [set pcolor one-of [brown green]]];cambiar a cultivo sano o otro cultivo
  ask patches [if cambio-infectado = 6 [set cambio-infectado 0];restaurar contador
  ask farmer [if pcolor = brown and porcentaje-infectados < 20 [set pcolor green];cambiar a cultivos sano si la infección en su alrededor ha disminuido
end

```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Como en la realidad, si un cultivo se ha afectado, llegara un momento en el que se elimine y se cambie de cultivo, entonces bajo esta premisa, en el modelo, si el cultivo de un agricultor ha sido infectado después de un tiempo, tomara una decisión: cambiar a otro cultivo o cambiar a su cultivo original. Sin embargo si el agricultor observa su alrededor y si, el porcentaje de infección es menor al 20% optara por cambiar a cultivo sano.

GRAFICO N° 26: PROCEDIMIENTO

```
to infect-plant
  ask bactericera[
    if pcolor = green [;;pedir a bactericera, si encuentra cultivo sano
      set pcolor violet;; infectar cultivo, cambiando tonalidad a violeta
      set ciclo ciclo + 10
      hatch 1]];;pedir a bactericera reproducirse
  end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Si bactericera encuentra un cultivo sano lo infectará, como nos dice (Cuesta , Peñaherrera , Velásquez , & Castillo , 2018), el insecto transmite la bacteria *Candidatus liberibacter*, este es el causante de punta morada, un síntoma característico son el cambio de coloración de las hojas de un verde a un violeta. Una vez infectado el insecto se reproducirá y seguirá con el mismo patrón.

ANEXO N° 12: PROCEDIMIENTOS CUMPLIR CICLO BIOLÓGICO

```
to bactericera-dead
  ask bactericera [if ciclo <= 0 [ die ]];;si ciclo es igual a zero morira bactericera
end
to kill-all
  ask bactericera[die];;pedir a bactericera morir
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Si nuestra variable ciclo es igual a cero el insecto morirá, cumpliendo así su ciclo biológico, mientras que si las condiciones ambientales no son las adecuadas para el desarrollo de la plaga, morirá.

ANEXO N° 13: PROCEDIMIENTOS ACTIVAR LABOR CULTURAL

```
to cambiar-cultivo
  ask farmer [labor-cultural]
end
;;labores culturales
to labor-cultural
  if Practicas-de-alta-inversión-económica [malla];;Implementación de una labor cultural que requiera una alta inversión económica
  if Practicas-de-baja-inversión-económica [rotación] ;;Implementación de una labor cultural que requiera una baja inversión económica
end
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

En nuestra interfaz, controlaremos las labores culturales con un switch o interruptor. Para lo cual es necesario escribir este código para poder programarlos.

ANEXO N° 14 PROCEDIMIENTO CONDICIONANTES PARA IMPLEMENTACIÓN DE LABOR CULTURAL

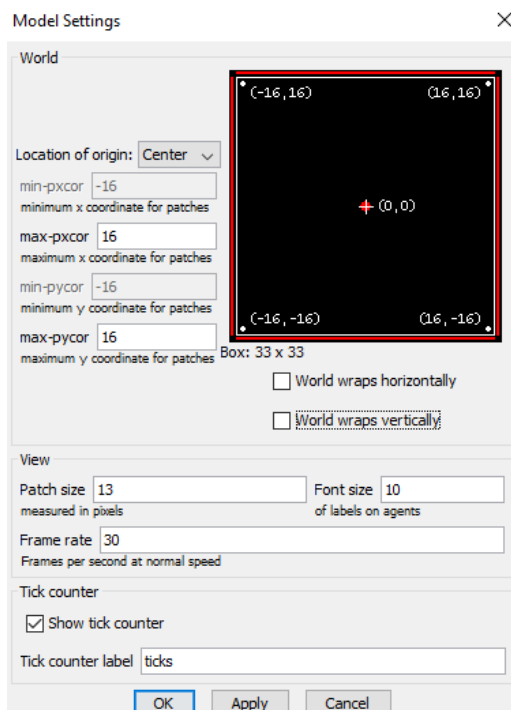
```
to malla
  ask farmer [if pcolor = green and riqueza = 2 and rendimiento-vecino >= Rendimiento-de-cultivos-cercanos and porcentaje-infectados >= Umbral [set pcolor 53]]
end
to rotacion
  ask farmer [if pcolor = green and riqueza >= 1 and rendimiento-vecino >= Rendimiento-de-cultivos-cercanos and porcentaje-infectados >= Umbral [set pcolor brown]]
```

FUENTE: (Vicente, 2020)

Para que un agricultor pueda implementar una labor cultural tiene que cumplir con ciertos parámetros: cultivo sano, si la variable rendimiento vecino es igual o mayor al deslizador rendimiento de cultivo cercano, si el porcentaje de cultivos infectados es igual o mayor al umbral, si su capacidad adquisitiva así se lo permite; el agricultor podrá optar por una labor cultural y protegerá su cultivo.

Fase de simulación: Una vez establecido el modelo y las reglas que debe regirse la simulación, se debe configurar: botones, slider o deslizadores, switch o interruptores y gráficas.

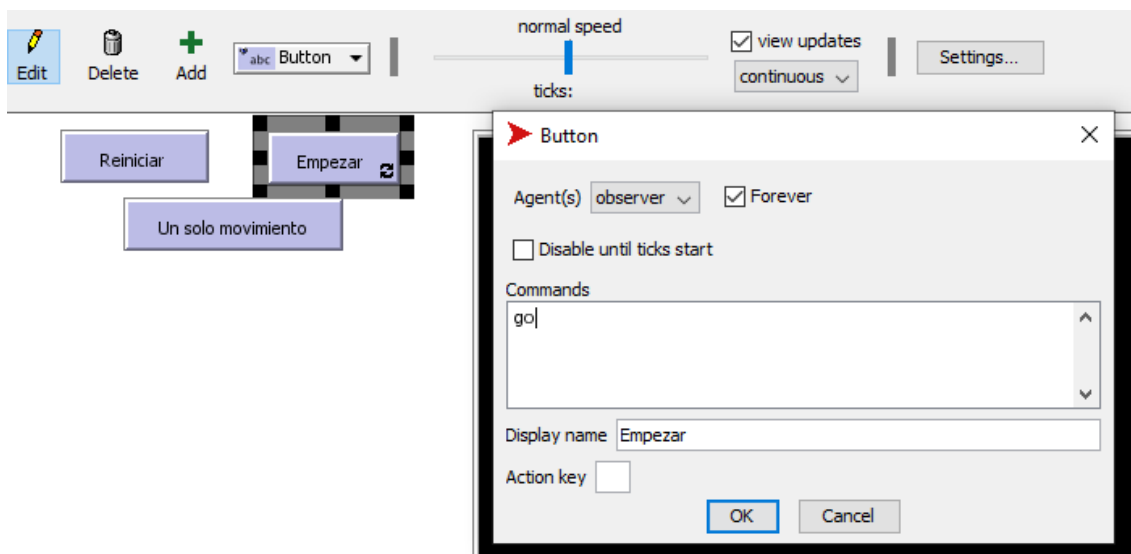
ANEXO N° 15: CONFIGURACION DEL MUNDO DE NETLOGO



Fuente: (Vicente, 2020)

Primero se da click derecho sobre el mundo, seleccionamos la opción de configuraciones; delimitamos el tamaño y límites.

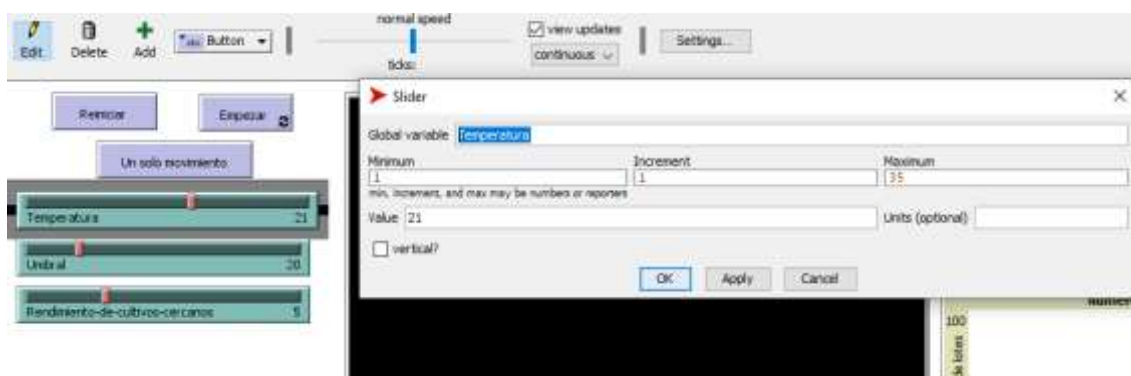
ANEXO N° 16 CREACION DE BOTON



FUENTE: (Vicente, 2020)

En la parte superior seleccionamos boton e insertamos, se despliega un recuadro el cual pide ser asignado por un código, aquí se le asignara el código setup, el cual reiniciara la simulación, se repite la misma acción una vez creando un nuevo botón y se lo conecta al procedimiento go, marcamos la opción forever, con la cual ejecutara el proceso sin la necesidad de volver a pulsar el botón, para una mejor visualización de los agentes se crea un nuevo botón con el mismo procedimiento, pero con la diferencia que no se marcara la opción forever.

ANEXO N° 17 CREACION DE DESLIZADORES

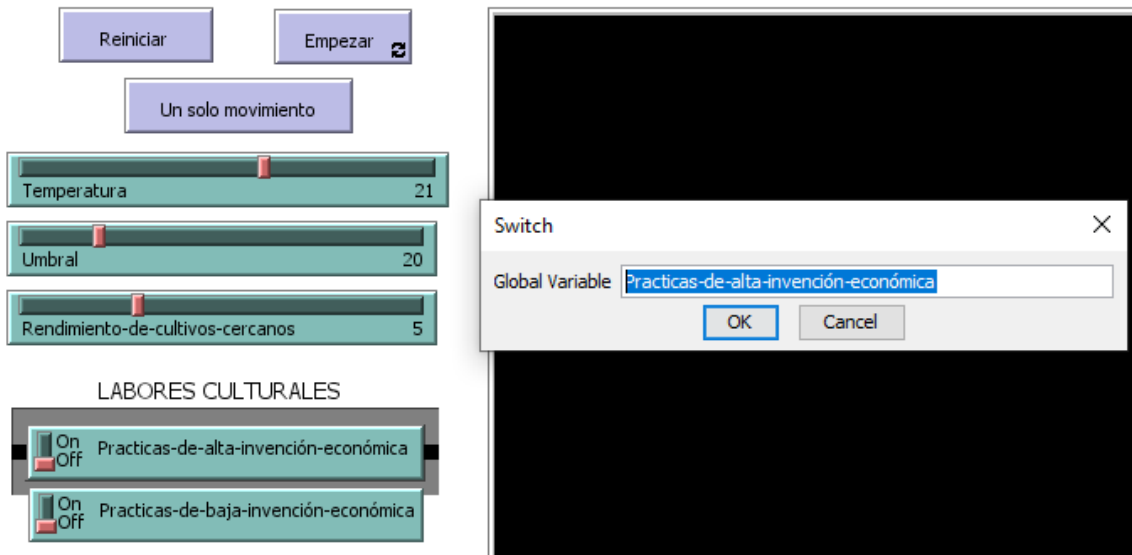


FUENTE: (Vicente, 2020)

Seleccionamos slider e insertamos, aquí se despliega un recuadro es cual requiere un variable global y un valor mínimo y máximo, es muy importante que el nombre sea igual al del código, puesto a que

si no es igual el software lo tomara como variable no definida. Se crea tres deslizadores, bajo los nombres de: temperatura, umbral y rendimiento de cultivos cercanos. Esta sección alterara la respuesta de los agricultores ante el ataque del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*).

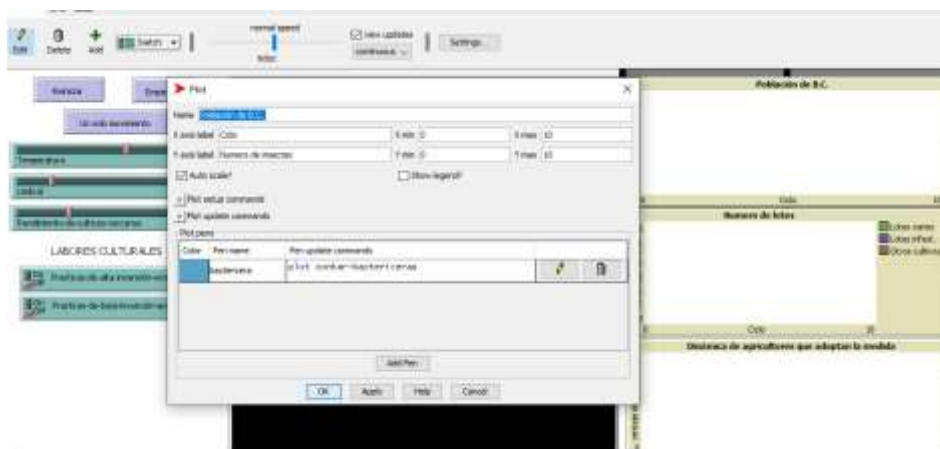
ANEXO N° 18: CRECIÓN DE INTERRUPTORES



FUENTE: (Vicente, 2020)

De igual manera, seleccionamos switch y se debe escribir el mismo nombre del código, para esta sección se debe crear dos interruptores con los nombres de practicas de alta inversión económica y prácticas de baja inversión económica, los cuales activar la acción que tomaran los agricultores sobre sus cultivos.

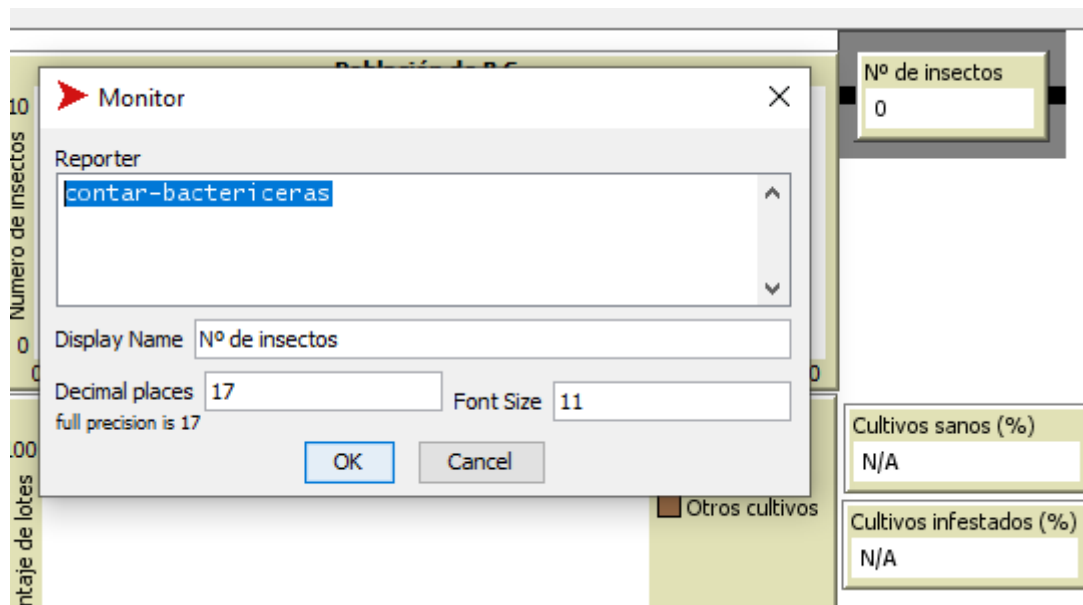
ANEXO N° 19: CREACION DE PLOT



FUENTE: (Vicente, 2020)

Para poder entender la dinámica de evolución de los agentes dentro de la simulación, se establecen plotters o gráficas, para poder hacerlo recurrimos a la opción plotter y lo insertamos, a continuación aparecerá en recuadro, en el que colocaremos la variable global que empleamos para contar la población de *Bactericera cockerelli*, con esta grafica podemos ver el número de insectos en los cultivos (patches). En el caso de numero de lotes es necesario de porcentaje por lo cual empleamos una regla de tres, siendo así se usa las variables globales: $(\text{número de cultivos}/\text{total de cultivos}) * 100$. Esta grafica mostrara el número de lotes sanos, infectados y otros cultivos. De igual manera la dinámica poblacional, se usa una regla de tres y usamos las variables globales: $(\text{agricultor que implementa labor}/\text{total de agricultores}) * 100$. Con esta grafica se puede apreciar el porcentaje de agricultores que han adoptado una medida de protección en sus cultivos.

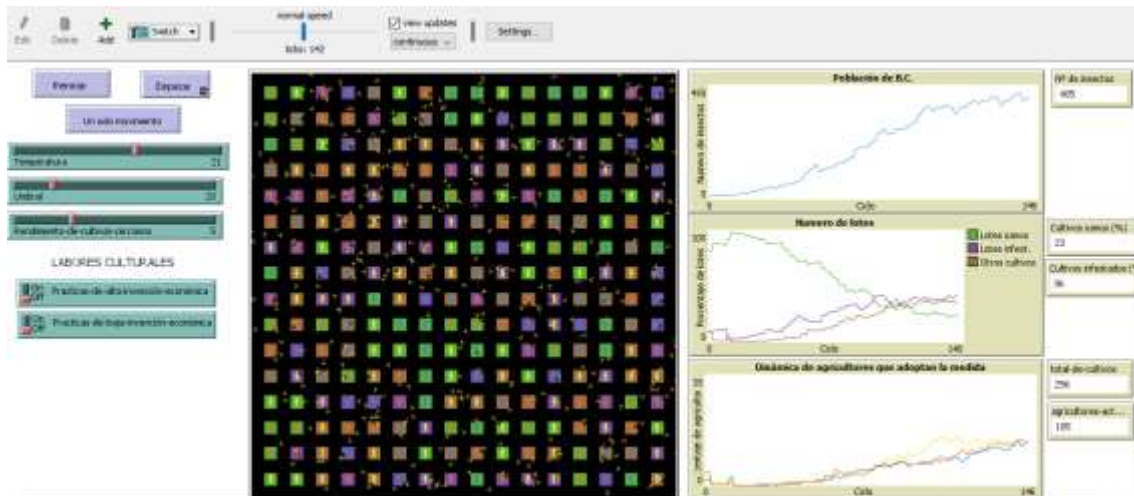
ANEXO N° 20: CREACION DE MONITORES



FUENTE: (Vicente, 2020)

Debido a que las gráficas no muestran un número fijo, es necesario la implementación de monitores, esta se insertan y aparcera un recuadro en el cual se escribirá las variable global necesaria para su funcionamiento.

ANEXO N° 21: RESULTADO DE PROGRAMACION



FUENTE: (Vicente, 2020)

Finalmente obtenemos la simulación, con el botón de reiniciar posicionaremos agricultores, plaga y cultivos. Cuando se pulse el botón empezar dará inicio a la simulación, se aprecia cómo evoluciona la población del insecto y que acción toma los agricultores para proteger sus cultivos. Para poder extraer los resultados se debe dar click derecho sobre los plotters y pulsar en exportar, el programa arrojará un Excel, mediante el cual se puede analizar la evolución de los agentes.

ANEXO N° 22: TABLA DE PUBLICACION CIENTIFICA

Tipo de documento	Año de publicación	Autor	Título	Revista de publicación	Idioma	País	Contenido
Artículo científico	2007	J. E. Munyaneza, J. M. Crocoll, J. E. Upton	Association of <i>Bactericera cockerelli</i> (Homoptera: Psyllidae) with "Zebra Chip," a New Potato Disease in Southwestern United States and Mexico	Journal of Economic Entomology	Inglés	Estados Unidos	Asociación de <i>Candidatus Liberibacter</i> con <i>Bactericera cockerelli</i>
Artículo científico	2017	McQuaid I., Frank van Ben Bosch, Anna Beltz, William O. Hutchison, Frank van	Spatial dynamics and control of a crop pathogen with mixed-mode transmission	Journal of Economic Entomology	Inglés	Estados Unidos	Modelo basado en agentes
Artículo científico	2015	Hutchison, Frank van	The Effect of Farmers' Decisions on Pest Control with 31 Crops: A Billion Dollar Game of Strategy	Computation biology	Inglés	Estados Unidos	Acciones de agricultores
Artículo científico	2008	Jeffrey E. Upton, John	Impact of Different Potato Psyllid Populations on Zebra Chip Disease Incidence, Severity, and Potato Yield	Subtropical Plant Science	Inglés	Estados Unidos	<i>Bactericera cockerelli</i> es portador de <i>Candidatus Liberibacter</i>
Artículo científico	2014	Dr. Hernán Espinoza,	EL PSILIDO DE LA PAPA, <i>Bactericera cockerelli</i> , UN PROBLEMA QUE PODEMOS MANEJAR	DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN VEGETAL	Español	Honduras	(Diseminación de <i>Bactericera cockerelli</i>)
Manual	2015	Joseph E. Munyaneza	<i>Bactericera cockerelli</i>	recommended for regulation	Inglés	Estados Unidos	Características generales de <i>Bactericera cockerelli</i>
Artículo científico	2008	Gutiérrez, J. Concepción Rodríguez-Ph.D., José Mauricio	MEXICANAS DEL SALERILLO, <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc) (HEMIPTERA: TRIODIDAE)	I Entomología, Campus Montecillo	Español	México	Control de <i>Bactericera cockerelli</i>
Libro	2014	Rivera C., Ph.D., Judith Guerra Director	MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS DE PAPA EN HONDURAS	AGRICOLA	Español	Honduras	Control de <i>Bactericera cockerelli</i>
Libro	2014	Ejecutivo Dr. Octavio	<i>cockerelli</i> (Sulc) (Hemiptera: Triodidae): ciclo biológico, la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia	Corporativo Editorial Tauro S.A. de C.V	Español	internacional regional de sanidad	Metodos y información general de <i>Bactericera cockerelli</i>
Manual	2018	Gustav R. Peñaferrera	GUÍA DE MANEJO DE LA PUNTA MORADA DE LA PAPA	INIAP	Español	Ecuador	Metodos y información general de <i>Bactericera cockerelli</i>

FUENTE: (Vicente, 2020)



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **AGRONOMIA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**, de **VICENTE ASTUDILLO JORDAN ANDRES**, cuyo título versa "Evaluación de la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psilido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes.", lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, septiembre del 2020

Atentamente,


Ledo Collaguazo Vega Wilmer Patricio
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 1722417571

