

Hub SmartFruit ALC: Soluciones Inteligentes para Sistemas Familiares Frutícolas ALC, en el Escenario de Cambio Climático.

Producto 21. Documento científico “Validación del modelo OpenFruit y generación de mapas de vulnerabilidad” preparado.

Ariel Muñoz, Alejandra Ribera, UFRO, Chile.

Abel González, INIA, Chile

Carlos Henríquez, Luis Felipe Arauz, Bryan Alemán, Emanuel Céspedes; UCR, Costa Rica.

Samuel Ortega, UTalca, Chile

Colaboración

Fernando Santibáñez, UChile, Chile.

2023



Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Ariel Muñoz, Alejandra Ribera; UFRO, Chile. Abel González; INIA, Chile. Carlos Henríquez, Luis Felipe Arauz, Bryan Alemán, Emanuel Céspedes; UCR, Costa Rica. Samuel Ortega; UTalca, Chile y la colaboración de Fernando Santibáñez; UChile, Chile.

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

1. Resumen	5
2. Identificación y definición de criterios para componentes del Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático.	6
2.1. Avances para SFF de arándano alto y frambueso en Chile.	6
2.2. Índice de Exposición (IE):	8
2.3. Índice de Riesgo Climático (RC):.....	8
2.4. Índice de sensibilidad (IS):.....	9
2.5. Índice de Capacidad Adaptativa (CA):.....	9
3. Propuesta de mapas de Riesgo Climático	12
3.1. Mapas del Riesgo Climático de arándano y frambueso en, La Región de La Araucanía, Chile. 15	
4. Avances para huertos de papaya y naranja en Costa Rica	18
4.1. Introducción	18
4.2. Índice de riesgo climático (RC):.....	19
4.3. Índice de sensibilidad (IS):.....	20
4.4. Índice de Capacidad adaptativa (CA):	20
5. Referencias Bibliográficas	24
6. Instituciones Principales	25
7. Instituciones Asociadas.....	25

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Variables de Riesgo Climático consideradas para la construcción de IVCC aplicable a huertos familiares de arándano alto en Chile. DE: desviación estándar.	10
Cuadro 2. Variables del Riesgo Climático consideradas para la construcción de IVCC aplicable a huertos familiares de frambueso en Chile. DE: desviación estándar	11
Cuadro 3. Ponderaciones y criterios incluidos en el IV del cultivo de naranja, CoopeCerroAzul R.L.	21
Cuadro 4. Ponderaciones y criterios en el IV del cultivo de papaya (CoopeParritaTropical R.L.).....	23

Índice de Figuras

Figura 1. Mapas del Riesgo Climático para arándano en La Región de La Araucanía, Chile.....	15
Figura 2. Número de comunas de La Región de La Araucanía, Chile, en cada categoría de Riesgo Climático para arándano.	16
Figura 3. Mapas del Riesgo Climático para frambuesa en La Región de La Araucanía, Chile.	16
Figura 4. Número de comunas de La Región de La Araucanía, Chile, en cada categoría de Riesgo Climático para frambueso.	17

1. Resumen

En el marco del proyecto financiado por Fontagro “Hub SmartFruit ALC: soluciones inteligentes para sistemas familiares frutícolas ALC, en el escenario de cambio climático”, Código: ATN/RF-17245-RG (RG-T3387), se realizó una propuesta de Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IVCC) tanto para Chile como Costa Rica.

Para obtener este producto, se realizó una revisión bibliográfica y de los productos relacionados disponibles a la fecha. Se ejecutaron reuniones para discutir la propuesta de creación del índice, en la cual participaron investigadores de Chile y Costa Rica. Luego de haber generado una propuesta inicial, esta fue presentada y discutida con un investigador experto en la temática, colaborador activo de nuestro proyecto, Dr. Fernando Santibáñez (Universidad de Chile), quien forma parte del HUB-SMARTFRUIT-ALC y del Comité Experto Asesor de este Proyecto (Descrito en Producto 12. “Integración de Línea Base con Datos Geoespaciales y propuesta de un Índice de Vulnerabilidad al CC para Sistemas Familiares Frutícolas de Chile y Costa Rica”)

Esto permitió definir las variables que impactan sobre el valor final del IVCC, las cuales tienen una ponderación de acuerdo a la sensibilidad de las especies en estudio.

A raíz de la data que se logró levantar en durante la ejecución del proyecto, fue posible generar Mapas de Riesgo Climático para la Región de La Araucanía. Se espera que la plataforma OpenFruit, permita generar data histórica como insumo para la generación de mapas de Vulnerabilidad al Cambio Climático.

Palabras Clave: Riesgo Climático, Cambio Climático, Índice de Vulnerabilidad

2. Identificación y definición de criterios para componentes del Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático.

Una de las acciones comprometidas en el proyecto, en específico para la Actividad 2.4 orientadas “Implementación de OpenFruit con productores SFF seleccionados en Chile y Costa Rica”, relacionada al levantamiento de brechas productivas y tecnológicas de los huertos en estudio, fue la construcción de Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático para los sitios de estudio. En este contexto, se propuso evaluar indicadores de exposición, sensibilidad y adaptabilidad al Cambio Climático, con la información obtenida en el diagnóstico y monitoreo de los huertos.

Es importante mencionar que la propuesta de creación del Índice de Vulnerabilidad, fue presentada en el informe anual de la Etapa 2021 del proyecto (Producto 12). Durante este año se avanzó en la identificación y definición de criterios para cada uno de los componentes de IV, siendo éstos son los siguientes: Índice de Exposición, Riesgo Climático, Índice de Sensibilidad y Capacidad Adaptativa. Este trabajo se realizó tanto en Chile como en Costa Rica.

A continuación, se describen los avances logrados en esta línea, en ambos países.

2.1. Avances para SFF de arándano alto y frambueso en Chile.

Elaborado por:

Alejandra Ribera, Universidad de La Frontera, Chile.

Abel González, INIA-Carillanca, Chile.

Para obtener este producto, definido como una propuesta de construcción de un Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IVCC) aplicable a los huertos en estudio, se realizó una revisión bibliográfica y de los productos relacionados disponibles a la fecha. Se ejecutaron reuniones para discutir la propuesta de creación del índice, en la cual participaron investigadores de Chile y Costa Rica. Luego de haber generado una propuesta inicial, esta fue presentada y discutida con un investigador experto en la temática, colaborador activo de nuestro proyecto, Dr. Fernando Santibáñez (Universidad de Chile), quien actualmente forma parte del HUB-SMARTFRUIT-ALC y del Comité Experto Asesor de este Proyecto. Se incorporaron modificaciones a la propuesta inicial obteniendo una propuesta definitiva, la cual fue validada por los equipos de trabajo de Chile y Costa Rica y visada por el Panel Experto de este Proyecto, previo al envío a la Secretaría Técnica de Fontagro. El producto, enviado como parte del Informe técnico anual del proyecto, fue aprobado por FONTAGRO.

La metodología que se presenta y discute, será aplicada durante el segundo año de ejecución del proyecto con los pequeños productores frutícolas asociados al proyecto, con el propósito de crear en un futuro cercano mapas de vulnerabilidad al cambio climático en las localidades de estudio, tanto en Chile como en Costa Rica y apoyar los procesos de adaptación al cambio climático en sistemas familiares frutícolas.

Se espera que la metodología propuesta, sirva de apoyo para estimar el riesgo y generar escenarios de impactos por cambio climático en sistemas familiares frutícolas ALC.

A continuación, se detalla la actividad solicitada a la Universidad de Talca (Chile), en su calidad de Organismo Asociado al Proyecto, referente al levantamiento de data para variables climáticas asociadas al componente de Riesgo Climático para huertos de arándano alto (n=110) y frambueso (n = 99) de Chile, siendo este uno de los componentes del IVCC.

En base a los antecedentes revisados en la literatura y las instancias de discusión técnica, se propuso la construcción de un Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IV) para los Sistemas Familiares Frutícolas de Chile y Costa Rica, a través de la siguiente fórmula:

$$IVCC = \text{Impacto [IE (0,3) x RC (0,3) x IS (0,4)]} - CA$$

Dónde

IVCC = Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático

IE = Índice de Exposición al CC

RC = Riesgo Climático

IS = Índice de Sensibilidad al CC

CA = Capacidad Adaptativa

El índice de vulnerabilidad se propone como un valor que oscila entre 0 y 1. Cero indica que el agricultor está 100% adaptado y 1 que es 100% vulnerable a efectos del Cambio Climático. Cuando el impacto es igual a la capacidad adaptativa, el índice es 0. Si la capacidad adaptativa es 0, el Impacto máximo será igual a 1. Cada riesgo climático deberá tener una tecnología de adaptación, para ser evaluada. Por ejemplo, el impacto de riesgo de heladas en floración será contrarrestado con la instalación de un sistema de control de heladas.

A cada uno de los componentes, se asignó una ponderación dentro la fórmula, siendo ésta, en el caso de Chile (huertos de arándano y frambueso de La Araucanía) de “hasta” un 30% para IE, un 30% para RC y de un 40% para CA. Las ponderaciones para cada uno de los componentes fueron asignadas a partir de investigaciones realizadas Bouroncle et al. (2015) y CAF (2014), en las cuales se estudió el impacto del cambio climático en la agricultura de Costa Rica y el Índice de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe, respectivamente, como también en base a la experiencia técnica de los profesionales especialistas en Fruticultura del equipo de trabajo.

Desde el inicio de la discusión técnica, el equipo de trabajo concuerda en la importancia de la creación de un IVCC específico para la dimensión del sistema productivo de agricultores familiares, separadamente para cada especie de estudio: arándanos y frambuesos en Chile; naranjas y papayas en Costa Rica; con el propósito de considerar las particularidades de cada especie en lo que refiere

a su respuesta y tolerancia a eventos climáticos extremos, lo cual se relaciona directamente con la fisiología y fenología de cada cultivo.

A continuación, se muestra un resumen de las principales fuentes de información que permitirían abordar la creación del IVCC para arándano y frambueso, aplicable a huertos frutícolas familiares de Chile.

2.2. Índice de Exposición (IE):

Grado de exposición de los cultivos agrícolas a los cambios causados por el clima, a causa del impacto del cambio climático. Tiene relación con la determinación de la superficie expuesta frente a eventos de riesgo climático. Entre las variables a determinar en el índice de exposición serán Superficie expuesta del cultivo(ha). Se considera, además, el rendimiento (kg ha^{-1}) del huerto, como elemento para poner en valor los elementos expuestos. Así, un huerto de alta superficie y productividad tiene más elementos en riesgo, frente a eventos del clima. Como fuente de información se realizó una encuesta a agricultores donde se determinó la superficie específica de producción de cada especie.

2.3. Índice de Riesgo Climático (RC):

Se relaciona con la probabilidad de la ocurrencia de un evento climático ocasionado en un periodo fenológico capaz de ocasionar daño en el cultivo, expresado en un detrimento de la producción del cultivo, el cual produce una pérdida económica al agricultor incrementando su vulnerabilidad. Como fuente de información se recurrirá en primera instancia a información climática generada por INIA a través de la unidad de Agrometeorología. En la región de la Araucanía existen actualmente 32 estaciones meteorológicas INIA, cuya información está contenida en la página www.agrometeorologia.cl. Existen algunas estaciones meteorológicas (EMas) cuyo historial de registro es reciente (menos de 2 años) por lo que se deberá en algunos territorios cercanos a los predios de los agricultores a otras fuentes de información. La biblioteca de datos climáticos (<http://www.climatedatalibrary.cl/>), es un poderoso almacén de datos disponible libremente en línea y una herramienta de análisis que permite visualizar, analizar, y bajar datos relacionados al clima, a través de un navegador estándar de Internet. En dicho servidor es posible obtener información de pronóstico y probabilidad de sequías, y la obtención de índice de precipitación estandarizado (PSI) en un navegador SIG, el cual puede comparar dichos valores con los puntos de localización geográfica de cada huerto de los productores en estudio. Por otra parte, el estudio de zonificación climática en su tomo IV, será una fuente de información que será utilizada para ubicar a los agricultores en cada uno de los distritos agroclimáticos definidos para la región de La Araucanía. Para cada distrito se describe en detalle indicadores agroclimáticos de relevancia para la construcción del índice de vulnerabilidad como la probabilidad de riesgo de heladas, grados día y acumulación mensual de horas frío. Por otra parte, se considerará el uso de información de imágenes satelitales históricas, que permitirán determinar evolución de temperatura de superficie en los distintos territorios en los cuales se ubican los agricultores.

2.4. Índice de sensibilidad (IS):

VARIABLES ASOCIADAS AL SISTEMA PRODUCTIVO QUE DETERMINAN AL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LOS CULTIVOS RESPECTO A LOS CAMBIOS EN CLIMA POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO. SE RELACIONA A LA MAGNITUD DE LA PÉRDIDA DE PRODUCTIVIDAD Y/O CALIDAD FRENTE A LA OCURRENCIA DE UN EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO. ENTRE LAS VARIABLES QUE SERÁN ESTIMADAS SE ENCUENTRAN:

Temperatura

- (a) % pérdida de rendimiento por efecto de heladas en floración y cuaja.
- (b) % pérdida de calidad por efecto de temperaturas sobre 28°C en periodo de cosecha.

Precipitaciones

- % pérdida de rendimiento por efecto de precipitaciones concentradas en floración de los cultivos.
- % pérdida de calidad por efecto de precipitaciones en cosecha.
- % pérdida de rendimiento y calidad por efecto de sequía anual durante la temporada.

Entre las fuentes de información a las cuales se recurrirá para la construcción de este índice, se hará uso de la metodología propuesta por FAO (<https://elearning.fao.org/course/view.php>), la cual se utiliza para evaluar los daños y las pérdidas económicas causadas por eventos de pequeña, mediana y gran escala en todos los rubros agropecuarios (cultivos, ganadería, forestación, pesca y acuicultura). La metodología de trabajo se presenta las fórmulas que se utilizan para calcular los daños y pérdidas en los sectores agrícolas, particularmente en el área de cultivos. En dicha metodología se describen en detalle cómo se determinan los daños a la producción, pérdidas de producción, y daños a activos. Asimismo, se utilizará información local determinada por estudios de variabilidad de climática en las especies en estudio que se encuentren disponibles en cada especie y en cada país.

2.5. Índice de Capacidad Adaptativa (CA):

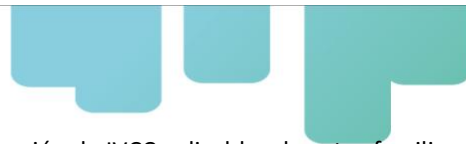
Capacidad de adoptar soluciones o tecnologías para superar un período climático adverso para el sistema productivo. Se dará especial importancia a la evaluación de los sistemas de irrigación de los productores, fuente de agua, exceso o déficit hídrico, sistemas de protección de cultivos, sistemas de control de heladas y capacidad de gestión administrativa. Las fuentes primarias de información corresponderán a una encuesta de caracterización de agricultores, que fue ejecutada durante el levantamiento de la línea de base, a partir de la cual se realizará un balance hídrico que permitirá estimar la eficiencia de uso de agua y su programación de riego, insumo relevante en el cual se desarrollará soluciones a través del sistema OpenFruit a desarrollar en este proyecto.

En las siguientes páginas, se muestra el detalle de variables que se considerarán en la construcción del IVCC, específicamente para el componente de Riesgo Climático y sus respectivas ponderaciones, para cada una de las especies de Chile en estudio.



Cuadro 1. Variables de Riesgo Climático consideradas para la construcción de IVCC aplicable a huertos familiares de arándano alto en Chile. DE: desviación estándar.

Componente	Ponderador (1)	Variabl e	Evento específico	Fuente de Información	Ponderador (2)	Criteri o	Puntaje
RIESGO CLIMÁTICO (RC)	30%	PROBABILIDAD DE EVENTO "EXTREMO"	PROBABILIDAD DE LLUVIA EN FLORACIÓN (15 OCT- 30 NOV)	Fuente:(1)EMA más cercana al punto. (2) Distritos Agroclimáticos (3) Biblioteca de datos Climáticos (IPS)	(5/30)	Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: 10-20mm; Duración: 48 horas.	1
						Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: 20-40mm; Duración: 48 horas.	1,5
						Frecuencia: Al menos 1; Intensidad: >40 mm; Duración: 48 horas.	2,5
			PROBABILIDAD DE LLUVIA COSECHA(01 ENE-28 FEB)	Fuente:(1)EMA más cercana al punto. (2) Distritos Agroclimáticos (3) Biblioteca de datos Climáticos (IPS)	(5/30)	Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: 5-10mm; Duración: 48 horas.	1
						Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: 10-20 mm; Duración: 48 horas.	1,5
						Frecuencia: Al menos 1; Intensidad: >20 mm; Duración: 48 horas.	2,5
			PROBABILIDAD DE HELADAS EN 1ª FLOR (15 OCT-30 NOV)	Fuente:(1)EMA más cercana al punto. (2) Distritos Agroclimáticos (3) Biblioteca de datos Climáticos (IPS)	(10/30)	Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: -1 a -3°C; Duración: > 2 Horas.	2
						Frecuencia: Al menos 2 al mes; Intensidad: -1 a -3°C; Duración: >2 horas.	3
						Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: -3°C o menos; Duración > 2 horas.	5
			DEFICIT HÍDRICO DE PRIMAVERA-VERANO (Oct-Mar)	Fuente: (1) EMA más cercana al punto. (2) Biblioteca de datos Climáticos (3) A través de NVDI Histórico/Temperatura de superficie (4)	(10/30)	1 DE, respecto al promedio móvil de pp de últimos 10 años	2
						2 DE, respecto al promedio móvil de pp últimos 10 años	3
						3 DE, respecto al promedio móvil de pp de los últimos 10 años	5



Cuadro 2. Variables del Riesgo Climático consideradas para la construcción de IVCC aplicable a huertos familiares de frambueso en Chile. DE: desviación estándar

Componente	Ponderador (1)	Variabl e	Evento específico	Fuente de Información	Ponderador	Criteri o	Puntaje
Riesgo Climático(RC)	30%	PROBABILIDAD DE EVENTO "EXTREMO"	PROBABILIDAD DE LLUVIA ENFLORACIÓN Y COSECHA (01 DIC-30 ENE)	Fuente:(1)EMA más cercana al punto. (2) Distritos Agroclimáticos (3) Biblioteca dedatos Climáticos (IPS)	(10/30)	Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: 10-20 mm; Duración: 48horas.	2
						Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: 20-40 mm; Duración: 48horas.	3
						Frecuencia: Al menos 1; Intensidad: >40mm; Duración: 48 horas.	5
			PROBABILIDAD DE HELADAS EN 1ª FLOR (01 nov-15 enero)	Fuente:(1)EMA más cercana al punto. (2) Distritos Agroclimáticos (3) Biblioteca dedatos Climáticos (IPS)	(10/30)	Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: -1 a - 3 °C; Duración: > 2Horas.	2
						Frecuencia: Al menos 2 al mes; Intensidad: -1 a - 3 °C; Duración: >2horas.	3
						Frecuencia: Al menos 1 al mes; Intensidad: -3°C o menos; Duración > 2horas.	5
			DEFICIT HÍDRICO DE PRIMAVERA-VERANO (Oct-Mar)	Fuente: (1) EMA más cercana al punto. (2) Biblioteca de datos Climáticos (3) A través de NVDI Histórico/Temperatura de superficie (4)	(10/30)	1 DE, respecto al promedio movil de ppde los ultimos 10 años	2
						2 DE, respecto al promedio movil de PPde ultimos 10 años	3
						3 DE, respecto al promedio movil de ppde los ultimos 10 años	5



3. Propuesta de mapas de Riesgo Climático

Para la generación de mapas de RC, el Dr. Samuel Ortega de La Universidad de Talca, Chile, propone la siguiente metodología que permite definir la probabilidad de eventos climáticos que afectan la productividad de las especies en estudio, es periodos fenológicos de mayor susceptibilidad.

Metodología

Información Meteorológica

La información utilizada como referencia correspondió a datos horarios obtenidos a partir de sensores ubicados en las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) pertenecientes al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), contando así con una base de datos extensa de tipo puntual con series de tiempo de temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), Precipitación (mm), Humedad relativa del aire (%), Radiación solar (W/m^2), Presión atmosférica (mbar) y Velocidad máxima del viento (m/s) para el periodo 2009 - 2020.

Los datos luego fueron procesados para calcular los valores a nivel diarios obteniendo así las variables temperatura (mínima, máxima y media), Precipitación acumulada, Humedad relativa (mínima, máxima y media), radiación solar global acumulada, Presión atmosférica media y Velocidad media del viento, a las cuales fue necesario realizar un tratamiento de limpieza y homogeneización de los datos recopilados. Así mismo, se compilaron las coordenadas espaciales de las estaciones con proyección al Datum WGS84 en coordenadas esféricas, así como también la altura de estas a partir de un modelo digital de elevación.

Sistematización y limpieza de base de datos

La Información meteorológica puntual descargada se filtró por región de procedencia para mantener una base de datos que considere tan solo las estaciones pertenecientes a la región de interés, lo que corresponde a las regiones del Biobío, La Araucanía y Los Ríos, con un total de 32 estaciones meteorológicas.

A continuación, se eliminaron valores que se encontraran en rangos físicamente imposibles, para esto se determinó un umbral mínimo y máximo. Posteriormente, para cada variable por separado, se procedió a calcular el intervalo de confianza representativo en cada estación mediante el uso del rango intercuartílico, con esto se procedió a eliminar todos los valores que estén por fuera de este rango ya que estos fueron considerados outlier.

Homogeneización y relleno de base de datos

Para la homogeneización y relleno de datos se utilizó el paquete Climatol de R (Guijarro, 2015), que contiene una serie de funciones para el control de calidad, homogeneización y relleno de los datos faltantes en un conjunto de series de cualquier variable meteorológica mediante la aplicación del Standard Normal Homogeneity Test o SNHT (Alexandersson, 1986), a partir de estimaciones calculadas en base a las series más próximas y que contengan datos.



Para esto, se leyeron tanto la ubicación de las estaciones cómo los registros de éstas y se guardaron estos datos en el formato que requiere Climatol. Luego se procedió a realizar un análisis exploratorio de los datos para estimar los SNHT aplicado a ventanas superpuestas, removiendo series de tiempo que interfieran con el proceso de homogenización, lo cual es realizado de manera automática por el paquete. Una vez finalizado el procedimiento, se aplicó la homogenización utilizando los SNHT obtenidos y aplicándolos a las series de tiempo completas para finalmente rellenar los datos ausentes y grabar los datos obtenidos tal como se describe en el trabajo de Guijarro (2016).

Cabe resaltar que Climatol devuelve una serie de indicadores de proceso para cada estación, éstos son porcentaje original de datos de la estación (pod), índice original de la estación (ios), valores críticos de la SNTH relativas a la serie homogenizada (snht), los errores medios cuadráticos del proceso de homogenización y rellenado de las series de datos (rmse) y la operatividad de la estación (ope), esta última representa una variable boleana con un valor de 0 en el caso de no estar operativa en el último periodo de estudio y 1 en el caso contrario, es decir, de estar operativa.

Obtención de eventos meteorológicos

Se procedió a obtener una serie de eventos meteorológicos tanto para frambuesa como para arándanos, correspondientes a probabilidad de lluvia, probabilidad de heladas y déficit hídrico. Esto se consiguió mediante el uso de estadística móvil, una de las estadísticas móviles más conocidas corresponde a la media móvil, la cual, es una técnica estadística utilizada para suavizar los datos de una serie temporal y reducir el ruido. Se calcula tomando un número de puntos de datos consecutivos y promediándolos para producir un único punto de datos suavizado.

Un concepto menos usual de la estadística móvil es la denominada suma móvil, la cual se refiere a la suma de los puntos de datos en una ventana móvil, entendiendo este último concepto como el conjunto de puntos de datos que se utilizan para calcular la estadística móvil. Por ejemplo, en una ventana móvil de tamaño “n”, se utilizarían los n puntos de datos consecutivos para calcular la media, suma o varianza móvil.

Probabilidad de lluvia

Se utilizó la serie de tiempo horaria de precipitación de las estaciones meteorológicas para identificar eventos de lluvia con una duración mínima de 48 horas. Para ello, se aplicó una técnica de suma móvil, que involucra la suma de los datos de precipitación en una ventana móvil de 48 horas. Luego, se identificaron los días en los que se cumplieron ciertas condiciones y se filtraron aquellos que se encontraban dentro del periodo de estudios.

Se contó el número de días en los que ocurrió un evento y se sumaron los meses dentro de la serie temporal en los que al menos un evento de lluvia ocurrió. Esto permitió obtener la frecuencia anual de eventos de lluvia, que corresponde a la cantidad de meses con al menos un evento de lluvia en cada año.

Se realizaron análisis para el periodo de floración del arándano, que va del 15 de octubre al 30 de noviembre, y para el periodo de cosecha del arándano, que va del 1 de enero al 28 de febrero. Se consideraron tres intensidades de lluvia: 10 a 20 mm, 20 a 40 mm y más de 40 mm.



También se analizó el periodo de floración y cosecha de la frambuesa, que va del 1 de diciembre al 30 de enero, con las mismas intensidades descritas para el periodo de floración del arándano.

Probabilidad de heladas

Se utilizó la serie temporal horaria de temperatura del aire obtenida de las estaciones meteorológicas para identificar eventos de heladas con una duración mínima de 2 horas. Para ello, se identificaron las horas en las que las temperaturas alcanzaran una determinada intensidad y se mantuvieran consecutivas durante un período mínimo de 2 horas, utilizando una ventana móvil. Luego, se identificaron los días en que se cumplían las condiciones necesarias y se filtraron aquellos que se encontraban dentro del período de estudio.

Se contó la cantidad de días en que ocurrió el evento de helada y se determinó la frecuencia anual de eventos, es decir, la cantidad de meses en cada año en los que se produjeron al menos uno o dos eventos, según se requiriera.

Esto se llevó a cabo durante el período de floración del arándano, que ocurre entre el 15 de octubre y el 30 de noviembre, con intensidades de -1 a -3°C (al menos 1 y 2 eventos por mes) y menos de -3°C (al menos 1 evento por mes), así como también durante el período de la primera floración de la frambuesa, que ocurre entre el 1 de noviembre y el 15 de enero, con las mismas características de evento que se describieron para el arándano.

Déficit hídrico

Utilizando la serie diaria de variables meteorológicas, se calculó el déficit hídrico como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración. Se calculó el valor acumulado mensual para cada año y se procedió a estimar la desviación estándar para cada mes utilizando una ventana móvil de 10 años para luego filtrar los datos tanto de déficit hídrico como de desviación estándar de la variable que se encontraban dentro del periodo de estudios. Se contabilizaron los meses en que el déficit hídrico superaba una, dos y tres desviaciones estándar respecto a la media y se determinó la frecuencia anual de eventos, es decir, la cantidad de meses en cada año en los que se produjeron al menos uno evento.



3.1. Mapas del Riesgo Climático de arándano y frambueso en, La Región de La Araucanía, Chile.

De acuerdo a la data analizada en la propuesta de IVCC, se generó un mapa de Índice de Riesgo Climático, como propuesta para determinar sectores de riesgo para arándano y frambueso en una región específica de la zona sur de Chile. Como se describió anteriormente en el Cuadro 11, la magnitud de los eventos climáticos registrados en cada estación meteorológica de la red de estaciones de INIA, permite determinar una categoría de Riesgo Climático Alta, Moderada o Baja, para cada comuna de la Región de La Araucanía.

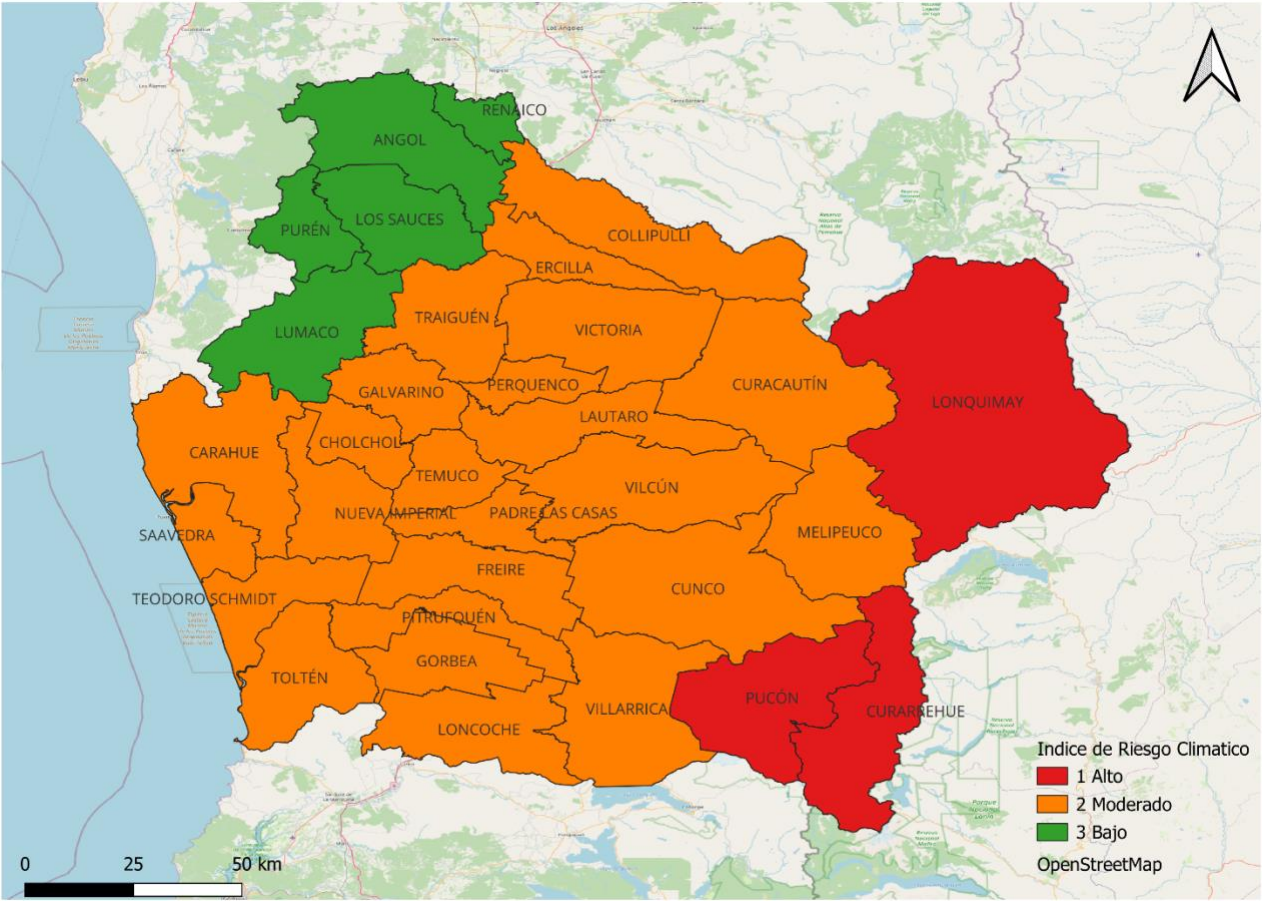


Figura 1. Mapas del Riesgo Climático para arándano en La Región de La Araucanía, Chile.

De acuerdo a la distribución de las comunas en las distintas categorías de Riesgo climático en la Región de La Araucanía, se puede observar que, para arándano, 3 comunas entran dentro de la categoría de RC Alto, 24 RC Moderado y 5 RC bajo (Figura siguiente)

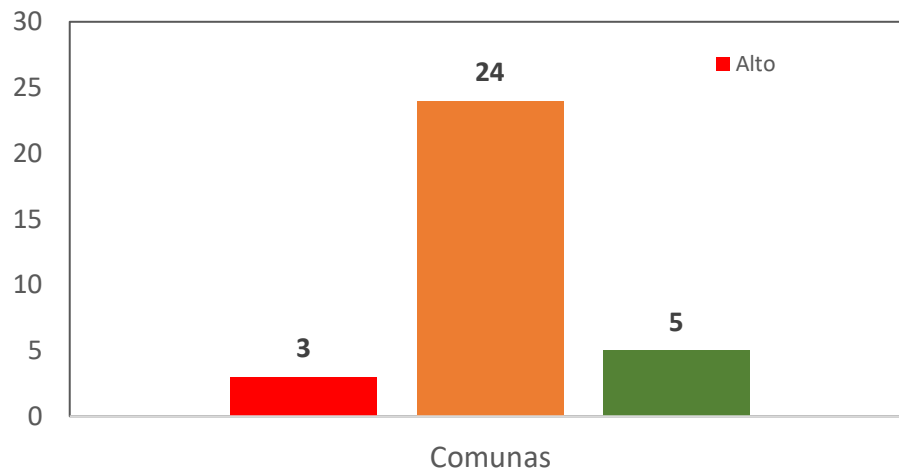


Figura 2. Número de comunas de La Región de La Araucanía, Chile, en cada categoría de Riesgo Climático para arándano.

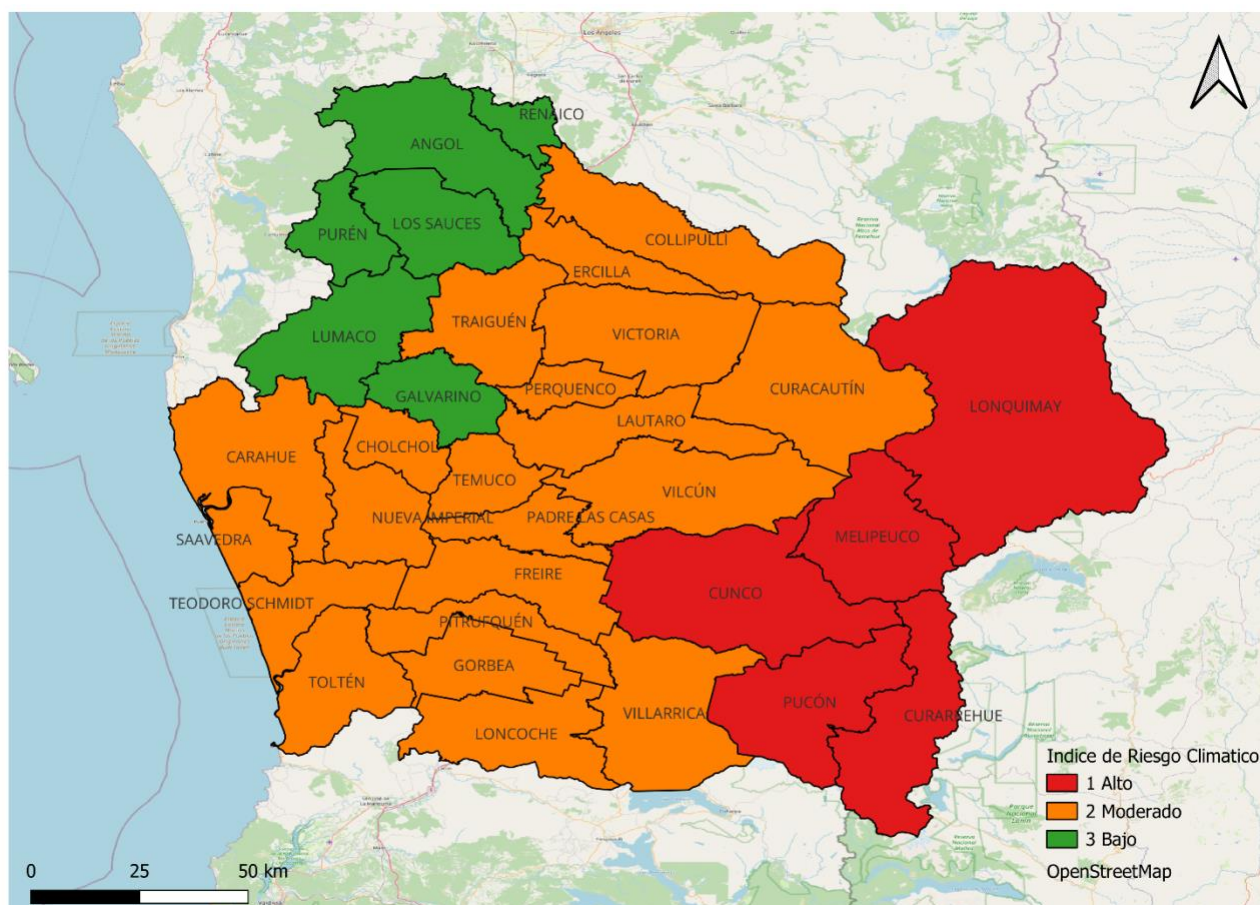


Figura 3. Mapas del Riesgo Climático para frambuesa en La Región de La Araucanía, Chile.



En relación a la distribución de las comunas en las distintas categorías de Riesgo climático en la Región de La Araucanía para frambueso, se puede observar 5 comunas entran dentro de la categoría de RC Alto, 21 RC Moderado y 6 RC bajo (Figura siguiente).

Para ambas especies, el Riesgo Climático se encuentra en su mayoría en un rango Moderado. En general, las comunas ubicadas en zonas de precordillera presentan un Alto RC, mientras que aquellas de la zona noreste de la región, presentaron un bajo RC.

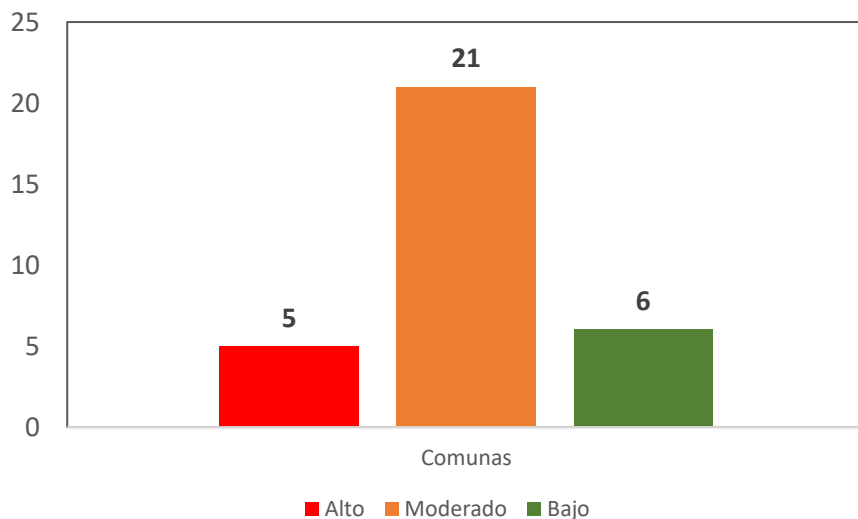


Figura 4. Número de comunas de La Región de La Araucanía, Chile, en cada categoría de Riesgo Climático para frambueso.



4. Avances para huertos de papaya y naranja en Costa Rica

Elaborado por:

Carlos Henríquez - Centro de investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica

Emmanuel Jesús Céspedes - Centro de investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica

Bryan Alemán - Centro de investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica

Felipe Arauz - Facultad de Ciencias Agroalimentarias Universidad de Costa Rica

4.1. Introducción

En este documento se describe la propuesta desarrollada por parte del equipo de la Universidad Costa Rica para la creación del índice de vulnerabilidad, para los cultivos producidos por las Cooperativas (CoopeCerroAzul R.L. y CoopeParritaTropical R.L.) que forman parte del proyecto en Costa Rica.

La forma de calcular el índice de vulnerabilidad se basó en recomendaciones desde la contrapartida del proyecto en Chile y asesoría del Dr. Fernando Santibañez Quezada, criterios del personal técnico de la contrapartida en Costa Rica y la revisión de documentación bibliográfica (BIOMARCC-SINAC-GIZ., 2013; Mapplecroft, 2014; Monterroso et al., 2013).

Finalmente, la fórmula del Índice de vulnerabilidad (IV) a la que se llegó es la siguiente:

$$IV = \text{Impacto} [IE*(0,4) + RC*(0,3) + IS*(0,3)] - (CA) \text{ (Fórmula 1).}$$

Donde;

IE = índice de exposición: definido en términos de la presencia de un riesgo climático sobre las fincas (BIOMARCC-SINAC-GIZ., 2013).

RC = riesgo climático: se entendió como la posibilidad de perder producción, si un evento hidrometeorológico extremo impacta negativamente a los cultivos (Retana, 2012).

IS = índice de sensibilidad: se entendió como la sensibilidad de los cultivos ante eventos climáticos extremos (déficit o carencia) de precipitación.

CA = capacidad adaptativa: definida como la capacidad de los productores para hacerle frente a los impactos adversos (BIOMARCC-SINAC-GIZ., 2013). Y viéndose bajo el hecho de que, si un productor cuenta con las herramientas para adaptarse a ante estos impactos, su vulnerabilidad puede llegar a ser mínima, y que por el contrario si no posee ninguna capacidad de adaptación su vulnerabilidad ante un evento climático en términos de ponderación del cálculo sería total (formula 1).



La fórmula original plantada por (Mapplecroft, 2014) asigna un peso de 50% a la IE, 25% a CA y 25% al IS. Sin embargo, se ajustó la fórmula y las ponderaciones con relación a las recomendaciones desde la contrapartida del proyecto en Chile, donde el IE se ponderó en 40%, el RC en 30% y el IS en 30%. La capacidad adaptativa se debe restar al impacto y puede poseer un peso de 100%.

De esta manera el IV se encuentra compuesto por:

Índice de exposición (IE) que considera:

- El área de las fincas, cuyos datos fueron aportados por ambas cooperativas.
- Producción, los parámetros de categoría incluidos fueron consultados a las cooperativas y productores asociados.

4.2. Índice de riesgo climático (RC):

Para el caso de Costa Rica se utilizó el estudio desarrollado por (Retana, 2012) para establecer el valor del Riesgo climático para cada cooperativa. Retana (2012) define el riesgo climático de la siguiente manera:

“riesgo se define como la probabilidad de perder si un evento sucede. En el caso del riesgo climático, se entiende que es la posibilidad de perder un bien, si un evento hidrometeorológico extremo impacta negativamente una actividad socio productivo o una zona geográfica particular” (Retana, 2012, p.12).

A su vez Retana, (2012), también define para cada cantón de Costa Rica, cuál es el Riesgo Climático y lo divide en términos de eventos hidrometeorológicos extremos secos y lluviosos. Con base en lo anterior este parámetro se adapta a los elementos que más afectaciones puede generar sobre los cultivos de interés e identificar para cada cooperativa participante del proyecto cuál es su riesgo climático en categorías de alto, medio-alto, medio, medio-bajo y bajo.

Para el caso costarricense, se consideró que los eventos extremos relacionados al exceso o déficit de precipitación eran los que presentaban relevancia a considerar, ya que la temperatura, por ejemplo, se encuentra en gran medida en función de las precipitaciones y por tanto no se incluyeron más parámetros climáticos. Este aspecto se consultó con miembros de las cooperativas y también entre miembros investigadores tanto de Costa Rica como de Chile, quienes consideran pertinente la consideración de la precipitación únicamente en el RC.

Para CoopeParritaTropical R.L su RC en términos de eventos extremos secos es medio-alto. Para CoopeCerroAzul R.L por otro lado, las fincas ubicadas en el cantón de Nicoya, el RC ante eventos extremos secos es Alto, mientras que para las fincas que están en el cantón de Nandayure,



Hojancha y Puntarenas, es de medio-alto (Retana, 2012).

Considerando los eventos extremos lluviosos, para CoopeParritaTropical R.L su RC es alto. Mientras que en CoopeCerroAzul R.L para las fincas que pertenezcan al cantón de Nicoya su RC ante eventos extremos lluviosos es medio-alto y para las fincas que sean del cantón de Nandayure, Hojancha y Puntarenas, es medio (Retana, 2012).

4.3. Índice de sensibilidad (IS):

Para el caso de los efectos del déficit o exceso de precipitación, la recopilación de información se hará a través de la plataforma OpenFruit, donde se hará monitoreo de eventos climáticos, en cada finca y el agricultor declarará la pérdida de rendimiento según el evento sufrido. A partir de esta información se hará una correlación entre la frecuencia, magnitud e intensidad del evento y la pérdida de producción.

Para las cooperativas nacionales, se incluyó dentro del IS, el criterio de si el cultivo es permanente o no permanente, bajo la consideración del hecho que un cultivo permanente es más resistente (menos sensible) a las afectaciones climáticas extremas y en el caso de los cultivos no permanentes su sensibilidad es mayor debido a que poseen menor resistencia a las afectaciones climáticas.

4.4. Índice de Capacidad adaptativa (CA):

Para este criterio se añadieron las condiciones de recurso hídrico que básicamente se encuentran en función de la disponibilidad de fuentes de agua y la capacidad de desarrollar riego en las fincas. También se incluyó el nivel de manejo técnico agronómico que tienen las fincas. Finalmente se incluyó también la capacidad de gestión administrativa para evaluar la respuesta de adaptación (ausencia o presencia de gestión en las fincas).

A continuación, se muestran las ponderaciones asignadas y cada uno de los criterios considerados dentro del índice de vulnerabilidad para CoopeCerroAzul R.L. (Cuadro 1).



Cuadro 3. Ponderaciones y criterios incluidos en el IV del cultivo de naranja, CoopeCerroAzul R.L.

Componente	Ponderador (1)	Variable	Evento específico	Fuente de Información	Ponderador (2)	Criterio	Puntaje	
INDICE DE EXPOSICIÓN (IE)	20%	Área de las fincas	Superficie en producción (ha)	Fuente: Línea de Base Agricultores	(20/40)	Tamaño < 1 ha	5	
						Tamaño (1-5 ha)	10	
						Tamaño > 5 ha	20	
	20%	Producción	Rendimiento del productor (frutos por árbol)	Criterio de categorización dato por la cooperativa	(20/40)	Menos de 600 Frutos por árbol	5	
						Entre 600 y 1000 Frutos por árbol	10	
						Más de 1000 Frutos por árbol	20	
RIESGO CLIMÁTICO(RC)	30 %	Probabilidad de evento "extremo"	Probabilidad de lluvia en floración y cosecha	Retana (2012)	(15/30)	Bajo	3	
						Medio bajo	6	
						Medio	9	
						Medio alto	12	
						Alto	15	
		Probabilidad de déficit de lluvia en floración y cosecha	Retana (2012)	(15/30)	Bajo	3		
					Medio bajo	6		
					Medio	9		
					Medio alto	12		
					Alto	15		
INDICE DE SENSIBILIDAD (IS)	30 %	Sensibilidad del cultivo a exceso precipitación en floración y cosecha	Pérdida de productividad (%)	*	(10/30)	Poco sensible a mucha lluvia	5	
						Muy sensible a mucha lluvia	10	
		Sensibilidad del cultivo a déficit de precipitación	Pérdida de productividad (%)		(10/30)	Poco sensible a poca lluvia	5	
						Muy sensible a poca lluvia	10	
		Tipo de cultivo	Permanente/No permanente		MAG	(10/30)	Permanente	5
							No permanente	10
CAPACIDAD ADAPTATIVA (CA)	100%	Condición del recurso hídrico	Presencia de sistema de riego	**	(50/100)	Existencia de sistema y funcional	50	
						Posibilidad de instalación	10	
						No existe un sistema	0	
		Nivel manejo técnico agronómico	Fertilización y fitoprotección		**	(25/100)	Con programa de manejo agronómico y aplicado	25
							Con posibilidad de implementar un programa de manejo agronómico y aplicado	15
							Sin programa de manejo agronómico	0
		Capacidad gestión administrativa	Gestión		**	(25/100)	Existe estrategia administrativa	25
							No existe una estrategia administrativa	0

* A través del OpenFruit se hará monitoreo de eventos climáticos, en cada lote y el agricultor declarará la pérdida de rendimiento, por efecto de eventos climáticos extremos. Se hará una correlación entre la frecuencia, magnitud e intensidad del evento y la pérdida.



Según la Cuadro 3, en el IE se considera como elementos a evaluar, el tamaño de la finca, donde entre más grande es la finca y combinado con el segundo criterio – entre mayor producción-, más expuesta se encuentra a afectaciones por condiciones climáticas. Considerando el peso asignado al IE (40%), se dividió entre ambos criterios (nivel de producción y tamaño de la finca), donde cada uno tiene un peso de 20%. Es importante indicar que la información relacionada al área ya fue provista por la cooperativa por lo que los datos de producción serán añadidos después, ya sea por el productor o por el personal técnico de la cooperativa para su registro.

En cuanto al RC, como se explica anteriormente, lo que se considera es la probabilidad de eventos extremos. En el contexto de Costa Rica, basado en conversaciones de la mesa AgTech, donde se encuentra un espacio de discusión y considerando el criterio del personal técnico, se determinó que solo se evaluaría la precipitación en cuanto a sus extremos secos o de exceso. Y con ayuda de bibliografía se determinó el RC para cada cooperativa según eventos de precipitación. Para el IS, se incluyeron los criterios en función del RC, para lo que se consideró la sensibilidad del cultivo al exceso o déficit de precipitación en floración y cosecha y su impacto en la pérdida de productividad y si el cultivo es permanente o no permanente. Además, considerando el peso del IS de 30%, al ser tres criterios, se distribuyó de forma equitativa la ponderación de 10% para cada uno. Por último, en los criterios de CA, estos se añadieron en función del contexto de las cooperativas y basado en conversaciones realizadas mediante la mesa AgTech y entre el personal técnico del proyecto. En términos de CA, la condición del recurso hídrico se evalúa a través de la presencia de riego o la posibilidad de su incorporación en los lotes de los productores. Este medio de evaluación se seleccionó debido a que el riego, es uno de los aspectos que más permitiría adaptarse a condiciones adversas del cultivo. Y ante su importancia se le añadió un peso del 50% de la capacidad de adaptación.

El nivel manejo técnico agronómico, se evaluó mediante la presencia, posibilidad de aplicación o ausencia de programas de manejo agronómico y la aplicabilidad del mismo en los lotes de los productores, este se encuentra en función del hecho de que, si un lote cuenta con un manejo agronómico programado, la capacidad del productor de afrontar eventos climáticos será mayor, y se le asignó un peso del 25%.

Y finalmente dentro de la CA, se incluyó la capacidad gestión administrativa. Si existe una estrategia para los productores en sus lotes se podrán contar con más herramientas para adaptarse a condiciones que puedan impactar negativamente sus fincas/lotes.

A continuación, se muestran las ponderaciones asignadas y cada uno de los criterios considerados dentro del índice de vulnerabilidad para CoopeParritaTropical R.L. (Cuadro 4).



Cuadro 4. Ponderaciones y criterios en el IV del cultivo de papaya (CoopeParritaTropical R.L.)

Componente	Ponderador (1)	Variable	Evento específico	Fuente de Información	Ponderador (2)	Criterio	Puntaje	
INDICE DE EXPOSICIÓN (IE)	20%	Área de las fincas	Superficie en producción (ha)	Fuente: Línea de Base Agricultores	(20/40)	Tamaño < 1 ha	5	
						Tamaño (1-5 ha)	10	
						Tamaño > 5 ha	20	
	20%	Producción	Rendimiento del productor (frutos por árbol)	Criterio de categorización dato por la cooperativa	(20/40)	Menos de 50 ton/ha	5	
						Entre 50 y 90 ton/ha	10	
						Más de 90 ton/ha	20	
RIESGO CLIMÁTICO(RC)	30 %	Probabilidad de evento "extremo"	Probabilidad de lluvia en floración y cosecha	Retana (2012)	(15/30)	Bajo	3	
						Medio bajo	6	
						Medio	9	
						Medio alto	12	
						Alto	15	
		Probabilidad de déficit de lluvia en floración y cosecha	Retana (2012)	(15/30)	Bajo	3		
					Medio bajo	6		
					Medio	9		
					Medio alto	12		
					Alto	15		
INDICE DE SENSIBILIDAD (IS)	30 %	Sensibilidad del cultivo a exceso precipitación en floración y cosecha	Pérdida de productividad (%)	*	(10/30)	Poco sensible a mucha lluvia	5	
						Muy sensible a mucha lluvia	10	
		Sensibilidad del cultivo a déficit de precipitación	Pérdida de productividad (%)			(10/30)	Poco sensible a poca lluvia	5
							Muy sensible a poca lluvia	10
		Tipo de cultivo	Permanente/No permanente		MAG	(10/30)	Permanente	5
							No permanente	10
CAPACIDAD ADAPTATIVA (CA)	100%	Condición del recurso hídrico	Presencia de sistema de riego	**	(50/100)	Existencia de sistema y funcional	50	
						Posibilidad de instalación	10	
						No existe un sistema	0	
		Nivel manejo técnico agronómico	Fertilización y fitoprotección		**	(25/100)	Con programa de manejo agronómico y aplicado	25
							Con posibilidad de implementar un programa de manejo agronómico y aplicado	15
							Sin programa de manejo agronómico	0
		Capacidad gestión administrativa	Gestión		**	(25/100)	Existe estrategia administrativa	25
No existe una estrategia administrativa	0							

Notas:

* A través del OpenFruit se hará monitoreo de eventos climáticos, en cada lote y el agricultor declarará la pérdida de rendimiento, por efecto de eventos climáticos extremos. Se hará una correlación la frecuencia, magnitud e intensidad del evento y la pérdida de producción; ** Se propone que esta información se pueda añadir a través de la plataforma OpenFruit o mediante una encuesta al personal de la Cooperativa; Los criterios y su razón de escogencia son los mismos que los de CoopeCerroAzul R.L., específicamente con el índice de exposición (IE) en el criterio de producción y la categorización de rendimiento del lote (ton/ha).



5. Referencias Bibliográficas

Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6(6), 661-675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>

BIOMARCC-SINAC-GIZ. (2013). Análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas y marino costeras de costa rica frente al cambio climático.

Guijarro, J. (2015). *Climatol: Software Libre Para La Depuración Y Homogeneización De Datos Climatológicos*.

Mapplecroft. (2014). Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe. En Corporación Andina de Fomento.

Monterroso, A., Conde, C., Gay, C., Gómez, J., & López, J. (2013). *Indicadores De Vulnerabilidad Y Cambio Climático En La Agricultura De México*. Centro de Ciencias dela Atmósfera e Instituto de Geografía - UNAM, 881-890.

Retana, A. (2012). Mejoramiento de las capacidades nacionales para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del sistema hídrico al cambio climático en Costa Rica, como mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el Índice de Desarrollo Humano. IMN. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/AdaReHiCRCC/offline/download.pdf>



6. Instituciones Principales



7. Instituciones Asociadas



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org