

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA**

**“APLICACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN EN SISTEMAS
AGRÍCOLAS EN EL CULTIVO DE CACAO (*THEOBROMA CACAO*) EN LA
FRANJA DE DIVERSIDAD Y VIDA.”**

ELABORADO POR:

LUIS PAUL JIPA AGUINDA

**DIRECTOR DEL PROYECTO:
MARCO HEREDIA RENGIFO MSc**

PASTAZA – ECUADOR

2018

Declaración de autoría y cesión de derechos

Según la ley de propiedad intelectual, Art. 5: “El derecho de autor nace y se protege por el solo hecho de la creación de la obra, independientemente de su mérito, destino o modo de expresión. El reconocimiento de los derechos de autor y de los derechos conexos no está sometido a registro, depósito, ni al cumplimiento de formalidad alguna.”.

Luis Paul Jipa Aguinda

2018

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor de este Proyecto de Investigación Certifico que el presente trabajo ha sido elaborado por el señor Luis Paul Jipa Aguinda, por lo que autorizo su presentación.

Marco Heredia Rengifo MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

**CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TRIBUNAL DE
SUSTENTACIÓN**

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: “Aplicación de Modelos de Simulación en Sistemas Agrícolas en el Cultivo de Cacao (*Theobroma Cacao*) en la Franja de Diversidad y Vida.”, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Dra. Karina Carrera. PhD
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Joel Rodríguez. PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tatiana Olalla. MSc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, que es mi principal motivador para continuar cada día y no abandonar los estudios en momentos tan difíciles.

A mi tutor del proyecto de investigación Marco Heredia Rengifo. por la paciencia brindada para el desarrollo de este trabajo.

A mis Profesores a quienes los conocía como compañeros de trabajo, convirtiéndose en consejeros, formadores profesionalmente a lo largo de mi carrera universitaria.

A las Autoridades, Personal Administrativo y de Servicio de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Estatal Amazónica, por haberme permitido desempeñarme laboralmente y formarme profesionalmente en ella.

A mi familia por su paciencia, con fianza y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por la fuerza, sabiduría, paciencia y salud que me brido para poder culminar con mis estudios.

A mi madre Alicia Aguinda Grefa y a mi padre Abel Jipa Digua, por su incondicional amor, esfuerzo, cariño y comprensión. Por ser pilar fundamental en mi formación tanto personal como profesional.

Mis hermanos/as, Elsy Jipa, Lourdes Jipa, Rosa Jipa, Carmen Jipa, Abel Jipa, Jesús Jipa y Carlos Jipa, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mis hermanas y hermano destacado, Lourdes Jipa, Carmen Jipa y Jesús Jipa, pilares fundamentales que con su apoyo incondicional, el consejo sabio y oportuno ven lograr este objetivo.

A mis compañeros-colegas: Fernando Chico, Carlos Moya, Tito Vargas, Cristian Estrada, Franklin Heras, Byron Tzerembo, Evelyn Galeano, Stefanny Mora, Katherine Santy y Ibelia Macas, por habernos ayudado mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

RESUMEN

La Franja Diversidad y Vida del cantón Francisco de Orellana se localiza en el área contigua al Parque Nacional Yasuní y del Territorio Waorani – zona intangible Tagaeri-Taromenane (ZITT), en las parroquias Dayuma e Inés Arango del cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, la agricultura en este espacio se proponen acciones vinculadas con las actividades turísticas, productivas y artesanales relacionadas con el desarrollo sustentable por lo mencionado se estableció el siguiente objetivo: diseñar un modelo de simulación para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), en la comunidad Rodrigo Borja, ubicado en la Franja Diversidad y Vida (FDV). En el proceso metodológico se utilizó el software CropSyst, que es modelo genérico que simula muchos procesos que gobiernan la relación entre clima, cosecha, suelo y manejo del cultivo. Pueden realizarse simulaciones por varios años e incluir sistemas de cultivo, los cuales son simulados a una escala diaria, se utilizó cuatro datos de entrada para correr la información: lugar, suelo, cultivo y manejo. Adicionalmente el dato de control determina el comienzo y final del día para la simulación, CropSyst fue utilizado para simular el rendimiento (kg/ha) y crecimiento en términos de biomasa del cultivo de cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*) (edad promedio 3 años) en el periodo de 5 años (2018 – 2023). Todos los datos contaron con un total de 64 parámetros para predecir correctamente los estadios de crecimiento y rendimiento permitió obtener ventajas concretas en la zona de estudio comunidad Rodrigo Borja. Se pudo demostrar que si hay un crecimiento y rendimiento relativo con respecto a la poda de mantenimiento anual, la temperatura y la pluviometría, importantes para tomar en cuenta en la hora de establecer el cultivo.

Palabras clave: Cacao, crecimiento, cropsyst, desarrollo, modelaje, sistema.

ABSTRACT

The Diversity and Life Strip of the Francisco de Orellana canton is located in the area adjacent to the Yasuní National Park and the Waorani Territory - Tagaeri-Taromenane intangible zone (ZITT), in the Dayuma and Inés Arango parishes of the canton Francisco de Orellana, province of Orellana , agriculture in this space are proposed actions linked to tourism, production and craft related to sustainable development for the above mentioned established the following objective: design a simulation model for the cultivation of cocoa (*Theobroma cacao*), in the community Rodrigo Borja, located in the Diversity and Life Strip (FDV). In the methodological process we used the CropSyst software, which is a generic model that simulates many processes that govern the relationship between climate, harvest, soil and crop management. Simulations can be carried out for several years and include cropping systems, which are simulated on a daily scale. Four input data were used to run the information: place, soil, cultivation and management. Additionally the control data determines the start and end of the day for the simulation, CropSyst was used to simulate the yield (kg / ha) and growth in terms of biomass of fine aroma cocoa (*Theobroma cacao*) (average age 3 years) in the 5 year period (2018 - 2023). All the data had a total of 64 parameters to correctly predict the stages of growth and yield allowed to obtain concrete advantages in the Rodrigo Borja community study area. It could be demonstrated that if there is a growth and relative performance with respect to annual maintenance pruning, temperature and rainfall, important to take into account when establishing the crop.

Keywords: Cocoa, growth, cropsyst, development, modeling, system.

INDICE

CAPÍTULO I	13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	15
1.2.1 Justificación	15
1.2.2 Formulación del problema.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 General:	16
1.2.2 Específicos:	16
CAPÍTULO II	17
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.1.1 Colonización de la Amazonia Norte.....	17
2.1.2 Historia de la Franja de Diversidad y Vida	18
2.1.3 Franja Diversidad y Vida (FDV).....	18
2.1.4 Historia de la Agricultura - Cacao en la Amazonia Norte Ecuatoriana.....	18
2.1.5 Conflictos Socioambientales en la FDV	20
2.1.6 Caracterización de los suelos de la FDV.....	20
2.1.7 Características del Cultivo de Cacao (<i>Theobroma cacao</i>).....	21
2.1.8 Importancia en el cultivo del cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	21
2.1.9 Modelos Agroclimáticos: Modelación De Sistemas Agrícolas.....	21
a) Sistemas de modelaje	22
b) La simulación o el modelado	22
c) Un modelo de simulación (MS)	22
d) Simplicidad versus complejidad en el diseño de modelos de simulación.....	23
CAPÍTULO III	24
3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.1. LOCALIZACION	24

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
3.3 METODOS DE INVESTIGACION	26
3.2.1 Descripción del Modelo:	26
3.2.3 Entradas del modelo CropSyst:	26
3.2.4 Descripción del interface de software CropSyst (CS)	28
CAPÍTULO IV	29
4.1 RESULTADOS ESPERADOS	29
4.1.1 Parámetros del modelo:	29
CAPITULO V	38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
5.1 CONCLUSIONES.....	38
5.2 RECOMENDACIONES	38
CAPÍTULO VI	39
BIBLIOGRAFIA	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de la Franja de Diversidad y Vida.....	25
Tabla 2. Datos de entrada para el proceso de modelización utilizando el Software CropSyst.	26
Tabla 3 : Parámetros del cultivo requeridos para la simulación en Cropsyst.....	29
Tabla 4: Parámetros del manejo requeridos para la simulación en Cropsyst.....	31
Tabla 5: Parámetros del suelo requeridos para la simulación en Cropsyst	32
Tabla 6: Parámetros climáticos de Cropsyst.	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación gráfica del concepto de un modelo de Simulación.	22
Figura 2: Zona de estudio, Franja Diversidad y Vida de la Resera de Biosfera Yasuní, Comunidad “Rodrigo Borja”	24
Figura 3: Interface - CropSyst y menu principal.....	28
Figura 4. Representación grafica del crecimiento y biomasa para el cultivo del cacao (T. cacao) desde el año 2019 hasta el año 2023.	34
Figura 5. Representación grafica del rendimiento y cambio climático en una proyección de 5 años.....	36

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La Franja Diversidad y Vida de la Reserva de Biosfera Yasuní, en el territorio ecuatoriano, entre los ríos Napo y Curaray, han habitado por cientos de años los pueblos indígenas en aislamiento voluntario, los cuales no han entrado en contacto con el mundo Occidental con el fin de sobrevivir y mantener su cultura y territorios intactos. Los pueblos Tagaeri y Taromenane viven en completa libertad en estos territorios, manteniendo su cultura y tradición en una etapa de plena vulnerabilidad debido al avance de la civilización, la colonización de su territorio, la tala y el comercio ilegal de madera y otros recursos naturales no renovables. Estos problemas afectan su hábitat natural y degradan la biodiversidad y la conservación de gran parte del Parque Nacional Yasuni (PNY) que cubre casi la totalidad de su territorio y que es considerado Reserva Mundial de la Biosfera (Plaza, *et al.*, 2016).

La alta densidad de población de colonos no permite que el suelo se regenere y resulta un círculo vicioso en el cual los colonos se ven obligados a talar más bosque para aprovecharse de este nuevo suelo durante unos años más. Estadísticas de Fundación Natura destacan la gravedad de este problema: mientras el 36% de la tierra en el Oriente ha sido reclamado por los colonos, las áreas de la región aptas para la producción sustentable constituyen entre el 5 y 20% de la región. Se estima que cerca del 60% de la deforestación en los países amazónicos es causado por la agricultura y la ganadería (GADPO, 2015).

La agricultura en la Franja Diversidad y vida, y los planes de manejo comunitario son acuerdos que tienen una vigencia de cinco años y son elaborados con la participación de la población que vive dentro de la zona del área protegida. En este espacio se proponen acciones vinculadas con las actividades turísticas, productivas y artesanales relacionadas con el desarrollo sustentable de los recursos, la conservación y la integralidad ecológica y cultural de la Reserva de Biosfera Yasuní (MAE, 2018).

Los factores productivos del territorio como la productividad, el empleo y las oportunidades de trabajo, presentan un bajo incremento como consecuencia de las

pocas ampliaciones, remodelaciones y fomento de actividades de la pequeña y mediana manufactura dentro del territorio, ya que la mayoría concentran sus esfuerzos en la agricultura y ganadería. Se consideran en esta categoría, a los suelos que han sufrido cambios significativos por parte de la intervención del ser humano, sea para uso agrícola o ganadero, con fines comerciales o para el autoconsumo. En la parroquia de Inés Arango esta categoría alcanza una extensión de 9.431,23 ha, equivalente al 6,4% del total de la superficie parroquial. En esta clasificación se agrupa a los suelos en rotación, agroforestería, pastos plantados y mosaicos agropecuarios. Se localizan por debajo de los 1200 msnm, siendo los cultivos permanentes más comunes: cacao, plátano y café; los cultivos de ciclo corto y los anuales incluyen maíz, papa china y yuca; los pastos son variados, pero todos introducidos; los árboles incluyen decenas de especies, la mayoría de crecimiento rápido y pioneros (GADPIA, 2015).

El análisis del suelo permite el conocimiento de este recurso natural, en sus características y relieve a efectos de predecir su comportamiento y adaptabilidad para su correcto uso y manejo. Esta clasificación se realiza a través de un sistema, que agrupa los suelos con iguales o similares características, a fin de definir las prácticas de uso adecuadas a sus condiciones naturales. Es importante mencionar que la calidad del suelo es variable y los suelos responden de forma distinta conforme las prácticas implementadas sobre él. Se incluyen los elementos de la calidad del suelo, las propiedades físicas, químicas y biológicas inherentes y las dinámicas (GADPO, 2015).

La clase taxonómica predominante corresponde a los Inceptisoles con 334.734,075 ha., lo que equivale al 64% del territorio cantonal. Los suelos de orden Inceptisoles se caracterizan por ser suelos bastante jóvenes todavía en evolución. La mayoría de los Inceptisoles tienen un aprovechamiento forestal, pero también son suelos de praderas o tierras de cultivo bajo condiciones de humedad y en el caso del aprovechamiento agrícola requiere de buenas prácticas y el uso de fertilizantes. Cuando se localizan en pendientes un aprovechamiento idóneo es el bosque, la pérdida de la vegetación en este tipo de suelos genera un proceso erosivo intenso (GADMFO, 2018).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.2.1 Justificación

Un sistema de modelaje consisten en diseñar un modelo a partir de conocimiento previo sobre un sistema real, para experimentar con él y entender el comportamiento de ese sistema, de modo que sea posible predecir su comportamiento (Piera, 2004). Una modelación de sistemas agrícolas de fundamental importancia para la aplicación teórica/práctica, es la estimación de la relación del crecimiento y desarrollo de las plantas, los factores bióticos y abióticos que influyen en el rendimiento y su manejo antes y después de la cosecha en los aspectos logísticos de transporte y beneficio de las cosechas, entre otros (Gálvez, *et al.*, 2010).

Un sistema de simulación en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) permite: 1) analizar las variaciones del sistema agrario desde una perspectiva holística para dotar soluciones oportunas, 2) efectuar escenarios de simulación en los procesos fenológicos de la planta, para la búsqueda de estrategias de manejo basadas en el tiempo (Somarriba, 2004). El diseño y utilización de sistemas de modelización en el cultivo de cacao permitiría predecir el comportamiento fenológico en función de un clima cambiante y la rentabilidad potencial que el cultivo del mismo (Espinosa, *et al.*, 2015).

1.2.2 Formulación del problema

Los procesos de colonización han promovido la baja productividad, la deforestación, formando una espiga de pescado en los sistemas de cultivos, principalmente de cacao (*Theobroma cacao*); en la Franja de Diversidad y Vida (FDV) se ha promovido la degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad y la incertidumbre en términos de producción (kg/ha) por la influencia de un clima cambiante.

1.3 OBJETIVOS

1.2.1 General:

- Diseñar un modelo de simulación para el cultivo de cacao en la comunidad Rodrigo Borja, ubicado en la Franja Diversidad y Vida (FDV).

1.2.2 Específicos:

- Determinar el crecimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en términos de biomasa bajo un clima cambiante.
- Evaluar la dinámica del rendimiento del cacao (*Theobroma cacao*) bajo escenarios de cambio climático.

CAPÍTULO II

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Colonización de la Amazonia Norte

La región amazónica del Ecuador compartía con el resto de la Amazonía una compleja red de culturas y civilizaciones, las cuales fueron drásticamente reducidas o extintas tras las políticas de colonización iniciadas desde Europa y posteriormente por las nuevas repúblicas. Desde entonces, los procesos coloniales han estado basados en políticas económicas y desarrollistas incompatibles con la cultura, formas de vida y ecología presentes en la región y han desencadenado una dramática serie de consecuencias sociales que representan obstáculos para el desarrollo saludable de los habitantes de la región. Por ser un territorio explotado en sus recursos naturales, caóticamente ocupado por población humana, con sistemas de producción deficiente y de vulnerabilidad ecológica, creemos que debe permanecer vigente el concepto de colonia interna (Valladares *et al.*, 2016). Tal proceso, al igual que la colonización, junto con el ingreso de las empresas agroindustriales y madereras tuvo como trasfondo el discurso oficial de la “Amazonía como territorio vacío” (Guerrero, 2017).

Las presiones y amenazas sobre las poblaciones y ecosistemas (terrestres y acuáticos) de la RAE están asociadas a la formulación e implementación de políticas públicas para el acceso y control del espacio amazónico, sus recursos y poblaciones, a la especialización económica extractiva asignada a la Amazonía (vista como región de reserva de recursos extractivos), pero también al traslado de la pobreza rural –mediante colonización y reforma agraria– desde otras regiones del país afectadas por falta de tierras, sobrepoblación y minifundio o con un extremo deterioro ambiental, como en ciertos valles andinos y bosques secos del litoral (López A *et al.*, 2013).

2.1.2 Historia de la Franja de Diversidad y Vida

La creación de la Franja Diversidad y Vida del cantón Francisco de Orellana (FDV) tiene como antecedentes la definición de las franjas adyacentes al noroeste del Parque Nacional Yasuní (PNY) que fueron implementadas en el año 2010 como una medida preventiva a raíz de los ataques suscitados por indígenas en aislamiento a poblaciones campesinas en el año 2009, hechos aun no esclarecidos por las autoridades competentes, para lo cual el MAE emitió los “Criterios técnicos para la evaluación de planes de aprovechamiento forestal, ocupación territorial u otros planes de manejo de áreas colindantes cercanas a los territorios Tagaeri – Taromenane en la provincias de Orellana y Pastaza” (Ponce, 2016). El territorio considerado por el estado ecuatoriano como la Franja Diversidad y Vida del cantón Francisco de Orellana antes localizada en el área contigua al Parque Nacional Yasuní. El 10 de mayo de 2006, la Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) otorgo medidas cautelares a favor de los pueblos indígenas Tagaeri y Taromenane que habitan en la selva amazónica ecuatoriana situada en la frontera con el Perú y se encuentran en situación de aislamiento voluntarios u ocultos. Estos elementos justifican plenamente las acciones sistemáticas, responsables y articuladas del estado para el mejoramiento de las condiciones de vida de los grupos mencionados (Kichua, Shuar, Waorani y Mestizo) y la aplicación de medidas cautelares (Ponce, 2016).

2.1.3 Franja Diversidad y Vida (FDV)

Es un territorio biodiverso, complejo en el que cohabitan pueblos Waorani, Shuar, Kichua, en aislamiento voluntario y mestizos, a la vez que es una de las zonas más ricas en recursos naturales e hidrocarburos de nuestro país (Larrea, 2015). El Modelo de Gestión para el desarrollo de las 27 Comunidades de la FDV del cantón Francisco de Orellana tiene como antecedentes la definición de las franjas adyacentes al norte del PNY, revelando un 20 % de pobreza extrema y 60 % de pobreza lo que convierte a la FDV en una zona de alta vulnerabilidad (Ponce, 2015).

2.1.4 Historia de la Agricultura - Cacao en la Amazonia Norte Ecuatoriana.

Un país como el Ecuador, que tiene un clima envidiable, el mismo que es estable a través del año, que dispone de varias cuencas hidrográficas, de suelos aptos para la

agricultura y con un potencial humano enorme para trabajar la tierra, no ha sabido aprovechar estas ventajas para hacer de la agricultura una actividad generadora de riqueza y de plaza de trabajo para millones de personas (Quimi, 2013).

La agricultura desempeña un papel crucial en la economía de un país; es la columna vertebral de nuestro sistema económico; no sólo proporciona alimentos y materias primas, sino también oportunidades de empleo a una importante cantidad de población. Algunos hechos que podemos destacar claramente son: Fuente de sustento, Contribución al ingreso nacional, Suministro de alimentos y forrajes, Importancia en el comercio internacional, Superávit comercializable y Fuente de materia prima (Romero, 2012).

Según registros históricos, la domesticación del cacao para el consumo humano fue obra de los pueblos toltecas, aztecas y mayas en el centro y norte de América hace más de 2.000 años, sin embargo, recientes estudios demuestran que en la Amazonía ecuatoriana ya se consumía este producto hace más de 5.000. Incluso cuando llegaron los conquistadores españoles en el siglo XV, los granos de esta fruta eran usados como moneda (Andes, 2015).

Ecuador es líder en la producción de cacao fino de aroma, con una participación del 62% del mercado mundial, dando sustento a alrededor de cien mil familias que practican este cultivo pero que mantienen niveles de productividad muy bajos (STCIC MPVE, 2011).

Existen varios tipos de cacao, pero sólo uno es el fino de aroma: el ecuatoriano, llamado también nacional criollo o “de arriba”, el que buscan los grandes chocolateros del mundo por su aroma y su sabor único. Este es el ingrediente indispensable para fabricar los mejores chocolates del mundo. En países como Bélgica, el Codex Alimentario dice que un chocolate Premium debe contener al menos un 12% de cacao fino de aroma ecuatoriano en su fórmula (Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2015).

El gobierno ecuatoriano consciente del potencial no solo comercial sino turístico que puede ofrecer el cacao decidió impulsar los emprendimientos de las comunidades productoras de cacao (*Theobroma cacao*) y formuló tres proyectos que los lleva adelante la empresa pública Ecuador Estratégico: Pueblo del Cacao en la localidad de

Archidona, el Eco-Centro del Cacao en Tena, y el Jardín del Cacao en Arosemena Tola, los tres en la provincia de Napo (Cisneros, 2015).

El cacao del Amazonas es considerado un chocolate gourmet por su alta calidad y sabor. Los estudios dados por la Agencia de Cooperación Alemana y la Prefectura del Tena, presentan estudios científicos y arqueológicos que evidencian la existencia de contenidos patrimoniales y culturales relacionados con el uso del cacao (El Agro, 2012).

2.1.5 Conflictos Socioambientales en la FDV

Son problemas originados por la superposición de actores, que provocan un impacto en los recursos naturales (alteración de ecosistema) y en la calidad de vida de los seres humanos (Krainer y Mora, 2011).

La economía ecuatoriana se basa en el extractivismo con un modelo socioeconómico rentable basado en la explotación del petróleo de los yacimientos de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), esta actividad: condiciona la conservación de la fauna y flora; ha generado un proceso de aculturización de los pueblos indígenas en contacto inicial: Waorani, propiciado enfrentamientos con las poblaciones de Indígenas en Aislamiento Voluntario Tagaeri-Taromenane (PIAs), impulsado la expansión carreteras, la colonización y como consecuencia un conflicto de expansión de la frontera agropecuaria en la zona de transición de la RBY (Freire, 2015).

2.1.6 Caracterización de los suelos de la FDV

Son suelos cafés rojizos, ricos en minerales y vidrios de origen volcánico; son profundos, muy arcillosos, muy poco diferenciados, impermeables y son muy compactos. Ubicados a los 100 y 300 msnm. Tienen bajo contenido de materia orgánica, son extremadamente ácidos, poseen un alto porcentaje de aluminio y son muy compactos, por tal razón serán siempre marginales para los cultivos y la ganadería, no así para la vocación forestal (Martín y Pérez, 2009).

2.1.7 Características del Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao*)

La planta del cacao crece de manera silvestre en la cuenca del Amazonas, necesita de humedad y de calor, siempre se encuentra en floración, crece entre los 5 y los 10 m de altura, su rendimiento es de 2 – 5 qq/ha en la FDV, se desarrolla bien en las tierras bajas de climas cálidos con una temperatura entre los 20 y 30 °C.

Para la selección de lugares para la siembra de cacao se debe respetar los retiros de las fuentes de agua con precipitación media anual entre 1800 y 2600 mm. Debido a la alta presencia de cultivos con suelos erosionados y empresas petroleras en la FDV, su fertilización es sintética, alterando cada vez más al suelo. Las podas permiten al árbol expresar su capacidad productiva, a través de la regulación de su estructura, facilidad en el manejo agronómico e incidencia en la fisiología del árbol. El manejo integrado de plagas y enfermedades es cada vez más rigurosa producida por el cambio climático. Mediante la simulación con CropSyst nos permitirá implementar planes de manejo dentro de la plantación, como el mejoramiento del nivel de sombra, el manejo de las podas y el tipo de especies a utilizar (Álvarez *et al.*, 2013).

2.1.8 Importancia en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*)

El comportamiento del cambio climático podrían ganar más área al costo de producción y su calidad está en función de la genética, el ambiente incluyendo la ubicación de la finca y del clima-manejo (Rodríguez, 2016). Con esta información se concluye que existen oportunidades de mejorar los resultados económicos en los Sistemas Agroforestales (SAF) con cacao y, al mismo tiempo, generar servicios ecosistémicos para beneficio de los productores (Saquicela, 2017).

2.1.9 Modelos Agroclimáticos: Modelación De Sistemas Agrícolas

Los modelos agrícolas son ecuaciones matemáticas, que representan las reacciones que ocurren dentro de la planta y las interacciones entre las plantas y el medio ambiente, simulando en forma dinámica el crecimiento del cultivo con la ayuda de las computadoras (Galvez *et al.*, 2010).

a) Sistemas de modelaje

Un modelo es la representación simplificada de un sistema, donde se describen las variables dependientes e independientes de interés, características y restricciones mediante símbolos, diagramas y ecuaciones (Fischer y Álvarez, 2016).

Un sistema comprende una metodología para la construcción de modelos de sistemas sociales, que establece procedimientos y técnicas para el uso de lenguajes formalizados, considerando en esta clase a sistemas socioeconómicos, sociológicos y psicológicos, pudiendo aplicarse también sus técnicas a sistemas ecológicos (Cathalifaud, 1998).

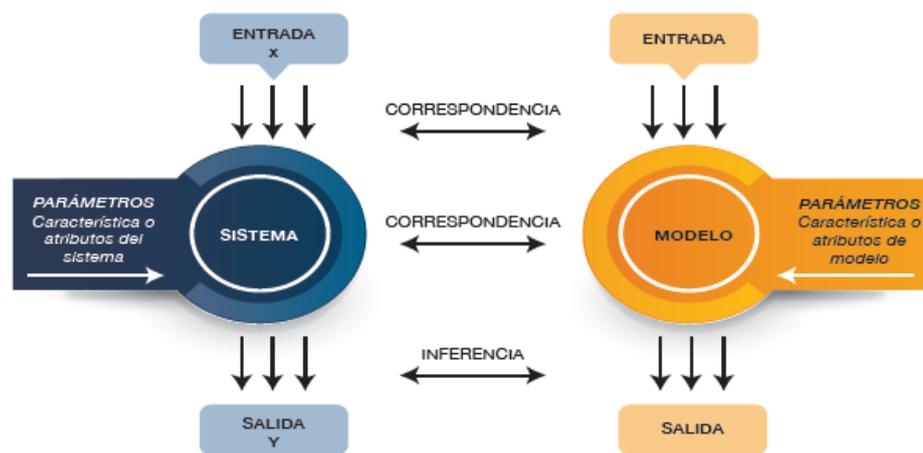


Figura 1: Representación gráfica del concepto de un modelo de Simulación.
Fuente: Fernández, 2013

b) La simulación o el modelado

Consiste en diseñar un modelo a partir de conocimiento previo sobre un sistema real, para experimentar con él y entender el comportamiento de ese sistema, de modo que en el futuro sea posible predecirlo, (Cala, 2017). Existen varias alternativas de uso de modelos: estadísticos, o inductivos, para explicar impactos a partir de variables indicadoras; el desarrollo de este tipo de modelos puede ser prometedor, especialmente cuando el sistema de interés se defina en márgenes estrechos; así que unas pocas variables bastan para explicar efectos relevantes. El uso de modelos de simulación permite aprovechar todo conocimiento disponible sobre un sistema. Sin embargo, el desarrollo de un modelo puede ser costoso, lento y laborioso (Griño, 2017).

c) Un modelo de simulación (MS)

Es una abstracción de un sistema que existe en la sociedad o en la naturaleza. En la

agricultura, los modelos de simulación imitan los procesos ecobiofísicos del cultivo para modelar el impacto de factores del medio ambiente en los cultivos y sus sistemas ecológicos (Henríquez y Azócar, 2006). Los MS se clasifican: según su propósito original, su estructura y los procesos implementados. Otras diferencias importantes se encuentran en la inclusión del tiempo como variable y en la formulación matemática del modelo (Tarifa, 2015).

Es importante mencionar que el empleo de modelos de simulación para estudiar el clima y el impacto del cambio climático sobre las actividades agrícolas es una herramienta innovadora para el desarrollo de capacidades asociadas con la modelización del clima y la productividad de los cultivos que ayudan a tomar decisiones locales, regionales y nacionales (Hernández, 2009).

d) Simplicidad versus complejidad en el diseño de modelos de simulación

Un modelo puede ser más sencillo o más complejo, según el tipo de sistema específico que trata de representar y el nivel de detalle con que se diseñe, y la incertidumbre en los modelos de simulación: La certeza o certidumbre es el conocimiento seguro y claro de algo. El modelo se limita a hacer lo que se le indica cuando fue diseñado. La respuesta a ello determina si se puede confiar en el modelo y en sus resultados (Sevilla, 2015). La manera de manejar la incertidumbre es la repetición de experimentos de simulación de manera independiente con variaciones en los supuestos. Sin embargo, un modelo de simulación muchas veces es complejo y su desarrollo requiere de recursos sustanciales (Fierman, 2012).

Estudios sobre los impactos del cambio climático en la agricultura comienzan con un análisis de los cambios proyectados. Estas proyecciones son los resultados de modelos de simulaciones del clima global. Hasta ahora, ningún modelo conocido se considera “el mejor” para simular el cambio climático. La selección del escenario tiene implicaciones importantes para el propósito de estudios sobre los impactos del cambio climático. Proyecciones del clima en el futuro se generan con modelos del clima. Estos modelos son representaciones matemáticas de los procesos atmosféricos del clima global (Vázquez, 2015).

CAPÍTULO III

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACION

Zona de Estudio: Franja de Diversidad y Vida (FDV), Comunidad Rodrigo Borja: El territorio considerado por el estado ecuatoriano como la Franja Diversidad y Vida del cantón Francisco de Orellana se localiza en el área contigua al Parque Nacional Yasuní, a lo largo del límite del mencionado Parque y del Territorio Waorani – Zona Intangible Tagaeri-Taromenane (ZITT), en las parroquias Dayuma e Inés Arango del cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana (MAE, 2015).

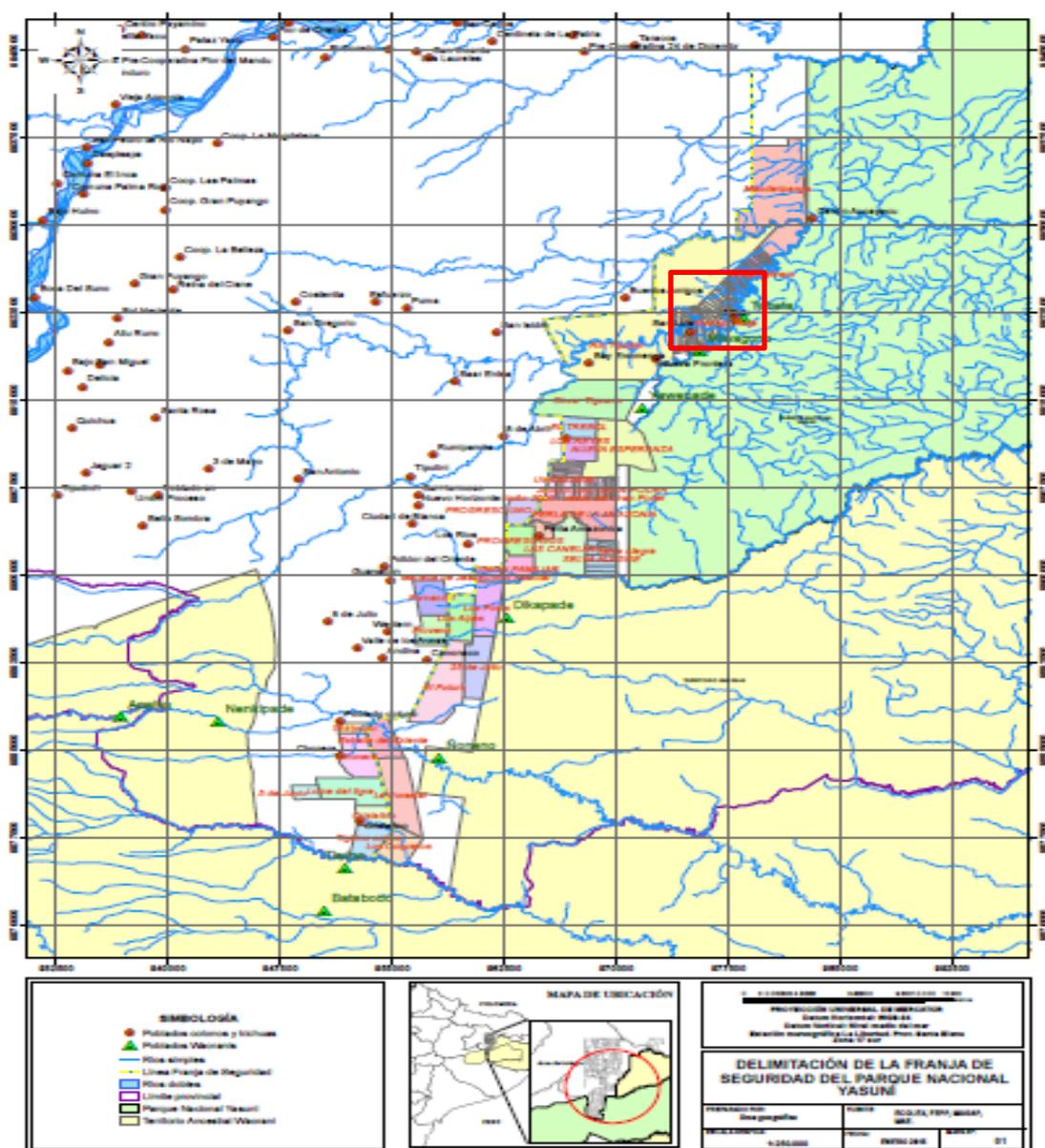


Figura 2: Zona de estudio, Franja Diversidad y Vida de la Resera de Biosfera Yasuní, Comunidad “Rodrigo Borja”.

Fuente: Fernández (2013).

En la FDV existen 27 comunidades, 652 predios individuales linderados, de los cuales 258 se encuentran en situación de regularización, 6 territorios globales de comunas indígenas y 2.167 habitantes que corresponden al 21 % de la población de las parroquias Dayuma e Inés Arango que suman 10.335 habitantes. La mayor parte vive en la zona norte (1.540 habitantes) y sur (252 habitantes) de la franja, mientras que al centro viven 375 habitantes. No toda la población está dispersa, existen cuatro centros poblados rurales que sumados tienen alrededor de 900 habitantes (Santa Rosa, Rodrigo Borja, Patria Nueva y Comuna Rio Tiputini). El clima es cálido húmedo, la temperatura varía entre los 20 y 40 °C. promedio de 28 °C, debido a su altitud (254 m.s.n.m.). El suelo está compuesto en muchos de los casos por una mezcla de dos o más clases de suelo, sobresaliendo la clase taxonómica Typic y/o Oxicystrudepts (suelos rojos). Este tipo de suelo se puede encontrar principalmente en las parroquias: El Dorado, Dayuma, García Moreno, Inés Arango, La Belleza, Taracoa y Alejandro Labaka (Abarca y Licuy, 2015).

El MAG a través de Subsecretaría de Tierras, realizó el levantamiento de coordenadas del territorio amazónico ubicado en el Cantón Francisco de Orellana, Provincia de Orellana, que para efectos de este instrumento se denominará Franja de Diversidad y Vida (**Tabla 1**) del Cantón Francisco de Orellana, ubicada dentro de los siguientes límites:

Tabla 1: Límites de la Franja de Diversidad y Vida.

PUNTO	ESTE	NORTE	PUNTO	ESTE	NORTE
1	979051,214	9943520,204	4	978068,648	9931307,443
2	979045,644	9936852,384	5	978101,135	9929274,110
3	979044,337	9931338,823	6	978549,419	9928980,166

Fuente. MAE (2015).

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La siguiente investigación denominada: Aplicación de modelos de simulación en sistemas agrícolas de cacao (*T. cacao*) en la Franja Diversidad y Vida, es descriptiva porque nos permiten describir y caracterizar variables en las etapas fenológicas y es de

tipo exploratoria porque nos permiten plantear y evaluar sistemas de escenarios de modelaje.

3.3 METODOS DE INVESTIGACION

3.2.1 Descripción del Modelo:

Se utilizó el modelo de simulación de cultivos CropSyst como una función de transferencia de la variabilidad climática para el crecimiento y rendimiento de los cultivos. El modelo CropSyst se puede usar donde la información del cultivo es escasa. Este modelo se utiliza con éxito para evaluar el impacto del cambio climático y la variabilidad climática sobre el rendimiento de diversos cultivos. El modelo de simulación de sistemas de cultivo incluye: módulos relacionados con la fenología, el crecimiento y el rendimiento de las plantas, junto con la dinámica del nitrógeno en los cultivos y suelos y el equilibrio hídrico del suelo. El desarrollo de la fenología de las plantas es conducido por la temperatura y el fotoperiodo. Este modelo tiene en cuenta el efecto de la luz, el agua, el nitrógeno y el CO₂ en el crecimiento de los cultivos.

3.2.3 Entradas del modelo CropSyst: Se necesitó cuatro datos de entrada para correr CropSyst: Lugar, suelo, cultivo y manejo (Tabla 2). La separación de los datos permite vincular fácilmente simulaciones de CropSyst. Una simulación con datos de control combina los datos de entrada requerido para producir una corrida de simulación específica. Adicionalmente el dato de control determina el comienzo y final del día para la simulación.

Tabla 2. Datos de entrada para el proceso de modelización utilizando el Software CropSyst.

Datos de lugar	Incluyen información de longitud, latitud, nombre y código del archivo de clima, parámetros de intensidad de lluvia (para predicción de erosión), parámetros de clima glacial y parámetros locales para generar radiación solar diaria y valores de déficit de presión de vapor.
Datos de suelo	Incluyen superficie del suelo, capacidad de intercambio catiónico y pH, requeridos para volatilización de amonio, parámetros para la aproximación del número de curvas, textura del suelo: espesor de la capa, capacidad de campo, punto permanente de marchitez, densidad aparente y coeficiente Bypass.
Datos de cultivo	Este archivo permite seleccionar los parámetros para diferentes cultivos y está estructurado en las siguientes

secciones: **Fenología** (requerimientos de tiempo térmico para alcanzar estados de crecimiento específico modelado por el fotoperiodo y la vernalización), **Morfología** (Máximo Índice Área Follar (IAF), profundidad de la raíz, área de 27 la hoja específica y otros parámetros que definen las características del dosel y la raíz), **Crecimiento** (transpiración-eficiencia normalizada por la presión de vapor diaria VPD, eficiencia del uso de la luz y parámetros de respuesta al estrés entre otros), **Residuos** (parámetros de descomposición y residuos del cultivo), **Nitrógeno** (demanda de N del cultivo y absorción de la raíz), Índice de cosecha (índice de cosecha sin estrés y parámetros de sensibilidad al estrés) y **Tolerancia de salinidad**.

Datos de manejo

Estos archivos incluyen eventos de manejo programado y automático. Los eventos automáticos generalmente se especifican para suministrar un manejo óptimo para el máximo crecimiento, aunque la irrigación puede ser también establecida para el déficit de irrigación. Estos eventos pueden ser programados usando la fecha actual o la fecha relacionada al año de siembra, o sincronizando con los eventos fenológicos, por ejemplo números de día después de la floración.

Fuente. Fernández (2013)

El proceso de modelización con CropSyst fue evaluado para simular el rendimiento (kg/ha) y crecimiento en términos de biomasa del cultivo de cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*) (edad promedio 3 años) en el periodo de 5 años (2018 – 2023) utilizando datos de Campo y bibliográficos para determinar la tendencial de las dos variables a modelizar.

El funcionamiento del sistema de modelaje en el software CropSyst inició con la recolección de información en función a la base de datos requerida (Suelo, cultivo, Manejo y Ubicación, que se integran en la simulación como Datos de lugar, Datos de suelo, Datos de cultivo y Datos de manejo, una vez cubierta el requerimiento de información existente en campo se realizó una búsqueda de información secundaria para completar los datos máximos requeridos en cada uno de los parámetros, una vez ejecutado el software el documento resultantes (datos de Salida) en función a la programación.

3.2.4 Descripción del interface de software CropSyst (CS)

Las simulaciones de CropSyst (Figura 3) requieren una serie de archivos que almacenan los parámetros que controlan y ajustan los diferentes sub-modelos en CropSyst CS Explorer implementa la mayor parte de las funciones de Windows Explorer para la gestión de los archivos y para contactos directo con los creador del software.

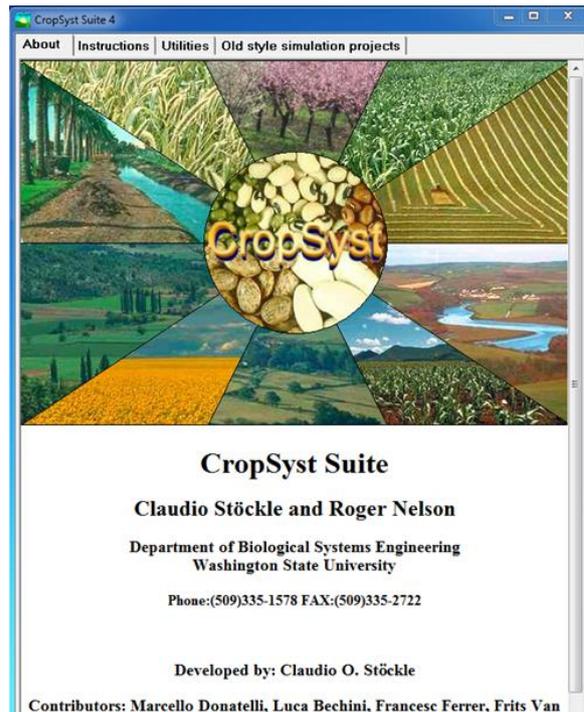


Figura 3: Interface - CropSyst y menú principal.

Fuente: Stöckle, 2013

CAPÍTULO IV

4.1 RESULTADOS ESPERADOS

4.1.1 Parámetros del modelo:

Para diseñar un modelo de simulación de aspectos relacionados según los parámetros observados en un periodo de 5 años desde el 2019 hasta el 2023 correspondientes a los datos del lugar, datos del suelo, datos del cultivo y datos del manejo, que están en relación con los aspectos presentados en las Tabla 3.

Tabla 3 : Parámetros del cultivo requeridos para la simulación en Cropsyst.

Diseño		
Orientación	DATOS	
Fila acimut	46	Grados
Espaciado entre filas del cultivo	4	m
Espaciado a lo largo de las filas del cultivo	3	m
Características del dosel		
Ancho a través de la fila*	2,40	m
Ancho a lo largo de la fila*	2,40	m
Altura*	3,50	m
Altura de inserción de la rama*	1	m
Acumulación de tiempo térmico		
Respuesta térmica		
Temperatura base	23	°C
Temperatura óptima	25	°C
Temperatura máxima	32	°C
CO²		
Eficacia de uso de la transpiración	361	Ppm
Eficiencia de uso de la radiación	381	Ppm
Solución hipérbola no rectangular para crecimiento relativo estimado		
Alfa	3,5	Hz
Theta	7,5	Hz
Tasa de crecimiento máxima	4,38	%
Residuo		
Fracción de carbono superior y raíz	---	Fracción
Área de raspado cubierta a relación de masa	2	m ² /kg
Área de residuo superficial aplanada, cubierta por relación de masa	4	m ² /kg

Transpiración

Coefficiente de extinción del dosel para la radiación solar total	0,5	0-1
Coefficiente de evapotranspiración del cultivo de en el dosel completo	0,8	0,8-1,4
Potencial hídrico foliar al inicio del cierre estomático	0,2	J/kg
Marchitamiento del potencial hídrico de la hoja	0,6	J/kg

Consumo máximo de agua

Antes de fructificar	15	%
Durante el llenado inicial de fruta	20	%
Durante el llenado rápido de fruta	25	%
Después de la madurez	5	%

Crecimiento alcanzable

Temperaturas de limitación

Eficiencia de uso de la radiación

Uso de la radiación eficiencia total base de radiación	400	w.m ⁻²
--	-----	-------------------

Crecimiento del dosel

Potencial hídrico de la hoja que comienza la reducción de la expansión del dosel	3,5	kPa
Potencial hídrico de la hoja que detiene la expansión del dosel	4,24	kPa

Modelo de desarrollo de dosel

Cubierta del dosel 2017

Cubierta del dosel basado

Cubierta inicial del dosel	1/6	Fracción
Cobertura máxima del dosel	3/6	Fracción
Cobertura total del dosel al final de la temporada (verde y senescente)	4/6	Fracción
Cubierta verde del dosel al final de la temporada	5/6	Fracción
Tiempo térmico en la temporada	21	°C

Fenología

Tiempo térmico para alcanzar	Datos	
Crecimiento del dosel final	23-1440	°C – días
Comenzar a florecer	23-210	°C – días
Comience a llenarse (siembra de semillas, limadura de huertos o acopio de tubérculos)	23-40	°C – días
Comenzar un rápido crecimiento de la fruta	23-360	°C – días
Comenzar escenas	40	Días-antes
Escenas completas	40	Días-después
Madurez fisiológica	23-180	días
Factor de ajuste para respuesta pre fenológica al estrés	-0,03	°C – días
		0,1 MPa

Raíz

Profundidad de raíz máxima	1,5	m
Relación raíz / brote (masa) en emergencia	1,7	m
Relación raíz / brote (masa) en toda su extensión	2	m
Densidad de raíz superficial máxima	75,39	Cm/cm3
Curvatura de distribución de densidad de raíz	-4,0	0,0001-6,0

Fruta

Carga máxima de fruta (masa fresca)	500	Kg/ha
Fracción de sólidos totales	0,5	0-1
Masa de fruta inicial	50	Kg/ha
Velocidad de liberación inicial de las reservas de biomasa (por día)	100	Kg/ha
Fruto por árbol	200	Frutas/año

Cosecha

Translocación de biomasa a fracción de grano	0,30	0-1
Baja temperatura para la cosecha	20	°C
Días consecutivos por debajo de la baja temperatura para considerar la Cosecha	0	Días
Días en busca de condiciones de cosecha	5	Días
Día para forzar la cosecha (o fecha fija)	2	Días

Robustez

Temperatura fría que comienza a dañar el plan (hojas)	12	°C
Temperatura fría que es letal para la planta (hojas)	>9	°C

En la Tabla 4 se observa los parámetros relacionados con el manejo y la distribución en el suelo, contenido de nitrógeno y la programación del cultivo observados, las características según la composición de arena 30,12 %, limo 45,79 %, arcilla 24, 8 % y residuo orgánico 10%, y lo establecido en la programación de evento único para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), siendo perenne y realizando todas las actividades según el estado de desarrollo del cultivo último en el lugar que se plantó.

Tabla 4: Parámetros del manejo requeridos para la simulación en Cropsyst.

MANEJO		
Cantidad de nitrógeno en forma de nitrato	15,3	%
Cantidad de nitrógeno en forma de amonio	10	%
Materia seca de fresco	12	Kg
Masa de nitrógeno en forma orgánica	400	Kg/ha
Cantidad de nitrógeno en forma de amoníaco (NH ₃)	44	Kg/ha
A largo plazo NH ₃ vitalización	259	Kg/ha
Total irrigación (precipitación)	2500	mm

Efecto de la oxidación de la intensidad del disturbio del suelo

Arena*	30,12	%
Limo *	45,79	%
Arcilla*	24,8	%
Residuo orgánico*	10	%
Fuente de amonio	Urea	
Método de aplicación	Transmisión de superficie	
Condiciones para la aplicación		
Suelo crítico N	44	Kg/ha
Profundidad de muestreo del suelo	1,5	m

Programación (Evento único)

Relativo a la fecha de siembra		Fecha
Antes de plantar	40	Día
Fenología del cultivo	C3	Plantas
Fenología del árbol frutal	Maduración	Fruto
Tiempo térmico	25	°C
Duración	8	Hora
Hora de inicio	8 am	Tiempo

En la Tabla 5 se presenta los principales resultados que arroja el software una vez introducidos los datos históricos reales y la proyección que tiene esa región en cuanto a los parámetros, materia orgánica y las posibles deterioros que puede tener esta zona en 5 años de simulación de Datos en cuanto: erosión 20 %, una salinidad de 30 % y nitrógeno disponible de un 37 % lo cual puede afectar los rendimientos del cultivos del cacao (*Theobroma cacao*) en los próximos años correspondientes.

Tabla 5: Parámetros del suelo requeridos para la simulación en Cropsyst

SUELO		
Duración del evento de precipitación	2500	mm
Condiciones de congelamiento	0	--
Cambio atmosférico de CO2	28.8	TC/ha/18años
Materia orgánica		
Biomasa microbiana	5	1/día
Materia orgánica estable activa lábil	2	1/día
Materia orgánica estable meta estable	3	1/día
Máximo 10%		
Periodos		
Erosión	20	%
Salinidad	30	%
Nitrógeno disponible	37	%
Perfil del suelo	A,B	

Fuente: Elaborado por el Autor.

En la Tabla 6 se muestra los principales resultados según los datos analizados a través del software arrojando una proyección en la región en cuanto al clima y las posibles clasificaciones como: según la posición, la región y la estación meteorológica impuesta por el software Cropsyst se introdujo nuevamente los datos de 5 años demostrando su simulación cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), demostrando que se pueda desarrollar en condiciones de una humedad relativa del 80 % con precipitación de 2500 mm requeridos por el cultivo, además con una temperatura de 23 °C mínimo recomendable y máxima de 30 °C para la producción de frutos y su cuajo. Con una radiación solar de 8 horas, una velocidad de vientos de 1-2 m/seg, donde la irradiación solar máxima es del 50% lo cual tendrán un efecto óptimo en los rendimientos del cultivos del cacao (*Theobroma cacao*), en los próximos años correspondientes.

Tabla 6: Parámetros climáticos de Cropsyst.

CLIMA				
Posición	Longitud:	-0,699396		
	Latitud:	-79,712743		
	Elevación:	280 m.s.n.m		
	Altura de detección:	300 msnm		
	Date:	07/05/2018		
	Geolocalización:	-0,699396	-79,712743	
	Condensación	1 afm < 100°C (60 %)		
Región	País:	Ecuador		
	Provincia:	Orellana		
	Región:	Amazónica		
Estación meteorológica	Humedad relativa:	80	%	
	Precipitación	2500	mm	
	Rango de temperatura:	23-30	°C	
	Radiación solar:	2,74	Horas	
	Velocidad del viento:	1-2	m/seg	
	Irradiación solar máxima:	50	%	

Fuente: Elaborado por el Autor.

Para la simulación de resultados de la comunidad Rodrigo Borja, se plantea la reconstrucción de la curva de temperatura y pluviometría donde se cultiva cacao (*Theobroma cacao*).

Se determinó un total de 64 parámetros para el modelo de simulación según el software Cropsyst, la cual nos determina una interrelación entre ellos su proyección

en 5 años, lo cual fue posible verificar en cuanto a estos datos obtenidos como: datos del lugar, datos del suelo, datos del cultivo y datos de manejo. Siendo analizados a través de Cropsyst. Así podremos aplicar una nueva técnica de manejo, fechas de siembra, fechas de fertilización, podas, y trabajar en mejorar las condiciones de adaptabilidad de la planta.

Determinar el crecimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en términos de biomasa bajo un clima cambiante.

Como se observa en la Figura 4, relacionadas en el incremento de la biomasa puede estar dado porque en los 3 años se realizó un mantenimiento de la finca con podas de rejuvenecimientos para el primer año 2019 y posteriormente los durante 3 años consecutivos el cultivo se encuentra en crecimiento vegetativo y formación de biomasa asegurando la etapa de reproducción (formación de mazorcas).

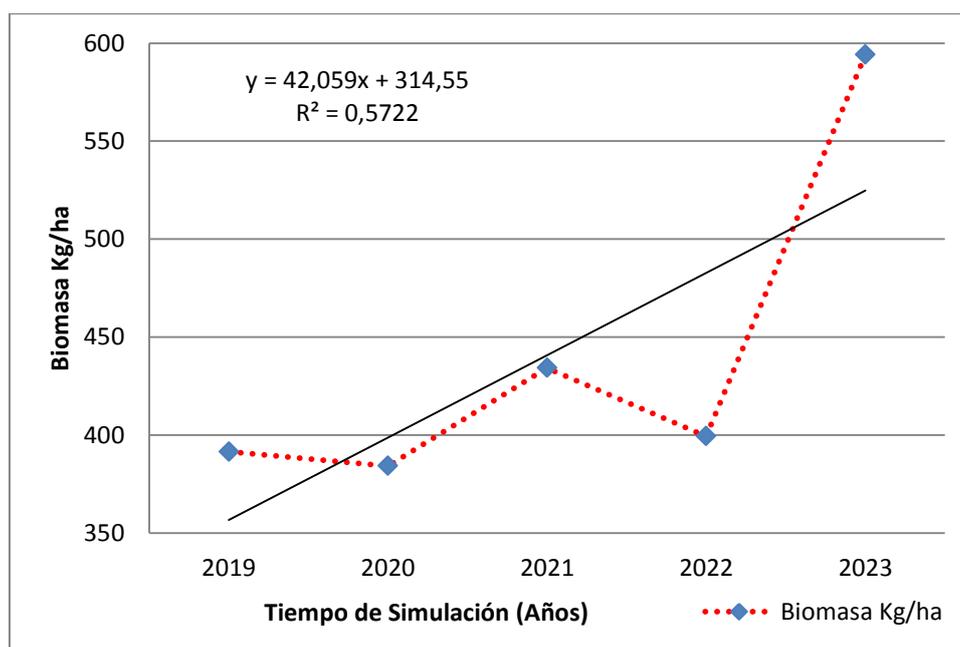


Figura 4. Representación grafica del crecimiento y biomasa para el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) desde el año 2019 hasta el año 2023.

Fuente: Elaborado por el autor.

Lo cual este resultado nos dará un diagnóstico, según los posibles cambios que sucederán en los 5 años. Como se puede observar en la Figura 4 los resultados presentan crecimiento y biomasa de 173 kg/ha en el cultivo de cacao (*Theobroma*

cacao) a partir del año 2019 hasta el año 2023, incrementará notablemente debido a que el cultivo se encuentra en una edad óptima de producción.

El año 2019 se presenta una tendencia inicial en el Figura 4, con un valor de 390 kg/ha referenciada por la simulación, e incorporado manejos de podas de rejuvenecimientos para efectos de comparación con el suelo del bosque secundario que presenta sus valores normales en su primer año. El año 2020 se presenta una disminución de biomasa, con un valor de 380 kg/ha en relación al año anterior referenciada por la simulación e incorporación de manejos de podas de mantenimientos en relación con el suelo del bosque secundario y al inicio de la fertilización que presenta sus valores inferiores al segundo año. El año 2021 se presenta un incremento de biomasa esto puede estar dado por el, efecto de la fertilización, con un valor de 430 kg/ha referenciada por la simulación. El año 2022 se presenta una disminución crítico en biomasa, lo cual pudo ocasionado por la falta de Nitrógeno en el suelo y posibles podas en épocas de floración y fructificación. Con un valor de 400 kg/ha referenciada por la simulación y sus valores inferiores al cuarto año. El año 2023 se presenta un incremento de biomasa, demostrado por la aplicación dada de fertilizante nitrogenado UREA y fertilizantes foliares. Efecto de las fertilizaciones químicas con un valor de 595 kg/ha.

Evaluar la dinámica del rendimiento del cacao (*Theobroma cacao*) bajo escenarios de cambio climático.

En la Figura 5, se observa la proyección del rendimiento del cultivo de cacao en 5 años, observando un incremento de este parámetro en kg/ha pudiendo estar dado por que el cultivo está iniciando su producción, donde la planta necesita de más nutrientes del suelo y disponibilidad del clima ya que son plantas ya establecidas, por ende, la simulación en 5 años es clara, porque cada año el incremento es mayor hasta llegar al quinto año donde el cultivo presentara una óptima producción y cosecha.

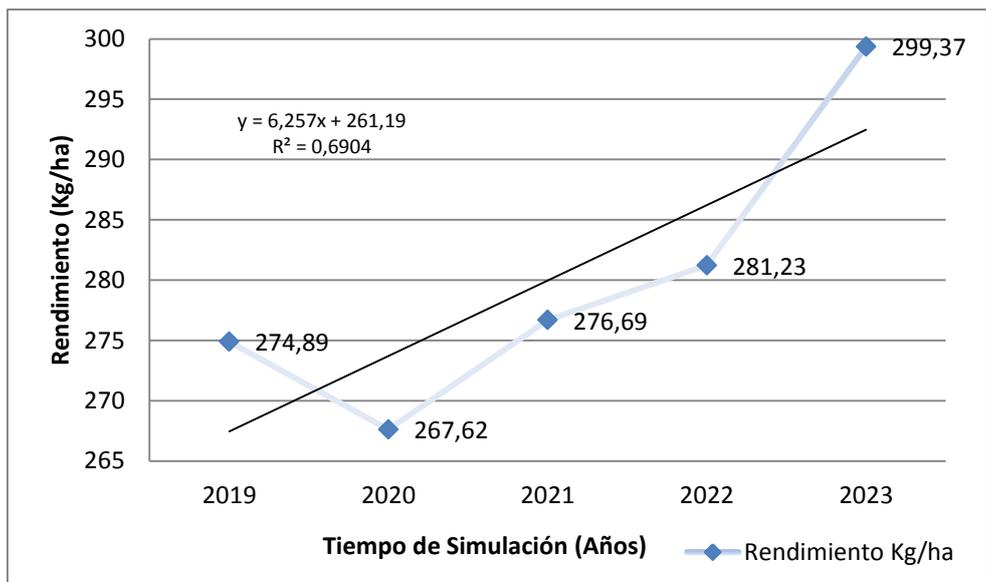


Figura 5. Representación grafica del rendimiento y cambio climático en una proyección de 5 años.

Fuente: Elaborado por el autor.

En el año 2019 se presenta una tendencia inicial de 274,89 kg/ha referenciada por la simulación (Figura 5), e incorporados manejos de podas de rejuvenecimientos para efectos de comparación con el suelo del bosque secundario que presenta sus valores normales en su primer año, para el año 2020 se presenta una disminución del rendimiento de 17,27 kg/ha debido a la posible falta de fertilización, e incluyendo podas de mantenimientos anuales en relación con el suelo del bosque secundario y al inicio de la fertilización que presenta sus valores inferiores al segundo año.

El año 2021 se presenta un incremento del rendimiento, efecto de la fertilización en con un valor de 276,69 kg/ha, superando al valor inicial con 2 kg/ha referenciada por la simulación, e incorporando manejos de podas anuales en relación con el suelo del bosque secundario y sus valores superiores al tercer año. El año 2022 se presenta un incremento, efecto de la fertilización (liquida-solida) en el suelo y posibles cambios de podas adelantadas, con un valor de 281,23 kg/ha. El año 2023 se presenta un incremento efectivo con respecto que la planta está en plena capacidad productiva, efecto de las fertilizaciones con productos sintéticos, con un valor de 299,37 kg/ha referenciada por la simulación, e incorporando manejos de podas anuales en relación con el suelo del bosque secundario y sus valores superiores al quinto año.

Cropsyst muestra que los rendimientos son variables entre años y que presentan una tendencia creciente conforme nos proyectamos a los 5 años. Para las condiciones normales de simulación los rendimientos fueron medidos en kg/ha para la fecha del escenario establecido.

Los rendimientos están basados en los cuatro datos como: datos de lugar, datos de suelo, datos del cultivo y datos de manejo, las variaciones en los años están representados dependiendo de la aplicación de insumos agrícolas y a la producción en kg/ha, así como las variaciones del clima.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El software Cropsyst muestra que los rendimientos son variables entre años y que presentan una tendencia creciente conforme nos proyectamos a los 5 años. Para las condiciones normales de simulación los rendimientos fueron medidos en kg/ha para la fecha del escenario establecido.

Para los resultados obtenidos por Cropsyst fue necesario e importante ingresar los cuatro datos para el proceso de modelización que son: datos de lugar, datos de suelo, datos de cultivos y datos de manejo. Permitted obtener una proyección del rendimiento del cacao a 5 años en la comunidad Rodrigo Borja.

Este modelo de simulación para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), nos condujo a un análisis concreto de aprovechamiento del suelo y rendimiento kg/ha/año, así atreves de técnicas de podas, fertilización, frente a la adaptabilidad de las plantas frente en un clima cambiante.

5.2 RECOMENDACIONES

Realizar el proceso de simulación en más fincas de la Franja Diversidad y Vida (FDV).

Se necesita de datos más reales de la producción del cacao en cuanto a propiedades (físicas, químicas del suelo) y los rendimientos reales de las áreas de simulación.

Es necesario tener en cuenta las condiciones climáticas de las zonas objeto de estudio.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFIA

Abarca, A. G. L., & Licuy, L. G. (2015). Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana, 330.

Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., Rojas-Molina, J., Suarez-Salazar, J. C., & Suarez-Salazar, J. C. (2013). Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2),145.https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num2_art:249

Andes, T. (2015). La ruta amazónica del cacao en Ecuador. Recuperado 21 de mayo de 2018, a partir de <http://tinyurl.com/y8upl0l2>

Cala. (2017). ¿Qué es modelado y simulación (M&S)? Recuperado 22 de marzo de 2018, a partir de <http://www.utadeo.edu.co/link/maestria-en-modelado-y-simulacion-mms/26106/layout-1/que-es-modelado-y-simulacion-ms>

Cisneros, P. (2015, septiembre 6). La ruta amazónica del cacao en Ecuador, un paraíso de sabores nacido de emprendimientos comunitarios. Recuperado 21 de mayo de 2018, a partir de <http://tinyurl.com/y7c5wvby>

El Agro. (2012). Chocolate Amazónico para el Ecuador. |. Recuperado 21 de mayo de 2018, a partir de <http://www.revistaelagro.com/chocolate-amazonico-para-el-ecuador/>

Espinosa y García, J. A., Uresti-Gil, J., Vélez-Izquierdo, A., Moctezuma-López, G., Inurreta-Aguirre, H. D., & Góngora-González, S. F. (2015). Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(5), 1051-1063.

Fierman, E. (2012). Cómo gestionar el riesgo y la incertidumbre. Recuperado 30 de marzo de 2018, a partir de <https://www.lincolninst.edu/publications/articles/como-gestionar-el-riesgo-la-incertidumbre>

Freire, J. L. (2015). Conflictos_socio_ambientales_en_ecuador..pdf (p. 18). Santa Cruz de la Sierra. Recuperado a partir de http://www.landcoalition.org/sites/default/files/documents/resources/conflictos_socio_ambientales_en_ecuador_j.freire_ecolex.pdf

Gálvez, G., Sigarroa, A., López, T., & Fernández, J. (2010). Modelación de cultivos agrícolas. Algunos ejemplos. *Cultivos Tropicales*, 31(3). Recuperado a partir de

<http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=193217921012>

Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal de Francisco de Orellana, Pd. M., & Marzo. (2018). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal de Francisco de Orellana 2014-2019, 223.

Gobierno Autonomo Descentralizado de la Provincia de Orellana. (2015). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial De La Provincia De Orellana* (p. 330). Francisco e Orellana: Publica. Recuperado a partir de <https://www.orellana.gob.ec/docs/PDyOT%20GADMFO%202014-2019.pdf>

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Rural de Inés Arango. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural Inés Arango* (p. 263). provincia de Orellana. Recuperado a partir de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/POR TAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/2260004020001_PDyOT%20Ines%20Arango%202015-2019b_17-05-2015_11-47-39.pdf

Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial de Dayuma. (2015). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial De La Parroquia Dayuma 2014-2019* (p. 60). Dayuma.

Griño, R. (2017). Modelado, simulación y control de sistemas :: Servicios Científico-técnicos de la UPC. Recuperado 21 de abril de 2018, a partir de <https://www.upc.edu/sct/es/servei/66/modelado-simulacion-control-sistemas.html>

Guerrero, F. (2017). Fernando Guerrero C., Transformaciones territoriales en la Amazonía: indígenas, campesinos, fronteras y colonización, 2017, 1-6 págs. Recuperado 21 de abril de 2018 a partir de <http://revistas.flacsoandes.edu.ec/eutopia/articulo/download/3134/2049?inline=1>

Henríquez, C., & Azócar, G. (2012). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (36), 61-74. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022006000200004>

Hernández. (2009). Modelos de simulación de cultivos: Características y usos. *Cultivos Tropicales*, Recuperado a partir de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362009000100014&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Jarrín Valladares, P. S., Tapia Carrillo, L., & Zamora, G. (2016). La colonia interna vigente: transformación del territorio humano en la región amazónica del Ecuador. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (20), 22. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.20.2016.2063>

- Krainer, A., & Mora, M. F. (2011). *Retos y amenazas en Yasuní*. Flacso-Sede Ecuador.
- Stöckle, C. O., Donatelli, M., & Nelson, R. (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 289-307.
- López A, Víctor, Calles L, Juan, Espíndola, V., & Ulloa, J. (2013). *Amazonía Ecuatoriana: bajo presión*. Recuperado 22 de abril de 2018a partir de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56384.pdf>
- Martín, N. J., & Pérez, G. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Cultivos Tropicales*, 30(1), 00-00.
- Ministerio de Cultura y Patrimonio. (2015). El origen del cacao estaría en la selva – Ministerio de Cultura y Patrimonio. Recuperado 21 de mayo de 2018, a partir de <https://www.culturaypatrimonio.gob.ec/el-origen-del-cacao-estaria-en-la-selva/>
- Misterio del Ambiente. (2018, febrero 7). Comunidades waorani proponen actividades de conservación en sus planes de manejo comunitario. Recuperado 22 de mayo de 2018, a partir de <http://www.ambiente.gob.ec/comunidades-waorani-proponen-actividades-de-conservacion-en-sus-planes-de-manejo-comunitario/>
- Piera, M. À. (2004). *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- Plaza, R., Ponce, C., & Carpio, P. (2016). *Informe de la Reunion de Trabajo del Modelo de Gestion de las 27 Comunidades de la Franja de Diversidad y Vida deL Parque Nacional Yasuni* (Institucional No. 006-MAE) (p. 83). Francisco de Orellana: Ministerio de Ambiente. Recuperado 25 de abril de 2018 a partir de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/1655705/CARGA-06.pdf/9153e9a2-610d-4914-b285-075cb442c208>
- Ponce, J. (2015). Contratacion de Prestacion de Servicios de Asesoria Juridica para la Consolidacion del Proceso de Legalizacion de Predios en la Franja Diversidad y Vida del Canton Francisco de Orellana antes Franja de Seguridad del Parque Nacional Yasuni. Recuperado a partir de http://balcon.magap.gob.ec/mag01/pdfs/aministerial/2015/2015_342.pdf
- Ponce, J. (2016). *Modelo de Gestion para el desarrollo de las 27 Comunidades de la Franja Diversidad y Vida del canton Francisco de Orellana*. Puerto Francisco de Orellana.
- Quimi, V. (2013). La realidad de los agricultores y de la agricultura ecuatoriana | Noticias Agropecuarias del Ecuador y el Mundo - Primer periódico agrodigital del

Ecuador - Elproductor.com. Recuperado 21 de mayo de 2018, a partir de <https://elproductor.com/editorial-del-mes/la-realidad-de-los-agricultores-y-de-la-agricultura-ecuatoriana/>

Romero, M. (2012). La Importancia de la Agricultura en nuestro país. Recuperado 21 de mayo de 2018, a partir de <http://www.utn.edu.ec/ficaya/carreras/agropecuaria/?p=1091>

Saquicela, D. (2017). Influencia de la competencia entre componentes de sombra y cacao sobre la producción en sistemas agroforestales en Centroamérica.pdf, 74.

Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional para el Cambio de la Matriz Productiva- Vicepresidencia del Ecuador. (2011). Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador. Recuperado a partir de <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>

Sevilla, J. A. (2015). *Modelado, simulación y control del uso del agua en la agricultura* (<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>). Universidad de Sevilla. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=45984>

Somarriba, E. (2004). ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales?, 9.

Tarifa, E. E. (2015). Teoría de Modelos y Simulación, 17.

Vázquez, R. (2015). Modelos de impacto en la agricultura... (PDF Download Available). Recuperado 31 de marzo de 2018, a partir de https://www.researchgate.net/publication/283540202_Modelos_de_impacto_en_la_agricultura_teniendo_en_cuenta_los_escenarios_de_la_agricultura_del_cambio_climatico