

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Implementación de un Sistema de Alerta Temprana Agroclimático ante la ocurrencia de enfermedades (Moniliasis y Mazorca Negra) en las plantaciones de cacao en la provincia de Los Ríos - Ecuador. Fases (1) Conocimiento del riesgo, (2) y Monitoreo y servicios de alerta.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera Oceanográfica

Ingeniero Oceanográfico

Presentado por:

Génesis Jazmín Mendoza Murillo

Johnny Andrés Morán Espinoza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Con amor para mis padres (Johnny Alberto Morán Bonilla y Luz María Espinoza Paredes), mis bellas hermanas (Andrea y Adriana), mis amados abuelitos, familiares, amigos que de corazón me apoyaron y pusieron su fe en mi para cada paso que daba en el cumplimiento de esta etapa de mi vida. Finalmente, tu lector que confías en el conocimiento de este trabajo espero te pueda ayudar.

A Mariuxy Murillo, mi madre y mejor amiga que con amor, paciencia y tolerancia supo brindarme el ansiado refugio para trabajar en este proyecto

AGRADECIMIENTOS

Al Msc. Jonathan Cedeño nuestro tutor de materia integradora por su gran confianza, predisposición y apoyo para el cumplimiento de nuestra investigación, al gran Toñito (Eduardo Zambrano), Rodney Martínez, Juanito Nieto, Felipe Costa, Pier Maquilón, Inge Pili, Cinthya, Freddy López, Gabriel Mantilla, nuestra excelente decana María del Pilar Cornejo, ilustre profesora Mercy Borbor al excelente equipo y familia del CIIFEN por permitirnos formar parte de este gran proyecto en conjunto con Agroarriba, a la Alcaldía de Valencia por tener las puertas abiertas para la investigación con la Prefectura de Los Ríos e INIAP por el apoyo y conocimientos brindados. También quiero agradecer de manera personal (Genesis Mendoza) al Mat. Eduardo Rivadeneira por su constante apoyo a lo largo de mi paso por ESPOL y Finalmente agradecer a cada uno de nuestros profesores que a lo largo de nuestra formación educativa agregaron su granito de arena con tiempo y dedicación a la enseñanza.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Génesis Jazmín Mendoza Murillo* y *Johnny Andrés Morán Espinoza* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

♥ Génesis Mendoza ♥

Génesis Mendoza



Johnny Morán

EVALUADORES

.....
Msc. Luis Altamirano

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Msc. Jonathan Cedeño

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el cultivo de cacao uno de los factores que constituye un problema grave en la productividad son las enfermedades, con un impacto de hasta el 80% de pérdidas en la producción. Por lo que en el presente trabajo se genera una metodología replicable con base en un área piloto ubicada en la provincia de Los Ríos para las dos primeras fases de un sistema de alerta temprana: Conocimiento del Riesgo y el Sistema de alerta – monitoreo, haciendo uso de datos satelitales como CHIRPS, data de estaciones meteorológicas como Pichilingue – INAHMI y La presa - CELEC y uso de las series de tiempo RCP4.5. Se hizo una revisión bibliográfica para la generación de una tabla resumen condensada para las fases (Infección, esporulación y dispersión) dentro ciclo de vida de las enfermedades Moniliasis y Mazorca Negra, se obtuvo el área de influencia de la estación Pichilingue mediante la calibración de los datos satelitales de CHIRPS, se hizo uso de estadística computacional y el algoritmo de árbol de decisiones para la generación de un modelo de ausencia y presencia con herramientas SIG y rutinas en R automatizadas para la valoración de las condiciones ambientales. Se encontró que las precipitaciones, temperatura, humedad relativa y vientos son los parámetros más relevantes para el monitoreo de las enfermedades, la frecuencia del monitoreo de condiciones ambientales mínimo debe ser quincenal por la duración del ciclo de vida de cada enfermedad y se debe diferenciar a las enfermedades dentro del conteo para la validación de los resultados.

Palabras Clave: Cacao, Data Satelital, calibración, enfermedades, Regresión Lineal, Umbrales ambientales, Sistema de Alerta.

ABSTRACT

In a cocoa cultivation, one of the facts which constitute a serious productivity problems are diseases, having an impact up to 80% of losses in production; therefore, in this study a replicable methodology is generated based on an area located in the province of Los Ríos, for the first two phases of an early warning system: Risk knowledge and the monitoring-system alert; using satellite data such as CHIRPS, data from metrological station as Pichilingue- INAHMI and La presa- CELEC, and the use of RCP4.5 scenario for climate change. A bibliography review was made for the phases (infection, sporulation, and dispersion) within life cycle of the diseases Moniliasis and Mazorca negra, the influence area of Pichilingue station was obtained through the collaboration of CHIRPS satellite data, computational statistics and the decision tree algorithm were used to generate an absence and presence model with GIS tools and automated R routines for assessing environmental conditions. Precipitation, temperature, relative humidity and wind are the most relevant parameters for monitoring diseases, the frequency of monitoring environmental conditions must be at least biweekly because the duration of the life cycle of each disease and it must be differentiated according to the diseases within the count for validation results.

Keywords: Cocoa, Satellite Data, calibration, diseases, Linear Regression, Environmental thresholds, Alert System

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1.....	9
1. Introducción	9
1.1 Descripción del problema	11
1.2 Justificación del problema	12
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 Antecedentes	13
1.4.1 Importancia económica del cacao.....	13
1.5 Marco Teórico.....	17
1.5.1 Sistema de Alerta Temprana	17
1.5.2 Cacao.....	19
1.5.3 Estaciones Meteorológicas.....	34
1.5.4 Clasificación de la precipitación según su intensidad	40
1.5.5 Análisis de Regresión	40
1.5.6 Diagrama de Taylor	45
1.5.7 Técnica de Árbol de Decisiones	46
CAPÍTULO 2.....	48

2.	Metodología	48
2.1	Proceso Metodológico del proyecto	49
2.2	Umbrales	49
2.3	Modelo de Regresión Lineal	49
2.3.1	Precipitación	49
2.3.2	Temperatura	53
2.4	Humedad Relativa, Vientos zonales y meridionales.....	53
2.5	Generación de Modelo de Ausencia y Presencia.....	53
2.5.1	Validación de Modelo	54
CAPÍTULO 3.....		57
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	57
3.1	Umbrales	57
3.1.1	Monilia	57
3.1.2	Mazorca Negra	57
3.2	Área de Piloto	57
3.2.1	Caracterización de la zona de estudio	58
3.3	Calibración de CHIRPS con estación Pichilingue	61
3.3.1	Precipitación	61
3.3.2	Temperatura	64
3.4	Modelo Ausencia-Presencia	65
3.4.1	Validación.....	65
CAPÍTULO 4.....		72
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	72
	Conclusiones.....	72
	Recomendaciones.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....		77
APÉNDICES.....		81

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
APROCAFA	Asociación de Productores de Cacao Fino y de Aroma
INAMHI	Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología
INIAP	Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias del Ecuador
CIIFEN	Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno 'El Niño'
UNDP	United Nations Development Programme
CELEC	Corporación eléctrica del Ecuador
SAT	Sistema de alerta temprana
INOCAR	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GHCN	Global Historical Climatology Network
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
IDW	Interpolación con la Distancia Inversa Ponderada
RMS	Root Mean Square

SIMBOLOGÍA

mm	milímetros de precipitación
°C	Grados Celsius
m/s	metros sobre segundos
m	Metro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
ppm	Partes por mil
meq	miliequivalentes
%	Porcentaje

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Componentes de un SAT.....	17
Ilustración 1.2 Fenómeno de El Niño. [MeteorologíaenRed, 2020]	25
Ilustración 1.3 Fenómeno de la Niña. [MeteorologíaenRed, 2020].....	26
Ilustración 1.4 Ciclo de vida del hongo <i>Moniliophthora roreri</i> agente causal de la Moniliasis del Cacao. [L. Porras & Jesús Sánchez].....	29
Ilustración 1.5 Síntomas internos y externos de la moniliasis.....	30
Ilustración 1.6 <i>Phytophthora palmivora</i> : A) Pudrición negra de la Mazorca, B) frutos momificados con micelio, C) cancro del tallo, D) esporangios, E) clamidospora.	33
Ilustración 1.7 Mapa con la ubicación de las estaciones meteorológicas de CELEC en relación con las provincias del Ecuador. [CELEC].....	36
Ilustración 1.8 Ubicación de la estación meteorológica Pichilingue. [INAMHI].....	38
Ilustración 1.9 Ejemplo: diagrama de dispersión de las alturas de madres e hijas en los datos de Pearson. [Sanford Weisberg, 2005]	44
Ilustración 1.10 Diagrama de Taylor. [PMEL].....	46
Ilustración 1.11 Esquema árbol de decisiones. [C. Zuñiga & N. Abgar, 2011].....	47
Ilustración 2.1 Diseño conceptual para Ingenieros [ESPOL, 2020]	48
Ilustración 2.2 Proceso llevado a cabo en el desarrollo de este proyecto.	49
Ilustración 2.3 Esquematización del árbol de decisiones para la Moniliasis.	54
Ilustración 2.4 Esquematización del árbol de decisiones para la Mazorca Negra.....	54
Ilustración 3.1 Área Piloto (delimitada por el rectángulo rosa), aquí también se detallan las fincas (estrellas) y estaciones meteorológicas (puntos)	58
Ilustración 3.2 Climograma Estación Pichilingue, periodo 1981-2010	60
Ilustración 3.3 Rosa de Vientos.	60
Ilustración 3.4 Gráfico de Correlaciones (Pearson, Spearman y Kendall).	61
Ilustración 3.5 Gráfico de Dispersión entre los Datos de la estación meteorológica Pichilingue y CHIRPS.	62
Ilustración 3.6 Validación Moniliasis – Finca Montoya	65
Ilustración 3.7 Validación Mazorca Negra – Finca Montoya.....	66
Ilustración 3.8 Validación Moniliasis – Finca Betty Angélica.	67
Ilustración 3.9 Validación Mazorca Negra – Finca Betty Angélica.....	68
Ilustración 3.10 Validación Moniliasis – Finca Bijagual.....	69
Ilustración 3.11 Validación Mazorca Negra – Finca Bijagual.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Taxonomía del Cacao	20
Tabla 1.2 Taxonomía de <i>Moniliophthora roreri</i>	27
Tabla 1.3 Taxonomía de la <i>Phytophthora palmivora</i>	31
Tabla 1.4 Estaciones CELEC.....	36
Tabla 1.5 Fuentes de datos complementarios	40
Tabla 1.6 Clasificación de la lluvia según su intensidad	40
Tabla 2.1 Quincenas para el conteo de mazorcas enfermas.	55
Tabla 2.2 Moniliasis	56
Tabla 2.3 Mazorca Negra	56
Tabla 2.4 Períodos.....	56
Tabla 3.1 Umbrales para la Moniliasis.	57
Tabla 3.2 Umbrales para <i>Phytophthora</i>	57
Tabla 3.3 Ubicación de las fincas	58
Tabla 3.4 Estaciones de CELEC.....	58
Tabla 3.5 Conteo Moniliasis – Finca Montoya	66
Tabla 3.6 Conteo Mazorca Negra – Finca Montoya.....	67
Tabla 3.7 Conteo Moniliasis – Finca Betty Angélica	68
Tabla 3.8 Conteo Mazorca Negra – Finca Betty Angélica	68
Tabla 3.9 Conteo Moniliasis – Finca Bijagual	69
Tabla 3.10 Conteo Mazorca Negra – Finca Bijagual.....	70
Tabla 3.11 Moniliasis	70
Tabla 3.12 Mazorca Negra	71

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador ocupa el tercer lugar en la producción mundial del cacao y es considerado el mayor productor de cacao fino de aroma. Por lo que la importancia se ve reflejada en que existen 105,000 familias vinculadas directamente a este sector productivo, 108,000 empleos directos generados por la cadena productiva y 91,466 hectáreas dedicadas a este cultivo en el país. (Anecacao, 2019)

El país se ha convertido en el primer exportador de cacao en grano de América Latina con un valor de 322 mil toneladas en el periodo de 2018 – 2019 y 325 mil toneladas en el periodo 2019-2020 según los datos de la Organización Internacional del Cacao. Además, la Asociación de Productores de Cacao Fino y de Aroma (APROCAFA) indica que se buscará incrementar la producción ecuatoriana en los próximos 7 años.

De esta forma, para mejorar la productividad del cacao ecuatoriano se han identificado problemas importantes con empresas e instituciones que se dedican a la investigaciones patológicas y genéticas, monitoreo climático e innovación productiva como Agroarriba, CIIFEN e INIAP y otros productores de cacao. Estos problemas se ven sumidos en condiciones ambientales y ecológicas que no podemos manejar al estar directamente relacionado con el medio en el que se desarrolla la producción. Por lo que es necesario la implementación de sistemas de alerta temprana que monitoreen estas condiciones, sin embargo, existe otras causas que favorecen a la baja producción en la cual se centra esta investigación y son las enfermedades producidas por hongos, específicamente *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora*.

Estas enfermedades generan un alto impacto en la producción cacaotera debido a su velocidad de propagación y facilidad de infección, especialmente para climas como nuestra zona de estudio, ubicada en gran porcentaje dentro de la provincia de Los Ríos pero que además limita con Guayas y Manabí. En esta área se presentan precipitaciones anuales mayores a 2000 mm y temperaturas medias que se encuentran en rango de 25.3 - 26.3°C clasificada por el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología del Ecuador (INAHMI) como costa centro húmedo con pequeño déficit de agua en época seca.

Para un sustento teórico a la investigación se hicieron recopilaciones bibliográficas del ciclo de vida de las enfermedades y los umbrales meteorológicos determinantes para las

fases de Infección, esporulación y dispersión de las esporas, ya que para cada fase requieren condiciones ambientales de temperatura, Precipitación, Humedad relativa y Vientos para que se desarrolle el Hongo. Según el estudio de Impacto del cambio climático en el cacao. (Ordoñez, C.Suarez, D.Vera, Souza, & M.Mena, 2020)

Las 2 enfermedades presentan condiciones o umbrales diferentes y su objetivo de infección para el caso de la Moniliasis es el fruto mientras que para la enfermedad de la Mazorca negra es el árbol, además su agresividad depende directamente de las condiciones ambientales ideales en las que se desarrollan, no obstante, surge la necesidad de la implementación de sistemas de alerta tempranas agroclimáticos el cual es la clave para obtener un manejo integral responsable para los impactos del clima y las enfermedades.

Este trabajo de investigación dirige su objetivo hacia dos de los cuatro componentes de un sistema de alerta temprana, ya que según *United Nations Development Programme* un sistema de alerta es un conjunto de herramientas adoptadas por muchas sociedades y sectores productivos para reducir el impacto de las amenazas, los cuales a su vez poseen medidas, planes y estrategias para incrementar la resiliencia y adaptación ante el peligro constando de 4 componentes: 'El conocimiento del riesgo, Monitoreo y servicio de alerta, Comunicación y difusión de la información y finalmente la Capacidad de respuesta'. (United Nations Development Programme (UNDP), 2018)

Es importante entender cada una de las fases de cada enfermedad a través de los datos históricos de clima, su producción y la presencia de las enfermedades en las fincas. Esto nos llevó a responder las preguntas ¿Cuáles son las variables meteorológicas más importantes que llegaron a dar las condiciones ideales para cada fase de las enfermedades?, ¿Cuáles son las condiciones ambientales o umbrales para la infección, esporulación y dispersión?, ¿Cuál es el área de influencia que tiene la estación meteorológica más cercana?, ¿Cuánto es la disponibilidad de los datos y que modelos podrán ser usados para el monitoreo de las condiciones? Y finalmente ¿Qué probabilidad de ocurrencia existe para las condiciones meteorológicas monitoreadas?

De esta forma la investigación se organiza de la siguiente manera: primero, se presentan los resultados de la recopilación bibliográfica donde se exponen los parámetros utilizados

en el estudio con los umbrales establecidos para cada fase del ciclo de vida de las dos enfermedades.

Segundo, se detalla la recopilación de los datos que se usaron para llevar a cabo la reconstrucción climatológica y meteorológica de la zona de estudio, aquí se describe la procedencia de los datos, que pueden ser mediciones in-situ (estaciones meteorológicas), satelitales, o de modelos globales.

Tercero, se detalla los procedimientos matemáticos para la calibración de los datos satelitales con las estaciones meteorológica más cercanas (Pichilingue-INAHMI y las estaciones de CELEC)

Cuarto se describen las metodologías y la programación en el lenguaje de programación orientada a objetos R para los cálculos para ubicar el área de influencia de la estación Pichilingue y finalmente el detalle del cálculo de las probabilidades de ocurrencia para cada fase de las enfermedades.

1.1 Descripción del problema

En general, el rendimiento de los cultivos de Cacao se ven afectados por las condiciones climáticas y meteorológicas que dan cabida a la generación, reproducción y dispersión de los patógenos como *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora*, causantes de las enfermedades Moniliasis y la Mazorca negra estas enfermedades atacan al fruto y al árbol respectivamente, por lo que su impacto puede llegar hasta una disminución del 80% en la producción Cacaotera.

Además, el manejo adecuado de estas enfermedades es muy necesario debido a que una sola mazorca infectada puede llegar a contener dos millones de esporas pudiendo llegar a infectar hasta dos millones de mazorcas si se presentan las condiciones adecuadas para su infección. La falta de sistemas de monitoreo que relacionen las condiciones meteorológicas con umbrales para cada fase del ciclo de vida de las enfermedades desemboca al uso de muchos recursos económicos para la fumigación, manejo cultural e investigaciones genéticas para obtener generaciones más resistentes según los investigadores.

1.2 Justificación del problema

Este proyecto surge de la necesidad de implementar un sistema de monitoreo en base a umbrales que determine las probabilidades de ocurrencia para las fases de infección, esporulación y dispersión de los patógenos más importantes del cacao, *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora*. Ya que se podrá conocer cuáles son las condiciones ambientales y que probabilidad existe para que ocurra una o varias fases para ambas enfermedades; siendo una herramienta para la toma de decisiones en base al manejo cultural dentro de cada fase del ciclo de vida, frecuencia de aplicación de controles químicos con fungicidas y fomento de rondas fitosanitarias en días determinados, con el fin de evitar contaminaciones por dispersión del patógeno en cultivos en diferentes fincas y localidades. (Correa, S.Castro, & J.Coy, 2014)

Obteniendo como resultado el incremento del volumen de producción de semillas, mejora de las condiciones y calidad del cultivo disminuyendo así los costos de producción. Siendo el desarrollo de esta metodología replicable para otras regiones de estudio además de los cimientos para futuras investigaciones de importancia para el país como principal exportador de la Pepa de Oro.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Establecer las primeras fases de un Sistema de Alerta temprana (SAT) para el cultivo de cacao dentro de un área piloto con base en información de observaciones meteorológicas y fuentes satelitales con una metodología replicable para otras regiones del país, que brinde servicios de alerta y monitoreo para la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo, permitiendo reducir las pérdidas en la cosecha por el desarrollo y propagación de las enfermedades Moniliasis y Mazorca negra.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar y organizar la información bibliográfica relacionada con el cacao y el ciclo de vida de las enfermedades.

- Definir los umbrales para la infección, esporulación y dispersión de la *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora*.
- Delimitar el área piloto en base a la disponibilidad de información y área de influencia de la estación meteorológica más cercana.
- Calibrar la información satelital con observaciones de estaciones meteorológicas.
- Generar un sistema de monitoreo de condiciones climáticas basado en umbrales establecidos haciendo uso de Data Science, Estadística y Programación Computacional.

1.4 Antecedentes

1.4.1 Importancia económica del cacao

El cacao es un producto muy importante dentro de la agricultura ecuatoriana puesto que, al ser procesada su materia prima se fabrican grandes cantidades de productos entre ellos el chocolate. Por varios años fue el motor principal de las divisas ecuatorianas antes del boom del petróleo; estas actividades agrícolas se desarrollan principalmente en las haciendas de gran tamaño, así como también en las fincas de los pequeños y medianos productores. El auge cacaotero originó el desarrollo de sectores como la banca, industria y el comercio, por eso se lo conoce como la Pepa de Oro. Sin embargo, en 1920 enfermedades como la Moniliasis y la Mazorca negra, fueron parte de un periodo de depresión e inestabilidad para la economía ecuatoriana. (Rodríguez, 2017)

(Fortaleza del Valle, 2015) indica que el Ecuador posee una gran superioridad en este producto puesto que más del 70% de la producción mundial de Cacao Fino y de Aroma se encuentra en tierras ecuatorianas, convirtiéndose en el mayor productor de cacao del mundo y que esto ha generado un prestigio importante que favorece y destaca lo más representativo para el país, su sector agrícola.

Según un estudio realizado por (Abad, Alvarado, & Gallardo, 2018) en el cual se realiza un análisis comparativo sobre la incidencia de las tres principales enfermedades en el cacao, en el cantón la Troncal ubicado en la provincia del Cañar, Ecuador. La Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) es la enfermedad más devastadora y se encuentra presente en todas las plantaciones de cacao de la zona de estudio y que de ahí le siguen la Escoba

de bruja (*Crinipellis perniciosa*) y la Mazorca Negra (*Phytophthora palmivora*), en orden de importancia y distribución en la zona.

1.4.1.1 Moniliasis (*Moniliophthora roreri*)

La moniliasis ha sido uno de los temas principales cuando se trata del incremento de la eficiencia y seguridad productiva ya que según recuentos históricos esta enfermedad en el artículo de Ovidio Barros "Historia de la Moniliasis y sus repercusiones en los países productores de cacao en sur América" cita que hasta el año 1917 en Ecuador se obtuvieron 71,000 libras de cacao seco luego para 1918 el año que aparece la Monilia se tiene 22,500 libras de cacao finalmente este decremento del cacao termina siendo 0 para 1920 ya que se abandona el cacao, se talan los árboles y se lo sustituye por banano. (CATIE, 1980)

En otro informe de Julio Delgado y Oscar Brenes dentro del mismo libro antes citado habla de la Moniliasis en Costa Rica y los esfuerzos que hicieron el MAG para poder contener la expansión de la enfermedad en 1979 principalmente para enseñar y convencer a los agricultores de la factibilidad de combatir la enfermedad siguiendo las recomendaciones impartidas donde se recomienda de la eliminación semanal de frutos enfermos, podas frecuentes de los árboles y aplicación quincenal de fungicidas durante los periodos de mayor floración. Sin embargo, también se habla de que cada zona presenta su grado de vulnerabilidad frente a esta amenaza debido a que existen regiones donde las condiciones de precipitación y temperatura son óptimas para el desarrollo de la enfermedad y que si el patógeno lograra ingresar a estas regiones en poco tiempo se generalizaría como ocurrió anteriormente en la zona Atlántica.

En otra sección del mismo libro se encuentra el reporte de Colombia llamado "Avances en la investigación de la Moniliasis del Cacao en Colombia" por Víctor Merchán donde cita que al operar un instrumento llamado atrapa-esporas Burkard en una región cacaotera afectada por la enfermedad se obtuvieron conidios de *M. roreri* a una distancia de 375m de la zona 0 comprobando la presencia del hongo en el ambiente, indicando que si las condiciones meteorológicas son favorables puede ocurrir una infección en cualquier época del año (CATIE, 1980). También en el mismo reporte se encontró que el grado de correlación entre las precipitaciones y humedad relativa registradas 2 a 3

meses atrás y la incidencia de la enfermedad era bastante alta por lo que el monitoreo de las condiciones ambientales parece ser otro mecanismo que aportaría en la eficiencia productiva.

Como se puede observar esta enfermedad no solo es de importancia para el Ecuador si no también es de importancia para todos los países productores de cacao es por eso que se han elaborado investigaciones como el 'Manejo Integrado de la Moniliasis en Cacao *Theobroma cacao* L. en Santander – Colombia', donde describen evaluaciones del manejo cultural con frecuencia semanales, quincenales y mensuales de frutos con *Monilia*, además de análisis de efectividad de fungicidas sistémicos como Bayleton, Bayfidan, Moret, Plantvax entre otros (Arguello, 1995); por lo que los resultados en ese estudio indicaron que se necesitan 14 jornaleros/ha con una frecuencia semanal + el uso de Óxido cuproso + Bayleton obteniendo 4.1% de daño por *Monilia* con una tasa de retorno marginal de 21.95% por ciclo de producción.

La severidad del ataque de la moniliasis varía de una región a otra y esta se encuentra muy relacionada con los climas y/o microclimas que subyacen dentro de cada región, por lo que cada zona tiene su grado de vulnerabilidad tan solo estudiando su climatología. Ya que a lo largo del año pueden presentarse con mayor frecuencia condiciones favorables para la infección por lo que esta severidad puede volverse una epidemia si en los lugares más vulnerables no se realizan manejos integrados de los cultivos.

En Ecuador el promedio de pérdidas es del 30%. Sin embargo, la enfermedad es más grave en los años y lugares de mayor pluviosidad, época en que las pérdidas promedio pueden alcanzar de un 50 a 80%. (Sanchez, 1991)

1.4.1.2 *Mazorca negra (Phytophthora palmivora)*

Las pérdidas a nivel mundial, por la presencia de esta enfermedad en las plantaciones de cacao se estiman en unas 450,000 TM por eso es considerada como una de las enfermedades más importantes por el 80% de los países productores de Cacao en Latinoamérica. Este patógeno según la investigación de (Abelardo, 2019) "Manejo de *Phytophthora palmivora* L., en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en la hacienda San José, cantón Babahoyo" puede atacar a todos los tejidos de las plantas como cojinetes florales, chupones o brotes tiernos y plántulas en viveros, causando manchas

de color café en las hojas nuevas, además sostiene que es responsable del cáncer que pueden tener los árboles en el tronco y sus raíces, sin embargo el principal daño es ocasionado en los frutos.

Según (M.Sánchez, E.Jaramillo, & Ramirez, 2015) se relata que la incidencia de la pudrición parda se encuentra influenciada con las condiciones climáticas que posee la zona, donde las precipitaciones, la alta humedad relativa y temperaturas frescas crean un ambiente favorable para el desarrollo de la enfermedad. Por lo que se ha demostrado que en ciertas zonas la enfermedad se desarrolla cuando las condiciones ambientales presentan una humedad relativa mayor al 80%, también describe que cuando el agua se acumula entre 15 y 20 cm por la lluvia recomienda la aplicación de fungicidas. El suelo según el mismo reporte es una fuente de esporas ya que presenta un riesgo alto para los frutos que se encuentran en la parte baja del árbol ya que corren el riesgo de infectarse y al contraer la infección esta produce gran cantidad de inóculos que podrán infectar otros frutos en lugares más altos de los árboles ampliando su propagación, además, otros métodos de diseminación son producidos por el traslado de material de siembra, insectos (hormigas y termitas), roedores y herramientas de poda y cosecha. Para el caso de los insectos de las familias *Scotyidae* y *Nitidulidae* del orden Coleóptera son atraídos por los frutos afectados por la *Phytophthora palmivora* ayudando a diseminar indirectamente el hongo, las esporas viables pueden permanecer inactivas en periodos de hasta 9 meses a la espera de condiciones ideales para poder infectar el árbol. Entre los métodos de control y manejo de los cultivos según la misma investigación se encuentra la aplicación de productos químicos, los cuales deben tomarse en cuenta las dosis, el producto, el método de aplicación y la época del año, ya que con las precipitaciones implica hacer aplicaciones más frecuentes de lo normal, los productos químicos que sirven como métodos de control son los fungicidas sistémicos como metalaxyl y productos cúpricos con dosis de 9g/L cada 20 días en plantaciones tecnificadas. Otras de las recomendaciones de la investigación es la aplicación del Metalaxyl al 25% en la zona afectada además de que su frecuencia es cada 3 a 4 semanas sin embargo denota que la relación costo/beneficio no es favorable ya que el productor debe decidir en qué momento ejecutar la aplicación de los productos y en este ámbito entra el monitoreo de las condiciones ambientales para su aplicación porqué según la investigación incrementa significativamente los costos de producción y el daño

ambiental si no se lo realiza correctamente. Existen también métodos biológicos descritos en la investigación como el hongo *Trichoderma* ya que este inhibe el crecimiento de *P.palmivora*, *T.martiale* ya que este redujo la enfermedad en los ensayos realizados en el campo, también relata observaciones de otros microorganismos benéficos como *Actinomycetes*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasilense* y *Bacillus subtilis* ya que según la investigación han demostrado poseer efectos antagónicos contra la enfermedad de la Mazorca negra. (M.Sánchez, E.Jaramillo, & Ramirez, 2015)

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Sistema de Alerta Temprana

En situaciones de crisis es importante que la advertencia no solo se comunique, sino que también se entienda y se apliquen planes estratégicos. Un SAT es un conjunto de capacidades, instrumentos y procedimientos articulados para brindar información oportuna sobre algún riesgo en un área específica con la finalidad de difundir y alertar a las autoridades tomadoras de decisión y a la población sobre su proximidad; pero ¿Cuáles son las componentes que debe contener un SAT? Se reconocen cuatro componentes importantes, de las cuales para este proyecto solo desarrolla las dos primeras.

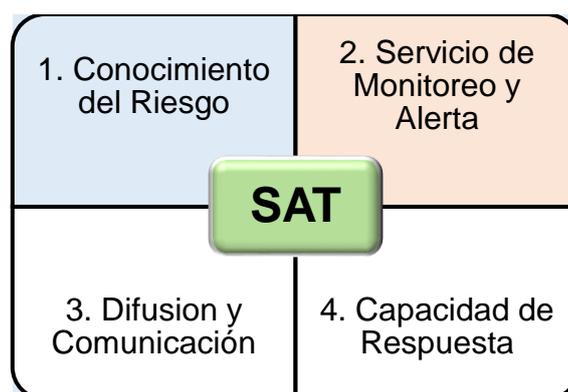


Ilustración 1.1 Componentes de un SAT.

Fuente: EWC III 2006

Según (EWC III, 2006) para que un sistema sea completo y eficaz debe comprender estos cuatro elementos interrelacionados. El conocimiento del riesgo es la efectiva

recopilación de información y evaluación del riesgo; respondiendo a las preguntas ¿Se conocen los peligros y las vulnerabilidades? ¿Qué pautas y tendencias presentan los factores? ¿Se han distribuido ampliamente información sobre los riesgos? Este proyecto está estrictamente ligado al conocimiento del riesgo de dos enfermedades de gran importancia en las plantaciones de cacao, reconociendo principalmente las variables meteorológicas involucradas en la generación de estas, así como la vulnerabilidad de las plantaciones en el área de estudio.

Los servicios de alerta constituyen el componente fundamental del sistema, por eso en el segundo elemento se deben desarrollar los servicios de seguimiento y alerta respondiendo las interrogantes ¿Se realiza el seguimiento de los parámetros correctos? ¿Existe una base científica sólida para efectuar pronósticos? ¿Se pueden emitir alertas con buen grado de precisión y oportunas? Como parte de esta segunda fase este proyecto desarrolla un seguimiento de los parámetros previamente reconocidos como parte de la tendencia ante la presencia de ambas enfermedades; trabajando con bases científicas relevantes para poder generar un monitoreo ante la ocurrencia.

Al momento de diseñar y mantener sistemas eficaces de alerta temprana, es necesario tomar en consideración una serie de aspectos generales:

- Gobernabilidad y arreglos institucionales eficaces
- Enfoque de amenazas múltiples
- Participación de las comunidades locales
- Consideración de la perspectiva de género y diversidad cultural

El desarrollo y la implementación de un sistema de alerta temprana requieren de la contribución y la coordinación de una gran variedad de grupos y actores como:

- Las comunidades
- Autoridades locales
- Gobiernos nacionales
- Instituciones y organizaciones regionales
- Organizaciones no gubernamentales
- Sector privado

- Comunidad científica y académica

Por lo que la unión de cada uno de ellos es una parte fundamental para la generación de planes y estrategias que deberán ser ejecutadas al tener una alerta ante el riesgo. Cada actor, institución, grupo de interés y tomadores de decisiones forma parte del sistema de alerta la generación del conocimiento con bases científicas brindado por las universidades e instituciones privadas, las instituciones públicas concedoras de las vulnerabilidades y capacidad adaptativa de las comunidades además de ser el componente que genera la legislación para la gobernanza y los planes estratégicos en cooperación con los ministerios, la comunidad que es el componente del cual se deberá tener un empoderamiento necesario para actuar con base a conocimiento frente al riesgo y planes de acción brindado por el estado, así mismo dentro de este componente se debe tener una organización participativa con representantes legales o directivos de la comunidad misma ya que una comunidad participativa y organizada tiene un mejor tiempo de respuesta y desempeño disminuyendo los impactos y las pérdidas, finalmente grupos de interés y beneficiarios externos lo cuales evidentemente deben incluirse dentro de los planes de acción y manejo ya que mientras mayor es la participación mejor es la capacidad de respuesta.

1.5.2 Cacao

“La palabra cacao proviene del maya “*Kaj*”, que quiere decir amargo y “*kab*”, que quiere decir jugo. Estas dos palabras, al pasar fonéticamente al castellano, sufrieron una serie de transformaciones que terminaron en “cacaotal”, que luego se transformó en la palabra que ahora conocemos cacao”. (Enriquez, 1986)

1.5.2.1 Origen de la planta

El cacao, *Theobroma cacao* L., es una planta de origen Sudamericano. De acuerdo con los estudios Pound, Cheesman y otros autores, en el área del Alto Amazonas, que comprende países como Colombia, Ecuador, Perú y Brasil. En este último lugar es donde se encontraron la mayor diversidad de la especie, además según nuevos estudios en esta región se lo ha usado por más de 5000 años. (Anecacao, 2019)

Tabla 1.1 Taxonomía del Cacao

Reino:	Plantae
Tipo:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Malvales
Familia:	Sterculiaceae
Genero:	Theobroma
Especie:	Cacao L.

Fuente: (M.Montes, 2015)

1.5.2.2 Requerimientos Edafoclimáticos

El cultivo de cacao posee estrecha relación con los factores climáticos y biofísicos que posee el medio en el que se produce, entre los factores climáticos críticos se encuentra la temperatura y las precipitaciones por la sensibilidad que posee ante las condiciones extremas y condiciones prolongadas de sequías porque limitan su crecimiento, producción de flores y frutos, además el medio debe tener un contenido de humedad estable en el suelo, por esa razón no cualquier región posee las condiciones adecuadas para su producción. Aquella banda geográfica en la que se produce no supera hacia el norte y hacia el sur los 10° de latitud debido a sus requerimientos para su crecimiento y limitaciones para su desarrollo. (Agroarriba, 2020)

Originalmente el cacao se lo cultivaba bajo sombra de árboles forestales de interés o árboles remanentes de bosque originales, aunque todavía existen plantaciones de este tipo cada vez se aprecian más las prácticas de monocultivo sin sombra. A continuación, se describen los factores climáticos y umbrales requeridos para su crecimiento y desarrollo.

1.5.2.3 Temperatura

El crecimiento y desarrollo del cacao son altamente dependientes de las temperaturas del medio por lo que su principal efecto se lo observa en el desarrollo vegetativo, floral y fructificación que es donde se genera la mazorca, por esa razón sus temperaturas óptimas oscilan alrededor de los 25°C, prosperando adecuadamente en el rango desde los 20°C hasta los 32°C, luego las temperaturas medias mínimas aceptables se encuentran en el rango desde los 18°C a 21°C, mientras que su cultivo se ve muy

afectado en temperaturas por debajo de los 15°C siendo su límite mínimo los 10°C pudiendo sufrir daños permanentes en su fisiología, afectando su polinización y generación de frutos. Para sus límites máximos no se encuentran definidos con certeza, por lo que es un cultivo producido en sombra y por lo tanto las altas temperaturas provenientes del contacto directo de la radiación solar disminuyen considerablemente, además no se han registrado impactos que tengan que ver con las altas temperaturas para las plantaciones en que los agricultores hayan optado por el monocultivo. Sin embargo, se conoce que las altas temperaturas provocan el aumento de la respiración y evotranspiración por lo que las demandas hídricas son mayores. (Agroarriba, 2020)

Del mismo modo se sabe que las altas temperatura afectan a la fisiología de las raíces superficiales limitando su capacidad de absorción de los nutrientes y disminuyendo las defensas contra los patógenos del medio, por lo que el esparcimiento y distribución de la hoja rasca en el suelo y ayuda al mantenimiento del cultivo.

También en el mismo estudio de Agroarriba relata que la temperatura tiene un impacto directo sobre la composición química y la cantidad de ácidos grasos contenidos en la almendra, finalmente la temperatura influye en el desarrollo de algunas enfermedades criptogámicas, como la Mazorca negra (*Phytophthora palmivora*), cuya diseminación y ataque se hace severo cuando la temperatura es menor a los 15.5°C. Entre los factores que determinan la temperatura del medio se encuentra la latitud, topografía, altitud, cuerpos de agua presentes, nubosidad y características de las precipitaciones. (Enriquez, 1986)

1.5.2.4 Precipitación

En la mayoría de las regiones cacaoteras, la cantidad de lluvia excede a la evapotranspiración, por lo tanto, el agua debe ser eliminada por otros medios. Si los suelos no son suficientemente drenados, la planta de cacao puede sufrir algunos daños y la producción puede reducirse considerablemente. Por otro lado, la planta de cacao es extremadamente sensible a la falta de agua, pues las estomas de las hojas se cierran aun con pequeños cambios (3.3 %) en el contenido de agua de ellos. El cierre de las estomas induce a una rápida baja en la eficiencia fotosintética de las hojas y por consiguiente al desarrollo correcto de la planta. Si la falta de agua es persistente por las

épocas prolongadas de sequía, la muerte de los tejidos o “quema” sobreviene rápidamente con la muerte y caída de las hojas. La cantidad de lluvia óptimas que satisfacen al cultivo oscila entre 1600 y 2500 mm sin embargo cabe recalcar la importancia de que las lluvias acumuladas anualmente deben encontrarse bien distribuidas en especial para los meses de sequías ya que según el informe de investigación de Agroarriba las precipitaciones en estos meses más la radiación solar explica un 70% de los rendimientos del grano y la disponibilidad hídrica para estos meses críticos resulta en un impacto de hasta un 50% en los rendimientos del cultivo, las plantas no pueden soportar 3 meses consecutivos con precipitaciones menores que 100 mm ya que esto puede afectar a la vitalidad a largo plazo del árbol. (Agroarriba, 2020)

Durante los meses Húmedos es necesario que el suelo posea un adecuado sistema de drenaje ya que cuando las precipitaciones son superiores a 4000 mm anuales estas tendrán un impacto desfavorable en los rendimientos del cultivo ya que las lluvias prolongadas dificultarán al secado y procesamiento de los granos del cacao, además que en aquellas zonas el cacao solamente podría ser económicamente viable en un suelo muy bien drenado o en regiones sin accidentes geográficos donde no haya la posibilidad de generar acumulaciones de agua. (Enriquez, 1986)

1.5.2.5 Viento

Una hoja de cacao pierde agua en pequeñas cantidades debido a la temperatura del ambiente porque este cierra sus estomas. Por esa razón el viento es un factor que determina la velocidad de evotranspiración de la superficie del suelo y de la planta por lo que resulta en la pérdida de agua debido a la presencia de una brisa permanente, pues las hojas dejan de trabajar, se secan y mueren. Si el viento es más intenso, las hojas se caen prematuramente. Una velocidad de 1 m/s no es dañina para el cacao, pero con velocidades mayores a 4 m/s y con muy poca sombra es frecuente observar defoliaciones severas. (Enriquez, 1986)

La presencia continua del viento en una plantación provoca la ruptura del pulvino foliar reduciendo el tamaño y el enroscamiento de las hojas, necrosis y defoliación o caída de hojas y flores. (Agroarriba, 2020)

1.5.2.6 Acción fisiológica de la luminosidad

Para comprender la acción de la luz sobre la fisiología de la planta, es necesario distinguir entre efectos térmicos y luminosos. Por su acción térmica, más que luminosa, la luz es el principal factor ambiental que afecta fenómenos fisiológicos de la planta como transpiración o pérdida de agua por la evotranspiración, sin embargo, el crecimiento, la actividad metabólica, las características y reacciones químicas como la fotosíntesis son afectados por la acción directa de la luz propiamente dicha así como la apertura de las estomas, el crecimiento o alargamiento de las células, la composición química y las características físicas de la grasa del cacao, la época de maduración de los frutos y la intensidad de la floración. (Enriquez, 1986)

En las etapas iniciales la planta debe encontrarse en un ambiente con 30% de luminosidad y 70% de sombra ya que en esta etapa la planta es muy sensible a la exposición directa de los rayos solares, a medida que se desarrolla y produce los frutos se considera que la exposición a luminosidades menores al 50% afecta al rendimiento de los cultivos. (Agroarriba, 2020)

1.5.2.7 Altitud

Al cacao se lo puede cultivar desde el nivel medio del mar hasta los 1200 msnm, sin embargo, según (M.Montes, 2015) los mejores rendimientos se los puede obtener cuando el cacao es cultivado entre 300 a 400 msnm y entre 600 a 800 msnm, por otro lado (Agroarriba, 2020) sostiene que la altitud no es un factor determinante para los rendimientos ya que si las condiciones del medio favorecen las condiciones óptimas de los requerimientos del cultivo así como la temperatura, precipitación, humedad relativa, vientos y luminosidad este tendrá buenos resultados en el ciclo productivo.

1.5.2.8 Suelo

Entre las características de suelos favorables para el cultivo del cacao se encuentran los suelos aluviales y profundos con textura media como franco, franco-arcilloso, franco-arenoso 30-40% arcilla, 50% arena y 10-20% limo. No son recomendables suelos finos o muy gruesos. Con requerimiento alto de estructuras con 66 % de porosidad y nunca menos de 10 % así como buena retención de humedad (M.Montes, 2015). Idealmente el

suelo debe tener una profundidad de 1.5m y materia orgánica. Así mismo si el suelo posee buen drenaje favorece a la no acumulación de agua en épocas lluviosas en las que se supere las necesidades hídricas límites del cultivo ya que disminuyen el área foliar, la conductancia estomatal, la tasa de fotosíntesis, además favorece la generación de lenticelas y raíces adventicias generando problemas sanitarios en el cultivo, por otro lado para regiones donde las épocas de sequías son más intensas y prolongadas es necesario poseer un suelo con mayor retención de humedad para que el árbol no sufra los impactos en el rendimiento y su correcto funcionamiento. (Agroarriba, 2020)

Entre las propiedades químicas del suelo se encuentra el pH el cual su óptimo debe encontrarse entre el rango de 6.0 a 7.0, para el porcentaje de la materia orgánica este debe ser mayor que 3%, mientras que la relación carbono-nitrógeno (C/N) debe ser 9, la capacidad de intercambio catiónico requiere más de 12 miliequivalentes por 100 g de suelo en la superficie y más de cinco en el subsuelo. También según el 'Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable para la región sur – sureste de México' de Procopio López agrega que entre los elementos químicos el suelo para el cultivo del cacao requiere contenidos de calcio mayor a 8 miliequivalentes por 100 g de suelo, Magnesio mayores a 2 miliequivalentes, Potasio con cantidades mayores a 0.24 y más de 0.2 ppm de Boro; Saturación de bases mayores del 35%. (P.Lopez, 2011)

1.5.2.9 Impactos de los Fenómenos Océano – Atmosféricos en las variables

El Niño es un fenómeno océano-atmosférico que ocurre cuando la temperatura de la superficie y sub-superficie del océano en el Pacífico Central y Oriental se vuelve más cálida de lo normal (la zona oriental incluyen las costas del Ecuador y norte del Perú). En estas regiones los vientos Alisios que soplan generalmente en dirección Este a Oeste se debilitan y pueden llegar hasta cambiar (invertir) su dirección permitiendo que exista un desplazamiento de la Piscina de agua cálida del Pacífico Oeste hacia el Este. Esto provoca la suspensión de la Lengua de agua fría del Pacífico Suroriental, así como el retiro hacia el Sur del sistema de corrientes de Humboldt; y demás factores asociados: (1) afloramientos costeros de Perú, (2) alta productividad pesquera del Pacífico Oriental Sudamericano, (3) mecanismo de regulación del clima de toda la zona costera.

Este fenómeno afecta a las condiciones climáticas del Pacífico Oriental con efectos colaterales potenciales en otras partes del planeta. Los cuales varían entre regiones y continentes ya que afectan los patrones normales de lluvia, incrementan la temperatura del aire por la aproximación de masas cálidas atmosféricas provenientes del océano, incremento del nivel del mar en la zona costera oriental y debilitamiento de los afloramientos así mismo condiciones climáticas con mayor humedad en ciertas regiones y sequía en otras (Ferreiro, 2019)

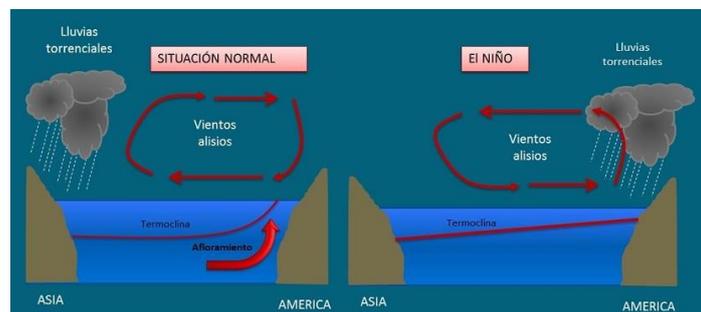


Ilustración 1.2 Fenómeno de El Niño. [MeteorologíaenRed, 2020]

Este fenómeno se lo ha registrado, **sistemáticamente**, desde el año 1967 con seis meses de lluvia, una precipitación pluviométrica de 896 mm, la velocidad del viento a 45 km/h y la temperatura ambiental de 35.40°C. Para el año 1982 el periodo de época húmeda ascendió a 12 meses de duración, una precipitación pluviométrica de 935 mm, la velocidad del viento de 65 km/h, el nivel del mar tuvo una elevación de 0.35 m y la temperatura ambiental a 36°C. En 1997 tuvo una duración de 18 meses y se registró una precipitación pluviométrica de 1074 mm, la velocidad del viento a 105 km/h, la elevación del nivel del mar a 0.42 m y la temperatura ambiental a 37°C. (Jaramillo, 2006)

Según un reporte del Impacto del Fenómeno del Niño por (Corporación Andina de Fomento, 2002) “*en lo que respecta al comportamiento temporal durante enero de 1997 y julio de 1998. Se presentaron anomalías en las precipitaciones con valores superiores a los normales que ocasionaron severas inundaciones*”. También se menciona que en el mes de marzo de 1997 hubo precipitaciones a lo largo de la Región Litoral superando los valores normales, con aproximadamente 250mm, esto se dio especialmente en las provincias de Los Ríos y El Oro. Y que la mayor precipitación fue registrada en la ciudad de Guayaquil con 154 mm. Pero en el mes de noviembre del mismo año se intensificaron las precipitaciones en la Región Litoral y sus valores máximos fueron registrados en las

1.5.2.10 **Enfermedades del cacao**

A continuación, se presentan las enfermedades de nuestro caso de estudio en el cultivo con su respectivo ciclo de vida, condiciones ambientales requeridas para cada una de sus fases y algunas recomendaciones para su combate:

1.5.2.10.1 **Moniliasis (*Moniliophthora roreri*)**

Esta enfermedad es conocida comúnmente con el nombre de Moniliasis, Pudrición Acuosa, entre otras. Y es causada por el hongo *Moniliophthora roreri* en algunos textos se menciona que esta enfermedad es originaria de Ecuador y que luego se propagó a otros países como Colombia, Perú y Venezuela. Es importante tener en cuenta que esta enfermedad ataca solo a los frutos, pero aun a pesar de que no contagia a la planta en su totalidad; es considerada como un limitante importante en la producción eficiente y adecuada del cacao. En Ecuador y en Colombia se han reportado pérdidas que se encuentran en el rango que van desde el 16% hasta el 80% y en casos especiales como la época de la depresión económica de 1920 en la que se superaron estos rangos. Su defecto dañino en la producción es, por lo tanto, comparable con el impacto que tiene la enfermedad de la mazorca negra.

La severidad en el ataque de la Monilia varía entre regiones o zonas ya que dependen de las condiciones climatológicas que clasifican en cierto grado de vulnerabilidad a cada sitio. Así como el hecho de que para el Ecuador la Moniliasis sea una de las enfermedades más severas del cacao, mientras que la Mazorca Negra sea de menor importancia, sugiere que las condiciones climatológicas favorecen a una enfermedad más que a otra. Aparentemente, las temperaturas altas favorecen más la diseminación de la Monilia (Enriquez, 1986). Por esa razón se necesita conocer el grado de vulnerabilidad que presenta cada zona en el Ecuador, ya que la presencia de los microclimas y condiciones ambientales de cada lugar puede aportar al incremento del grado de vulnerabilidad de cada sitio.

Tabla 1.2 Taxonomía de *Moniliophthora roreri*

Reino:	Fungi
Tipo:	Basidiomycota
Clase:	Basidiomycetes

Orden:	Agaricales
Familia:	Tricholomataceae
Genero:	Moniliophthora
Especie:	roreri

Fuente: senasa.gob.pe

Sintomatología. Se conoce que la infección por *Monilia* se presenta primordialmente en los primeros meses de crecimiento de las mazorcas y que a medida que se van desarrollando se vuelven más resistentes al hongo. Cuando la infección se genera en las primeras etapas de crecimiento del fruto, el hongo es capaz de penetrar el interior de la mazorca y a medida que esta continúa creciendo los síntomas en el exterior se vuelven graduales. Es muy común observar mazorcas sin presencia externa del hongo, pero después de un corto tiempo repentinamente aparecen estas manchas características de la enfermedad. Una de las primeras señales de la infección oculta son los puntos o manchas que se presentan en la mazorca tornando la apariencia de una maduración prematura a pesar de estar en una etapa temprana de su desarrollo (en mazorcas verdes se presenta de color amarillo y en las rojas de color anaranjadas).

Las mazorcas que se encuentran infectadas en su interior presentan protuberancias y su peso es mayor a la de una mazorca sana; cuando se abren, en su interior se observa una ligera pudrición. A medida que pasa el tiempo en la superficie se observa la presencia de una mancha parda que rodea una zona de transición color amarillenta. Esta mancha puede cubrir una parte considerable e incluso la totalidad de la superficie de la mazorca. Cuando las condiciones de humedad relativa son altas se puede observar la presencia de una felpa dura y blanca los cuales son micelios de *Monilia*, sobre esta se produce una gran cantidad de esporas. Luego las esporas se desprenden y diseminan fácilmente con el viento o al mover la mazorca y otro factor que también aporta a este transporte son los insectos.

Las semillas que se distribuyen dentro de la mazorca infectada poseen podredumbre que se caracteriza por la acumulación de una apreciable cantidad de líquido en el interior de las mazorcas. La *Monilia* ataca solamente a las

mazorcas de plantas de los géneros *Theobroma* y *Herrania* y se desconocen los ataques a otros órganos. (Enriquez, 1986)

Ciclo de vida del patógeno. El patógeno permanece en el estado de la conidia en las mazorcas infectadas entre las estaciones del año. Las esporas son diseminadas por el viento, los insectos o el agua de lluvia. La mejor temperatura para la germinación de las esporas a partir de los 22°C, temperatura a la cual se desarrolla más rápido que a 35°C. Se conoce por observaciones ocasionales y estudios especiales, que las infestaciones son favorecidas por condiciones de alta humedad y temperatura; sin embargo, es necesario conocer los rangos respectivos y las combinaciones más favorables de estos factores, como paso previo a la zonificación del cultivo en diferentes áreas y explicar por qué existen ocasiones que parece tener una definida localización geográfica para su generación. (Enriquez, 1986)

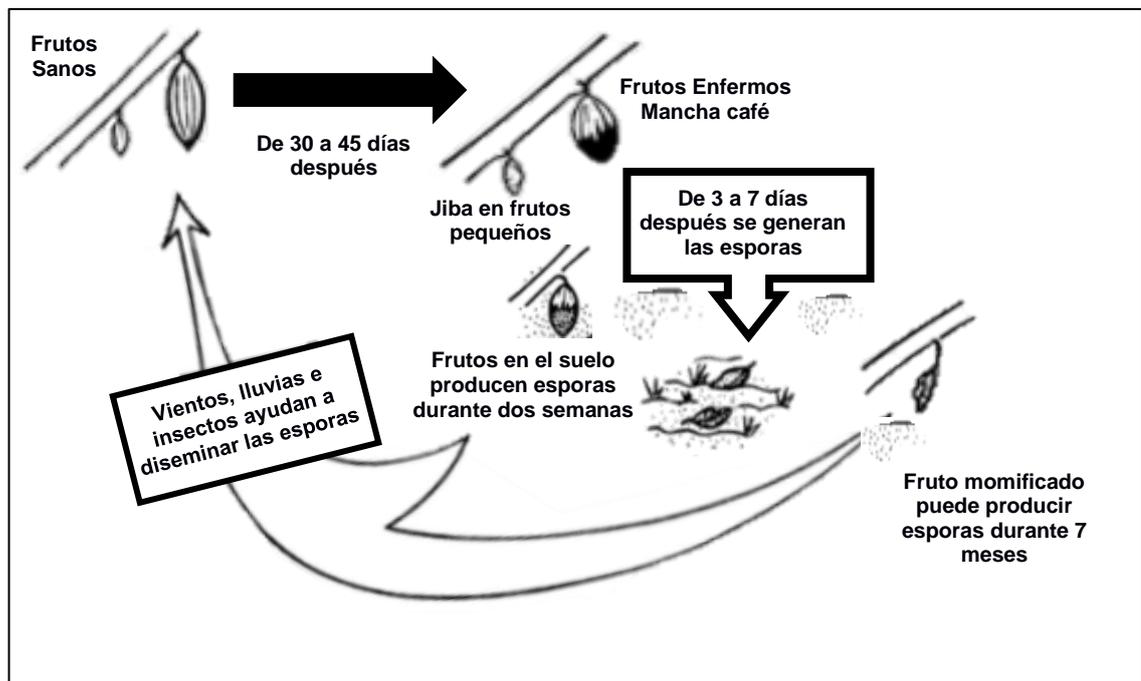


Ilustración 1.4 Ciclo de vida del hongo *Moniliophthora roreri* agente causal de la Moniliasis del Cacao. [L. Porras & Jesús Sánchez]



Ilustración 1.5 Síntomas internos y externos de la moniliasis.

[Fuente: S. Fernando, F. Garcés]

Condiciones que favorecen la enfermedad. El proceso de germinación y penetración de los conidios de *M. roleri* sobre los frutos de cacao es quizá el “punto débil” del hongo, pues es en esta etapa cuando el efecto de las condiciones ambientales puede ser más perjudicial para el patógeno. La maduración del hongo ocurre bajo condiciones óptimas de calor y humedad (mayor a 25°C y 85% de H.R.). El conidio necesita de la presencia de agua para germinar por lo cual la incidencia de Moniliasis se incrementa en épocas de lluvia (Sanchez, 1991).

M. roleri prospera en una amplia gama de condiciones ambientales, desde el nivel del mar a más de 1500 msnm y desde condiciones muy secas (bajo riego) a condiciones muy húmedas. Se conoce que definitivamente prefiere los ambientes calientes y con alta humedad, pero alternados indispensablemente, con períodos secos para facilitar la diseminación de esporas y húmedos para su infección. Se ha registrado presencia de la enfermedad con una precipitación anual de 780 a 5500mm y temperaturas promedio anuales entre 18.6 a 28 °C, con un óptimo entre 24 y 26°C. Aunque puede continuar con un crecimiento lento hasta los 32°C; a medida que aumenta la temperatura se reduce la producción de esporas. Las temperaturas más altas parece que inducen la producción de estroma del hongo sobre las mazorcas, así como la producción, liberación, permanencia en el aire y germinación de las esporas. El crecimiento y la esporulación del hongo se ven favorecidos por regímenes alternos de luz y oscuridad. A su vez, la liberación de esporas es favorecida por un clima cálido (sobre 26°C) y una baja humedad relativa (debajo de 80%). La mayoría de las esporas se liberan durante el primer mes de esporulación y puede alcanzar niveles de más de un millón de esporas liberadas por minuto de una mazorca.

El alto nivel de adaptación (aptitud epidémica) a diferentes ambientes y al gran número de esporas generadas por ciclo hacen de *M. royeri* sea un patógeno muy severo y un excelente invasor de nuevas regiones geográficas o para nuevas condiciones ambientales. A pesar de las particulares condiciones antes indicadas, las enfermedades están relacionadas con épocas de alta precipitación y han sido correlacionadas positivamente con períodos de alta incidencia de la enfermedad (Agroarriba, 2020).

1.5.2.10.2 Mazorca Negra (*Phytophthora palmivora*)

La enfermedad de la Mazorca Negra o Podredumbre Negra es causada por hongos Phycomicetos del género *Phytophthora*. Debido a su amplia distribución en todos los países cacaoteros, ya que ataca más de 40 familias botánicas, es difícil saber exactamente donde y cuando se la observó por primera vez en el cacao. (Enriquez, 1986)

Tabla 1.3 Taxonomía de la *Phytophthora palmivora*

Reino:	Chromista
Tipo:	Oomycota
Clase:	Oomycetes
Orden:	Peronosporales
Familia:	Peronosporaceae
Genero:	<i>Phytophthora</i>
Especie:	<i>palmivora</i>

Fuente: senasa.gob.pe

Sintomatología. El hongo ataca no solo al árbol sino también a diversas partes del árbol como los cojines florales, brotes, hojas, ramas, tronco y raíces, pero el mayor daño se presenta en la mazorca. Estas pueden ser atacadas en cualquier etapa de desarrollo y se presenta como primer indicio una mancha de forma circular que crece concéntricamente hasta alcanzar en su totalidad a la mazorca e internamente se genera una decoloración a medida que el fruto se pudre. El tiempo en que el hongo destruye completamente a la mazorca es de un máximo de dos semanas y la pudrición de esta causa lesiones cancerosas en el tronco y las ramas. (Enriquez, 1986)

Ciclo de vida del patógeno. Después de cuatro a seis días de aparecidos los primeros síntomas en la mazorca se forma una trama de micelio blanquecino y esporas del hongo. Estos constituyen la principal fuente de infección. Una mazorca continúa produciendo esporas durante unos diez años antes de que la destrucción total del fruto y el ataque de que otros parásitos y predadores lo repriman. Los frutos momificados pueden permanecer en el árbol hasta que caen por causas externas. Las esporas se diseminan por el viento, la lluvia, insectos y otros animales, llevando la infección a otras partes. Las mazorcas enfermas pueden infectar el cojinete produciendo un cáncer, y constituyéndose en una amenaza para la siguiente cosecha.

Los factores que favorecen el desarrollo de la enfermedad como la Mazorca Negra y que intervienen más de una especie del género y diferentes líneas o razas de cada especie, necesariamente va a variar de un lugar a otro, de acuerdo con sus propias circunstancias. Generalmente, la enfermedad se ve favorecida por una humedad relativa alta, que se mantenga por varias horas y por temperaturas bajas entre 15 y 27°C. El hongo se genera mejor en condiciones ambientales entre 18° y 20°C.

El factor más importante en la epidemia de esta enfermedad parece ser la lluvia, produciendo brotes de *Phytophthora* tres a cuatro días después. Además, la principal diseminación de esporas viables tiene lugar por el salpique del suelo causado por las gotas de lluvia, así como por el agua que corre a lo largo de los troncos y ramas. Las principales fuentes de inóculo identificadas han sido: el suelo, los cascarones de cacao apilados, las mazorcas momificadas, los cojines florales, la corteza del cacao, los brotes de cacao que crecen cerca del suelo y algunos árboles de sombra. (Enriquez, 1986)

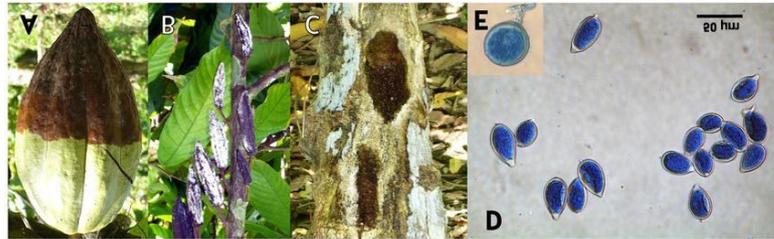


Ilustración 1.6 Phytophthora palmivora: A) Pudrición negra de la Mazorca, B) frutos momificados con micelio, C) cancro del tallo, D) esporangios, E) clamidospora.

Condiciones que favorecen la enfermedad. Según (Hardy, 1961), entre los factores de mayor importancia que afectan la incidencia de la Mazorca Negra debe señalarse la cantidad y distribución de la lluvia y la humedad relativa. Los esporangios forman zoosporas (esporas flageladas) cuando están sumergidos en agua. Mientras que, con ausencia de agua, pero con la humedad relativa adecuada germinan directamente como conidios. En investigaciones llevadas a cabo en Nigeria no se observó germinación cuando la humedad relativa fue constantemente menos de 95%; algunos esporangios germinaron cuando la humedad relativa fluctuó entre 98 y 92%. Cuando los esporangios fueron sometidos a humedades relativamente bajas (30-80%) por un periodo de once horas y luego puestos en condiciones favorables (98-100%) hubo una demora en la germinación; cuando se les retuvo a una humedad relativa del 80% la demora fue de 12 horas, y cuando se les retuvo a una humedad relativa del 30% la demora fue de 24 horas, después de haber sido puestos bajo condiciones propicias para su germinación. La liberación y distribución de esporangios ocurre con mayor abundancia bajo condiciones de salpique de lluvia.

También la temperatura parece tener un papel importante en la incidencia de la enfermedad. En Brasil se demostró que existe una correlación negativa entre el porcentaje de mazorcas infectadas y la temperatura media. La enfermedad aumentó hasta un 34.3% conforme la temperatura descendió hasta 20.5°C. Con todas las especies de Phytophthora es natural esperar una correlación similar entre incidencia de la enfermedad y la temperatura del aire. La explicación puede ser que para la máxima eficiencia en la producción de zoosporas aparentemente se requiere una temperatura que oscile entre los 18°C y 20°C. La formación de zoosporas por los esporangios debe jugar un importante papel en el desarrollo de

la enfermedad hasta alcanzar proporciones epifíticas. La división de cada esporangio en numerosas zoosporas multiplica considerablemente la cantidad de inóculo capaz de iniciar nuevas infecciones y la posibilidad de dispersión de la enfermedad. El conocimiento de que hace falta la presencia de agua para la formación de esporas y de que esta formación es más eficiente con temperaturas bajas es de valor en el planeamiento de programas para el control de la enfermedad mediante la aspersión con fungicidas. Disponiendo de los datos necesarios sobre temperatura, humedad relativa y cantidad de lluvia del área que se trabaja, se podrá predecir con mayor seguridad cuales épocas se debe atomizar (pulverizar un líquido o reducirlo a partículas muy pequeñas) más frecuentemente, cuando se pueden alargar los intervalos entre las aplicaciones o en qué momento suspenderlas por completo.

La temperatura tiene efectos considerables en el crecimiento de las especies de *Phytophthora*: *P. megakarya* ya que alcanza un máximo crecimiento micelial con 25°C, mientras que el de *P. palmivora* tiene un rango de 25 a 28°C. *P. megakarya* parece ser más sensible a temperaturas altas inhibiéndose el desarrollo micelial a 31 y 34°C. Existe una alta correlación entre el incremento de incidencia de la enfermedad y los descensos de temperaturas por tanto es muy probable que, en los actuales y futuros escenarios, esta enfermedad no sea epidémica, con un incremento significativo de las temperaturas, se debe tener siempre la reserva de cómo evolucionarían con la presión de selección a las que se someten por el cambio climático. Para las especies de *Phytophthora*, el periodo de latencia de la infección es un componente importante de la agresividad de la enfermedad de la mazorca negra en el cacao. Todos los aislamientos de *P. palmivora* y la especie *P. megakarya* (África) que tienen los periodos de infección más cortos producen las infecciones más fuertes, tanto en pruebas en mazorca como en discos de hoja. Mientras más corto es el periodo de latencia, mayor será la virulencia entre los aislados de *Phytophthora* (Agroarriba, 2020).

1.5.3 Estaciones meteorológicas

En cuanto a los datos de las estaciones meteorológicas, cabe mencionar que hay una diferencia entre la serie de datos históricos y los datos operativos. En relación con los

datos históricos hizo uso del periodo de tiempo desde el año 1963-2005 de la estación de Pichilingue ya que esta información fue proporcionada por el CIIFEN de la ejecución del proyecto Latin American Climate Assessment & Dataset (LACA&D) el cual persiguió el objetivo de dar servicio a la comunidad investigadora con una base de datos para observación diaria de las estaciones meteorológicas de largos periodos de tiempo y estudiar los cambios en los extremos y variabilidad climática en Latinoamérica con el apoyo de Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI).

Por otro lado, hay fuentes de datos operativos cuyas salidas son con una frecuencia diaria y una resolución espacial de 0.05x0.05 como lo es la base de datos de CHIRPS, que es pública, puede ser descargada fácilmente y se actualiza con información diaria cada cinco días. (Funk, et al., 2015) A continuación, se describirán las fuentes de información de estaciones meteorológicas con las que se desarrolla este proyecto. Para cada fuente de datos se describe su frecuencia (diarios, semanales o mensuales), a que institución pertenecen, desde que periodo han sido colectadas y si los datos siguen siendo operativos.

1.5.3.1 Corporación Eléctrica del Ecuador

Desde hace algún tiempo la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) proporciona datos de sus estaciones de monitoreo al CIIFEN. Esto ha permitido el uso de los datos de las estaciones para fines investigativos, así mismo el CIIFEN proporciona a la entidad el monitoreo de variabilidad climática Oceánica y atmosférica, así también como boletines, análisis de la información de los pronósticos mensuales y trimestrales apoyando al desempeño desde el punto de vista climático a esta institución.

De esta forma, se considera utilizar esta información en el proyecto ya que es operativa, es decir, el CIIFEN continúa recibiendo esta información de forma periódica. Otra ventaja de esta fuente de datos es que la información recibida es diaria y por lo tanto permite hacer análisis más específicos tanto para enfermedades como para producción de cultivos. Por otro lado, la desventaja es que no posee una serie histórica larga, ya que muchos equipos han sido instalados en los últimos años. Estas estaciones están ubicadas en la región de la costa oriental, cercana a la sierra, en la región centro-norte

del País. Se encuentran en las provincias Manabí, Santo Domingo, Guayas, Los Ríos y Cotopaxi.

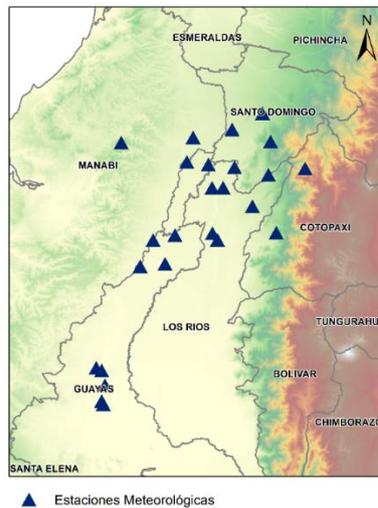


Ilustración 1.7 Mapa con la ubicación de las estaciones meteorológicas de CELEC en relación con las provincias del Ecuador. [CELEC]

Entre las variables disponibles por las estaciones de CELEC, se monitorean la precipitación, la temperatura del aire, la radiación y la evaporación. En la siguiente tabla se detalla toda la información acerca de las estaciones.

Tabla 1.4 Estaciones CELEC

Nombre	Provincia	Período de datos	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Radiación (W/m ²)	Evaporación (mm)
La Palizada	-	2013-2020	X	-	-	-
Guayacán	Cotopaxi	2018-2020	X	-	-	-
La Cocha	Cotopaxi	2019-2020	X	-	-	-
Colimes	Guayas	2018-2020	X	-	-	-
La Capilla	Guayas	2018-2020	X	-	-	-
La presa	Guayas	2013-2020	X	X	X	-
Murucumba	Guayas	2013-2020	X	-	-	-
Palestina	Guayas	2018-2020	X	-	-	-
Pichincha	Guayas	2018-2020	X	-	-	-
Río Colimes	Guayas	2018-2020	X	-	-	-
Río Congo	Guayas	2018-2020	X	-	-	-

Santa Lucía	Guayas	2020	X	-	-	-
Met. Chaune	Los Ríos	2015-2020	X	X	X	-
Dique	Los Ríos	2015-2020	X	-	-	-
Gualipe	Los Ríos	2018-2020	X	-	-	-
Quevedo aj Lulu	Los Ríos	2018-2020	X	-	-	-
Quevedo dj Lulu	Los Ríos	2018-2020	X	-	-	-
Río Baba	Los Ríos	2019-2020	X	-	-	-
Unión 71	Los Ríos	2013-2020	X	-	-	-
Embalse Baba	Los Ríos	2015-2020	-	-	-	X
Flavio Alfaro	Manabí	2013-2020	X	-	-	-
La Cancha	Manabí	2013-2020	X	X	X	-
Met. Baba	Santo Domingo	2015-2020	X	X	X	-
Met. Toachi	Santo Domingo	2015-2020	X	X	X	-
Puerto Limón	Santo Domingo	2013-2020	X	X	X	-
San Miguel	Santo Domingo	2019-2020	X	-	-	-
Embalse Daule Peripa	Los Ríos	2013-2020	-	-	-	X

Nota: Se detalla el nombre de las estaciones, la provincia a la que pertenecen, el periodo en años del registro de datos y se señala con una X la variable que se registra en cada estación. Se puede observar que en la mayoría de las estaciones se registra la precipitación principalmente. [CELEC]

1.5.3.2 Estación Meteorológica Pichilingue

Otra fuente de información considerada para este proyecto es la colectada por el INAMHI en la estación meteorológica Pichilingue, ubicada en el Km 5 Vía Quevedo – El Empalme, cantón Mocache, Provincia de Los Ríos. El periodo perteneciente a los datos diarios de precipitación, temperaturas máxima, mínima y media; comprende desde 1981-2005 proporcionados por el CIIFEN de su proyecto LACA&D como se lo explicó anteriormente.

Mediante la solicitud por medio de un mail desde la universidad a la entidad encargada INAMHI con el apoyo del INIAP se pudo obtener el periodo desde el 2006 hasta el 2018 con una frecuencia mensual. Estos datos se consideran importantes dentro del desarrollo

de este proyecto puesto que será el sustento de la metodología a implementar en la calibración de data satelital a partir de estaciones meteorológicas.

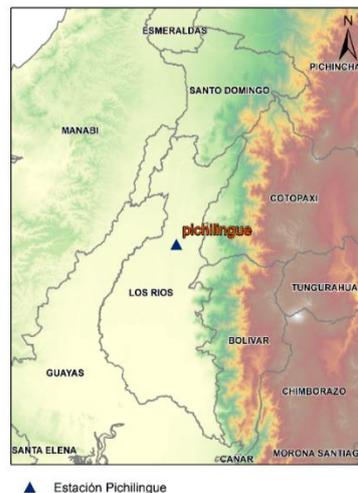


Ilustración 1.8 Ubicación de la estación meteorológica Pichilingue. [INAMHI]

1.5.3.3 Información suministrada por Agroarriba

La empresa Agroarriba gentilmente nos proporcionó la información de 7 de sus fincas (Bijagual, Betty Angélica, Montoya, Guayas I, Guayas II, El cocaïto, Solanillo) en las que constan datos de: código de la finca, tipo de cacao, conteo por estadio de la mazorca (edad 1,2,3,4,5 meses), conteo total de mazorcas enfermas de Moniliasis y Mazorca Negra, conteo de mazorcas enfermas con Escoba de Bruja y fecha del conteo. El periodo de tiempo para cada una de las fincas se encuentra entre el 2015 hasta 2020. También se adquirió la ubicación geográfica de cada una de las fincas mediante un archivo .shp donde constaba de la longitud, latitud, nombre y código de la finca.

1.5.3.4 Tercera Comunicación Nacional para el cambio climático (TCN)

Dentro de la información meteorológica considerada para el desarrollo de este proyecto también se tiene como referencia los modelos de cambio climático generados por la TCN (MAE & PNUD, 2016). Para la construcción de la Tercera Comunicación Nacional de cambio climático se utilizaron datos modelados de temperatura, precipitación, humedad relativa y vientos. En el proceso se realizó una selección de 15 modelos que mejor representaban el clima histórico del Ecuador. Estos modelos globales primero pasaron por una reducción de escala estadística (correlación del sesgo) que consiste en

ajustarlos a partir de los valores de las estaciones meteorológicas del INAMHI. Como resultado de estos procesos, se hizo una nueva selección donde al final se eligieron los cuatro mejores modelos para la región (CSIRO, MIROC, GISS e IPSL). Por último, esta información pasó por un proceso de reducción de escala dinámica y mejora de la resolución espacial con el programa modelador Weather Research and Forecasting Model (WRF). Esta información ha sido generada a partir de datos diarios para el periodo histórico de 1981-2005 y la información grillada tiene una resolución espacial de 10x10 km. Las proyecciones de cambio climático que se usaran para este proyecto son del escenario RCP4.5 con el periodo de tiempo desde (2011-2021) considerado dentro de las condiciones normales (MAE & PNUD, 2016).

Lo destacable de esta fuente de información es que es bastante completa en cuanto a las variables climáticas para el periodo histórico, lo que permite caracterizar toda la región que se proponga para el estudio, ya que cuenta con información grillada de amplia distribución geográfica. La desventaja de esta serie de tiempo es que están basados en condiciones para las proyecciones de cambio climático tomando en cuenta las emisiones de carbono y escenarios en los que se podría encontrar el estado del planeta por lo que no es posible usar esta información de manera operativa a pesar de tener datos de hasta el 2070.

1.5.3.5 Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)

Esta información combina datos de lluvia registrados por estaciones meteorológicas y datos de satélites meteorológicos. Los datos de estaciones provienen de las bases de datos de la FAO y de GHCN. CHIRPS también integra datos de precipitación del TRMM y de "CMORPH microwave-plus-infrared". Estos datos son combinados con datos públicos y privados de estaciones meteorológicas alrededor del mundo, a través de una interpolación IDW. El producto final es una base de datos de lluvias desde 1981 hasta el presente. Los datos están organizados en cuadrículas de aproximadamente 0.05x0.05 grados (aproximadamente 5 km) que cubren la tierra hasta las latitudes 50°S y 50°N (Funk, et al., 2015). Una ventaja de esta fuente de datos es su resolución espacial y su operatividad puesto que publica información diaria para la región mencionada arriba. Los valores estimados de precipitación son más precisos, aunque cabe resaltar que para Ecuador esta base de datos todavía no tiene gran cantidad de estaciones incorporadas.

1.5.3.6 Fuentes complementarias

Además de las fuentes anteriores mencionadas, se hizo una investigación de posibles fuentes satelitales y modelos globales que pueden servir como información complementaria. En la tabla se muestra una lista de cada fuente de datos, los parámetros que miden, el periodo de la serie de datos y la frecuencia y registro de los datos.

Tabla 1.5 Fuentes de datos complementarios

Fuentes satelitales y modelos	Parámetros	Intervalo de tiempo	Frecuencia
CHIRPS	Precipitación	1981-presente	diaria
GISS Surface temp	Temperatura del aire	1981-2010	diaria
MODIS	Humedad relativa, temperatura aire	2001-2018	diaria
CPC	Temperatura, precipitación	1979-presente	diaria
NCEP/NCAR	Temperatura del aire	1981-presente	diaria
Reanalysis NCEP	Vientos	1981-presente	diaria

1.5.4 Clasificación de la precipitación según su intensidad

1.5.4.1 Lluvia

La precipitación en forma de gotas de agua líquida que tienen diámetros superiores a 0.5 mm o si están ampliamente dispersas, las gotas pueden ser más pequeñas. La única otra forma de precipitación líquida, llovizna, se distingue de la lluvia en que las gotas son generalmente menos de 0.5 mm de diámetro, son mucho más numerosas y reducen la visibilidad mucho más que la lluvia ligera. A efectos de clasificación, la intensidad de la lluvia según (UDEP, 2002)

Tabla 1.6 Clasificación de la lluvia según su intensidad

Intensidad	(mm/h)	(mm/6h)	(mm/15días)
Ligera	>2.5	>15	>225
Moderada	2.5-7.5	15-45	225-675
Fuerte	>7.5	>45	>675

Nota: Fuente [Universidad de Piura, 2002]

1.5.5 Análisis de Regresión

El término "regresión" y los métodos para investigar las relaciones entre dos variables pueden remontarse a hace unos 100 años. Fue introducido por primera vez por Francis Galton en 1908, el renombrado biólogo británico, cuando se dedicaba al estudio de la

herencia (Gang, 2009) El análisis de regresión es una de las técnicas más utilizadas para analizar datos multifactoriales. Su amplio atractivo y utilidad resultan del proceso lógico conceptual de usar una ecuación para expresar la relación entre la variable de interés (la respuesta) y un conjunto de variables predictoras relacionadas. El análisis de regresión también es interesante teóricamente debido a las matemáticas subyacentes y a la teoría estadística. El uso exitoso de la regresión requiere una apreciación tanto de la teoría como de los problemas prácticos que suelen urgir cuando la técnica se emplea con datos del mundo real.

La computadora juega un papel importante en la aplicación moderna de la regresión, en la actualidad, incluso el software de hoja de cálculo tiene la capacidad de ajustar ecuaciones de regresión por mínimos cuadrados. En consecuencia, se ha integrado muchos aspectos del uso de la computadora, incluidas la visualización de resultados tanto tabulares como gráficos y discusiones generales sobre las capacidades de algunos softwares como Minitab, JMP, SAS y R para varias aplicaciones. Estos paquetes se utilizan ampliamente tanto en la práctica como en la enseñanza de la regresión y tienen buenos resultados.

El análisis de regresión es una parte central de muchos proyectos de investigación, estudiando la importancia de la metodología de regresión llamada regresión lineal. Este método es el que se utiliza con más frecuencia y prácticamente todos los demás métodos se basan en la comprensión de cómo funciona la regresión lineal. Como ocurre con la mayoría de los análisis estadísticos, el objetivo de la regresión es resumir los datos observados de la manera más simple, útil y elegante posible. (Gang, 2009) menciona que el propósito del análisis de regresión engloba tres aspectos:

1. Establecer una relación causal entre la variable Y y el regresor X_1, X_2, \dots, X_n .
2. Predecir Y basándose en un conjunto de valores de X_1, X_2, \dots, X_n .
3. Analizar la variable X_1, X_2, \dots, X_n para identificar qué variables son más importantes que otras para explicar la variable de respuesta Y , de modo que la relación causal se pueda determinar de manera más eficiente y precisa.

1.5.5.1 Correlación

En el léxico estadístico, la palabra correlación se utiliza para describir una relación estadística lineal entre dos variables aleatorias. La frase "estadística lineal" indica que la media de una de las variables aleatorias depende linealmente del componente aleatorio de la otra. La relación más fuerte indica la correlación más fuerte. El coeficiente de correlación de +1 o -1 indica un par de variables que varían juntas de forma precisa, estando una variable relacionada con la otra por medio de un factor de escala positivo (negativo) (Pathan, 2015)

1.5.5.1.1 Normalización estandarizada

(Módulo Normalize Data, 2020) menciona que la normalización es una técnica que se aplica a menudo como parte de la preparación de datos para el aprendizaje automático y que el objetivo de la normalización es cambiar los valores de las columnas numéricas del conjunto de datos para usar una escala común independientemente de la escala en la que se encuentren estos datos, sin distorsionar las diferencias en los intervalos de valores ni perder la información, la normalización también es necesaria para que algunos algoritmos modelen los datos correctamente. Los valores de cada columna se transforman mediante la fórmula siguiente:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1,1)$$

donde,

x : valor

μ : media

σ : desviación estándar

1.5.5.1.2 Pearson y Spearman

(Schober, Boer, & Schwarte, 2018) mencionan que el coeficiente de correlación de Pearson (2) se utiliza a menudo para datos distribuidos normalmente de forma continua (datos que siguen a una distribución normal bivariado). Para datos continuos distribuidos de forma no normal, para datos ordinales o para datos con valores atípicos relevantes,

se puede utilizar una correlación de rango de Spearman (3) como medida de una asociación monótona. Ambos coeficientes de correlación se escalan de manera que oscilen entre (-1 y +1), donde 0 indica que no existe una asociación lineal o monótona, y la relación se vuelve más fuerte y finalmente se acerca a una línea recta (correlación de Pearson) o una curva en constante aumento o disminución (Correlación de Spearman) cuando el coeficiente se acerca a un valor absoluto de 1

$$\rho_{x,y} = \frac{\sigma_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X-\mu_x)(Y-\mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1,2)$$

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2-1)} \quad (1,3)$$

1.5.5.2 Gráfico de Dispersión

Comenzando con un problema de regresión con un predictor, que genéricamente llamaremos X y una variable de respuesta que llamaremos Y . Los datos constan de valores $(x_i, y_i), i = 1, \dots, n$, de (X, Y) observado en cada uno de n unidades o casos. En cualquier problema en particular, tanto X como Y tendrán otros nombres como temperatura o precipitación que son más descriptivos de los datos que se van a analizar. El objetivo de la regresión lineal es comprender como cambian los valores de Y cuando X varia en su rango de valores posibles. Un primer vistazo a como varia Y está disponible en el diagrama de dispersión (Weisberg, 2005).

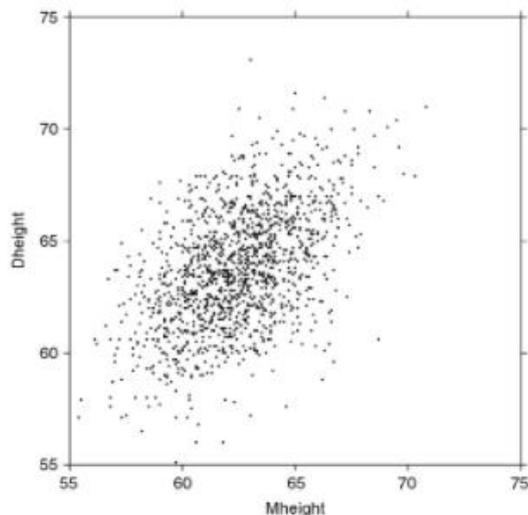


Ilustración 1.9 Ejemplo: diagrama de dispersión de las alturas de madres e hijas en los datos de Pearson. [Sanford Weisberg, 2005]

1.5.5.3 Modelo de regresión Lineal

El modelo de regresión lineal simple se expresa típicamente en la forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (1,4)$$

Donde y es la variable dependiente, β_0 es el intercepto con y , β_1 es la pendiente de la recta de regresión lineal simple, x es la variable independiente y ε es el error. La variable dependiente también se llama variable de respuesta y la variable independiente se llama variable explicativa o predictiva. Una variable explicativa explica los cambios causales en las variables de respuesta. Una presentación más general de un modelo de regresión se puede escribir como:

$$y = E(y) + \varepsilon \quad (1,5)$$

donde $E(y)$ es la expectativa matemática de la variable de respuesta. Cuando $E(y)$ es una combinación lineal de variables exploratorias x_1, x_2, \dots, x_n la regresión es la regresión lineal.

(Pathan, 2015) indica que los parámetros desconocidos β_0 y β_1 deben estimarse mediante el método de mínimos cuadrados (es decir, minimizando las sumas residuales de cuadrados (S)). Se supone que el factor aleatorio (ruido) (ε) sigue una distribución normal con media cero y desviación estándar unitaria. La estimación de β_0 y β_1 se

obtiene considerando la función $S = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$, que debe minimizarse y resolviendo derivadas parciales $\frac{\partial S}{\partial \alpha} = 0$ y $\frac{\partial S}{\partial \beta} = 0$ respectivamente, que se dan a continuación:

$$\widehat{\beta}_0 = \beta_0 = \bar{y} - \widehat{\beta}_1 \bar{x} \quad (1,6)$$

$$\widehat{\beta}_1 = b = \frac{n \sum y_i x_i - \sum y_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (1,7)$$

El modelo ajustado para la ecuación (1,4) es $y = a + bx$ y se usa para encontrar la estimación de $y = E(y)$ para x dado. La confiabilidad del modelo ajustado a (1,5) se verifica calculando el residuo $\varepsilon = y - E(y)$.

1.5.6 Diagrama de Taylor

(NCAR Command Language, 2019) menciona que los diagramas de Taylor se usan para comparar uno o varios conjuntos de datos de prueba con los de referencia. Conocemos que los datos de prueba son por lo general salidas de un modelo y que los datos de referencia son observaciones que sirven como experimento de control. El diagrama de Taylor comúnmente es utilizado para representar valores trazados que se derivan de medios climáticos con diferentes frecuencias de datos y la relación de las varianzas normalizadas representa la amplitud entre ambos conjuntos de datos. También se menciona que la manera correcta de presentar la estadística es mediante las correlaciones de patrones centrados ponderados y las relaciones de las diferencias normalizadas (RMS) entre los conjuntos de datos.

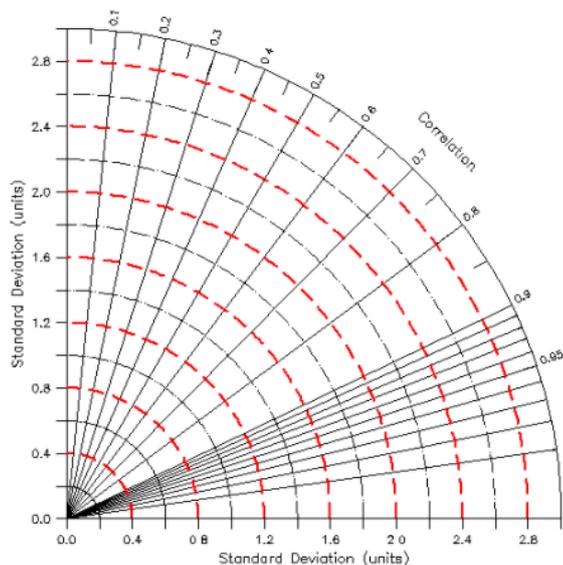


Ilustración 1.10 Diagrama de Taylor. [PMEL]

La Ilustración 1.10 es un diagrama de Taylor el cual muestra cómo se puede hacer uso de este para resumir la habilidad con la que un modelo simula el patrón de la data de referencia. En el eje x, y del ábaco se representa la desviación estándar normalizada (raíz media cuadrática) con las unidades de la variable a estudiar y en el arco la correlación que existe entre el conjunto de datos de esta variable.

1.5.7 Técnica de Árbol de Decisiones

Cuando se habla de toma de decisiones inmediatamente se relaciona con la implementación de estrategias que se deben seguir o decisiones que se deben tomar para lograr un objetivo, es así como se requerirá de la elección más adecuada en base a investigaciones de inteligencia artificial, datos meteorológicos, diagnósticos médicos, controles de calidad entre otros para conseguir ese fin del cual depende de la respuesta que se dará al problema planteado. Por esa razón la técnica del árbol de decisiones es un mecanismo clave para conseguir ese resultado. (C.Zuniga & N.Abgar, 2011).

En este caso el condicionar umbrales establecidos para la ausencia o presencia de una enfermedad como la Moniliasis y Mazorca negra, como el principal problema, las variables climáticas y sus umbrales cumplen un rol importante en el diseño de este ya que de estas depende la decisión o salida que nos mostrará el algoritmo.

El árbol de decisiones se basa en la aplicación de un conjunto de reglas SI-ENTONCES, utilizando funciones lógicas que nos llevarán a disyunciones de posibles resultados.

Entre las ventajas del uso del algoritmo de árbol de decisiones podemos encontrar que nos permite plantear diferentes casos u opciones el cual serán analizadas buscando las consecuencias posibles en base a las condiciones de entrada, pudiendo generar un resultado ante un problema claramente planteado.

Entre las facilidades de utilizar un árbol de decisiones podemos encontrar que nos permite plantear claramente el problema de tal manera que todas las opciones sean analizadas, hacer un análisis rápido de todas las consecuencias de las posibles decisiones. Ya que utiliza un esquema que cuantifica el costo de los resultados y las probabilidades de que los diferentes resultados aparezcan. La técnica del árbol de decisiones facilitara la representación y análisis de diferentes situaciones futuras de forma secuencial a través del tiempo, es de gran utilidad cuando se debe optimizar diferentes decisiones.

1.5.7.1 Elaboración del árbol de decisiones

- 1) Se escribe en la parte superior, a modo de título la decisión o el problema que necesitara la toma de las decisiones denominándolo tronco.
- 2) Desde el lado izquierdo hacia el derecho se dibujarán líneas que parten desde un mismo origen que representa las posibles opciones de respuesta. Y se lo denomina ramas.
- 3) En cada una de las opciones de respuestas se dibujan líneas que parten desde un mismo origen las cuales son los posibles eventos asociados a cada curso de la acción por lo que se lo denomina hojas.

El siguiente grafico comprende la estructura del árbol de decisiones.

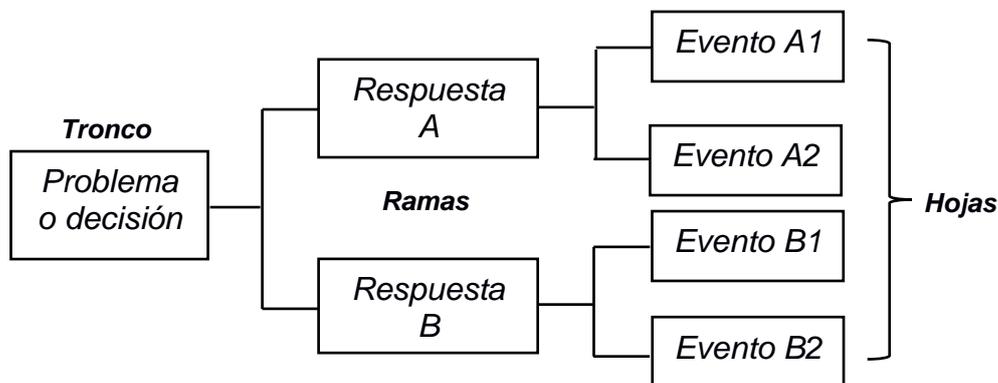


Ilustración 1.11 Esquema árbol de decisiones. [C. Zuñiga & N. Abgar, 2011]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Debido a la naturaleza compleja de la tecnología moderna, ahora rara vez es posible que una persona se enfrente al diseño y desarrollo de un nuevo producto importante. Para aumentar la probabilidad de éxito de un nuevo proyecto de investigación, el proceso de diseño debe planificarse cuidadosamente y ejecutarse sistemáticamente. En particular, un método de diseño de ingeniería debe integrar los diferentes aspectos del diseño de tal manera que todo el proceso se vuelva lógico y comprensible. Para ello, el proceso de diseño debe dividirse, primero en fases y luego en pasos distintos, cada uno con sus propios métodos de trabajo. Este proyecto tiene como base la metodología de Design Thinking y según (dinngo) es una disciplina que usa la sensibilidad y métodos de los diseñadores para hacer coincidir las necesidades de las personas con lo que es tecnológicamente factible y con lo que una estrategia viable de negocios puede convertir en valor para el cliente.

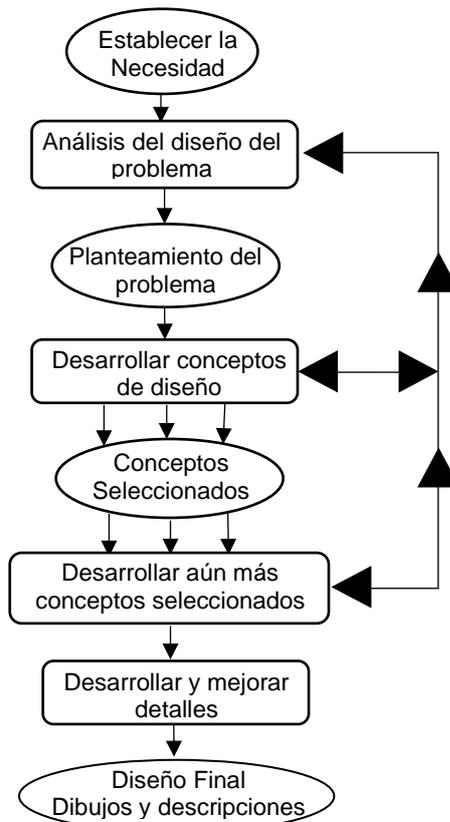


Ilustración 2.1 Diseño conceptual para Ingenieros [ESPOL, 2020]

2.1 Proceso Metodológico del proyecto

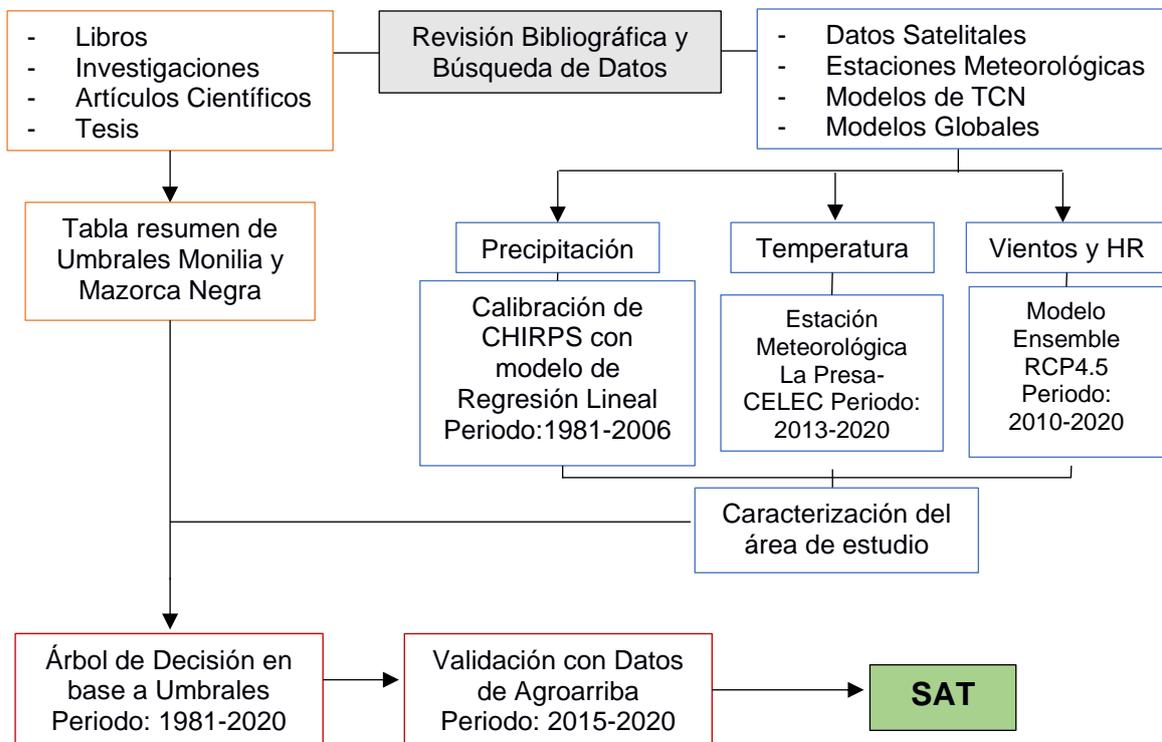


Ilustración 2.2 Proceso llevado a cabo en el desarrollo de este proyecto.

2.2 Umbrales

Dentro del desarrollo de la metodología, la definición de los umbrales de ambas enfermedades es de mucha importancia, por esto; se generó un resumen corto tanto de manera descriptiva como también dos tablas resumen (en el capítulo 3) en las que se detalla las condiciones propicias para que se genere la dispersión, infección y esporulación en una plantación de cacao; teniendo como base a cuatro parámetros meteorológicos establecidos como fundamentales los cuales son la precipitación, temperatura, humedad relativa y el viento.

2.3 Modelo de Regresión Lineal

2.3.1 Precipitación

A continuación, se detallan de forma ordenada y clara cada uno de los procesos llevados a cabo en la extracción, limpieza, corrección y validación de la data de precipitación obtenida de CHIRPS, la cual se corrigió con la estación meteorología Pichilingue. Se hizo

uso de esta estación por la cantidad de registros diarios que se disponían para el análisis; así como también del lenguaje de programación de R. Todos los códigos generados se presentarán en los apéndices de este documento.

2.3.1.1 Procesamiento de Datos (CHIRPS – PICHILINGUE)

- a) Se elaboró un bot que se conecta directamente al *ftp* de CHIRPS en el que se descargan los datos diarios desde 1981-2020, para esto se usaron las librerías *Rcurl*, *rgdal*, *rgeos*, *lubridate*, *dplyr*, *xlsx* y *raster*.
- b) Se empaquetaron los datos diarios de tal manera que quedó un compendio de 14.549 capas raster, haciendo uso de la función *stack* de la librería *raster*.
- c) Se abrió la capa shape la cual contenía los puntos en coordenadas geográficas de la estación de Pichilingue (grados decimales) con la función *readOGR* y se lo transformó a una tabla con 3 columnas: nombre de la estación, longitud y latitud.
- d) Se elaboró una matriz vacía con 14.549 filas y una columna que representaba a la estación a extraer.
- e) Mediante la función *extract* del paquete *raster* se procedió a extraer cada valor diario de precipitación y rellenando la matriz vacía anteriormente creada.
- f) Esta matriz fue exportada mediante la función *write.xlsx* del paquete *xlsx*.
- g) Se procedió a abrir el archivo de observaciones que se encontraba en formato *.csv* de la estación de Pichilingue con la función *read.csv*.
- h) Se observaron datos con el número -9999 lo cual nos indicaba la presencia de datos faltantes, por lo que con la función *which* se los reemplazó por NA.
- i) Según la metadata de las observaciones de precipitación en la estación Pichilingue, los datos debían multiplicarse por 0.1 para obtener el dato real. Luego se generó una nueva tabla incluyendo las fechas cuyo rango se encontraba entre 1963-2006 y el dato de la observación en mm.
- j) Con la función *filter* del paquete *dplyr* se acortaron los datos de la estación de Pichilingue ya que esta poseía un periodo de tiempo de 1963-2006 y CHIRPS de 1981-2020 por lo que se llevó cada serie al mismo periodo de tiempo y se determinó un periodo que comprendía de (1981-2006); ambas series de tiempo fueron exportadas en formato *xlsx* para su posterior uso.
- k) Se elaboró una función la cual agrupó los datos de la tabla limpia con ambas series de tiempo (CHIRPS Y PICHILINGUE) obteniendo una suma acumulativa

de precipitación, acumulaciones de 2 días, 3, 4 ,5 ,6..... 31; la función acumula los valores de precipitación de cada serie y luego obtiene los valores normales con la ecuación 1.

- l) Luego de obtener los valores normalizados para cada serie de tiempo se procedió a obtener las correlaciones de Pearson y Spearman haciendo uso de las ecuaciones 2 y 3 descritas en el marco teórico.
- m) Estas correlaciones fueron agregándose a una matriz nueva para poder conocer como son las correlaciones cuando se obtiene la precipitación acumulada bajo la frecuencia deseada, obteniendo buenas correlaciones cuando se acumulan los días a partir de 7 en 7, por lo que se procedió a elaborar pruebas para la corrección de los datos.
- n) Se dispuso a trabajar con agrupaciones de cada 15 días, esto debido la presencia de correlaciones altas; Pearson de 0.7971, Spearman de 0.7443. Previo a la elaboración del modelo de corrección se generó un gráfico de dispersión para observar el comportamiento lineal de los datos de la estación meteorológica Pichilingue y CHIRPS.

2.3.1.2 Generación del modelo para la corrección de datos de Precipitación CHIRPS

- a) Se elaboró la prueba de calibración de los datos en donde se obtuvo el modelo de Regresión Lineal Simple con los datos de las observaciones de precipitación de la estación de Pichilingue y los datos tomados de la misma ubicación geográfica de los NC de CHIRPS. Para esto se hizo uso de las ecuaciones 6 y 7 respectivamente para calcular las componentes de la ecuación 4.
- b) Se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson y Spearman haciendo uso de las ecuaciones 2, 3 en el lenguaje de programación de R. Además, también se obtuvo el diagrama de Taylor con la librería (*SimDesing*) para resumir la precisión del modelo.
- c) Después de obtener el modelo se trabajó en determinar el área de influencia que posee la estación meteorológica de Pichilingue con respecto a la data ya corregida de CHIRPS. Por lo que se elaboró un script que usa los paquetes *raster*, *ncdf4*, *dplyr*, *tidyverse*, *rgdal* y *abind*. Esta función leyó la dirección de los NetCDF descargados y abre la capa base del Ecuador con la función *readOGR*, mediante

la función *spTransform* se llevó todo al mismo sistema de referencia WGS84 en grado decimales y se cortaron los NC con la función *crop*.

- d) Se extrajeron los valores de longitud, latitud y los valores de precipitación de la imagen ya cortada y se la convirtió en un arreglo que para el primer archivo descargado perteneciente a 1981 el cual poseía dimensiones de 129 filas, 117 columnas y 365 matrices debido a que su frecuencia es diaria.
- e) Se elaboró un Loop el cual va leyendo cada archivo NC desde 1982 hasta 2020 en los que va cortando cada NC con la capa base del Ecuador y obteniendo el arreglo para cada año; con la función *abind* se van agregando los arreglos de matrices una sobre otra teniendo así un arreglo completo con todos los años disponibles con dimensiones de 129 filas, 117 columnas y 14579 matrices.
- f) Con el arreglo completó se hizo una acumulación de matrices con una frecuencia de 15 días con otro loop el cual va sumando las matrices dentro del arreglo completo, obteniendo un nuevo arreglo con las matrices de precipitación acumulada con dimensiones de 129 filas, 117 columnas y 971 matrices.
- g) Luego se filtraron las fechas debido a que el periodo de tiempo disponible de la estación de Pichilingue era de 1981-01-01 hasta 2005-12-31, con este filtro se elaboró un loop final el cual va extrayendo cada serie de tiempo correspondiente para un píxel con una resolución de 5 x 5 km se usó el modelo de regresión elegido con sus constantes y su forma algebraica para corregir individualmente cada serie de tiempo extraída, con la función *predict* se pudieron corregir cada serie automáticamente. Ambas series de tiempo la observación de la estación Meteorológica y la serie extraída se las colocó dentro de una misma tabla para poder extraerle los valores faltantes si lo hubiere y el loop interno va recorriendo cada fila y si encuentra un valor faltante elimina la fila debido a que a la función de correlaciones se le debe ingresar una tabla que no contenga datos faltantes.
- h) Finalmente se normalizan ambas series y ejecuta la función para obtener las correlaciones de Spearman entre las series de tiempo obteniendo un valor de correlación para cada Píxel agregándolo a la matriz final de correlaciones esta se la vuelve una imagen raster con las latitudes y longitudes. Para mostrarlo correctamente se descartaron las correlaciones poco significativas dejando las correlaciones con mayor grado de significancia.

2.3.2 Temperatura

Se realizó el mismo procedimiento que para la precipitación en la que se extrajeron los valores de temperaturas medias de la serie de tiempo de la estación La Presa (CELEC) la cual se lo comparó con la estación Pichilingue para observar la señal entre ambas estaciones por lo que se elaboró un análisis de correlación entre ambas series de tiempo, después de haber llevado al periodo mensual los datos de la estación La Presa - CELEC ya que los datos obtenidos por el INAHMI presentaban una frecuencia mensual. Finalmente se elaboró un gráfico de series de tiempo para la observación de la temperatura de dichas estaciones.

2.4 Humedad Relativa, Vientos zonales y meridionales.

Se extrajeron datos de la tercera comunicación nacional para el periodo desde 2011-2020, con la misma rutina con la que se elaboró la extracción de los datos de CHIRPS usando la ubicación geográfica de cada finca Montoya, Bijagual, Solanillo, El Cocaito entre otras. Para las variables de Humedad relativa y vientos sin embargo cabe la observación de que estos son datos modelados por lo que se aproximan a la realidad y no tenemos la certeza de que tanto se aproximan a la misma, estos datos son proyecciones en base a conjunto de condiciones dispuestas para el escenario RCP4.5 para complementar la falta de los datos para dichas variables.

2.5 Generación de Modelo de Ausencia y Presencia

Para la generación del modelo de Ausencia Presencia se hizo uso del esquema del árbol de decisiones como se indica en la ilustración 1.7. Teniendo como base los esquemas para cada enfermedad se procedió a traducir al lenguaje de programación de R para así con los datos de cada una de las variables representada en los umbrales; obtener las salidas en un formato TRUE (presencia) y FALSE (ausencia). Esto se hizo tanto para el caso de la Moniliasis como para la Mazorca negra.

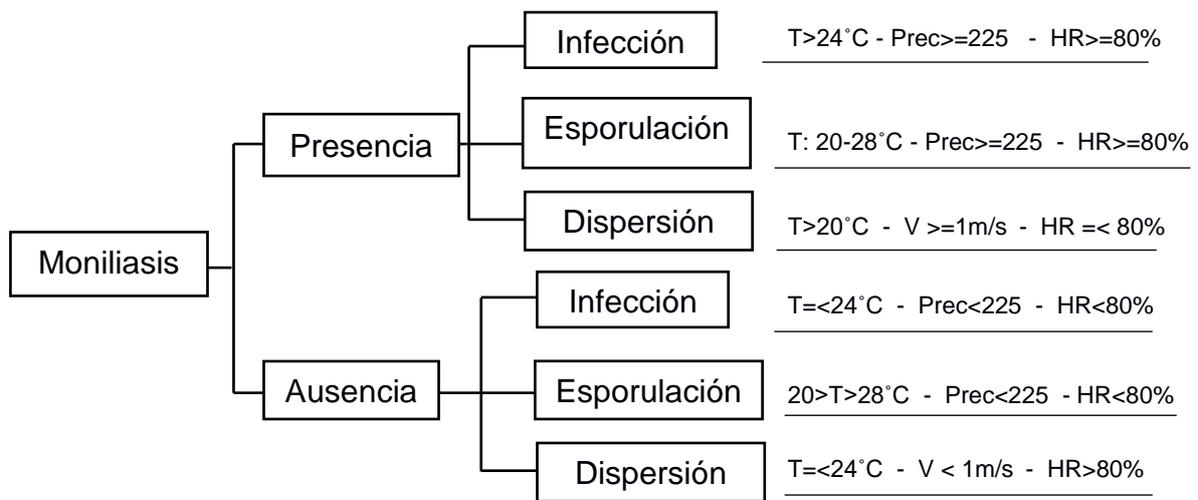


Ilustración 2.3 Esquematización del árbol de decisiones para la Moniliasis.

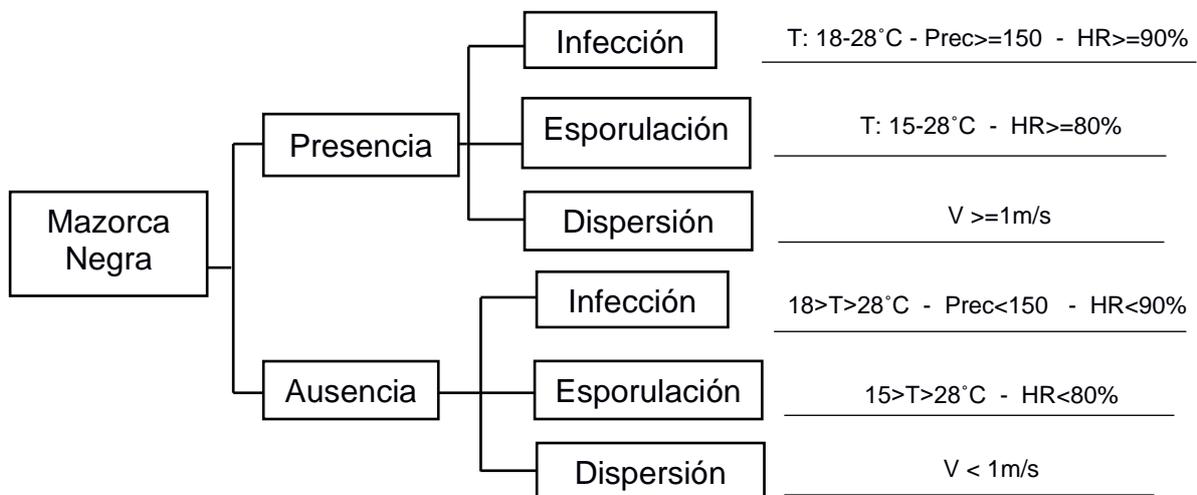


Ilustración 2.4 Esquematización del árbol de decisiones para la Mazorca Negra.

2.5.1 Validación de Modelo

En la validación del modelo Ausencia-Presencia de ambas enfermedades se utilizó el calendario fitosanitario establecido por Agroarriba para la recolección de frutos enfermos; el cual se da durante todo el año en fechas específicas como se ilustra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Quincenas para el conteo de mazorcas enfermas.

Mes	1^{era} Quincena	2^{da} Quincena
Enero		X
Febrero	X	X
Marzo	X	
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

Fuente: [Agroarriba]

Al año se lo divide en quincenas por lo que los cuadros grises simbolizan las quincenas en los que se ejecuta el manejo fitosanitario del cultivo. En este proceso de manejo se obtienen los frutos enfermos para ambas enfermedades y se realiza un conteo de los estadios de las mazorcas, recientemente el año pasado se comenzaron a realizar conteos por enfermedades diferenciadas sin embargo para nuestro estudio se usaron datos de conteos totales entre Moniliasis y Mazorca negra.

Debido a que cada enfermedad tiene un periodo de latencia establecido se tomaron en cuenta porcentajes mínimos que deberían presentarse para que se produzca la enfermedad. Por ejemplo, entre el mes de enero y febrero existen 4 quincenas desde el ultimo conteo por lo que al menos para el ciclo de vida de la Monilia se necesitan 2 de estas (representado en la tabla 2.2) y para la mazorca negra solo 1 (representado en la tabla 2.3) porque la Monilia se la puede observar desde 30 a 45 días después de la infección, mientras que para la mazorca negra es observable en 15 días después de su infección. Además, se excluyó la quincena en que se hizo el conteo en marzo como lo ilustran las X de la tabla 2.1 puesto que las condiciones de esa quincena influirán en el próximo conteo.

Tabla 2.2 Moniliasis

15 días	20%			
15 días	20%	25%		
15 días	20%	25%	33.33%	
15 días	20%	25%	33.33%	50%
15 días	20%	25%	33.33%	50%
45 días	60%	75%	66.66%	100%

Tabla 2.3 Mazorca Negra

15 días	20%			
15 días	20%	25%		
15 días	20%	25%	33.33%	
15 días	20%	25%	33.33%	50%
15 días	20%	25%	33.33%	50%
15 días	20%	25%	33.33%	50%

Todo esto se hizo porque la salida del modelo depende de la frecuencia de datos usada y la disponibilidad de información siendo esta cada 15 días, pero los conteos realizados por Agroarriba eran en fechas establecidas por lo tanto en la tabla 2.2 y 2.3 lo que se representa es el porcentaje de coincidencia que necesita cada enfermedad para poder validar las salidas del modelo, sin embargo como se lo expuso anteriormente los conteos no diferencian a cada enfermedad siendo esto necesario para próximas investigaciones el ajuste para cada enfermedad.

Finalmente se obtuvo la validación del modelo Ausencia-Presencia con un periodo comprendido desde 2015-2020 como se indica en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Períodos

Parámetro	Período
Precipitación	1981-2020
Temperatura	2013-2020
Vientos	2011-2020
Humedad Relativa	2011-2020
Conteo Agroarriba	2015-2020
Validación	2015-2020

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Umbrales

3.1.1 Monilia

El periodo de latencia de la Moniliasis es de 4 a 8 semanas con un ciclo de duración de 4 a 6 meses y el contagio se genera directa y únicamente al fruto.

Tabla 3.1 Umbrales para la Moniliasis.

	Dispersión	Infección	Esporulación
Temperatura	>20°C	>24°C	20°C-28°C
Precipitación	-	>15 mm/día	>7 mm/día
Humedad Relativa	<=80%	>80%	80-100%
Vientos	>=1m/s	-	-

Nota: Se puede observar las condiciones ideales para la Dispersión, Infección y Esporulación de la Monilia con base en las 4 variables meteorológicas.

3.1.2 Mazorca Negra

El periodo de latencia de la Phytophthora es de ¾ a 10 días con un ciclo de duración de aproximadamente 15 días y el contagio se genera en todo el árbol.

Tabla 3.2 Umbrales para Phytophthora.

	Dispersión	Infección	Esporulación
Temperatura	-	18°C-28 °C	15°C-28°C
Precipitación	-	>10 mm/día	-
Humedad Relativa	-	>=90	>=80
Vientos	>=1m/s	-	-

Nota: Se puede observar las condiciones ideales para la Dispersión, Infección y Esporulación de la Monilia con base en las 4 variables meteorológicas.

3.2 Área de Piloto

El área piloto seleccionada para el análisis agrometeorológico se encuentra dentro del sector denominado Costa centro húmedo con pequeño déficit de agua en la época seca (CCH-PDA) según el análisis realizado por (Agroarriba, 2020). Esta área se encuentra ubicada entre los límites de tres provincias las cuales son Los Ríos, Guayas y Manabí. A continuación, se detalla la ubicación exacta de las fincas y estaciones meteorológicas que se incluyen dentro del área piloto.

Tabla 3.3 Ubicación de las fincas

Fincas	Coordenadas UTM	
	X	Y
Solanillo	624642	9885269
Bijagual	629643	9888280
El Cocaïto	637432	9883882
El Empalme	649217	9884792
La Guaya I	656541	9888831
La Guaya II	658314	9889991
Betty Angelica	669197	9895131

Nota: Fuente [Agroarriba]

Tabla 3.4 Estaciones de CELEC

Estaciones	Coordenadas UTM	
	X	Y
Pichincha	631923	9883771
La Presa	638860	9897769
Rio Congo	645204	9885083
Murucumba	650515	9900347
Quevedo Aj lulu	670525	9901378
Quevedo dj lulu	673240	9897887

Nota: Fuente [CELEC]

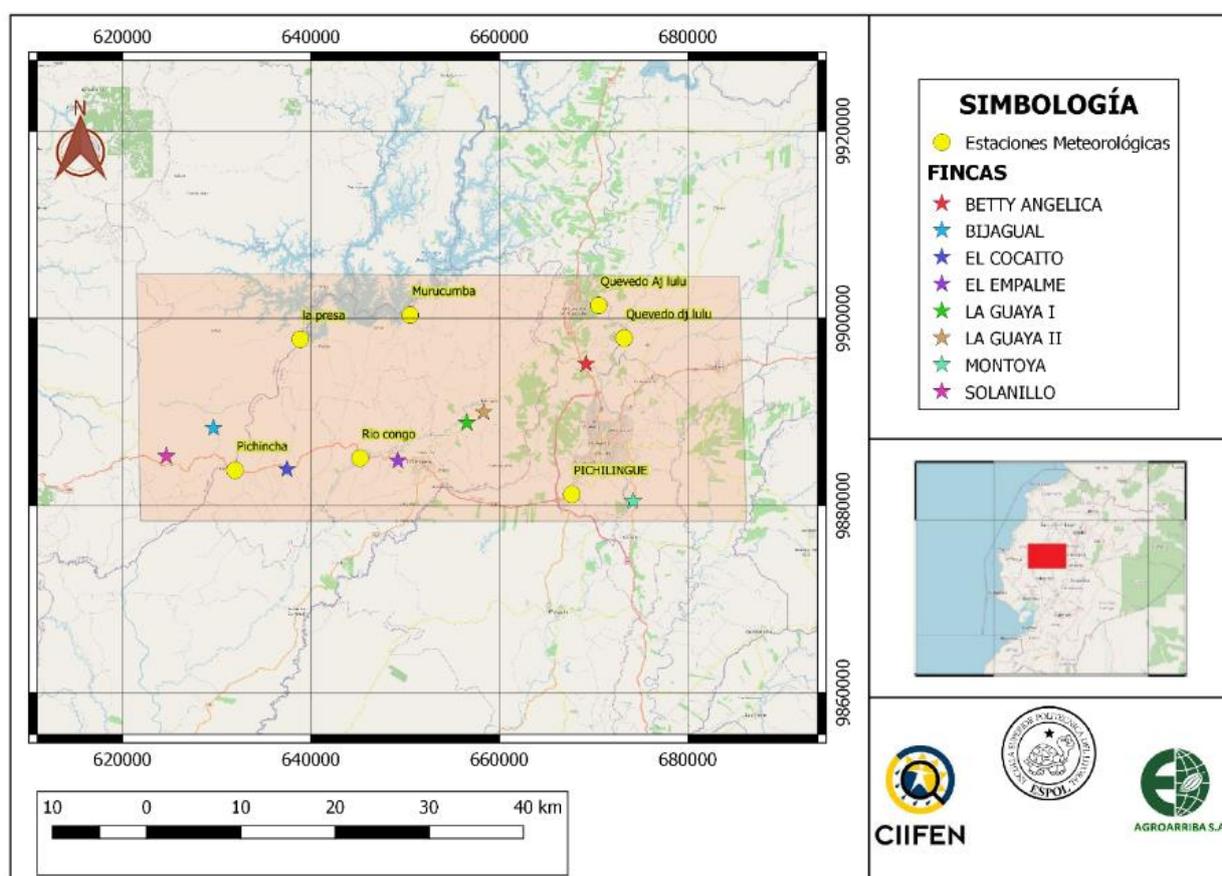


Ilustración 3.1 Área Piloto (delimitada por el rectángulo rosa), aquí también se detallan las fincas (estrellas) y estaciones meteorológicas (puntos)

3.2.1 Caracterización de la zona de estudio

En los resultados dentro de esta sección del capítulo se tomó en consideración la generación de un climograma con los datos de la estación meteorológica del INAMHI - Pichilingue, la cual se encuentra dentro del área de estudio. Esto se hizo con la finalidad de observar el comportamiento de las cuatro variables de estudio de las enfermedades, las cuales son precipitación y temperatura (máxima, mínima y media), Vientos y Humedad Relativa.

Se pudo observar una marcada estación seca entre los meses de junio a octubre y una marcada estación lluviosa en los meses de enero a mayo; teniendo una precipitación total anual de 1300-2700 mm, esta precipitación anual es considerada suficiente para el cultivo de cacao, pero es importante mencionar que el hecho de mantener valores anuales dentro del rango normal o suficiente para el cultivo de cacao no justifica que para todo el año no sea necesario el riego para satisfacer las necesidades hídricas. Ya que durante la época seca en esta región evidentemente es necesario el riego manual siendo muy alta su importancia para el desarrollo productivo del árbol y la eficiencia del cultivo.

Además, la generación de las enfermedades estudiadas en este proyecto de investigación necesita de precipitaciones con una base diaria de 15mm para Monilia y 7 mm para la mazorca negra, por lo que mientras mayor es este recurso mayor será la vulnerabilidad que posee la región frente a las enfermedades. Por otro lado, la temperatura máxima anual para esta zona en particular se encuentra entre los 30-32°C y la mínima anual fluctúa entre los 20-22°C observando una disminución de los valores de la temperatura al cambio de la estación lluviosa a la seca, ese decremento se encuentra cerca de los 2.5°C (exactamente en el mes de abril comienza el decremento); tendencia que se observa tanto en la temperatura alta, media y baja.

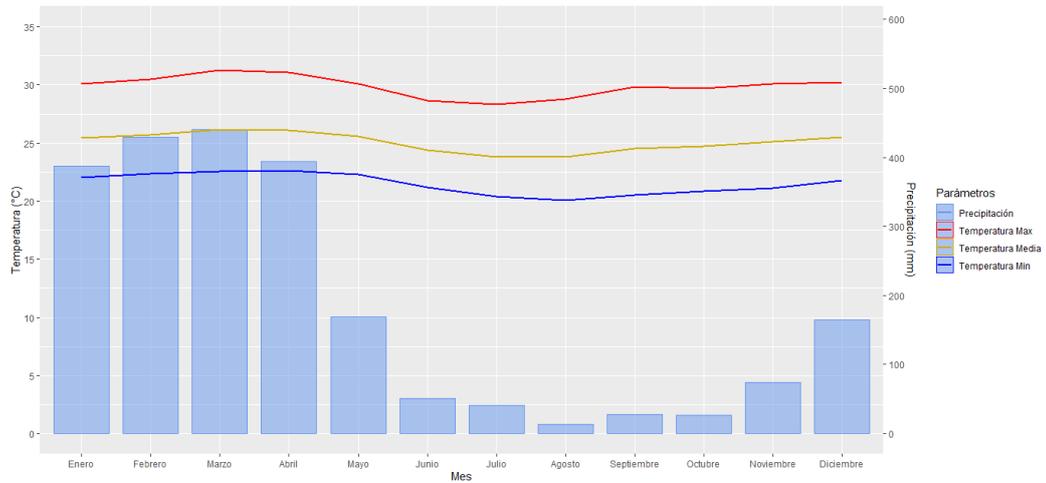


Ilustración 3.2 Climograma Estación Pichilingue, periodo 1981-2010

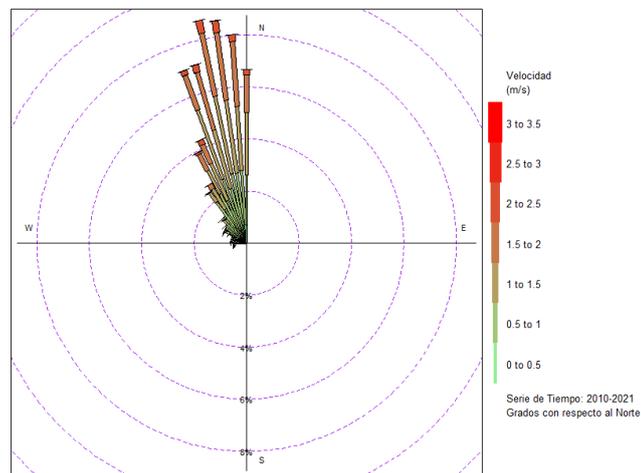


Ilustración 3.3 Rosa de Vientos.

Los vientos fueron analizados con respecto a la data diaria extraída del modelo Ensemble en el punto de la estación Pichilingue; con un periodo comprendido desde 2010-2021 y se puede observar claramente que los vientos son procedentes del noroeste con una velocidad promedio de 2.5 m/s como se puede observar en la Ilustración 3.3. esto indica que la dispersión por los vientos la mayoría de las veces supera al umbral de 1m/s en su magnitud.

3.3 Calibración de CHIRPS con estación Pichilingue

3.3.1 Precipitación

Previo a la calibración de los datos de precipitación con el modelo de Regresión Lineal simple, se obtuvo un gráfico de correlaciones entre los datos de la estación Pichilingue y CHIRPS a diferentes frecuencias de agrupamiento. Se pretendió observar cómo varía la correlación con respecto a la estación meteorológica de Pichilingue en el periodo de 1981-2006 y lo que se observó es que existe una buena correlación de estas dos series de tiempo a partir de datos agrupados cada 10 días en adelante. Sin embargo, dado que las observaciones presentaban una frecuencia en bloques quincenales se optó por elegir una frecuencia de calibración de 15 días con una correlación muy cercana a 0.8 con respecto a los datos observados.

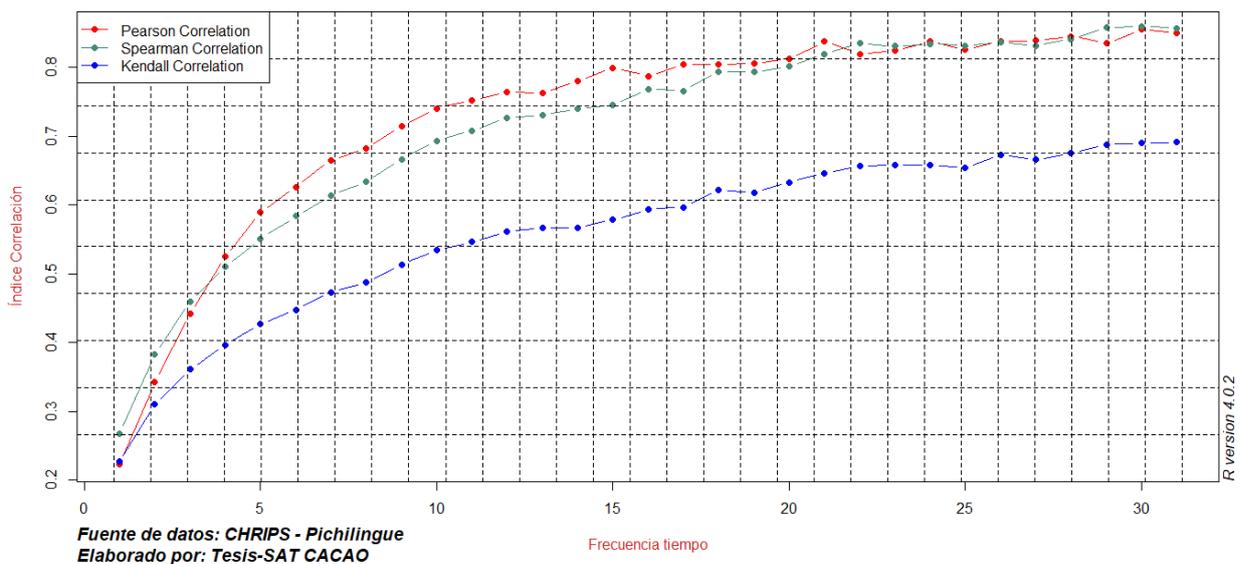


Ilustración 3.4 Gráfico de Correlaciones (Pearson, Spearman y Kendall).

Otras de las herramientas que nos sirvieron para visualizar el comportamiento de los datos fue el gráfico de dispersión entre los datos de la estación meteorológica y los datos de CHIRPS, en este se puede observar la tendencia lineal de los registros con una frecuencia de 15 días.

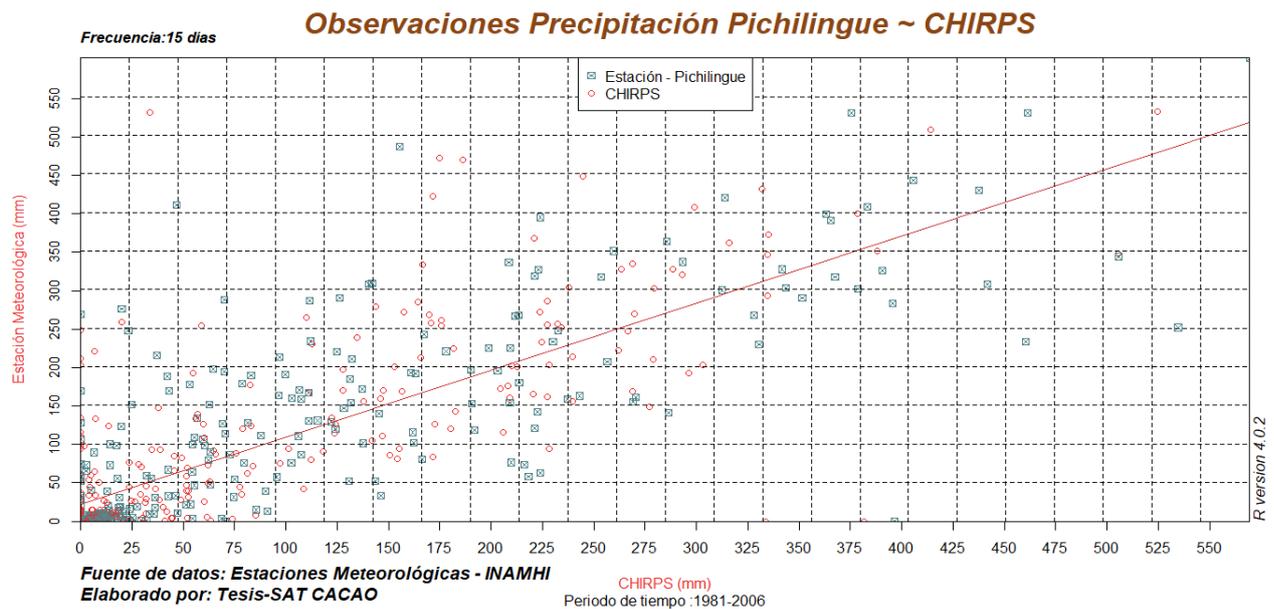


Ilustración 3.5 Gráfico de Dispersión entre los Datos de la estación meteorológica Pichilingue y CHIRPS.

El gráfico de dispersión nos dio la luz verde para poder hacer uso de la técnica de la regresión lineal como modelo para poder ejecutar la calibración de los datos.

```
Call:
lm(formula = obs ~ parametro, data = precip_chirps_group)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-359.21  -28.91  -22.21   23.09  526.66

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 24.20808    3.63607   6.658 6.15e-11 ***
parametro    0.84520    0.02656  31.825 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 73.83 on 617 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6214,    Adjusted R-squared:  0.6208
F-statistic: 1013 on 1 and 617 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Ilustración 3.6 Imagen del resumen del modelo de regresión Lineal

La calibración de los datos de CHIRPS con la estación Meteorológica de Pichilingue nos brindó un modelo con un error medio cuadrático de 0.62, siendo sus valores constantes 24.20 para el intercepto, una pendiente de 0.845 y un error estándar residual de 74.83mm los cuales con la siguiente ilustración pudimos resumir los puntos importantes del modelo.

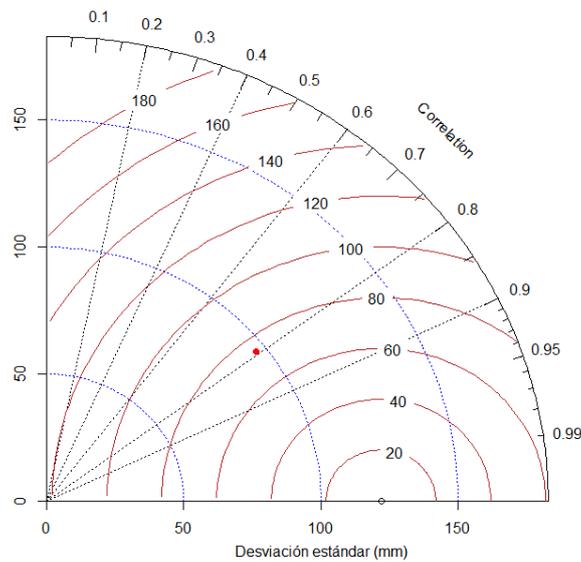


Ilustración 3.7 Gráfico de Taylor de los datos calibrados.

Este diagrama mostró que la correlación de los datos ya calibrados con respecto a la Estación Pichilingue, es aproximadamente de 0.79 muy cercano a 0.8 y que su desviación estándar es de 73.8 mm, por lo que el modelo se puede usar para calibrar la región de influencia que posee la estación de Pichilingue.

Al tener la calibración de los datos de CHIRPS con una resolución de $0.05 \times 0.05^\circ$ se pudo obtener el mapa de correlaciones el cual nos mostró la distribución de las correlaciones espaciales de cada serie de tiempo extraída y comparada con la estación de Pichilingue, el gráfico muestra que los cuadros con tendencia hacia los colores rojos poseen una correlación muy cercana a la correlación del modelo siendo esta 0.798 por lo que si se desea conocer la precipitación en ubicaciones diferentes a la de Pichilingue los valores con mayores correlaciones cercanas al valor máximo poseen la señal muy cercana a los valores de precipitaciones en la estación meteorológica, pudiendo ubicar nuevas estaciones meteorológicas para mayor cobertura para el monitoreo.

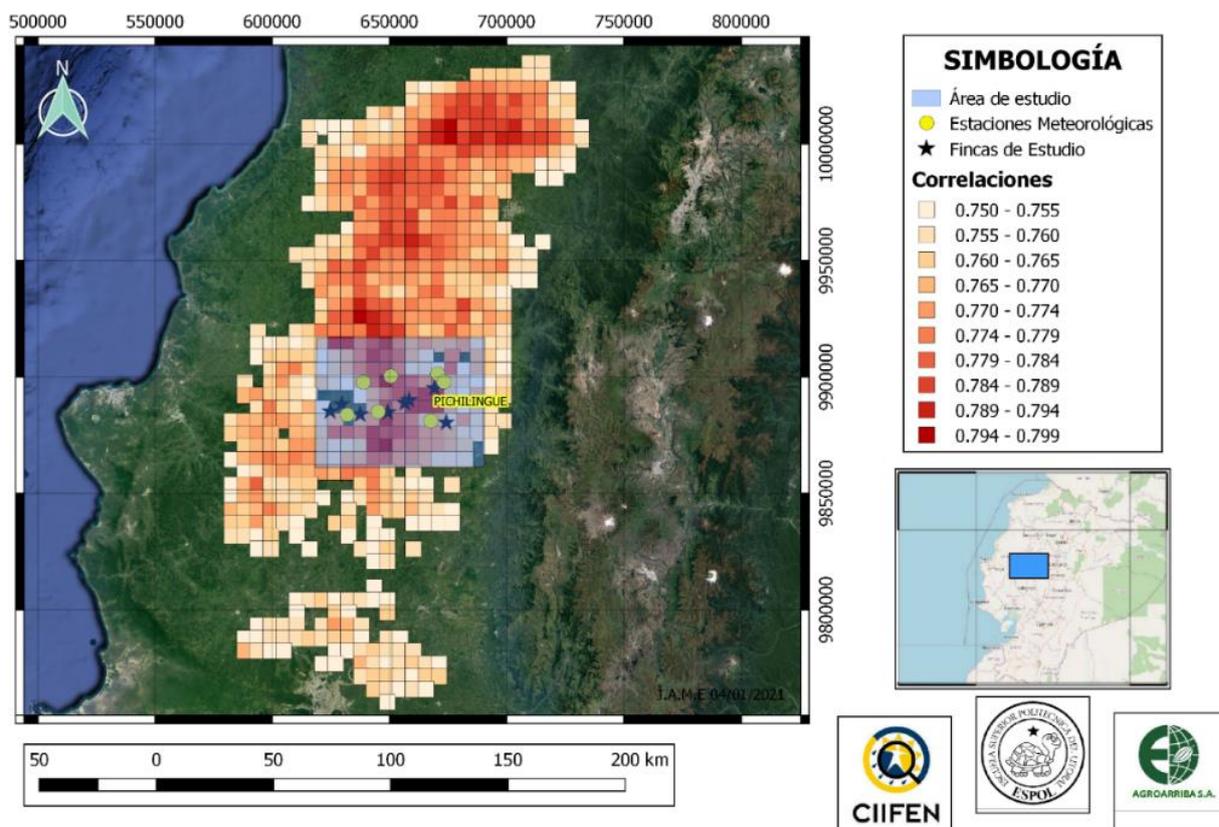


Ilustración 3.8 Mapa de área de Influencia de la estación Pichilingue-INAMHI

3.3.2 Temperatura

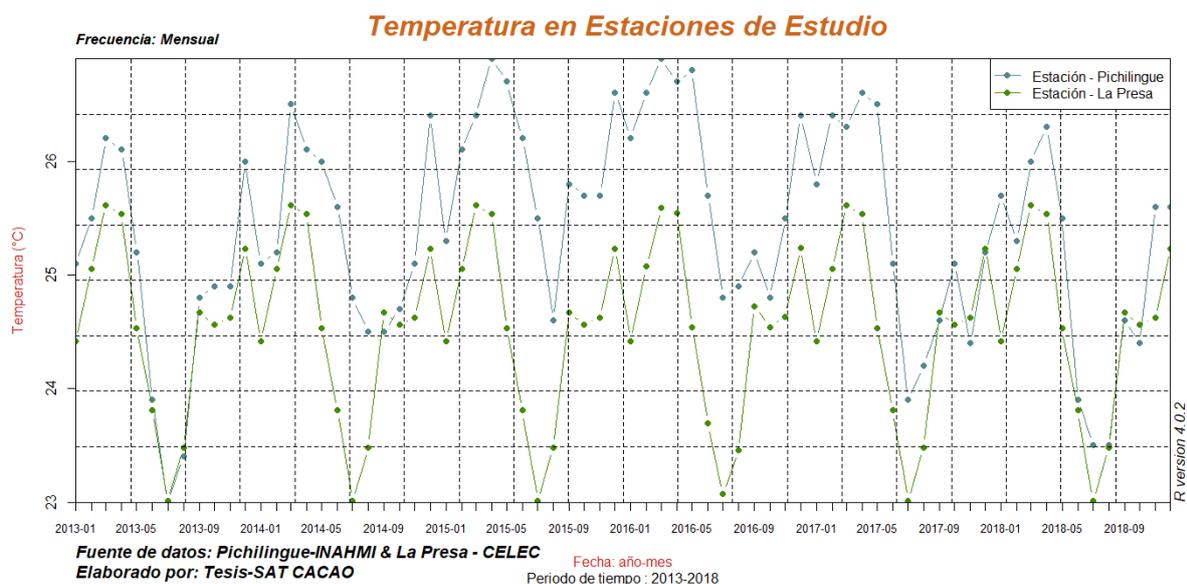


Ilustración 3.9 Gráfico de temperatura mensual entre estaciones La presa-Celec y Pichilingue-INAMHI

enfermedad) o pudieron haberse infectado en las primeras etapas del desarrollo del fruto. También se puede observar que existe un porcentaje de 32.5% el cual al no realizarse el conteo en la fecha establecida no permite diferenciarlas como aciertos o errores del modelo. Es muy probable que al no realizar el conteo antes pueda haber sido la causa del padecimiento de las enfermedades el 27% del total de todas las mazorcas como se puede observar en las fechas representadas con un círculo lila.

Tabla 3.5 Conteo Moniliasis – Finca Montoya

Aciertos	19	47.5%
Errores	8	20%
No conteo	13	32.5%
Conteo Total	40	100%

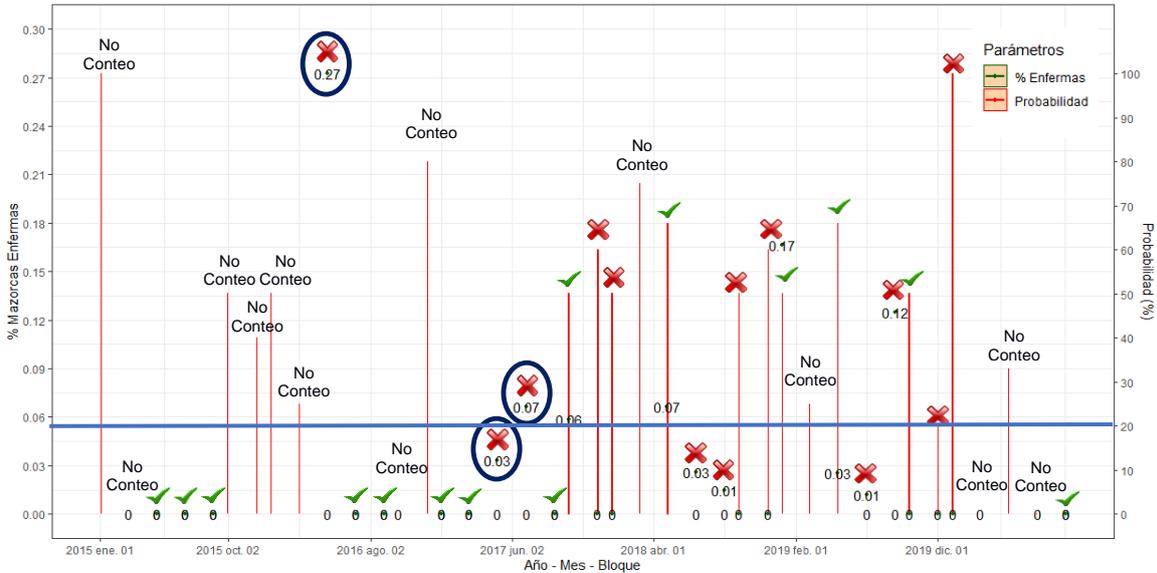


Ilustración 3.7 Validación Mazorca Negra – Finca Montoya

El mismo análisis se realizó para el conteo de aciertos para la mazorca negra obteniendo un 35% de aciertos para la finca Montoya de los cuales todos cumplen con el tiempo mínimo requerido para que se genere la infección. Del total de errores obtenidos existen tres conteos para los cuales fueron aciertos para la Moniliasis y fallas para la mazorca negra por lo que es probable que al realizarse el conteo solo haya sido para la moniliasis ya que no se diferencian las enfermedades durante el conteo. Por el contrario, cuando existen aciertos en las condiciones para ambas enfermedades es muy probable que del

total de mazorcas enfermas se hayan presentado ambas enfermedades, sin embargo, entre ambos conteos en la mayoría de los casos se complementan los resultados.

Tabla 3.6 Conteo Mazorca Negra – Finca Montoya

Aciertos	14	35%
Errores	13	32.5%
No conteo	13	32.5%
Conteo Total	40	100%

3.4.1.2 Betty Angélica

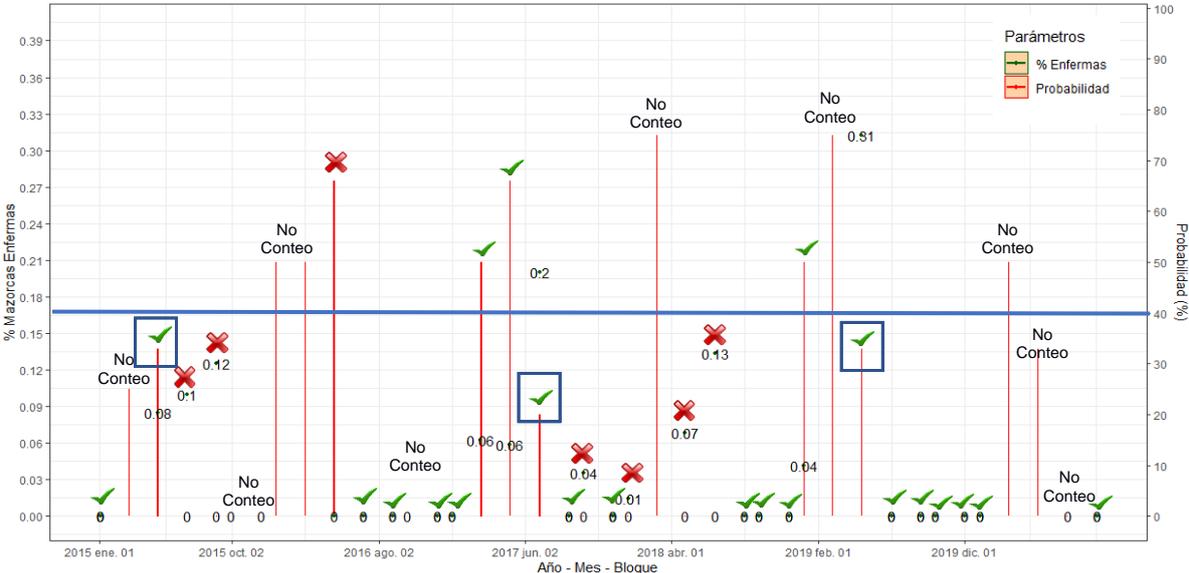


Ilustración 3.8 Validación Moniliasis – Finca Betty Angélica.

Como se puede observar en la ilustración 3.8 del total de aciertos que tuvo el modelo, tres de ellos no cumplieron con el tiempo mínimo para que ocurra la infección y esto puede ocurrir porque fueron mazorcas ya antes infectadas y que al momento de hacer el conteo anterior no se tomaron en consideración (aparentemente en la superficie de la mazorca no se observó los cambios físicos normales pudiendo padecer en el interior la enfermedad) o pudieron haberse infectado en las primeras etapas del desarrollo del fruto. También se puede observar que existe un porcentaje de 27.5% el cual al no realizarse el conteo en la fecha establecida no permite diferenciarlas como aciertos o errores del modelo.

Tabla 3.7 Conteo Moniliasis – Finca Betty Angélica

Aciertos	22	55%
Errores	7	17.5%
No conteo	11	27.5%
Conteo Total	40	100%

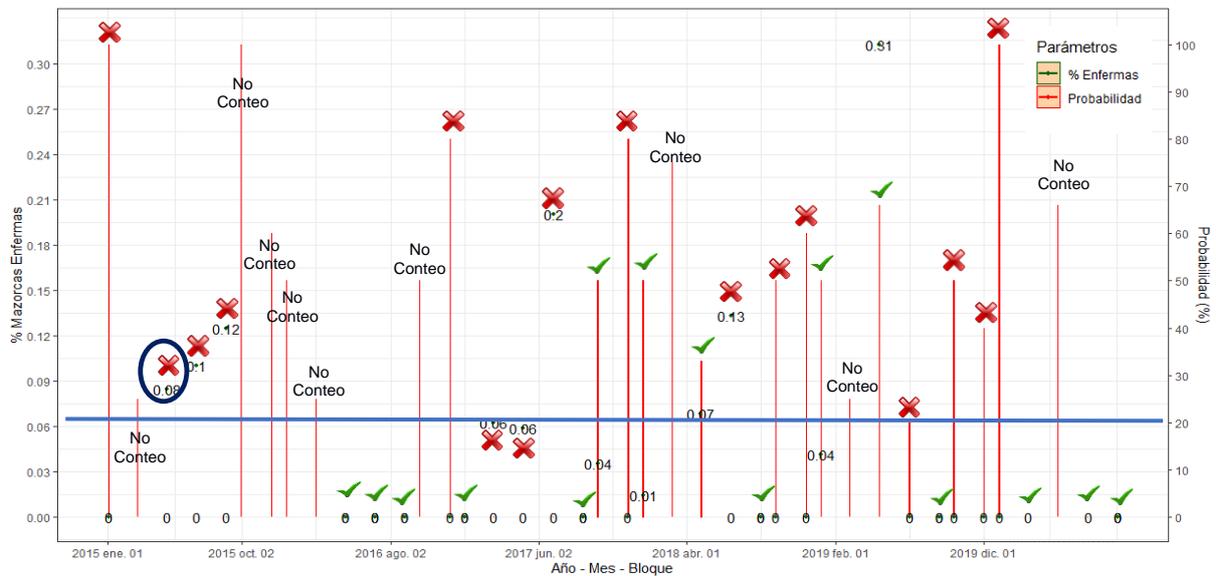


Ilustración 3.9 Validación Mazorca Negra – Finca Betty Angélica

El mismo análisis se realizó para el conteo de aciertos para la mazorca negra obteniendo un 37.5% de aciertos para la finca Betty Angélica de los cuales todos cumplen con el tiempo mínimo requerido para que se genere la infección. Del total de errores obtenidos existen un conteo para el cual fue acierto para la Moniliasis y falla para la mazorca negra por lo que es probable que al realizarse el conteo solo haya sido para la moniliasis ya que no se diferencian las enfermedades en el conteo. Al contrario, cuando existen aciertos en las condiciones para ambas enfermedades es muy probable que del total de mazorcas enfermas se hayan presentado ambas enfermedades.

Tabla 3.8 Conteo Mazorca Negra – Finca Betty Angélica

Aciertos	15	37.5%
Errores	16	40%
No conteo	9	22.5%
Conteo Total	40	100%

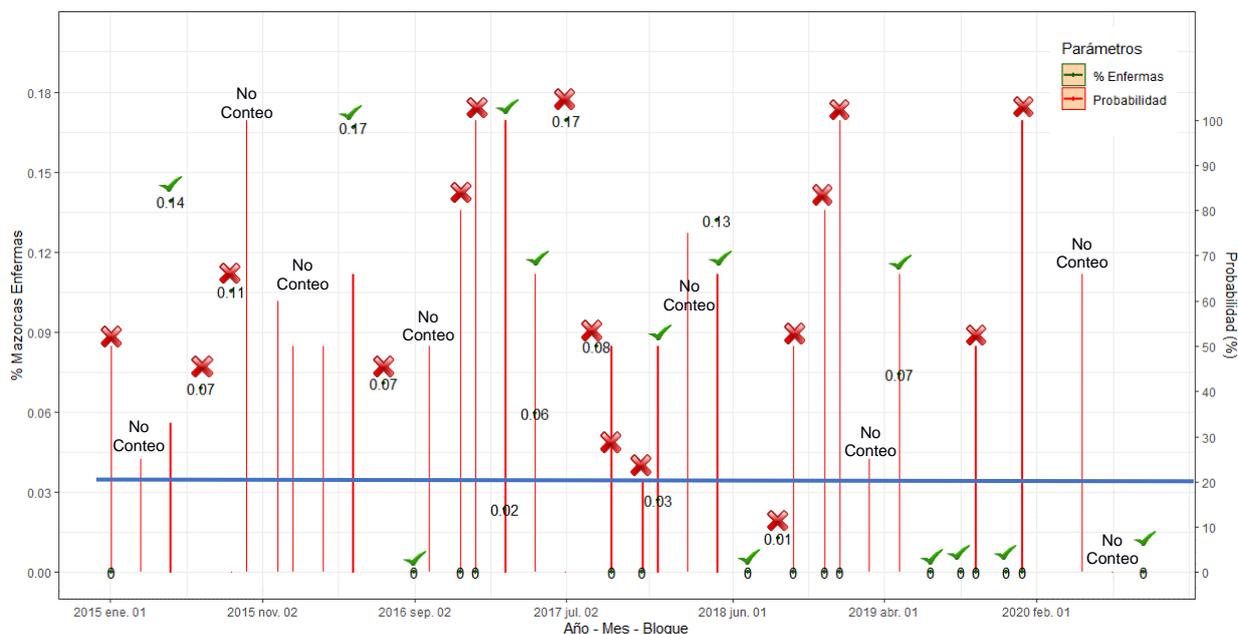


Ilustración 3.11 Validación Mazorca Negra – Finca Bijagual

En el análisis que se realizó para el conteo de aciertos para la mazorca negra en la finca Bijagual se obtuvo un 34.21% de aciertos de los cuales todos cumplen con el tiempo mínimo requerido para que se genere la infección. Del total de errores obtenidos no existe un conteo para el cual fue acierto para la Moniliasis y falla para la mazorca negra, sin embargo, es evidente que algunos de los conteos se presentaron como falla para para la Moniliasis y acierto para la Mazorca negra, por lo que ambas enfermedades tienen su proporción del total para el conteo de las mazorcas enfermas.

Tabla 3.10 Conteo Mazorca Negra – Finca Bijagual

Aciertos	13	34.21%
Errores	15	39.47%
No conteo	10	26.31%
Conteo Total	38	100%

3.4.1.4 Promedios

Tabla 3.11 Moniliasis

Aciertos	49.95%
Errores	23.03%
No conteo	26.97%
Conteo Total	100%

Como se puede observar en esta tabla resumen de los conteos, los aciertos hacen referencia al 49.95% de los pronósticos para la presencia de la enfermedad de la Moniliasis con nuestro modelo a pesar de haber usado humedad relativa modelada con las condiciones para el escenario RCP4.5 para el cambio climático y con los datos de Precipitación de CHIRPS calibrado, así mismo el valor de temperatura con datos de observaciones de la estación La Presa de Celec con una distancia de 12km a la finca Bijagual, 32km a la finca Montoya y 36km a la finca Betty Angélica. Si pudiéramos validar los resultados de los momentos en los que no se realizó el conteo posiblemente los aciertos mejorarían ya que presentan una proporción del 26.97% del total de observaciones, en cuanto a los errores hay que tomar en consideración el nivel de cuidado para el manejo sanitario además del uso de observaciones con mejor frecuencia de las condiciones ambientales.

Tabla 3.12 Mazorca Negra

Aciertos	37.57%
Errores	37.32%
No conteo	25.11%
Conteo Total	100%

En cuanto a la mazorca negra el promedio de aciertos fue del 37.57% para las 3 fincas, con el mismo análisis elaborado para la moniliasis estos resultados dependen del régimen de conteos y la construcción de las series de tiempo para los parámetros relevantes para su estudio, por lo que también la diferenciación de las enfermedades dependerá del nivel de detalle y precisión que se desea llegar con el estudi

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El área piloto se encuentra ubicada en la provincia de Los Ríos y se delimitó en base a la disponibilidad de información y área de influencia de la estación meteorológica Pichilingue, teniendo esta una cobertura no solo de 30 km como se pensaba, si no pudiendo tener una influencia de hasta 200 km hacia el norte del Ecuador, así mismo su área de cobertura presenta una geometría irregular por lo que las condiciones topográficas, cuerpos de agua y cobertura vegetal juegan un papel importante para definir la extensión en la que se puede hacer uso de sus valores de precipitación.
- Los parámetros principales para el monitoreo de las enfermedades del cacao son las precipitaciones, temperatura, humedad relativa y vientos, los cuales deben tener una frecuencia de monitoreo al menos quincenal debido a que para la Moniliasis la duración con la que se puede apreciar la presencia de la enfermedad corresponde entre 30 y 45 días mientras que para la Mazorca negra se la puede apreciar en tan solo 15 días por lo que el monitoreo debe encontrarse ligado al ciclo de cada enfermedad, sin embargo para nuestra investigación los datos para la validación del modelo no presentaba una diferenciación entre ambas enfermedades optando así por el uso de la frecuencia quincenal.
- Se concluye que el modelo de regresión lineal es el más adecuado para la calibración de los datos de precipitación obtenidos de CHIRPS puesto que el gráfico de dispersión muestra una tendencia lineal de los valores comparados con Pichilingue para una frecuencia de agrupamiento de 15 días.
- La calibración entre los valores de CHIRPS y la estación de Pichilingue alcanzó una correlación de 0.798 cuando se acumularon los valores diarios de precipitación a una frecuencia quincenal por lo que en los colores tendiendo al rojo muestran una extensión geográfica irregular pudiendo hacer uso de los datos de precipitación de CHIRPS calibrada para el monitoreo dentro del rango de alcance de la estación de Pichilingue.
- El árbol de decisiones fue un algoritmo muy útil en el monitoreo de los parámetros ambientales necesarios para la generación de las enfermedades, sin embargo, su efectividad varió para cada enfermedad teniendo una efectividad del 49.95% para la Moniliasis y 37.57% para la Mazorca negra, aunque tuvo un porcentaje del

26.97% y 25.11% respectivamente de los cuales no se pueden clasificar como aciertos o desaciertos en la precisión del modelo, justifican en la mayoría de los casos el conteo de las mazorcas enfermas en fechas de próximos conteos. Lo que significa que, al no realizarse el conteo de las mazorcas enfermas y el manejo fitosanitario estas afectaron al próximo conteo por la proliferación de las enfermedades siendo en algunos casos tan perjudicial alcanzando pérdidas del 31% de la producción total de las mazorcas.

- La metodología aplicada en este proyecto es replicable para otras áreas en donde se genera la producción cacaotera siempre que se tenga al menos una estación meteorológica para la calibración de datos satelitales puesto que los umbrales establecidos para cada enfermedad son los teóricamente ideales para la presencia de estos patógenos. Así como también puede ser replicable para otro tipo de plantación y enfermedades siempre que se analicen su ciclo ante las condiciones ambientales propicias para su generación, los datos de validación con regímenes establecidos adecuados ajustados al ciclo de vida del patógeno a estudiar.
- Un factor clave por la que se llegaron a los resultados del porcentaje de error en el modelo de presencia – ausencia fueron los gaps o datos faltantes que presenta la data de conteo dentro de las fincas por lo que existe incertidumbre al poder definir el motivo del error sin embargo lo que sí es claro que si se mejorara la frecuencia de monitoreo y el régimen más estricto para los conteos mejoraría la precisión del sistema de alerta, además la diferenciación de las enfermedades dentro del manejo sanitario podría aún más fortalecer esta precisión disminuyendo su grado de incertidumbre.

Recomendaciones

- Al momento de trabajar con enfermedades, uno de los temas más importantes son las condiciones ideales para su generación o propagación, según sea el caso. Por lo tanto, se recomienda revisar varias fuentes y construir una tabla resumen en la cual se detallen las variables más importantes y sus respectivos umbrales. Luego de esto discutirlo o debatirlo con las personas involucradas o que forman parte del sector agrícola y de la plantación a estudiar. Puesto que son los que

observan a menudo los cambios que se presentan; para este proyecto se contó con la participación de Agroarriba y expertos de INIAP.

- Uno de los objetivos de esta tesis fue el poder calibrar datos satelitales con los de una estación meteorológica que se encuentre dentro del área piloto. Para esto se recomienda tener en cuenta el acceso o la disponibilidad de datos de una estación meteorológica porque es un factor clave en el producto final del proyecto. Además, también se recomienda tener más de 1 opción en cuanto al acceso de data, en el caso de este proyecto solo se pudo obtener la data de precipitación y Temperatura de la estación meteorológica por lo que como segunda opción (para las variables de humedad relativa y vientos) se trabajó con las salidas del modelo ENSEMBLE escenario RCP4.5 de los modelos de cambio climático generados por la TCN, disminuyendo su efectividad al trabajar con datos modelados sin poder contar con observaciones de las estaciones meteorológicas.
- Para la generación del modelo de regresión lineal se deben tener en cuenta varias recomendaciones; la primera es partir de la elaboración de un gráfico de dispersión para así poder observar el comportamiento de los datos (en el caso de este proyecto entre la data de precipitación de CHIRPS y la estación meteorológica) para decidir si su tendencia es lineal o no lineal. La segunda recomendación es decidir con qué frecuencia se va a trabajar y para esto se puede hacer uso de un gráfico de correlaciones como el que se muestra en la Ilustración 3.3. también es importante representar mediante un diagrama de Taylor la efectividad del modelo usado puesto que se resume de una manera práctica la precisión del modelo tanto la correlación como la desviación estándar entre la observación y los resultados obtenidos.
- Para la validación de un modelo de Ausencia-Presencia se recomienda tener presente los tiempos establecidos en el ciclo de vida de cada enfermedad puesto que no solo se deben tomar en cuenta dentro del análisis el día o semana en que se contaron dichas mazorcas enfermas (en el campo) sino los días previos en los que se pudo haber infectado la mazorca. Esto puede generar un error al momento de validar las salidas obtenidas por el modelo con los datos reales de las fincas.
- Otro aspecto que se recomienda es completar las 2 fases restantes para el sistema de alerta ya que de esto depende la efectividad global y el fin con el que se ha dispuesto generarlo, la comunicación, el conocimiento, la integración de los

actores y beneficiarios en el ciclo productivo del cacao deben ser partes incluidas dentro de la implementación de servicio de alerta.

- La precisión del modelo para cada enfermedad depende en gran medida de la discriminación en el conteo de las mazorcas enfermas por *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* ya que esto va a mejorar al desarrollo completo del sistema de alerta dentro del proyecto que posee el CIIFEN con Agroarriba. Para los conteos próximos Agroarriba debe continuar diferenciando a ambas enfermedades como se lo ha venido haciendo desde el 2020, para poder ejecutar las evaluaciones respectivas de la precisión para cada enfermedad. Esto desembocaría en mejor ajuste y precisión del modelo, además teniendo un sistema de alerta para cada enfermedad beneficiará a las decisiones en cuanto al manejo fitosanitario del cultivo, frecuencia de aplicación de fungicidas, manejo cultural de las mazorcas, pruebas de resistencia genéticas frente a cada enfermedad, entre otros.
- El monitoreo de la variabilidad climática como el fenómeno océano-atmosférico de 'El Niño y La Niña', deben ser tomados en consideración dentro del desarrollo de sistemas de alerta cuyas actividades se encuentren relacionados con las condiciones ambientales, ya que su efecto puede ser tan perjudicial pudiendo llegar a quebrar económicamente a sectores productivos que dependan del medio en el que se desarrollan. La necesidad de que empresas como Agroarriba, instituciones como INIAP, productores agrícolas o gremios como Anecacao busquen apoyo en instituciones como CIIFEN que monitorea, analiza y evalúa el desarrollo de estos eventos, facilitan la toma de decisiones de adaptación, disminuyendo las pérdidas en sus actividades productivas y económicas respectivas.
- Darle la importancia al conocimiento para el uso de los servicios meteorológicos en el monitoreo de las condiciones ambientales en épocas precisas como herramientas para la investigación, generación de conocimientos y toma de decisiones. Pudiendo ayudar a los sectores productivos que dependen del clima a tener un panorama de cómo pueden ser afectados o beneficiados por las condiciones que se están dando, ya que de esto dependen los sectores agrícolas, silviculturales entre otros. A poder generar previsiones de su ciclo productivo

beneficiando a todo un país con la implementación de sistemas de alerta temprana contra enfermedades y condiciones extremas.

- Las instituciones del estado tienen la obligación y la responsabilidad social de hacer públicos los datos meteorológicos y oceanográficos ya que la investigación, la generación del conocimiento, el desarrollo de los sistemas de alerta y adaptación frente al cambio climático, benefician a los sectores productivos de los cuales depende la nación. Para este caso el sector agrícola cacaotero depende mucho de las condiciones meteorológicas y variabilidad climática, por esa razón el INAHMI e INOCAR como instituciones del estado deben apoyar a la investigación con información gratuita y el estado debe sustentar y darle la importancia suficiente para que el esfuerzo de la conjunción de los servicios climáticos, oceanográficos, instituciones, ministerios, universidades y comunidades puedan desarrollar sus medios productivos ya que directamente beneficiarán a todos sus ciudadanos.

BIBLIOGRAFÍA

-
- Abad, M., Alvarado, A., & Gallardo, A. (26 de junio de 2018). *Análisis comparativo sobre la incidencia de las tres principales enfermedades en el cacao CCN-51, en el cantón La Troncal, provincia del Cañar, Ecuador*. Tesis, Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63263661/3_Abad_et_al_2018_121_20-3020200510-94495-1q3j6ee.pdf?1589143265=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAnalisis_comparativo_sobre_la_incidencia.pdf&Expires=1610701749&Signature=liQV~Wv6x3orDc5086
- Abelardo, M. (2019). *Manejo de Phythophthora palmivora L., en el cultivo (Theobroma cacao L.), en la hacienda San José, cantón Babahoyo*. Babahoyo, Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6758/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000039.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agroarriba. (2020). *Impactos potenciales del cambio climático para el cultivo de cacao en Ecuador y como enfrentarlos*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Aneccacao. (2019). BOLETIN MENSUAL DE ANECACAO.
- Arguello, O. (1995). *Manejo Integrado de Moniliasis en Cacao Theobroma cacao L. en Santander*. Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- C.Zuniga, & N.Abgar. (07 de 2011). *Wordpress*. Obtenido de <https://niefcz.files.wordpress.com/2011/07/lbreve-aproximacion-a-la-tecnica-de-arbol-de-decisiones.pdf>
- CATIE. (1980). *La moniliasis del Cacao compendio de los trabajos presentados en el seminario llevado a cabo en CATIE, Turrialba, Costa Rica, entre el 27 y el 30 de agosto de 1980*. Turrialba - Costa Rica. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=stkOAQAIAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Coordinación Nacional de Protección Civil. (s.f.). *Sistemas de Alerta Temprana*. Mexico. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/239593/Presentaciones_sistemas_de_alerta_temprana-ilovepdf-compressed.pdf

- Corporación Andina de Fomento. (2002). Lecciones de El Niño, Ecuador. Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998, Retos y propuestas para la Región Andina. IV. Ecuador. Obtenido de <http://helid.digicollection.org/en/d/Js8252s/4.2.html>
- Correa, J., S.Castro, & J.Coy. (2014). *Estado de a moniliasis del cacao causada por Moniliophthora roreri en Colombia*. Escuela de Ciencias, Universidad EAFIT, Medellin. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v63n4/v63n4a11.pdf>
- dinngo. (s.f.). Design Thinking . Obtenido de <https://www.designthinking.es/inicio/>
- Enriquez, G. A. (1986). *Curso sobre el cultivo del cacao*. Turrialba, Costa Rica: Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola. Recuperado el 29 de 09 de 2020, de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=eZgOAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=cacao+&ots=lroL--Tg4O&sig=RuKYEjMkPr8PHSAYQAZ6QyKIXHI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- EWC III. (2006). *Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana* . Bonn, Alemania. Obtenido de https://www.unisdr.org/files/608_spanish.pdf
- Ferreiro, C. (2019). *BBVA*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/repercusiones-climaticas-del-fenomeno-el-nino-en-america-latina/>
- Fortaleza del Valle. (2015). *Fortaleza el Valle*. Obtenido de <https://fortalezadelvalle.org/cacao-fino-de-aroma/>
- Freire, E. (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/regioncostadeecuador/news/editme-1>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., . . . Michaelsen, J. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes*. Scientific data, 2, 150066, doi: 10.1038/sdata.2015.66.2015.
- Gang, X. Y. (2009). *Linear Regression Analysis: Theory and Computing*. USA: World Scientific.
- Hardy, F. (1961). *Manual de Cacao*. Turrialba, Costa Rica: Antonio Lehmann. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=sh4PAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=cacao+&ots=J1smmizU9n&sig=e8tiYz-fSPVv4rhD8lrVbDyrKt0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- J. Delgado. (1973). *Informe sobre la situación de la moniliasis del cacao en Costa Rica y recomendaciones para los grupos de discusión*. Obtenido de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2789/La_moniliasis_del_cacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jaramillo, R. (4 de Abril de 2006). Teoría sobre el Fenómeno "El Niño o Evento ENOS". Machala, El Oro, Ecuador. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=L4YIDn3vK08>
- M. Montes. (2015). *Efectos de fósforo y azufre sobre el rendimiento de mazorcas, en una plantación de Cacao (Theobroma cacao L.) CCN-51 en la zona de Babahoyo*. Babahoyo, Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3358/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000009.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Taxonom%C3%ADa%20del%20cacao%3A,%3A%20Theobroma%20Especie%3A%20cacao%20L.>
- M. Sánchez, E. Jaramillo, & Ramírez, I. R. (2015). *Enfermedades del Cacao*. Machala, El Oro, Ecuador: UTMACH - Universidad Técnica de Machala.
- MAE, & PNUD. (2016). *Proyecciones Climáticas de Precipitación y Temperatura para Ecuador, Bajo Distintos Escenarios de cambio climático*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente del Ecuador - MAE, Tercera Comunicación Nacional de cambio climático del Ecuador.
- Módulo Normalize Data. (22 de 02 de 2020). *Microsoft*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/azure/machine-learning/algorithm-module-reference/normalize-data>
- NCAR Command Language. (2019). *NCAR*. Obtenido de <http://www.ncl.ucar.edu/Applications/taylor.shtml>
- Oleas, J. (2019). *Crisis económicas en una economía pequeña y abierta: Ecuador, 1900-1999*. Instituto de Altos Estudios Nacionales, Quito. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-22532019000200003
- Ordoñez, J., C. Suarez, D. Vera, Souza, K. d., & M. Mena. (2020). *Impactos potenciales del cambio para el cultivo del Cacao en Ecuador y como enfrentarlos*.
- P. Lopez. (2011). *Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la Región Sur - Sureste de México: Trópico Húmedo 2011*. Centro de Investigación Regional - Golfo Centro. Huimanguillo - Tabasco: Sagarpa - Inifap.

- Palma, N. (10 de dic de 2020). *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/09/nota/8077705/sequia-nina-empieza-sentirse-fuerza-manabi>
- Pathan, M. B. (2015). Modeling of Data from Climate Science Using Introductory Statistics. India. doi:10.4172/2332-2594.1000129
- Pourrut, P. (julio de 1983). *Los Climas del Ecuador*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/39874448.pdf>
- Rodriguez, D. (01 de 08 de 2017). *Revista de Investigación de Modelos Financieros*. Obtenido de <http://ojs.econ.uba.ar/index.php/RIMF/article/view/1476/2104>
- Sanchez, V. H. (1991). *Enfermedades del Cacao* (Vol. 5). La Lima, Cortés. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=hGgqAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA13&dq=cacao+&ots=icbNbzTjPs&sig=SILOJD8jKqKG4rMPC-b1OBdzxLI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (1 de mayo de 2018). *ingenta*. (W. Kluwer, Ed.) doi: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Torres, M. A. (2019). Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6758/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000039.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UDEP. (2002). *Biblioteca Central de la Universidad de Piura*. Obtenido de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf
- United Nations Development Programme (UNDP). (2018). *Five approaches to build functional early warning systems*. Serbia.
- Weisberg, S. (2005). *Applied Linear Regression*. New Jersey: Wiley Interscience. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=xd0tNdFOOjcC&oi=fnd&pg=PR7&dq=linear+regression&ots=dV1nFwKzGO&sig=u7wn6WdCQS8_ygdiDqm3aVibsOE&redir_esc=y#v=onepage&q=linear%20regression&f=false
- Zambrano, F. H. (2007). *INOCAR*. Obtenido de <https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/2507/Inicio,%20duraci%f3n%20y%20t%e9rmino%20de%20la%20estaci%f3n%20lluviosa%20en%20cinco%20localidades%20de%20la%20costa....pdf?sequence=1>

APÉNDICES

APÉNDICE A

```
1 #calibración de Precipitación chirps
2 Sys.setenv(JAVA_HOME='C:\\Program Files\\Java\\jdk-14.0.1')
3 library(tidyverse)
4 library(dplyr)
5 library(xlsx)
6 library(raster)
7 directorio<-'D:/SAT CACAO/PROYECTO CACAO 22_09_20/Extracciones_data/Data_final'
8 setwd(directorio)
9 #calibrando precipitación_____
10 #abriendo archivos
11 archivos_xlsx<-list.files(pattern = 'xlsx')
12 obs_pichi<-read.xlsx(file = archivos_xlsx[6],sheetIndex = 1)
13 chirps_pichi<-read.xlsx(file = archivos_xlsx[2],sheetIndex = 1)
14 chirps_pichi_2020<-read.xlsx(file = archivos_xlsx[4],sheetIndex = 1)
15 allchirp<-rbind(chirps_pichi,chirps_pichi_2020)
16
17 #emparejando series
18 start_date<-chirps_pichi$fecha_chirps[1]
19 end_date<-obs_pichi[18049,2]
20 precip_filt_chirps<-filter(chirps_pichi, between(chirps_pichi$fecha_chirps,as.Date(start_date), as.Date(end_date)))
21 precip_filt_obs<-filter(obs_pichi, between(as.Date(obs_pichi$fecha_obs),as.Date(start_date), as.Date(end_date)))
22 precip_filt_obs_test<-precip_filt_obs[c(-1461,-2921,-4381,-5841,-7301,-8761,-10221),]
23 precip_obs_chirps<-data.frame(fecha=precip_filt_obs_test$fecha_obs,obs=precip_filt_obs_test$temp_max_obs,chirps=precip_filt_chirps$chirps_To_ts)
24 #eliminando missing values (NA)
25 destroy_NA<-function(tabla_ts){
52 precip_chirps_fix<-destroy_NA(precip_obs_chirps)
53 #agrupando cada 15 días
54 #agrupando_datos_3par<-function(tabla_ts,n,metodo){
92 #agrupando_datos_2par<-function(tabla_ts,n,metodo){
128 precip_chirps_group<-agrupando_datos_3par(tabla_ts = precip_chirps_fix,n = 15,metodo = 'suma')
129 #generando modelo de calibración_____
130 cor(x = precip_chirps_group$parametro,y = precip_chirps_group$obs,method = 'pearson')
131 #regresión lineal simple
132 linearMod <- lm(obs ~ parametro, data=precip_chirps_group)
133 correccion_chirps<-predict(object = linearMod,new=data.frame(parametro=precip_chirps_group$parametro))
134
1038 #funcion sin calibrar de correlaciones espaciales
1039 spacial_correlation_met_chirps_corr<-function(date_start,date_end,lat,long,lat2,long2,directorio_ts,serie_tiempo,n){
1040 #se ingresa la esquina izquierda superior lat, long
1041 #la esquina inferior derecha lat2,long2
1042 #directorio_ts es el directorio del set de datos
1043 #directorio_kml es donde se encuentra el archivo kml
1044 #kml_file es el nombre del archivo kml
1045 #num_point es la posición dentro del archivo KML del punto de estudio
1046 #si la variable anterior no se coloca la posición del punto entonces usa la primera
1047 library('raster');library('ncdf4');library('dplyr');library('tidyverse');
1048 library('rgdal');library('abind')
1049
1050 #extrayendo series de tiempo de chirps
1051 #compactando archivos raster
1052 directorio_ts<-'D:/Data_base_time_series/CHIRPS/CHIRPS_NC'
1053 setwd(directorio_ts)
1054 arch_test<-list.files(pattern = '.nc')
1055 # c_2020<-nc_open(arch_test[40])
1056 # f_2020<-as.Date('1980-01-01')+ncvar_get(c_2020,varid = 'time')
1057 #shape_file_dir<-D:/SAT CACAO/PROYECTO CACAO 22_09_20/shape fincas/Capas_base'
1058 shape_file_dir<-'D:/Capa base'
1059 #crop_extent <- readOGR(paste0(shape_file_dir,'/','Pol_extendido.shp'))
1060 crop_extent <- readOGR(paste0(shape_file_dir,'/','Ecuador_base.shp'))
1061 i<-1
1062 test_chirps<-raster::stack(arch_test[i])
1063 crop_trans <- spTransform(crop_extent, CRS(projection(test_chirps[[1]])))
1064 chirps_crop <- raster::stack(crop(test_chirps, crop_trans))
1065 print(paste0('valores del NC recortado a la extension',nombre))
1066 #x <- sampleRegular(chirps_crop, maxpixels, asRaster = TRUE, useGDAL = TRUE)
1067 nombre<-arch_test[i]
1068 longitud <- xFromCol(chirps_crop, 1:ncol(chirps_crop))
```

```

1068 longitud <- xFromCol(chirps_crop, 1:ncol(chirps_crop))
1069 latitud <- yFromRow(chirps_crop, nrow(chirps_crop):1)
1070 aux_array<-raster::as.array(chirps_crop)
1071 arreglo_total<-aux_array
1072 print(paste('valores de latitud, longitud y z de ',nombre))
1073 res<-res(chirps_crop)
1074 #https://stackoverflow.com/questions/4310727/what-is-rs-multidimensional-equivalent-of-rbind-and-cbind
1075 for (i in 2:length(arch_test)) {
1076   #abriendo como raster
1077   test_chrips<-raster::stack(arch_test[i])
1078   nombre<-arch_test[i]
1079   crop_trans <- spTransform(crop_extent, CRS(projection(test_chrips[[1]])))
1080   chirps_crop <- raster::stack(crop(test_chrips, crop_trans))
1081   print(paste0('valores del NC recortado a la extension',nombre))
1082   #x <- sampleRegular(chirps_crop, maxpixels, asRaster = TRUE, useGDAL = TRUE)
1083
1084   aux_array<-raster::as.array(chirps_crop)
1085   arreglo_total<-abind(arreglo_total,aux_array)
1086   #dim(arreglo_total)
1087   print(paste('Agregado',nombre,' a arreglo de matrices'))
1088
1089
1090
1091 }
1092 #acumulando matrices
1093 n<-15
1094 dimension_completa<-dim(arreglo_total)
1095 serie_15<-seq(1,dimension_completa[2],n)
1096 arreglo_accum<-array(data = NA,dim = c(dimension_completa[1],dimension_completa[2],length(serie_15)-1))
1097 for (k in 1:(length(serie_15)-1)) {
1098   list_aux<-arreglo_total[,serie_15[k]:(serie_15[(k+1))]-1]
1099   new_list_aux<-apply(simplify2array(list_aux),c(1,2), sum)
1100   arreglo_accum[,k]<-new_list_aux
1101   print(paste('Secuencia ',serie_15[k],',',serie_15[k+1],',ingresada a la nueva matriz'))
1102 }
1103 dimension_completa<-dim(arreglo_accum)
1104 seq_fecha<-seq(as.Date('1981-01-01'),as.Date('2020-11-30'),15)
1105 num_serie<-seq(1,dimension_completa[3]+1,1)
1106 data_frame_date<-data.frame(num_serie,seq_fecha)
1107 #filtrando por fecha a la series de tiempo
1108 num_end<-length(serie_tiempos_fecha)
1109 date_filt<-precip_filtered<-filter(data_frame_date, between(data_frame_date$seq_fecha, as.Date(serie_tiempos_fecha[1]),
1110 cor_matrix_spearman<-matrix(data = NA,nrow =dimension_completa[1],ncol =dimension_completa[2],byrow = T)
1111 # x11()
1112 # plot(raster(cor_matrix_spearman),zlim=c(0.7,1))
1113 # i<-36
1114 # j<-62
1115 print(paste0('Creando MATRIZ VACIA SPEARMAN==OK'))
1116 for (i in 1:dimension_completa[1]) {
1117   print(paste0('longitud_',longitud[i]))
1118   for (j in 1:dimension_completa[2]) {
1119     print(paste0('latitud_',latitud[j]))
1120     ts_aux<-arreglo_accum[i,j,c(date_filt$num_serie)]
1121     #correccion_fit3<-predict(object = fit_3,new=data.frame(ts_aux) ,interval = 'prediction')
1122     correccion_fit3<-predict(object = fit_3,new=data.frame(CHIRPS=ts_aux))
1123     GLOBAL_MATRIX<-data.frame(serie_tiempos,correccion_fit3)
1124     n<-length(GLOBAL_MATRIX[,1])
1125     m<-dim(GLOBAL_MATRIX)[2]-1
1126     #dejando las filas que contiene las 2 variables
1127     tabla<-data.matrix(GLOBAL_MATRIX[,-1], rownames.force = NA)
1128     tabla_clean<-matrix(data = NA,nrow = 1,ncol = m)
1129     row_nam<-matrix(data = NA,nrow = 1,ncol = 1)
1130     row_value<-matrix(data = NA,nrow = 1,ncol = 1)
1131     k<-1
1132     for (k in 1:dim(tabla)[1]) {

```



```

208 #xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
209 #xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
210 #funcion clasificadora
211 #data serie contiene Tiempo ,precipitación, Temperatura , humedad relativa , vientos_u , vientos_v
212 > sat_cacao_Condition_moniliasis<-function(data_serie,dir_write,name_file,n){
283 > sat_cacao_Condition_mazorca_negra<-function(data_serie,dir_write,name_file,n){
354 dir_write<-dir_save
355 data_serie<-data.frame(fecha=CHIRPS_filt$all_chirps.fecha,precip=CHIRPS_filt$calibracion_chirps
356 ,temp=CELEC_filt$temp,HR=HR_filt$parametro,WIND_U=WIND_U_filt$parametro,WIND_V=WIND_V_filt$parametro)
357 write.xlsx(x =data_serie,file = paste0(dir_save,'/','tabla_para_validacion','.xlsx') )
358 name_file<-'TEST1_MONILIASIS'
359 name_file<-'TEST1_Mazorca_negra'
360 n<-15
361 pichilingue_moniliasis<-sat_cacao_Condition_moniliasis(data_serie,dir_write,name_file,n)
362 pichilingue_fitofora<-sat_cacao_Condition_mazorca_negra(data_serie,dir_write,name_file,n)
363 #xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
364 #xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
365 #validación
366 directorio_fincas<- 'D:/Data_base_time_series/SAT CACAO'
367 setwd(directorio_fincas)
368 archivo_fincas<-list.files(pattern = '.xlsx')
369 reporte_fincas<-read.xlsx(file = archivo_fincas[3],sheetIndex = 1)
370
371 codigo='C31'
372 > Finca_process<-function(tabla,codigo){
448 montoya<-Finca_process(tabla = reporte_fincas,codigo = 'C31')
449
450 tabla_clim=pichilingue_fitofora
451 tabla_finc=montoya
452 date_end<-'2020-09-30'
453 > clim_data_process<-function(tabla_clim,tabla_finc,date_end){
503 tabla_completa<-clim_data_process(tabla_clim,tabla_finc,date_end)
504 > validation_porcentaje_monilia<-function(tabla_completa){
569 validation_porcentaje_monilia(tabla_completa)
570 > validation_porcentaje_mazorca_negra<-function(tabla_completa){

```

APÉNDICE B

Guayaquil, 24 de marzo de 2021

A QUIEN INTERESE

Tengo a bien certificar que los estudiantes **Johnny Andrés Morán Espinoza y Génesis Jazmín Mendoza Murillo**, colaboraron activamente en el proyecto "*Desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante enfermedades y baja productividad del cultivo de cacao en un Área Piloto debido a la influencia del clima*" ejecutado por el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN) en conjunto con Agroindustrias Arriba del Ecuador S.A. (Agroarriba), desde 12 de octubre del 2020, y colaborarán hasta el 21 de junio de 2021, periodo de desarrollo integral del proyecto.

Durante este tiempo, brindaron apoyo técnico que contribuyó para el proyecto, como la investigación sobre la problemática de las enfermedades del cacao en Ecuador, trabajos con datos climáticos como la calibración de datos CHIRPS utilizando datos de la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) obtenidos previamente por CIIFEN para este tipo de investigaciones, además de la generación de un modelo de probabilidades de ocurrencia de plagas, entre otras actividades en común vinculados al proyecto y la tesis.

Por lo anterior se extiende el presente certificado para que hagan uso del mismo como estimen conveniente.

Atentamente,



Juan José Nieto López
Director Internacional de CIIFEN
Calle Numa Pompilio Llona, Puerto Santa Ana
Edificio The Point, piso 19, oficina 1904
Guayaquil - Ecuador

