

Design of an agroclimatic system for intelligent monitoring, advance notice, and business model for cocoa cultivation in Naranjito

Miguel Quilambaqui, PhD¹ , Jordy Capelo Santos, Ing. , Bryan Mora-García Mora García, Ing , Guido Abril, MSc , Emérita Delgado, PhD 

¹Polytechnic University Escuela Superior Politécnica del Litoral, **ESPOL**, Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, 090902, Ecuador, email: mquilamb@espol.edu.ec

Abstract—*In Ecuador, agricultural activity contributes 32.11% to the economic population, being one of the main sectors after oil. However, due to the instability of agroclimatic conditions, many crops are prone to pests and diseases, with moniliasis being one of the main causes of crop losses, amounting to up to 60% of production. In the Primavera area of Naranjito canton, two types of cocoa are cultivated: National Cocoa and CCN-51, in a traditional way, without the aid of technologies that allow for better yields. The main objective of the project was to develop the design and implementation of a system for collecting and processing agroclimatic data for decision-making in the technical management of cocoa cultivation. To achieve this, a study was conducted on the relationship of environmental variables; light, temperature, humidity of the environment and soil, for the issuance of an alert generated by a code based on the studies of variables. Through the Design Thinking method, a business model is proposed for the implementation of various early warning devices to improve the production quantities of farmers in the Naranjito area and its surroundings. As a result of the implementation of the early warning device, a reduction in the incidence of moniliasis from 9.46% to 1.45% was observed in the study area, resulting in time and money savings for the farmer. The success of the project lies in the potential of technology to improve resilience and efficiency in agriculture, seeking not only to improve cocoa production in Naranjito and its surroundings but also to foster collaboration between the public and private sectors. With a projected investment of \$64,792.34.*

Keywords— *cocoa, moniliasis, farmers, system, alert.*

Diseño de un sistema agroclimático en el monitoreo, preaviso inteligente y su modelo de negocio para el cultivo de cacao en Naranjito

Resumen: En el Ecuador la actividad agrícola contribuye con un 32,11% de la población económicamente activa, siendo uno de los principales sectores luego del petróleo; sin embargo, debido a la inestabilidad de las condiciones agroclimáticas muchos cultivos, entre ellos el cacao, son propensos al ataque de plagas y enfermedades, siendo la moniliasis una de las principales causantes de pérdidas de cosecha de hasta el 60% de la producción. En el recinto Primavera del cantón Naranjito se cultivan dos tipos de cacao; Cacao nacional y CCN-51 de forma tradicional, sin la ayuda de tecnologías que permitan obtener mejores rendimientos. El principal objetivo del proyecto fue desarrollar el diseño e implementación de un sistema de colecta y procesamiento de datos agroclimáticos para la toma de decisiones en el manejo técnico del cultivo de cacao. Para lograr ello, se realizó un estudio de la relación de las variables ambientales; luminosidad, temperatura, humedad del ambiente y del suelo, para la emisión de una alerta generada por un código en función a los estudios de variables. Mediante el método de Design Thinking se definió un modelo de negocio para la implementación de varios dispositivos de preaviso para mejorar las cantidades de producción de los agricultores de la zona de Naranjito y sus alrededores. Como resultado de la implementación del dispositivo de preaviso se pudo observar una reducción del 9,46% al 1,45% de incidencia de la moniliasis en la zona de estudio, obteniendo un ahorro de tiempo y dinero para el agricultor. El éxito del proyecto radica en el potencial de la tecnología para mejorar la resiliencia y la eficiencia en la agricultura buscando no solo mejorar la producción de cacao en Naranjito y sus alrededores, sino también fomentar la colaboración entre el sector público y privado. Con una inversión proyectada de \$ 64792,34.

Palabras claves: cacao, moniliasis, agricultores, sistema, alerta.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola en el Ecuador constituye uno de los principales rubros económicos del país, contribuyendo con el 17% del Producto Interno Bruto (PIB) y ocupando un aporte significativo del 32,11% de la Población Económicamente Activa (PEA). Además de acuerdo con la información de la FAO y la CAF [1], el 26,08% corresponde a actividades agrícolas, ganaderas, de caza, silvicultura y pesca.

El cacao ecuatoriano es conocido como la "Pepa de Oro," el cual aportó aproximadamente \$800 millones en divisas en el año 2020, contribuyendo fundamentalmente en la economía del país [2] [3].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Ante la creciente inestabilidad de las condiciones agroclimáticas y otros factores, el estado ecuatoriano, ha implementado a través del Ministerio de Agricultura, un seguro agrícola que abarca cultivos como arroz, banano, cacao, café, y caña de azúcar, beneficiando a agricultores dedicados a esos cultivos y cerca de 1 millón 29 mil hectáreas, quienes reciben un subsidio del 60% del valor del seguro para resguardar sus inversiones ante eventos catastróficos [4].

En este contexto, la gestión integral para la prevención de riesgos climáticos es fundamental en el cultivo de cacao, con el fin de mitigar el efecto dañino de las plagas y enfermedades, las cuales reducen las cosechas considerablemente. Una de las soluciones, que se han propuesto es la creación de centros de captación y medición de variables agroclimáticas, con datos que ya existen en las distintas estaciones experimentales y que permitirían tener datos suficientes, para buena toma de decisiones, como una estrategia clave para prevenir pérdidas económicas y optimizar la cadena de producción [5].

El cultivo de cacao es producido en 23 de las 24 provincias ecuatorianas, el cual se constituye como un pilar económico, involucrando a cerca de 100,000 personas, que tienen producciones por lo general menores a 10 Ha. Actualmente, existen una 559,617 Has sembradas y 454,257 Ha cosechadas, con un rendimiento de 0,39 Tm/Ha [6].

En el Ecuador, muchas producciones de cacao se llevan a cabo de manera tradicional, las cuales se enfrentan a diversos problemas fitopatológicos, como la escoba de bruja y pudriciones de la mazorca, ocasionadas por hongos fitopatógenos. Siendo una de las principales la Moniliasis, cuyo agente causal es *Moniliophthora roreri* que es el responsable de causar pérdidas económicas de hasta un 60% de la producción, el cual se asocia con los factores ambientales, nutrición, podas y riego [7]. En este contexto, se evidencia la necesidad de establecer un sistema de colecta de datos agroclimáticos que permita monitorear los principales factores ambientales, que inciden en el incremento de las enfermedades del cacao. De esta manera, se podrá establecer a tiempo las medidas de control más oportunas y técnicas.

Ante esta situación, un sistema de preaviso facilitaría rápidamente la toma de decisiones por parte de los productores, para enfrentar el problema, ya que muchas de esos agentes fitopatológicos, como la Moniliasis, es favorecida por condiciones climáticas específicas como altos niveles de

humedad, precipitación y temperatura. La implementación de un sistema de colecta de datos agroclimáticos contribuiría significativamente a la reducción de pérdidas económicas, surgiendo como una solución integral para mejorar la producción y manejo técnico del cultivo de cacao en Ecuador, abordando los desafíos específicos del sector agrícola.

El propósito del proyecto se fundamentó en la importante necesidad de mejorar las prácticas de cultivo tradicionales de cacao, las cuales carecen de tecnologías para optimizar rendimientos y enfrentar los problemas fitopatológicos en el cultivo de cacao.

El objetivo principal del estudio fue el desarrollar un diseño metodológico para la recopilación y procesamiento de datos agroclimáticos que le permita al agricultor tomar decisiones oportunas para el manejo técnico del cultivo de cacao. Los objetivos específicos incluyen la implementación de un sistema inteligente para la recopilación de datos, el procesamiento accesible de la información y la evaluación de los costos asociados en diferentes producciones de cacao. Este enfoque integral busca contribuir al avance de la gestión técnica y sostenible de los cultivos de cacao.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del proyecto comprendió varias etapas metodológicas; iniciando desde las visitas de campo, monitoreo, diseño y simulación del prototipo, construcción y prueba de funcionamiento del sistema para la validación de datos. En Figura 1 se muestra las etapas que conforman la metodología usada para este estudio.

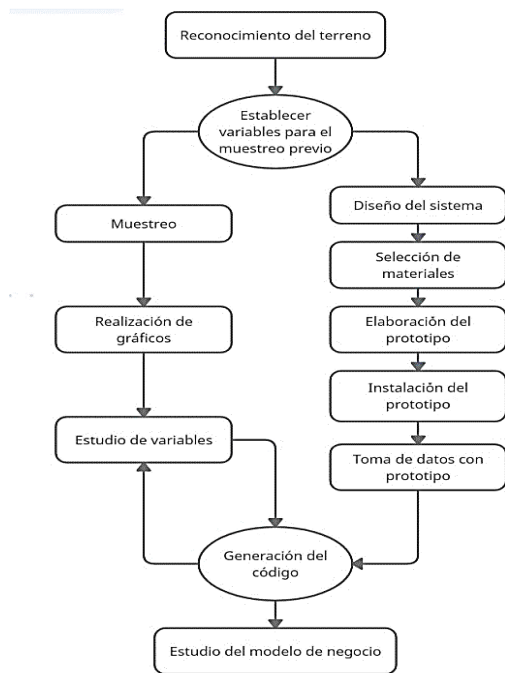


Fig. 1. Metodología del proyecto

A. Visitas de campo y selección de la plantación

Para la presente investigación se realizaron visitas de campo en varias plantaciones de cacao, y en donde se procedió a seleccionar una plantación de cacao con una superficie 1550 m², localizado en el recinto Primavera de la ciudad Naranjito de la provincia del Guayas (2° 10' 03" de latitud y 79° 39' 00" de longitud y altura de 65 metros sobre el nivel del mar). El área seleccionada, tuvo una temperatura ambiental promedio de 24 grados centígrados, y el potencial de hidrógeno del suelo (pH) fue de 7, lo cual lo hace óptimo para el crecimiento del cacao. La disposición de la siembra fue de tipo "tresbolillo".

B. Variables para el muestreo previo

En base a la información que presenta en la guía del cultivo de cacao [8], se procedió analizar la incidencia de la moniliasis en las mazorcas de cacao afectadas, trabajo que fue realizado en colaboración con el dueño de la finca, donde se realizó la cosecha de los frutos seleccionados, a los cuales no se les había realizado ningún tipo de control fitosanitario. En la toma de muestra se establecieron los siguientes lineamientos:

- Contabilizar la cantidad de mazorcas de cacao próximos a cosechar en una muestra de 300 árboles.
- Establecer la incidencia de mazorcas con síntomas de moniliasis en los 300 árboles

Durante el análisis se determinó que un fruto próximo a cosechar debía tener un mínimo de 8 centímetros de largo, y a la mazorca se la considera afectada, sí la misma presentaba síntomas de infección de moniliasis bien visibles característicos como, la "mancha marrón" y deformaciones del fruto.

C. Diseño tecnológico de un sistema de preaviso.

La propuesta para el diseño tecnológico del sistema de preaviso consistió en la creación de un prototipo destinado a la medición de temperatura ambiental, luminosidad y humedad del suelo, siendo factores cruciales en la propagación de la moniliasis. Los datos recopilados se almacenaron para su análisis a través del dashboard ThingSpeak en línea, permitiendo retroalimentación y evaluación de la probabilidad de aumento de la moniliasis. Dada la rápida propagación de esta enfermedad hacia otros frutos, la instalación del prototipo se llevó a cabo en el recinto Primavera del cantón Naranjito, en una parcela de trabajo de 1550 metros cuadrados. Con acceso a internet en la parcela, el dispositivo se conectó directamente a la red desde un punto en la casa del agricultor, facilitando el envío de datos a la nube para su análisis y seguimiento.

D. Selección de materiales

A continuación, se detallan las matrices de selección y las diferentes consideraciones que se tomaron para el diseño del prototipo.

Criterios de selección

Se consideraron criterios como la disponibilidad en el mercado, el costo y la resistencia. Dichos factores jugarán un papel crucial para determinar la viabilidad de cada opción.

Diseño de la Cubierta del Prototipo:

La cubierta del dispositivo tuvo como objetivo salvaguardar la integridad del circuito frente a la lluvia, polvo, altas temperaturas, animales y otras condiciones adversas. El diseño de la carcasa se adaptó al espacio ocupado por el circuito y las temperaturas de operación de los componentes electrónicos, requiriendo un sistema de ventilación para disipar el calor generado.

Alternativas de Componentes del Prototipo:

Para seleccionar los componentes del sistema de preaviso, se consideraron variables tales como; puntos de conexión, la conectividad del sensor, las condiciones climáticas y las temperaturas operativas óptimas para garantizar un rendimiento eficaz.

Material de la Cubierta:

En la elección del material de la cubierta, se ha elaborado una matriz de decisión que evalúa; la resistencia, el aislamiento de temperatura, el costo, la disponibilidad en el mercado y la facilidad de elaboración.

Sistema de Manejo de Datos:

Se hace necesario la selección del sistema de manejo de datos, a partir de la matriz de decisión que analizó; la facilidad de transmisión, el espacio ocupado, el costo, la disponibilidad en el mercado y la facilidad de recolección de datos. A partir de este análisis los sistemas PLA como el SP-32 fueron opciones igualmente viables.

Sensores Ambientales:

La elección de sensores ambientales se lo hizo de acuerdo con la disponibilidad, la importancia de la medición, la variación de valores y el costo. La selección de los sensores fue en base a la prioridad de cada especificación del diseño. Para este proyecto se utilizó un sensor de luminosidad.

E. Elaboración e Instalación de Prototipo

Una vez terminado el diseño del sistema de preaviso, se procedió a la elaboración del prototipo y su posterior implementación en la zona de muestreo, para lo cual se realizaron trabajos previos en la adecuación del sitio, como crear puntos de acceso de electricidad e internet para el dispositivo.

Es necesario indicar que el registro de datos ambientales inició en las primeras semanas del mes enero del 2023 y finalizó en junio del mismo año, en las cuales se tomaron en cuenta las variables definidas en la selección de sensores.

F. Toma de Datos y desarrollo del Código

Finalmente, mediante el estudio de las variables ambientales y el muestreo de incidencia de moniliasis se desarrolló un código que generó una alerta al agricultor, en la cual se le informaba

que las variables actuales son óptimas para el crecimiento de la enfermedad, siendo necesario para el control de la plaga.

G. Estudio de variables y elaboración de código

Los factores cruciales para el crecimiento de la moniliasis son la humedad y temperaturas elevadas, con una humedad relativa óptima cercana al 100%. La temperatura de crecimiento vegetativo entre 22 °C a 30 °C, para la proliferación de las esporas se requieren valores específicos entre 24 y 26 °C, siendo determinantes para las altas tasas de infección del cacao. A partir de estos parámetros, se desarrolló un esquema que describía el funcionamiento del código antes de enviar la alerta de poda, teniendo en cuenta los valores críticos asociados a la humedad y temperatura para prevenir la propagación de la moniliasis.

Debido a que los cambios bruscos de temperatura en el área, la toma de datos se realizó con un intervalo de tiempo de aproximadamente 5 minutos.

Código:

Se definen las variables para el desarrollo del código:

Temperatura ambiental = T_ambiente
Humedad relativa del aire = H_aire
Humedad relativa del suelo = H_suelo
Luminosidad = Luminosidad

Se definen los rangos para el crecimiento de la monilia de cada variable medida:

Temperatura de crecimiento = T_crecim = [22°C, 30°C]
Humedad relativa de crecimiento = H_crecim = [86%, 100%]
Luminosidad de crecimiento = Lumin_crecim = [0%, 40%]
Humedad del suelo relativa de crecimiento = H_suelo_crecim = [49%, 58%]

Estos rangos se definieron en el análisis de datos de campo de los ensayos realizados en la zona de estudio en conjunto con las variables de X y Z para la generación de un código de alerta óptimo para la zona estudiada.

Definidos los rangos se inicia la toma de datos, la cual se realiza en bucle y se aplican los siguientes condicionales:

Si, T_ambiente está en el rango de T_crecim, H_aire está en el rango de H_crecim y H_suelo está en el rango de H_suelo_crecim por más de X (tiempo), entonces se dispara la alerta la cual le llegó al agricultor a través de un correo electrónico el cual fue destinado específicamente para la recepción de un mensaje que contenga un texto que diga "PELIGRO. Alta incidencia de monilia en el cacao, realizar Control Cultural para reducir el riesgo de pérdidas."

Una vez disparada la alerta esta entrará en un estado de cooldown durante aproximadamente Z días. Mientras el dispositivo sigue tomando más datos ambientales para seguir con el estudio de variables.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Características de la zona

El Recinto Primavera, se encuentra en el cantón Naranjito por lo que, mediante herramientas tecnológicas, lo cual se presenta climáticas del sector. En la figura 2-3-4 y 5 se muestran las variables ambientales de la zona extraídas de la página [9], de la compañía Cedar Lake Ventures, Inc. Siendo una compañía que se dedica a realizar informes meteorológicos detallados los cuales proporcionan información climatológica de diferentes lugares del mundo en específico.

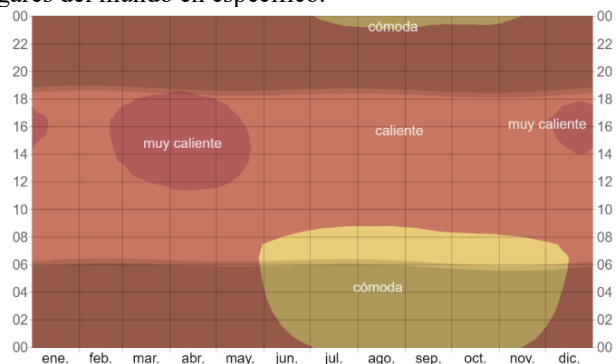


Fig 2. Temperatura promedio por hora en Naranjito, extraídas de © WeatherSpark.com [9].

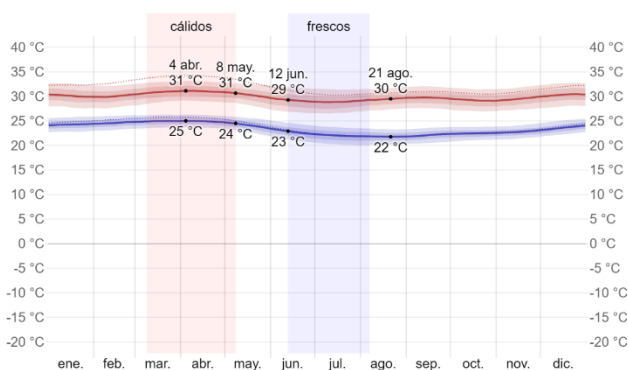


Fig. 3 Temperatura máxima y mínima promedio en Naranjito, extraídas de © WeatherSpark.com [9].

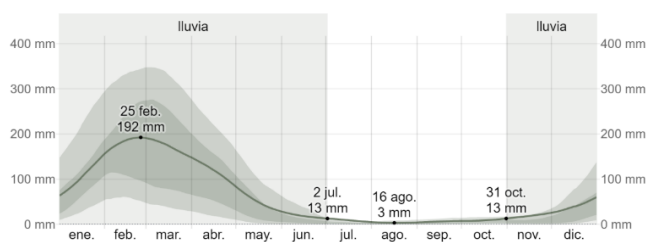


Fig 4. Promedio mensual de lluvia en Naranjito, extraída de © WeatherSpark.com

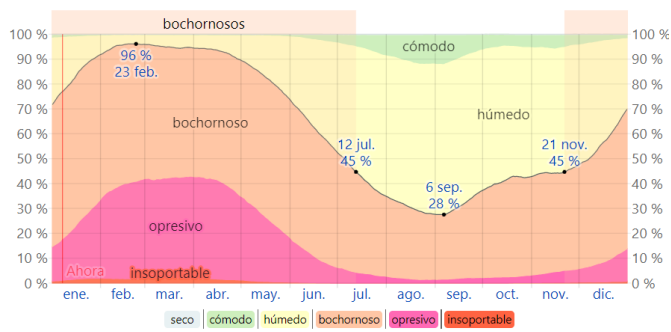


Fig 5. Niveles de comodidad de la humedad en Naranjito, extraída de © WeatherSpark.com [9].

A partir de los datos de las variables ambientales presentadas en [9] y el registro de información tomadas en el área de actuación durante el periodo 15 de enero hasta febrero del año 2023, se realizó una comparación entre las gráficas para determinar las variables de los valores óptimos de X y Z para reemplazar el código para la generar la alerta.

B. Selección de materiales y dispositivos

1) *Selección de componentes eléctricos:* Para el desarrollo del prototipo fueron utilizados sensores DHT-22 calibrados para medir temperatura y humedad relativa del aire, permitiendo alto grado de confianza en la precisión de los datos recopilados. Para el control de datos, se optó por el ESP-32 debido a su capacidad para manejar datos por internet y su dashboard, que facilita la programación de la alarma de preaviso. En cuanto a los sensores de luminosidad, se seleccionó el sensor LDR, en su disponibilidad en el mercado nacional. La humedad relativa del suelo se midió con un sensor HD-38, que, aunque no es el más comercial, destaca por su precisión y su sonda metálica enterrada en el suelo, asegurando una medición óptima para el dispositivo. En la tabla 1, se describen en detalles los componentes del sistema de adquisición de registro de información del dispositivo.

TABLA I
Listado de componentes y materiales

Componentes	Cantidad	Detalle
Barra de silicón	2	Pegamento para pegar los sensores a la carcasa y mantener inmóviles.
Cable (metros)	50	Se utilizó para construir la extensión.
Carcasa Protectora	1	Proteger el circuito de preaviso.
Cinta aislante	1	Para evitar que los cables se toquen y se genere un corto circuito.
Enchufe	2	Se utilizó para poder conectar el dispositivo.
ESP 32	1	Sistema de manejo de datos.
Estructura metálica	1	Protección del punto de anclaje de internet.
Extensor de wifi	1	Extensor de internet en la parcela de trabajo.

PCB	1	Placa del circuito.
Sensor DTH-22	1	Sensor para medir la temperatura y humedad.
Sensor HD-38	1	Sensor para medir la humedad del suelo.
Sensor LDR	1	Sensor para medir la luminosidad.
Tomacorrientes	2	Se utilizó para conectar los circuitos.
Tubo metálico	1	Se utilizó como estaca para colocar la carcasa con el circuito.
Tubos PCV	10	Protección de los cables de extensión.

Para poder proteger el cable eléctrico de la conexión del dispositivo de preaviso se utilizaron tubos de PVC de 1/2", donde el cable eléctrico fue colocado en el interior del tubo, con la finalidad de protegerlos de los roedores. Se necesitó 30 metros desde la ubicación del dispositivo hasta el punto de anclaje de conexión

En la tabla II se presenta las especificaciones técnicas del dispositivo

TABLA II
Ficha técnica del dispositivo

Modelo	2
Voltaje de Operación	5 [V]
Corriente	1.2 [A]
Rango medición de temperatura	-15°C a 40°C
Rango medición de humedad	Desde 0% hasta 100% RH
Rango medición de luminosidad	De 0% a 100% Luminosidad
Wi-Fi	802.11b/g/n, 2.4[GHz]
Bluetooth	Doble banda, classic y BLE
Interfaz digital	Single-Bus (Bidireccional)
Tiempo de censado	5 [s]
Intervalo entre mediciones	300 [s]
Dimensiones	150 [mm] x 150 [mm]
Altura	120 [mm]
Peso	640 [gr]

C. Análisis de costos

Para la implementación del dispositivo de preaviso inteligente para el recinto Nueva Primavera, se ha considerado en el análisis económico los costos directos (Tabla III) e indirectos (Tabla IV) del dispositivo.

TABLA III
Costos Directos

Detalles	Cantidad	Valor Unitario	Total
Barra de silicón	2	0,25	0,5
Cable (metros)	50	0,24	12
Carcasa Protectora	1	5,55	5,55
Cinta aislante	1	0,56	0,56
Enchufe	2	1,15	2,3
ESP 32	1	14	14
Estructura metálica	1	25	25

Extensor de wifi	1	26	26
PCB	1	20	20
Sensor DTH-22	1	8	8
Sensor HD-38	1	7,5	7,5
Sensor LDR	1	3,25	3,25
Tomacorrientes	2	2,25	4,5
Tubo metálico	1	3,8	3,8
Tubos PCV	10	0,97	9,7
		Total	142,66

Dentro de los costos directos se establecen los costos de elaboración de prototipo, los cuales son costos fijos y los costos de instalación, que serían los costos variables.

En los costos de elaboración de prototipo se contemplaron: Carcasa protectora, enchufe. ESP-32, extensor de WIFI, PCB, todos los sensores y el tubo metálico.

Dentro de los costos de instalación encontramos: barra de silicón, cable, estructura metálica, tomacorrientes y tubos de PCV

Dentro del parámetros de costos indirectos se consideró la movilización desde la ciudad de Guayaquil hasta el recinto Nueva Primavera del cantón Naranjito. Se realizaron 6 visitas donde el costo de traslado fue de \$14 incluido transporte y peajes, mientras que el costo de mano de obra por persona fue de \$15, como se realizó la instalación en dos días el costo total fue de \$60.

TABLA IV
Costos Indirectos

Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Total
Mano de obra	2	30	60
Movilización dentro de la ciudad	4	5	20
Visitas de campo	6	14	84
		Total	164

D. Análisis de muestreo previo del cultivo

A continuación, se presentan los resultados de los muestreos previos a la implementación del dispositivo de preaviso, en los cuales no se realizó ningún tipo de control de la moniliasis, con fin de analizar el aumento de incidencia de la enfermedad en conjunto con los muestreos posteriores a la instalación del dispositivo y la generación de la alerta.

En la figura 6, podemos observar el incremento de la moniliasis en los cultivos debido al no control de la enfermedad realizado, en cual se observa un mayor crecimiento de la enfermedad en las primeras visitas debido a la gran cantidad de mazorcas existentes en dichos momentos.

• Promedio de Incidencia

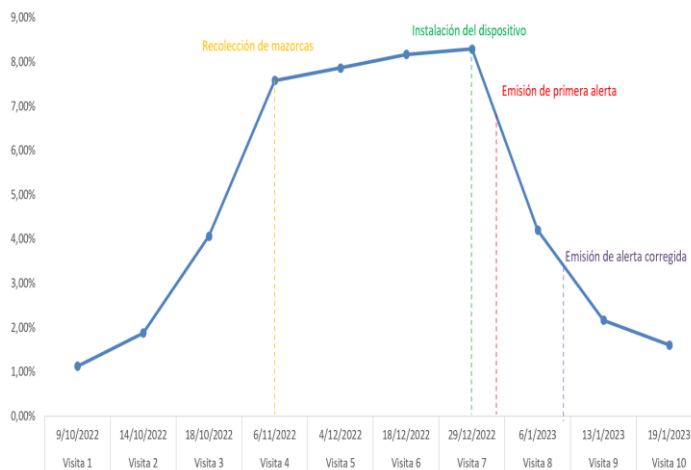


Fig 6. Promedio de Incidencia de la moniliasis en muestreos previos y posteriores a la instalación del dispositivo de preaviso

En la gráfica 7, se observa una curva menos pronunciada del promedio de incidencia debido a que las mazorcas fueron cosechadas y al haber un menor número de mazorcas, se redujo la cantidad de posibles frutos enfermos. Luego de la visita del día 29 de diciembre del 2023 podemos observar una reducción de incidencia, lo que se debió a que en esa fecha se colocó el dispositivo de preaviso y días después se generó la primera alerta para que se realice el control cultural, lo cual resultó que en las próximas visitas el promedio de incidencia sea mucho menor, llegando a valores muy similares a cuando el agricultor realizaba el control cultural cada 2 días, pero en este caso la alerta se generaba en promedio cada 4 días.

• Cantidad de mazorcas enfermas

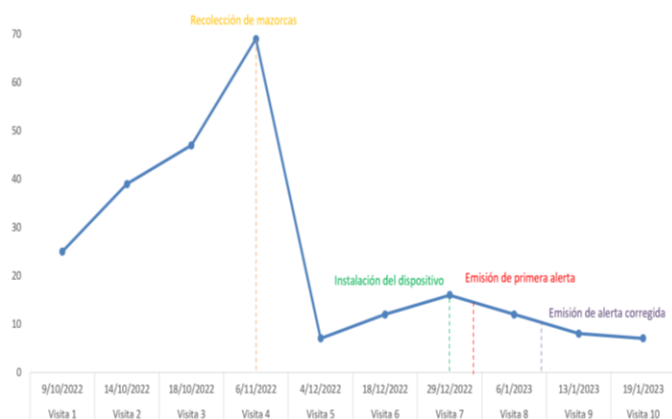


Fig 7. Cantidad de mazorcas enfermas en muestreos previos y posteriores a la instalación del dispositivo de preaviso

E. Resultados finales del funcionamiento del prototipo

Mediante el análisis de datos y gráficas se pudo observar que la temperatura ambiental de la zona estudiada durante el periodo de evaluación, fueron de 21 °C y 36 °C, siendo la temperatura promedio de 25,6°C. Así mismo se registraron valores de humedad del aire entre 40% y 92% de humedad relativa, con un promedio del 77.8%. La humedad del suelo estuvo entre 33% y 100% de humedad relativa con un promedio de 44,6%. Finalmente, los valores de la luminosidad variaron entre el 0% y el 100% en los cuales observamos que durante el día se mantienen valores cercanos al 90% mientras que en la noche debido a la completa oscuridad que se presenta en el sembrío los valores de luminosidad son 0%.

Al realizar comparaciones y análisis entre las gráficas de las variables en diferentes días llegamos a obtener los siguientes valores para las variables desconocidas del código de alerta:

X= 1 hora; Z= 4 días

De igual manera, a partir del estudio de variables se pudo observar que los rangos establecidos no eran los óptimos para el uso del dispositivo por lo que se cambiaron los valores de registro para dar las alertas:

Temperatura de crecimiento = $T_{crecim} = [22^{\circ}\text{C}, 28^{\circ}\text{C}]$
 Humedad relativa de crecimiento = $H_{crecim} = [88\%, 100\%]$
 Luminosidad de crecimiento = $Lumin_{crecim} = [0\%, 40\%]$
 Humedad del suelo relativa de crecimiento = $H_{suelo_crecim} = [47\%, 60\%]$

Por lo tanto, el funcionamiento del código quedó de la siguiente manera:

Si $T_{ambiente}$ está en el rango de T_{crecim} , H_{aire} está en el rango de H_{crecim} y H_{suelo} está en el rango de H_{suelo_crecim} por más de 1 hora entonces se disparaba la alerta la cual le llegaría al agricultor a través de un correo electrónico el cual será destinado específicamente para la recepción de un mensaje que contenga un texto que diga “PELIGRO. Alta incidencia de monilia en el cacao, realizar Control Cultural para reducir el riesgo de pérdidas.”

Una vez disparada la alerta esta entrará en un estado de *cooldown* durante aproximadamente 4 días. Mientras el dispositivo sigue tomando más datos ambientales para seguir con el estudio de variables.

F. Estudio de modelo de negocio

Para la valoración del proyecto se realizó un estudio de modelo de negocio, utilizando el método de Design Thinking en el cual se enfoca en el cliente y en como la propuesta de valor lo beneficiaría.

El primer paso es realizar un mapa de empatía para enfocarnos en todo lo que rodea al cliente en el ámbito que tratamos de abarcar. En la figura 8, se presenta el mapa de empatía donde

se analiza lo que piensa y siente el cliente, Qué ve? Qué oye? y Qué dice y hace?



Fig 8. Mapa de empatía del agricultor.

Posteriormente pasamos a los diferentes apoyos que tiene el agricultor, lo cual en la figura 9 se presenta el mapa de actores que lo rodean.

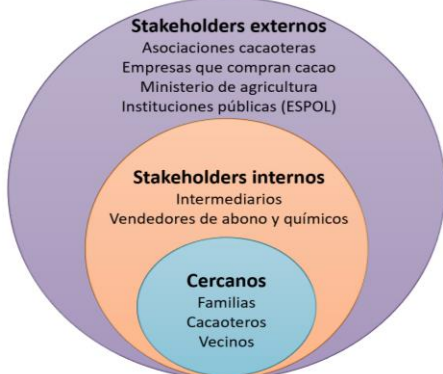


Fig 9. Mapa de actores.

Posteriormente, se analizó el esquema del modelo de negocio, donde se establece la propuesta de valor y los diferentes canales, así como los segmentos de clientes junto con su estructura de costos y fuentes de ingresos (Fig. 10).

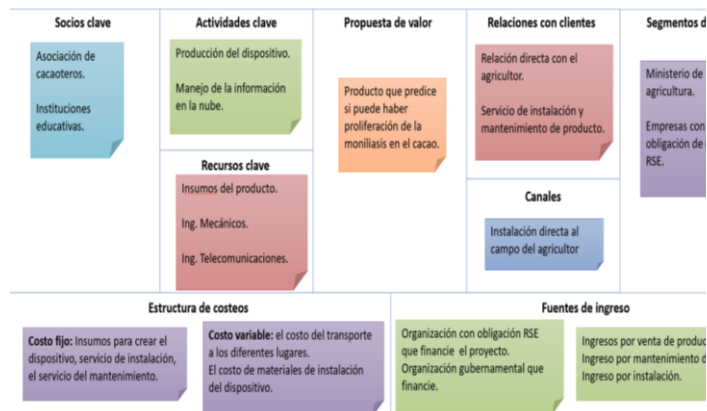


Fig. 10. Modelo de negocio

Finalmente, se definió cual sería el modelo de negocio a partir de ofrecer a diferentes entidades, la instalación del dispositivo. Para ello se debe de realizar al menos la instalación de 50 dispositivos en la zona de naranjito y sus alrededores para la generación de diferentes alertas a partir del estudio de las variables ambientales a una mayor escala, en relación con el estudio realizado en el periodo de tiempo del actual proyecto.

Para concluir, se realiza un análisis financiero con proyección a un año, para la instalación total del proyecto (Tabla V).

TABLA V
Proyecciones del proyecto

Total Gastos	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Gastos totales
RRHH Contrato	-	-	-	-	\$180,00	-	-	-	-	-	-	-	\$180,00
RRHH Honorarios	-	-	-	-	\$600,00	\$4.500,00	\$4.500,00	\$4.500,00	\$4.500,00	\$4.500,00	\$4.500,00	\$4.500,00	\$32.100,00
Arriendos y cuentas	-	-	-	-	-	\$475,00	\$475,00	\$475,00	\$475,00	\$475,00	\$475,00	\$475,00	\$3.325,00
Materiales de oficina	-	\$10,00	\$5,00	-	-	\$200,00	\$20,00	\$20,00	\$20,00	\$100,00	\$92,00	-	\$487,00
Insumos producción	-	-	\$159,66	\$60,00	-	\$8.483,00	-	-	-	-	-	-	\$8.702,66
Eventos	-	-	\$50,00	\$25,00	-	-	\$500,00	-	-	-	\$500,00	-	\$1.075,00
Publicidad y Merchandising	-	-	-	-	-	\$1.600,00	\$10,00	\$10,00	\$10,00	\$10,00	\$10,00	\$10,00	\$1.660,00
Viáticos	\$50,00	\$15,00	\$50,00	\$50,00	-	\$4.000,00	-	\$1.000,00	-	\$1.000,00	\$4.000,00	-	\$10.165,00
Salud y Seguros	-	-	-	-	-	\$1.700,00	-	-	-	-	-	-	\$1.700,00
Software/ Tecnología	-	-	-	-	-	\$2.150,00	-	-	-	-	-	-	\$2.150,00
Constitución y obligaciones tributarias	-	-	-	-	\$1.000,00	-	-	-	-	-	\$500,00	-	\$1.500,00
Otros	-	-	-	-	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$1.397,68	\$1.747,68
Total Gastos Variables	\$50,00	\$25,00	\$264,66	\$135,00	\$1.830,00	\$23.158,00	\$5.555,00	\$6.055,00	\$5.055,00	\$5.055,00	\$6.135,00	\$11.474,68	\$64.792,34

Dentro de los gastos se observa diferentes rubros en los cuales destacamos como los más importantes:

“RRHH Honorarios”, son los honorarios de todo personal que trabaja en el proyecto el cual incluye a 7 personas entre los cuales se haya el personal técnico, líder de proyecto, gerente de recursos humanos gerente de comunicación.

“Insumos de producción”, dentro de este rubro se encuentra incluido la elaboración de los 50 dispositivos incluyendo valores de instalación.

“Materiales de oficina” y “arriendo y cuentas” es el arriendo de un espacio de trabajo junto con sus servicios básicos y los diferentes insumos para oficina, así mismo contamos con el rubro de “tecnología y software”, en los que se incluye dispositivos electrónicos para el personal ya sean computadoras, laptops o teléfonos junto con los programas necesarios para la elaboración del trabajo que se realizaría durante los siguientes meses.

Para la comunicación con los financiadores se presentó el rubro de “eventos” y “publicidad y merchandising”, dentro de estos

rubros (Tabla V), se encuentran incluidos eventos de rendición de cuentas, charlas para los agricultores y apertura del proyecto.

De igual manera se establece el rubro de “constitución y obligaciones tributarias” y “salud y seguros”, son creados para cumplir con las diferentes obligaciones de una empresa.

Dentro del rubro “otros” está incluida cualquier imprevisto que se encuentre mientras el proyecto se está realizando.

TABLA V
Financiamiento del proyecto

Especificaciones	Aporte	Porcentaje de Financiación
Ministerio de Agricultura	\$ 45.354,64	70%
Empresa con RSE	\$ 12.958,47	20%
Empresa con Utilidad Alta	\$ 6.479,23	10%
Total	\$ 64.792,34	100%

IV CONCLUSIONES

La implementación exitosa de un dispositivo de recolección de datos para medir variables ambientales clave, seguido por su integración con una plataforma de prototipado (Cayenne), ha demostrado ser una estrategia eficaz en el control de la moniliasis en la agricultura. La capacidad de enviar alertas directas al agricultor a través de mensajes de texto basados en el análisis de variables ambientales ha resultado en una reducción significativa, hasta un 60%, en las pérdidas de producción al controlar el aumento de la moniliasis.

La aplicación del método Design Thinking ha llevado al desarrollo de un código que optimiza el esfuerzo del agricultor al generar alertas de preaviso cada 4 días, manteniendo niveles de eficacia comparables a cuando el control se realizaba cada 2 días. Este enfoque ha permitido la maximización de recursos y ha allanado el camino para una propuesta de negocio con un proyecto financiado por el ministerio de agricultura y empresas privadas, con una inversión total de \$64,792.34.

Finalmente, se puede establecer que el método más eficiente para controlar la moniliasis es la combinación del "control cultural" respaldado por prácticas fitosanitarias. Esta estrategia no solo ha demostrado ser efectiva en la reducción de pérdidas de producción, sino que también contribuye a mejorar las condiciones generales de las producciones agrícolas. La sinergia entre la tecnología de recolección de datos, el análisis inteligente y la implementación estratégica confirman la viabilidad y eficacia de esta propuesta para abordar el desafío de la moniliasis en los cultivos agrícolas, especialmente en las plantaciones de cacao

V. RECOMENDACIONES

Para mejorar el rendimiento del dispositivo, es crucial integrar información sobre el sistema de riego de los agricultores para un control más preciso de la humedad en el suelo y en el aire. Además, se sugiere la instalación de una estructura metálica con techo transparente de policarbonato para resguardar el dispositivo de la lluvia sin afectar las mediciones de luminosidad. Considerando los costos, se aconseja utilizar cajas de proyectos electrónicos más comerciales para optimizar los gastos de implementación. Para generar alertas con un mayor grado de confianza, se propone realizar un análisis de variables obtenidas con el dispositivo durante al menos tres meses. En futuras versiones, se recomienda incorporar la opción de enviar alertas a través de WhatsApp para mayor facilidad y accesibilidad para los agricultores. Asimismo, se sugiere el uso de una LDR de mayor valor en el sensor para obtener resultados más concluyentes en las mediciones de luminosidad. Además, en futuras actualizaciones del dispositivo, se aconseja mejorar el código de alerta para que sea más detallado y aplicable a una variedad de sitios.

REFERENCIAS

- [1] FAO y CAF, «Ecuador-Nota de Análisis Sectorial-Agricultura y desarrollo rural.» Quito, Ecuador, 2006.
- [2] E. Cobos, «Ecuador tiene en el cacao una oportunidad de oro.» Gestión Digital, 11 03 2021. [En línea]. Available: <https://revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/ecuador-tiene-en-el-cacao-una-oportunidad-de-oro/>. [Último acceso: 2021].
- [3] V. Cordero, «Ministerio de Agricultura y Ganadería.» 12 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/produccion-de-cacao-apunta-a-romper-record-este-ano/#:~:text=En%20Ecuador%2C%20los%20cultivos%20de,Orellana%2C%20Napo%20y%20Zamora%20Chinchipe..>
- [4] M. d. A. y. G. (MAG), «Seguro Agrícola, una alternativa para una siembra segura.» 28 01 2020. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/seguro-agricola-una-alternativa-para-una-siembra-segura/>.
- [5] I. Instituto Colombiano Agropecuario, «Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (Theobroma cacao L.). Medidas para la temporada invernal.» Bogotá. Colombia, 2012.
- [6] M. d. A. y. G. (MAG), «Geoportal del Agro Ecuatoriano - Superficie de principales cultivos a nivel nacional.» SIPA, 2024. [En línea]. Available: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-interactivos/2-uncategorised/37-mapa-cultivos>.

- [7] H. K. Solis, V. S. Peñaherrera y C. D. Vera, Las enfermedades del cacao y las buenas prácticas agronómicas para su manejo. Guía No.178, Mocache, Los Ríos: INIAP, 2021, p. 20.
- [8] G. Enriquez, Cacao orgánico, Guía para productores ecuatorianos. Manual Nro. 54., Quito, EC: INIAP, 2004.
- [9] WeatherSpark.com, «El clima y el tiempo promedio en todo el año en Naranjito,» 07 enero 2023. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/19342/Clima-promedio-en-Naranjito-Ecuador-durante-todo-el-año>.