

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

CARRERA: INGENIERÍA AGROPECUARIA

Tesis previa a la obtención del Título de: Tecnólogo Agropecuario Industrial

TITULO:

**CARACTERIZACION, IDENTIFICACION Y EVALUACION
DEL FENÓMENO METEOROLOGICO LA HELADA DURANTE
LOS AÑOS 2005 AL 2011, EN LAS ZONAS COMPRENDIDAS
POR LAS TRES ESTACIONES METEOROLOGICAS DE:
QUIMSACocha, LA ESMERALDA Y SAN GERARDO.**

AUTOR: Andrés Bernardo Cordero Delgado

DIRECTOR: Ing. Hernán Avilés

COORDIRECTOR: Ing. Pedro Cisneros E.

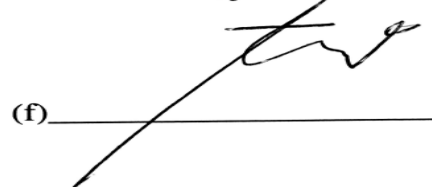
Cuenca, Junio 2013

Declaratoria de responsabilidad

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor: Andrés Bernardo Cordero D.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cuenca, junio del 2013

(f) 

Declaratoria de responsabilidad

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, realizados por el autor: Andrés Bernardo Cordero D, son responsabilidad del Ing. Hernán Avilés Landívar (Director de Tesis) y del Ing. Pedro Cisneros Espinosa (Codirector de Tesis).

Cuenca, junio del 2013



f)

Dedicatorias y agradecimientos

Agradezco a mis padres porque con la ayuda de ellos he podido concluir con mis estudios, a mi esposa por su apoyo incondicional, también agradezco al PROMAS, a mi director de tesis Ing. Hernán Avilés, al codirector de tesis Ing. Pedro Cisneros (PROMAS Universidad de Cuenca), al Director de Escuela Dr. Patricio Garnica, Ing. Pedro Webster.

INDICE GENERAL

Caratula.....	1
Declaratoria de Responsabilidad.....	2
Declaratoria de responsabilidad del Director de Tesis.....	3
Dedicatoria y agradecimientos.....	4
Glosario.....	9
Resumen.....	11
Abstract.....	13
1. Introducción.....	15
2. Justificación.....	15
3. Hipótesis 1.....	15
4. Caracterización del tipo de clima de cada estación meteorológica.....	16
4.1. Zonas climáticas de Koppen.....	16
5. Identificación del tipo de helada.....	18
5.1. Heladas blancas.....	18
5.2. Heladas negras.....	19
6. Calendarización de la frecuencia de las heladas.....	22
7. Determinación de las temperaturas en las que se producen las heladas.....	30
8. Determinación de la radiación en la que se producen las heladas.....	34
8.1. Radiación solar.....	34
8.2. Estación meteorológica de Quimsacocha.....	35
8.3. Estación meteorológica de la Esmeralda.....	37
9. Determinación de la humedad relativa en la que se producen las heladas...37	
10. Determinación del tiempo de duración de las heladas en el set de datos meteorológicos.....	41
11. Evaluación de los daños fisiológicos en los cultivos producidos por las heladas.....	66
11.1. Daños fisiológicos de la planta.....	66
11.1.1. El daño celular.....	66
11.1.2. Daños por enfriamiento.....	68
11.1.3. Daños por congelación de tejidos.....	68
11.1.4. Estrés por bajas temperaturas.....	69

11.1.5.	Daños de las heladas sobre las plantas.....	69
11.1.6.	Respuestas directas al daño por frío.....	72
11.1.7.	Respuestas indirectas al daño por frío.....	73
11.1.8.	Síntomas visibles del daño por frío.....	75
12.	Materiales y métodos.....	76
12.1.	Materiales.....	76
12.2.	Métodos.....	76
13.	Conclusiones.....	77
14.	Recomendaciones.....	79
15.	Bibliografía.....	80

INDICE DE TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Plantas sensibles a heladas.....	74
---------------	----------------------------------	----

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1	Quimsacocha - Calendarización de la frecuencia de las heladas.....	25
Grafico 2	La Esmeralda - Calendarización de la frecuencia de heladas.....	27
Grafico 3	Quimsacocha - Rangos de temperatura en las que se produce las heladas.....	33
Grafico 4	La Esmeralda - Rango de temperaturas en las que se produce la helada....	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Quimsacocha - Heladas blancas - Temperatura y humedad relativa	20
Tabla 2 Quimsacocha - Heladas Negras - Temperatura y Humedad relativa	21
Tabla 3 La Esmeralda - Heladas blancas - Temperatura y humedad relativa.....	21
Tabla 4 Quimsacocha - listado de heladas dañinas y leves.....	22
Tabla 5 Quimsacocha - Lista de frecuencia de heladas dañinas	24
Tabla 6 La Esmeralda - Lista de frecuencia de heladas	26
Tabla 7 San Gerardo - Lista de frecuencia de heladas	28
Tabla 8 Lista de temperaturas por cada helada - Quimsacocha.....	32
Tabla 9 Radiación solar - Quimsacocha.....	36
Tabla 10 Radiación Solar - La Esmeralda.....	37
Tabla 11 Quimsacocha - humedad relativa - heladas blancas.....	39
Tabla 12 Quimsacocha - humedad relativa - heladas negras	40
Tabla 13 La Esmeralda - humedad relativa - heladas blancas	40
Tabla 14 San Gerardo - humedad relativa - heladas blancas	41
Tabla 15 Quimsacocha - Helada 1	42
Tabla 16 Quimsacocha - helada 2	42
Tabla 17 Quimsacocha - helada 3	43
Tabla 18 Quimsacocha - helada 4	44
Tabla 19 Quimsacocha - helada 5	44
Tabla 20 Quimsacocha - helada 6	45
Tabla 21 Quimsacocha - helada 7	46
Tabla 22 Quimsacocha - helada 8	47
Tabla 23 Quimsacocha - helada 9	47
Tabla 24 Quimsacocha - helada 10	48
Tabla 25 Quimsacocha - helada 11	49
Tabla 26 Quimsacocha - helada 12	49
Tabla 27 Quimsacocha - helada 13	50
Tabla 28 Quimsacocha - helada 14	51
Tabla 29 Quimsacocha - helada 15	51
Tabla 30 Quimsacocha - helada 16	52
Tabla 31 Quimsacocha - helada 17	53
Tabla 32 Quimsacocha - helada 18	53

Tabla 33 Quimsacocha - helada 19	54
Tabla 34 Quimsacocha - helada 20	55
Tabla 35 Quimsacocha - helada 21	55
Tabla 36 Quimsacocha - helada 22	56
Tabla 37 Quimsacocha - helada 23	56
Tabla 38 Quimsacocha - helada 24	57
Tabla 39 Quimsacocha - helada 25	58
Tabla 40 Quimsacocha - helada 26	59
Tabla 41 Quimsacocha - helada 27	60
Tabla 42 Quimsacocha - helada 28	61
Tabla 43 Quimsacocha - helada 29	62
Tabla 44 Quimsacocha - helada 30	63
Tabla 45 Quimsacocha - helada 31	64
Tabla 46 Quimsacocha - helada 32	65
Tabla 47 Quimsacocha - helada 33	66
Tabla 48 Temperatura de congelación	71
Tabla 49 Temperaturas criticas	72

INDICE DE ANEXOS

Fotografías 1 Daños fisiológicos en la planta producidos por una helada negra – remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)	82
Fotografías 2 Daños fisiológicos en cultivo de maíz (<i>Zea mays L</i>)	83
Fotografías 3 Daños fisiológicos en cultivo de alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>)	83
Fotografías 4 Daños fisiológicos en planta Costilla de Adán (<i>Monstera deliciosa</i>)..	84
Fotografías 5 Daños fisiológicos en cultivo de cítricos – limón (<i>Citrus limón</i>)	84
Fotografías 6 Daños fisiológicos en la planta producidos por una helada blanca ficus – ornamental (<i>Ficus Benjamina</i>)	85
Fotografías 7 Daños fisiológicos en planta de Col (<i>Brassica oleracea L</i>)	85
Fotografías 8 Daños fisiológicos en planta de Nabo (<i>Brassica rapa L</i>)	86
Fotografías 9 daños fisiológicos en frutilla silvestre (<i>Fragaria chiloensis</i>)	86
Fotografías 10 Daños fisiológicos en Pastos	87
Fotografías 11 Estación meteorológica de Quimsacocha	88
Fotografías 12 Estación meteorológica La Esmeralda (Jima)	89

Glosario

Piranómetro:

Es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar. (Llamado también solarímetro y actinómetro).

Adveccion:

Desplazamiento horizontal, meridiano o zonal de una masa de aire, lo que provoca cambios de tiempo y transferencias de calor de unas zonas a otras de la superficie terrestre.

Humedad relativa:

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura, por ejemplo, una humedad relativa del 70% quiere decir que de la totalidad de vapor de agua (el 100%) que podría contener el aire a esta temperatura, solo tiene el 70%.

Radiación solar:

Es la energía emitida por el sol en forma de radiación electromagnética que llega a la atmósfera. Se mide en superficie horizontal, mediante el sensor de radiación o piranómetro, que se sitúa orientado al sur y en un lugar libre de sombras. La unidad de medida es vatios por metro cuadrado (w/m^2).

Vatios:

El **vatio** (en inglés y también en español: *watt*,) es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es **W**, es el equivalente a 1 julio sobre segundo (1 J/s) y es una de las unidades derivadas. Expresado en unidades utilizadas en electricidad, un **vatio** es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1 voltiamperio).¹

¹Clasificación climática de Koppen, Mcknight, Tom L; Hess, Darrel-2000 visto 24 de julio del 2011 www.es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen

Resumen

Este estudio se inició con la clasificación del clima de cada estación meteorológica utilizando el método de koppen, para poder determinar las características climatológicas de las zonas de estudio, una vez realizada esta clasificación continúe con la selección de variables para caracterizar las heladas, esto quiere decir un procesamiento de información da datos para obtener el número de heladas que han aparecido por cada año.

La relación entre variables para caracterizar las heladas, fue muy importante para poder obtener información de la temperatura, humedad relativa, radiación solar y tiempo de duración en que aparece el fenómeno meteorológico la helada y se la cataloga como dañina. El inventario de eventos meteorológicos con características de helada se realizó una vez se terminó de procesar la información diaria de las heladas encontradas, en esta información tenemos los tiempos de duración, tipo de halada y temperaturas por cada hora de cada helada inventariada para poder caracterizar cada una de ellas.

La calendarización de los eventos meteorológicos inventariados, se realizó una vez terminado el procesamiento de datos digitales, en esta calendarización podemos ver en qué meses apareció este fenómeno y con qué frecuencia, esta información no ayuda para saber en qué meses debemos estar preparados para controlar este problema tan complejo que ataca a los cultivos de las zonas estudiadas.

La descripción de cada evento meteorológico considerado como helada, se realizó calculando el tiempo de duración, temperatura y hora de inicio, pico más bajo de temperatura registrado en ese tiempo de duración, hora y temperatura de finalización del fenómeno, todos estos datos utilizados para determinar el tipo de helada y el grado de afección hacia la planta.

Una vez determinados, inventariados y descritos los eventos extremos he relacionado con los daños fisiológicos que sufre la planta por el ataque de este fenómeno meteorológico, que bien causa quemaduras en la planta o aparece escarcha sobre ella, existiendo un congelamiento a nivel extracelular, produciendo en algunos casos la muerte de la planta.

Todos los datos procesados para cada actividad me sirvieron para poder llegar a las conclusiones sobre este estudio, las cuales manifiestan sobre las meses con mayor incidencia, las temperaturas más bajas, los tipos de heladas, la radiación solar y los daños fisiológicos que ocasionan a la planta.

Abstract

This study began with the classification of the climate of each weather station using the Köppen method, in order to determine the climatic characteristics of study areas, once made this classification continue with the selection of variables to characterize the frosts, that is to say information processing gives data for the number of frost that have appeared for each year.

The relationship between variables to characterize Frost, was very important for information on temperature, relative humidity, solar radiation and time duration in which appears the freezing weather phenomenon and is cataloged it as harmful. Inventory of meteorological events with characteristics of frost took place one time finished processing the daily information found in this Frost information have the time, type of pulled and temperatures for each hour of each Frost inventoried to be able to characterize each one of them.

Inventoried, meteorological events schedule took place once the digital data processing completed, in this schedule can be seen in months appeared this phenomenon and with than frequency, this information does help us to know in that months must be prepared to control this problem so complex that attacking crops of the studied areas.

The description of each weather event considered as frost was conducted by calculating the time length, temperature, and start time, the highest and lowest temperature registered in that time of duration, time and temperature of finishing the phenomenon, all these data used to determine the type of frost and the degree of affection towards the plant.

Once identified, inventoried and extreme events described I have related to the physiological damage that suffers the plant by the attack of this meteorological phenomenon, causing burns to the ground well or appears frost on it, a freeze at the extracellular level to exist, in some cases resulting in the death of the plant.

All data processed for each activity served me to reach conclusions on this study, which manifest at the months with the highest incidence, temperatures lower, frosts types, solar radiation and the physiological damage caused to the plant.

1. Introducción

Para el estudio del fenómeno meteorológico la helada, primero se ha caracterizado el clima, para definir las zonas de estudio, para luego iniciar con la determinación de temperatura, humedad relativa, radiación solar, frecuencia, calendarización, daños fisiológicos de la planta, tipos de helada y tiempo de duración del fenómeno meteorológico dentro del periodo octubre del 2005 hasta el mes de noviembre del 2011.

2. Justificación

Las heladas son un problema muy complejo a nivel de la sierra, ya que por la incidencia de este fenómeno se pierde un gran porcentaje en la producción de hortalizas, tubérculos, frutas y pasturas, debido a que no existe un estudio sobre el fenómeno meteorológico la helada y por lo tanto no hay un control específico para este problema tan grave que afecta a los agricultores. Mediante esta información se posibilita un manejo de prevención de daños de los cultivos frente a la helada.

3. Hipótesis

La temperatura, humedad relativa, radiación solar y tiempo de duración del fenómeno meteorológico la helada afectan a un cultivo de una manera leve o agresiva.

4. Caracterización del tipo de clima de cada estación meteorológica

4.1. Zonas climáticas de Köppen

La **clasificación climática de Köppen**,² también llamada **de Köppen-Geiger** fue creada en 1900 por el científico ruso de origen alemán Wladimir Peter Köppen y posteriormente modificada en 1918 y 1936. Consiste en una clasificación climática mundial que identifica cada tipo de clima con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan dicho tipo de clima.

El austriaco Köppen trazó una clasificación de los climas³ del mundo basada en dos variables: la temperatura y el régimen de precipitaciones. Este sistema se sigue usando en líneas generales y es la base de la tabla de climas.

La temperatura depende de la fuerza de los rayos solares, y consecuentemente de la latitud, aunque la modifica la circulación general del aire. Ésta distribuye la humedad sobre la superficie de la Tierra.

Las zonas climáticas están ligadas a la latitud, aunque, debido a los vientos y a la altura, los límites de las zonas no siguen exactamente los paralelos de la latitud.

² Clima: Elementos y factores profesional en línea registro N° 188.540 www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Clima.htm.

³ Clasificación climática de Köppen, Mcknight, Tom L; Hess, Darrel-2000 visto 24 de julio del 2011 www.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen.

La caracterización del clima se interpreta mediante la clasificación de Koppen⁴, quien divide el clima en cuatro tipos:

- Clima A – Tropical/Megatermal
- Clima B – Seco(árido/semiárido)
- Clima C – Templado/Mesotermal
- Clima D - Templado frío/Continental/Microtermal
- Clima E – Polar y de alta montaña

Resultados:

Las zonas donde están ubicadas las estaciones meteorológicas han sido caracterizadas de acuerdo a esta clasificación, de acuerdo a dos factores como: altitud y temperatura.

EB - Alta montaña

Son climas condicionados por la altura, superior a 1500 msnm.

Alta montaña

La alta montaña es un terreno montañoso, relativamente elevado pero de altitud no específica que tiene condiciones geográficas particulares de nieve, hielo, clima, de radiación UV, temperatura, oxígeno, etc., donde existen riesgos para la salud del hombre al exponerse a éstas, como el mal de montaña.

Ciudades donde se da: Cuzco, La Paz, Bogotá, Quito, Ciudad de México, Tunja, Lhasa, Davos.

⁴ Las heladas, Silvia Larocca – visto 24 de julio del 2011 www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/heladas.htm

Quimsacocha – 3762m.s.n.m – EBlo

La Esmeralda – 2638m.s.n.m – Ebbk

San Gerardo – 2799m.s.n.m – Ebbk⁵

l: templado/fresco 10 a 18 °C

o: Frio/ –10 a 0 °C

b: cálido: 18 a 23 °C

k: moderadamente frío: 0 a 10 °C

5. Identificación del tipo de helada

5.1. Heladas blancas

Se produce cuando la temperatura desciende por debajo de 0°C (cero) y se forma hielo sobre la superficie de las plantas. Este tipo de heladas se produce con masas de aire húmedo. Además el viento calmo y los cielos despejados favorecen su formación⁶. La escarcha o helada blanca no es otra cosa que el congelamiento del rocío. Este congelamiento se produce cuando la superficie de los cuerpos alcanza una temperatura inferior o igual a los 0°C (cero). Cuando la cantidad de vapor del aire que se encuentra en contacto con los cuerpos es muy escaso, no se produce rocío sino que directamente se forma escarcha.⁷

⁵ El autor – Andrés Bernardo Cordero

⁶ Las heladas, Silvia Larocca – visto 24 de julio del 2011 www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/heladas.htm

⁷ Condiciones de Helada, Nimbus weather services 2011- visto el 1 de agosto del 2011 www.nimbus.com.uy/helada.php

5.2. Heladas negras

En la helada negra el descenso por debajo de 0°C (cero) no va acompañado de formación de hielo. Su designación responde a la visualización de la coloración que adquieren algunos órganos vegetales debido a la destrucción causada por el frío.

Este tipo de heladas se produce cuando la masa de aire es seca. El cielo cubierto o semicubierto o la turbulencia en capas bajas de la atmósfera favorecen la formación de este tipo de heladas.

La helada negra recibe esta denominación porque si bien la temperatura ha bajado a 0°C (cero) o menos, no se presenta escarcha. En estos casos la planta afectada adquiere un color negro al día siguiente de producirse la helada. El vegetal, o parte de él afectada por el frío, muere.

Resultados:

Tabla 1 Quimsacocha - Heladas blancas - Temperatura y humedad relativa

	Fecha	Temperatura	Humedad
	d/m/a	°C	%
1	16/10/2005	-1,50	73,42
2	19/11/2005	-1,30	48,96
3	04/01/2006	-1,30	65,17
4	14/04/2006	-0,60	70,17
5	18/02/2007	-1,00	75,00
6	19/02/2007	-1,60	75,67
7	21/02/2007	-0,70	64,42
8	15/10/2007	-1,00	77,04
9	28/10/2007	-1,20	74,52
10	05/12/2007	-1,70	64,17
11	06/12/2007	-1,70	67,13
12	05/06/2008	-0,60	62,96
13	10/09/2010	-1,2	66,13
14	05/11/2010	-1,4	53,13
15	24/11/2010	-0,9	62,92
16	25/11/2010	-0,4	64,00
17	12/03/2011	-0,6	72,21
18	16/03/2011	-1,2	76,44
19	12/08/2011	-0,8	78,04
20	17/10/2011	-1,2	48,92
21	18/10/2011	-2,3	58,54
22	19/10/2011	-4,1	72,90
23	20/10/2011	-2,00	59,83
24	21/10/2011	-2,80	54,71
25	22/10/2011	-2,50	57,35
26	21/11/2011	-0,50	56,42

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D

Las heladas blancas son las que se producen cuando la temperatura se encuentra bajo los 0°C (cero) grados centígrados y la humedad relativa es superior al 45%, en este caso tenemos 26 heladas blancas marcadas por los sensores de la estación meteorológica de Quimsacocha.

Tabla 2 Quimsacocha - Heladas Negras - Temperatura y Humedad relativa

	Fecha	Temperatura	Humedad
	d/m/a	°C	%
1	24/11/2005	-3,00	29,69
2	25/11/2005	-3,90	26,94
3	26/11/2005	-3,90	32,96
4	27/11/2005	-3,70	29,88
5	28/11/2005	-5,30	30,88
6	29/11/2005	-4,10	26,54
7	01/10/2009	-2,7	44,38

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D

Las heladas negras son las que se producen cuando la temperatura se encuentra bajo los 0°C (cero) grados centígrados y la humedad relativa es inferior al 45%, en este caso tenemos 7 heladas negras marcadas por los sensores de la estación meteorológica de Quimsacocha.⁸

Tabla 3 La Esmeralda - Heladas blancas - Temperatura y humedad relativa

	Fecha	Humedad	Temperatura
	d/m/a	%	°C
1	21/01/2005	62,38	-0,2
2	05/06/2008	68,83	-4,00
3	13/09/2009	69,98	-0,28
4	06/11/2009	69,66	-0,48
5	07/11/2009	68,35	-1,41
6	09/11/2009	69,98	-0,37
7	19/08/2010	74,01	-0,79
8	21/05/2005	51,70	-0,6

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D

Las heladas blancas son las que se producen cuando la temperatura se encuentra bajo los 0°C (cero) grados centígrados y la humedad relativa esta sobre el 45%, en este caso tenemos 8 heladas blancas marcadas por los sensores de la estación meteorológica de La Esmeralda.

⁹ El autor – Andrés Bernardo Cordero D.

Las heladas negras son las que se producen cuando la temperatura se encuentra bajo los 0°C (cero) grados centígrados y la humedad relativa está por debajo del 45%, en este caso no se han manifestado en la estación meteorológica de La Esmeralda.

6. Calendarización de la frecuencia de las heladas

En la tabla 4 están enumeradas las heladas que se han producido desde el mes de octubre del 2005 hasta el mes de noviembre del 2011, englobando heladas leves que son aquellas que tienen una duración menor a tres horas y dañinas con una duración mínima de tres horas.

Resultados:

Tabla 4 Quimsacocha - listado de heladas dañinas y leves

	Fecha	Temperatura	Humedad
	d/m/a	°C	%
1	16/10/2005	-1,50	73,42
2	19/11/2005	-1,30	48,96
3	22/11/2005	-1,70	57,21
4	24/11/2005	-3,00	29,69
5	25/11/2005	-3,90	26,94
6	26/11/2005	-3,90	32,96
7	27/11/2005	-3,70	29,88
8	28/11/2005	-5,30	30,88
9	29/11/2005	-4,10	26,54
10	30/11/2005	-0,60	55,38
11	08/12/2005	-0,10	66,71
12	01/01/2006	-0,20	88,54
13	04/01/2006	-1,30	65,17
14	14/04/2006	-0,60	70,17
15	14/12/2006	-0,70	72,67
16	07/02/2007	-0,10	74,13
17	17/02/2007	-1,20	89,50
18	18/02/2007	-1,00	75,00
19	19/02/2007	-1,60	75,67
20	21/02/2007	-0,70	64,42
21	15/10/2007	-1,00	77,04
22	28/10/2007	-1,20	74,52
23	03/12/2007	-1,50	64,42
24	04/12/2007	-1,50	60,13
25	05/12/2007	-1,70	64,17

26	06/12/2007	-1,70	67,13
27	05/06/2008	-0,60	62,96
28	06/06/2008	-0,20	60,96
29	17/08/2008	-0,30	65,25
30	29/09/2009	-1,2	71,79
31	30/09/2009	-0,1	51,33
32	01/10/2009	-2,7	44,38
33	02/10/2009	-1,1	55,67
34	03/10/2009	-0,3	52,67
35	10/09/2010	-1,2	66,13
36	05/11/2010	-1,4	53,13
37	20/11/2010	-0,1	87,75
38	23/11/2010	-0,1	73,78
39	24/11/2010	-0,9	62,92
40	25/11/2010	-0,4	64,00
41	12/03/2011	-0,6	72,21
42	13/03/2011	-0,7	70,43
43	16/03/2011	-1,2	76,44
44	19/05/2011	-0,9	45,94
45	20/05/2011	-0,1	55,25
46	11/08/2011	-0,1	87,60
47	12/08/2011	-0,8	78,04
48	04/09/2011	-0,1	99,17
49	17/10/2011	-1,2	48,92
50	18/10/2011	-2,3	58,54
51	19/10/2011	-4,1	72,90
52	20/10/2011	-2,00	59,83
53	21/10/2011	-2,80	54,71
54	22/10/2011	-2,50	57,35
55	16/11/2011	-0,30	79,00
56	17/11/2011	-1,10	67,02
57	19/11/2011	-0,20	57,08
58	20/11/2011	-0,30	55,75
59	21/11/2011	-0,50	56,42
60	22/11/2011	-0,30	65,21

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D

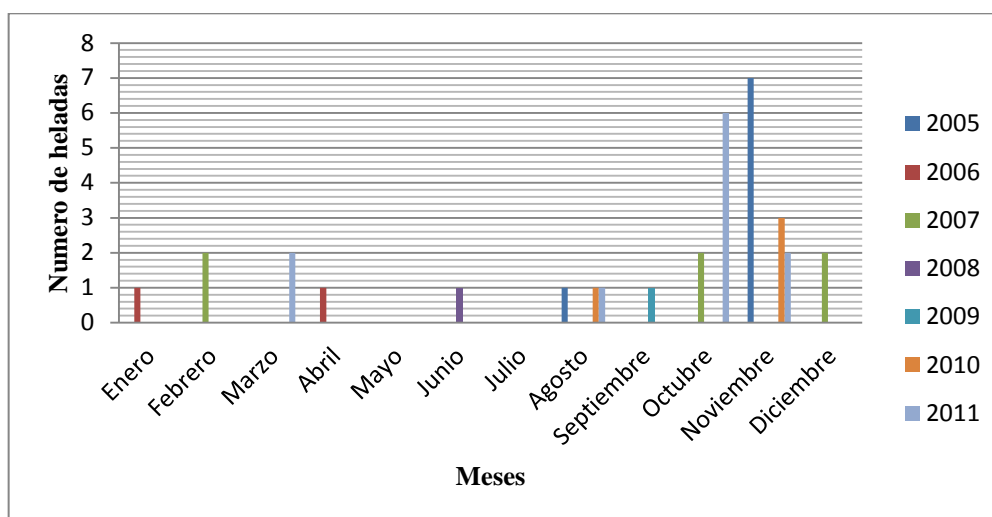
Tabla 5 Quimsacocha - Lista de frecuencia de heladas dañinas

	Fecha	Temperatura	Humedad
	d/m/a	°C	%
1	16/10/2005	-1,50	73,42
2	19/11/2005	-1,30	48,96
3	24/11/2005	-3,00	29,69
4	25/11/2005	-3,90	26,94
5	26/11/2005	-3,90	32,96
6	27/11/2005	-3,70	29,88
7	28/11/2005	-5,30	30,88
8	29/11/2005	-4,10	26,54
9	04/01/2006	-1,30	65,17
10	14/04/2006	-0,60	70,17
11	18/02/2007	-1,00	75,00
12	19/02/2007	-1,60	75,67
13	21/02/2007	-0,70	64,42
14	15/10/2007	-1,00	77,04
15	28/10/2007	-1,20	74,52
16	05/12/2007	-1,70	64,17
17	06/12/2007	-1,70	67,13
18	05/06/2008	-0,60	62,96
19	01/10/2009	-2,7	44,38
20	10/09/2010	-1,2	66,13
21	05/11/2010	-1,4	53,13
22	24/11/2010	-0,9	62,92
23	25/11/2010	-0,4	64,00
24	12/03/2011	-0,6	72,21
25	16/03/2011	-1,2	76,44
26	12/08/2011	-0,8	78,04
27	17/10/2011	-1,2	48,92
28	18/10/2011	-2,3	58,54
29	19/10/2011	-4,1	72,90
30	20/10/2011	-2,00	59,83
31	21/10/2011	-2,80	54,71
32	22/10/2011	-2,50	57,35
33	21/11/2011	-0,50	56,42

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D

Mediante un gráfico estadístico podemos ver cuántas heladas dañinas se produjeron por año y por mes, observando que en algunos meses se ha presentado con más frecuencia este fenómeno.

Grafico 1 Quimsacocha - Calendarización de la frecuencia de las heladas

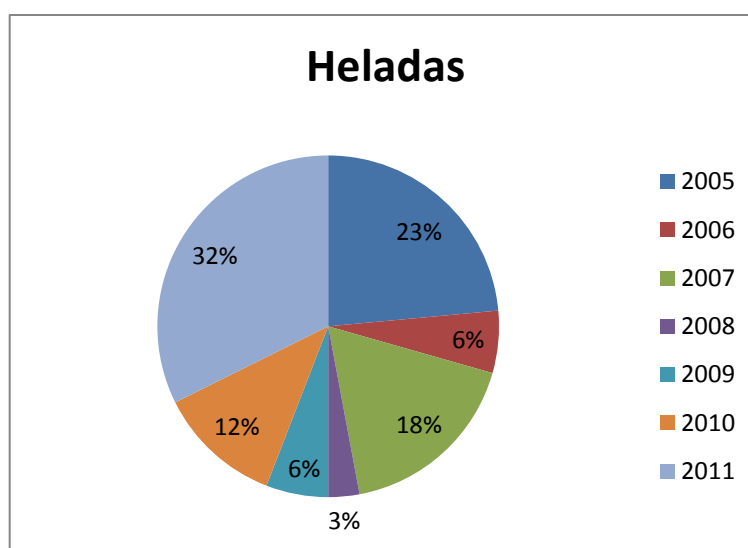


Autor – Andrés Bernardo Cordero D.

En el Grafico 1, podemos observar que en el año 2005 se han producido heladas en los meses de octubre y noviembre, 1-7 respectivamente, en el año 2006 aparece en los meses de enero y abril, 1-1 respectivamente, en el año 2007 se ha producido en los meses de febrero, octubre y diciembre, 2-2-2 respectivamente, en el año 2008 este fenómeno aparece en el mes de junio, 1 helada respectivamente, en el año 2009 se produce la helada en los meses de octubre, 1 helada respectivamente, en el año 2010 aparece en el mes de septiembre y noviembre con una cantidad de 1-3 respectivamente y en el año 2011 se produce este fenómeno en los meses de marzo, agosto, octubre y noviembre, 2-1-6-2 respectivamente.

Constatando que en el año 2011 se ha producido una mayor frecuencia de heladas en comparación con los otros años, presentando 11 heladas durante todo el año. La mayoría de heladas se encuentran en el mes de octubre.

Grafico 2 Porcentaje de heladas por año - Quimsacocha



Autor – Andrés Bernardo Cordero D

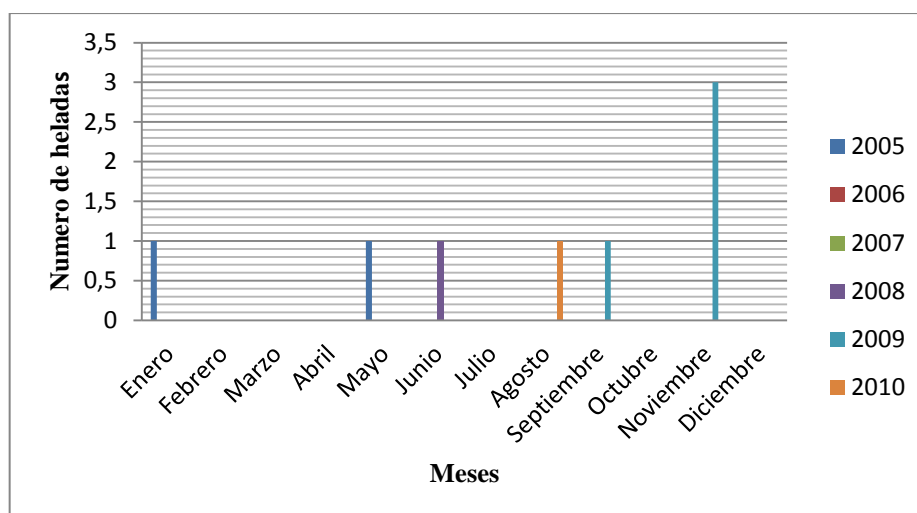
En el Grafico 2 podemos observar la incidencia en porcentajes por año del fenómeno meteorológico la helada, siendo el año 2011 el más alto con el 32%, y le sigue con el 23% el año 2005.

Tabla 6 La Esmeralda - Lista de frecuencia de heladas

	Fecha	Humedad	Temperatura
	d/m/a	%	°C
1	21/01/2005	62,38	-0,2
2	05/06/2008	68,83	-4,00
3	13/09/2009	69,98	-0,28
4	06/11/2009	69,66	-0,48
5	07/11/2009	68,35	-1,41
6	09/11/2009	69,98	-0,37
7	19/08/2010	74,01	-0,79
8	21/05/2005	51,70	-0,6

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D

Grafico 3 La Esmeralda - Calendarización de la frecuencia de heladas

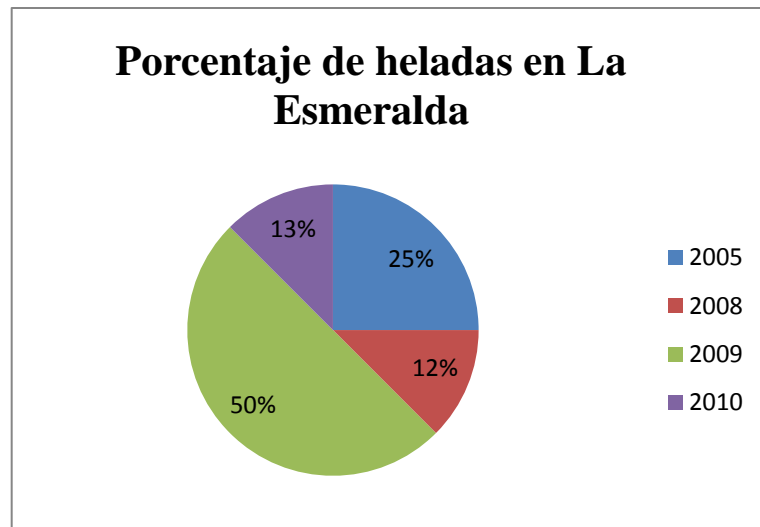


Autor – Andrés Bernardo Cordero D.

En el gráfico 3, podemos observar que en el año 2005 se han producido heladas en los meses de enero y mayo, 1-1 respectivamente, en el año 2008 aparece en el mes de junio, 1 respectivamente, en el año 2009 se ha producido en los meses de septiembre y noviembre, 1-3 respectivamente, en el año 2010 este fenómeno aparece en el mes de agosto, 1 respectivamente.

Constatando que en el año 2009 se ha producido una mayor frecuencia de heladas en comparación con los otros años, presentando 4 heladas durante todo el año. La mayoría de heladas se encuentran en el mes noviembre.

Grafico 4 Porcentaje de heladas por cada año - La Esmeralda



Autor – Andrés Bernardo Cordero D

En el Grafico 4 podemos observar la incidencia en porcentajes por año del fenómeno meteorológico la helada, siendo el año 2009 el más alto con el 50%, y le sigue con el 25% el año 2005.

Tabla 7 San Gerardo - Lista de frecuencia de heladas

	Temperatura	Humedad
Fecha	Mínima	Media
m/a	°C	%
ene-08	4,71	92,95
feb-08	5,13	91,29
mar08	5,15	90,93
abr-08	5,44	88,97
may-08	5,41	86,26
jun-08	3,51	76,65
jul-08	4,09	76,17
ago-08	2,74	73,68
sep-08	5,44	73,83
oct-08	5,82	84,21
nov08	5,02	85,43
dic-08	4,95	88,63
ene-09	6,74	92,84
feb-09	6,66	92,05
mar09	5,44	88,56
abr-09	6,00	84,32
may09	5,75	80,67
jun-09	5,58	75,62
jul-09	5,48	73,45
ago-09	4,84	73,56
sep-09	5,75	63,96
oct-09	5,67	74,81
nov-09	3,67	75,74
dic-09	6,36	86,98
ene-10	6,51	82,92
feb-10	7,72	85,33
mar-10	6,00	86,50
abr-10	6,74	86,31
may-10	7,59	83,48
jun-10	7,04	79,54
jul-10	5,62	78,63
ago-10	2,77	65,34
sep-10	5,59	67,51
oct-10	5,08	75,28
nov-10	3,20	79,42
dic-10	4,53	91,25
ene-11	6,15	91,66
feb-11	5,90	91,18
mar-11	2,98	87,05
abr-11	6,31	89,04
may-11	3,20	79,81
jun-11	5,13	80,91
jul-11	5,21	79,59

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Como podemos observar en la Tabla 7 en la estación meteorológica de San Gerardo donde existen dos sensores de temperatura, no se presentó el fenómeno meteorológico “la helada” registrando como temperaturas más bajas las de 2.74 y 2.77 grados centígrados, desde el año 2008, año en que fueron instalados los sensores.

7. Determinación de las temperaturas en las que se producen las heladas

El concepto de helada⁹ admite una interpretación más biológica. Se considera como tal, a los descensos térmicos capaces de causar daños a los tejidos vegetales, los cuales resultaran diferentes según las especies y variedades, el estado fenológico y sanitario, edad, etc. Se define como helada agro meteorológica a la ocurrencia de una temperatura mínima diaria no superior a 3°C grados centígrados a 1.50m de altura dentro del refugio meteorológico. Este tipo de helada es de interés para ciertos cultivos de porte bajo como los hortícolas pues equivale a 0°C grados centígrados o menos a la intemperie en superficie según Hirschorn (Burgos, 1963). Comúnmente una helada está asociada al concepto de temperatura ambiental inferior a 0°C ya que es a esta temperatura a la cual el metabolismo de un vegetal comienza a hacerse más lento y por otra parte es la temperatura a la cual comienza el agua en estado líquido a cambiar a su estado sólido.

Por otra parte el concepto de helada está íntimamente relacionado al de congelación¹⁰, ya que a temperaturas inferiores a los 0°C cualquier tejido u órgano vegetal comienza a congelarse.

⁹ Riesgos climáticos: Caracterización Agroclimática de las heladas en cinco Salto (Río negro, Argentina), Ing. Agr. Juliana Gastiazoro Bleter – visto el 10 de mayo del 2011 www.redagraria.com/publicaciones_cientificas/riesgos_climaticos/principal/3_introduccion.html Hirschorn (Burgos, 1963).

¹⁰ Las heladas en fruticultura, Sergio Antonio Toledo Vivas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – visto el 10 de mayo del 2011 www.ecoplant.cl/LAS%20HELADAS%20EN%20FRUTICULTURA.pdf

En todo proceso de congelación está directamente relacionada el agua. El agua es el termorregulador biológico más importante. Este elemento se encuentra presente en todos los organismos vivos y participa en una serie de reacciones metabólicas y procesos del vegetal.

Es así que las bajas temperaturas tienen una influencia sobre los tejidos u órganos, los cuales al estar constituidos por células y estas por un gran porcentaje de agua se ven afectados directamente.

Para abordar un acontecimiento de esta magnitud es necesario tener un conocimiento acabado de ciertos conceptos y fundamentos que relacionan este evento con los vegetales.

En la estación de Quimsacocha se ha registrado como la mínima $-5,30^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y la máxima de las mínimas es $0,4^{\circ}\text{C}$ grados centígrados.

Resultados:

Tabla 8 Lista de temperaturas por cada helada - Quimsacocha

	Fecha	Temperatura
	d/m/a	°C
1	16/10/2005	-1,50
2	19/11/2005	-1,30
3	24/11/2005	-3,00
4	25/11/2005	-3,90
5	26/11/2005	-3,90
6	27/11/2005	-3,70
7	28/11/2005	-5,30
8	29/11/2005	-4,10
9	04/01/2006	-1,30
10	14/04/2006	-0,60
11	18/02/2007	-1,00
12	19/02/2007	-1,60
13	21/02/2007	-0,70
14	15/10/2007	-1,00
15	28/10/2007	-1,20
16	05/12/2007	-1,70
17	06/12/2007	-1,70
18	05/06/2008	-0,60
19	01/10/2009	-2,7
20	10/09/2010	-1,2
21	05/11/2010	-1,4
22	24/11/2010	-0,9
23	25/11/2010	-0,4
24	12/03/2011	-0,6
25	16/03/2011	-1,2
26	12/08/2011	-0,8
27	17/10/2011	-1,2
28	18/10/2011	-2,3
29	19/10/2011	-4,1
30	20/10/2011	-2,00
31	21/10/2011	-2,80
32	22/10/2011	-2,50
33	21/11/2011	-0,50

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

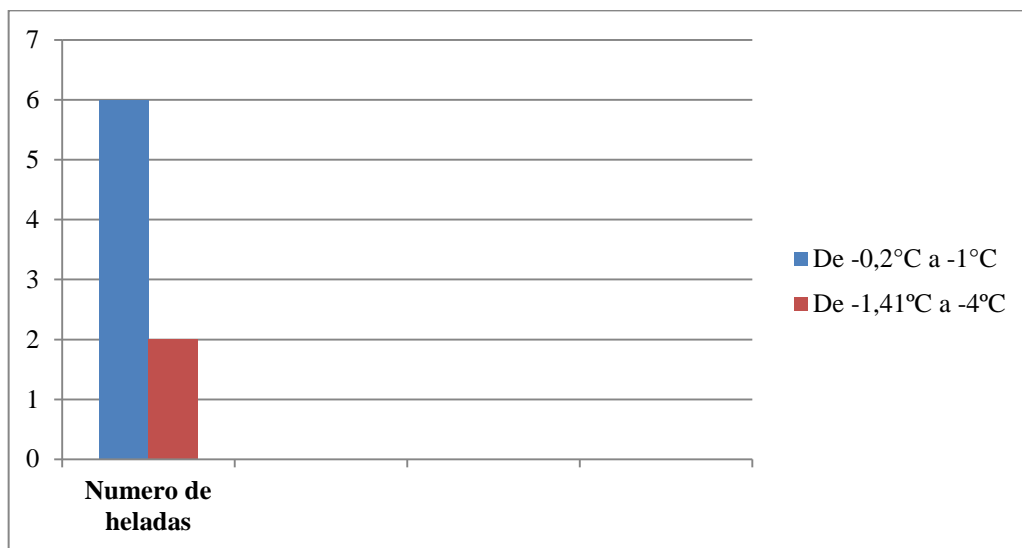
Grafico 5 Quimsacocha - Rangos de temperatura en las que se produce las heladas



Autor – Andrés Bernardo Cordero D.

En el Grafico 5 podemos observar los rangos de temperatura en los que se ha producido heladas en la zona de Quimsacocha, como temperatura máxima registrada $-0,40^{\circ}\text{C}$, y la mínima registrada es de $-5,30^{\circ}\text{C}$, y la media es de $-1,90^{\circ}\text{C}$, tomando en cuenta que cualquiera de estas temperaturas con una duración mínima de 3 horas se la considera como dañina.

Grafico 6 La Esmeralda - Rango de temperaturas en las que se produce la helada



Autor – Andrés Bernardo Cordero D.

En el Grafico 6 podemos observar los rangos de temperatura en los que se ha producido heladas en la zona de la estación meteorológica, como temperatura máxima registrada tenemos $-0,2^{\circ}\text{C}$, y la mínima registrada es de $-4,00^{\circ}\text{C}$, tomando en cuenta que cualquiera de estas temperaturas con una duración mínima de 3 horas se la considera como dañina.

8. Determinación de la Radiación en la que se producen heladas

8.1. Radiación solar

Es la energía emitida por el sol en forma de radiación electromagnética que llega a la atmósfera. Se mide en superficie horizontal, mediante el sensor de radiación o piranómetro, que se sitúa orientado al sur y en un lugar libre de sombras. La unidad de medida es vatios por metro cuadrado (w/m^2).

La radiación solar medida en cada una de las estaciones meteorológicas es ofrecida en unidades de POTENCIA y está en vatios por metro cuadrado (w/m2).¹¹

La superficie terrestre se calienta durante el día por la acción de los rayos solares. Por la noche la tierra irradia el calor recibido durante el día, y así la superficie terrestre se enfría junto con la capa de aire que está en contacto con el suelo. Como consecuencia del enfriamiento producido por la irradiación terrestre, el vapor de agua se condensa sobre la superficie de la tierra y se forman gotas de rocío. Si el enfriamiento es muy intenso, el vapor de agua pasa directamente al estado de hielo formándose la escarcha, que se deposita en forma de escamas sobre el suelo.¹²

Resultados:

Por lo tanto si existió en el día una radiación solar alta, más una humedad relativa alta, la cantidad de escarcha que se forme será mayor y si la radiación solar fue alta y la humedad estuvo por debajo de 45% la cantidad de escarcha será más baja.

8.2. Estación Meteorológica de Quimsacocha

Datos de radiación Solar en el fenómeno meteorológico “la helada”:

Máxima: 346.75 Watts/m²

Mínima: 125.18 Watts/ m²

¹¹ Radiación Solar-Meteorología y Climatología de Navarra, Gobierno de Navarra, visto el 4 de agosto del 2011-
www.meteo.navarra.es/definiciones/radiacion_solar.cfm

¹² Apuntes de meteorología agrícola, Fuentes, Yague J. Luis. Op. Cit., p. 155. Visto el 11 de noviembre del 2011.

Tabla 9 Radiación solar - Quimsacocha

	Fecha	Temperatura	Humedad	Radiación solar
	d/m/a	°C	%	W/m ²
1	16/10/2005	-1,50	73,42	338,38
2	19/11/2005	-1,30	48,96	346,75
3	24/11/2005	-3,00	29,69	125,18
4	25/11/2005	-3,90	26,94	131,83
5	26/11/2005	-3,90	32,96	282,13
6	27/11/2005	-3,70	29,88	344,33
7	28/11/2005	-5,30	30,88	345,75
8	29/11/2005	-4,10	26,54	338,13
9	04/01/2006	-1,30	65,17	318,50
10	14/04/2006	-0,60	70,17	262,92
11	18/02/2007	-1,00	75,00	305,13
12	19/02/2007	-1,60	75,67	310,54
13	21/02/2007	-0,70	64,42	311,75
14	15/10/2007	-1,00	77,04	225,17
15	28/10/2007	-1,20	74,52	262,39
16	05/12/2007	-1,70	64,17	338,79
17	06/12/2007	-1,70	67,13	264,04
18	05/06/2008	-0,60	62,96	263,83
19	01/10/2009	-2,7	44,38	307,25
20	10/09/2010	-1,2	66,13	330,54
21	05/11/2010	-1,4	53,13	308,779
22	24/11/2010	-0,9	62,92	341,92
23	25/11/2010	-0,4	64,00	305,13
24	12/03/2011	-0,6	72,21	289,54
25	16/03/2011	-1,2	76,44	222,00
26	12/08/2011	-0,8	78,04	280,44
27	17/10/2011	-1,2	48,92	290,58
28	18/10/2011	-2,3	58,54	287,67
29	19/10/2011	-4,1	72,90	211,08
30	20/10/2011	-2,00	59,83	321,23
31	21/10/2011	-2,80	54,71	305,96
32	22/10/2011	-2,50	57,35	328,13
33	21/11/2011	-0,50	56,42	320,10

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

8.3. Estación Meteorológica de La Esmeralda

Datos de radiación Solar en el fenómeno meteorológico “la helada”:

Maxima: 258.46 Watts/m²

Minima: 118.25 Watts/ m²

Tabla 10 Radiación Solar - La Esmeralda

	Fecha	Humedad	Temperatura	Radiación solar
	d/m/a	%	°C	Watt/m ²
1	21/01/2005	62,38	-0,2	224,54
2	05/06/2008	68,83	-4	247,75
3	13/09/2009	69,98	-0,28	118,25
4	06/11/2009	69,66	-0,48	156,08
5	07/11/2009	68,35	-1,41	258,46
6	09/11/2009	69,98	-0,37	223,46
7	19/08/2010	74,01	-0,79	184,29
8	21/05/2005	51,7	-0,6	237,17

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

9. Determinación de la humedad relativa en la que se producen heladas

La helada blanca se produce siempre en la madrugada o a la salida del sol, con cielo despejado y con una humedad relativa mayor al 45 %, no hay nubosidad y el viento normalmente está en calma.

Por Advección: Por su aspecto puede ser blanca o negra dependiendo de la abundancia o escases de humedad.

Por Radiación: Se origina cuando la humedad relativa del aire aledaño al suelo es muy baja, la cual disminuye más cuando se presenta un viento seco que se lleva a aquella.

Por Evaporación: se debe a la evaporación del agua de la vegetación superficial, por lo que el aire se seca y la humedad relativa baja.

Blanca: Se produce cuando hay mucha humedad

Negra: Esta helada no va acompañada por formación de hielo, ya que el porcentaje de humedad es bajo produciendo como signo principal manchas negras sobre las hojas, esto se debe a que la temperatura es muy baja la cual hace que se quemé la planta.¹³

¹³ <http://www.huertofenologicounam.com/> Las plantas y las heladas, Oscar Domínguez 2007 – visto el 2 de diciembre del 2011 www.jardinactual.com/menu-revista-articulos/205-LAS_PLANTAS_Y_LAS_HELADAS

Resultados:

Tabla 11 Quimsacocha - humedad relativa - heladas blancas

	Fecha	Temperatura	Humedad
	d/m/a	°C	%
1	16/10/2005	-1,50	73,42
2	19/11/2005	-1,30	48,96
3	04/01/2006	-1,30	65,17
4	14/04/2006	-0,60	70,17
5	18/02/2007	-1,00	75,00
6	19/02/2007	-1,60	75,67
7	21/02/2007	-0,70	64,42
8	15/10/2007	-1,00	77,04
9	28/10/2007	-1,20	74,52
10	05/12/2007	-1,70	64,17
11	06/12/2007	-1,70	67,13
12	05/06/2008	-0,60	62,96
13	10/09/2010	-1,2	66,13
14	05/11/2010	-1,4	53,13
15	24/11/2010	-0,9	62,92
16	25/11/2010	-0,4	64,00
17	12/03/2011	-0,6	72,21
18	16/03/2011	-1,2	76,44
19	12/08/2011	-0,8	78,04
20	17/10/2011	-1,2	48,92
21	18/10/2011	-2,3	58,54
22	19/10/2011	-4,1	72,90
23	20/10/2011	-2,00	59,83
24	21/10/2011	-2,80	54,71
25	22/10/2011	-2,50	57,35
26	21/11/2011	-0,50	56,42

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

La tabla 11 nos muestra los porcentajes de humedad en los cuales se produce este fenómeno meteorológico llamado helada blanca, ya que los valores de humedad son superiores al 45%. Con este porcentaje más la temperatura bajo los 0°C (cero) grados centígrados aparece la escarcha y congelamiento de la planta.

Tabla 12 Quimsacocha - humedad relativa - heladas negras

	Fecha	Temperatura	Humedad
	d/m/a	°C	%
1	24/11/2005	-3,00	29,69
2	25/11/2005	-3,90	26,94
3	26/11/2005	-3,90	32,96
4	27/11/2005	-3,70	29,88
5	28/11/2005	-5,30	30,88
6	29/11/2005	-4,10	26,54
7	01/10/2009	-2,7	44,38

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

La tabla 12 nos presenta los porcentajes de humedad en los cuales se produce una helada negra, ya que los valores de humedad son inferiores al 45%, produciendo manchas negras en la planta.

Tabla 13 La Esmeralda - humedad relativa - heladas blancas

	Fecha	Humedad	Temperatura
	d/m/a	%	°C
1	21/01/2005	62,38	-0,2
2	05/06/2008	68,83	-4,00
3	13/09/2009	69,98	-0,28
4	06/11/2009	69,66	-0,48
5	07/11/2009	68,35	-1,41
6	09/11/2009	69,98	-0,37
7	19/08/2010	74,01	-0,79
8	21/05/2005	51,70	-0,6

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

La tabla 13 contiene los porcentajes de humedad de la estación meteorológica La Esmeralda, los cuales son altos, produciendo así la helada blanca ya que esta se presenta con un porcentaje mayor al 45% y con una temperatura bajo los 0°C (cero) grados centígrados.

Tabla 14 San Gerardo - humedad relativa - heladas blancas

Fecha	Temperatura	Humedad
m/a	°C	%
ago08	2,74	73,68
ago10	2,77	65,34

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

En la estación meteorológica se San Gerardo tenemos registradas dos temperaturas mínimas de 2.74°C y 2.77°C grados centígrados con humedades relativas de 73.68% y 65.34% respectivamente, produciendo teóricamente una helada blanca.

10. Determinación del tiempo de duración de las heladas en el set de datos meteorológicos

Para que la helada pueda hacer daño al cultivo es necesario que se mantenga la temperatura y tiempo suficiente, se tiene como hipótesis que la duración mínima debe ser de tres horas.¹⁴ En la estación meteorológica de Quimsacocha se han registrado 33 heladas dañinas desde el mes de octubre del año 2005, hasta el mes de noviembre del 2011 con una duración promedio de 5.64 horas.¹⁵

¹⁶ Datos de las estaciones meteorológicas (Quimsacocha, La Esmeralda y San Gerardo propiedad del PROMAS Universidad de Cuenca, Ing. Cristian Coello/ Ing. Paul Arizaga)

¹⁵ Información procesada por: Andrés Bernardo Cordero D.

Resultados:

Tabla 15 Quimsacocha - Helada 1

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
16/10/2005/3:00	-0,2	75
16/10/2005 3:30	-0,3	71
16/10/2005 4:00	-0,5	60
16/10/2005 4:30	-1	57
16/10/2005 5:00	-1,5	55
16/10/2005 5:30	-1,4	49
16/10/2005 6:00	-0,2	44

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 3 horas

La helada número 1, tiene una duración de 3 horas, iniciando a las 3H con una temperatura de $-0,2^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 75%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 5H con una temperatura de $-1,5^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 55%. Finalizando la helada con una temperatura de $-0,2^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 44%, con estos datos podríamos decir que termina con una helada negra.

Tabla 16 Quimsacocha - helada 2

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
19/11/2005/0:00	0	72
19/11/2005 1:00	-0,5	63
19/11/2005 2:00	-1,3	54
19/11/2005 3:00	-1,3	42
19/11/2005 4:00	-0,8	35
19/11/2005 6:00	-0,5	23
19/11/2005 7:00	0	22

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 7 horas

La helada número 2, tiene una duración de 7 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de 0°C (cero) grados centígrados y con una humedad del 72%, presentando desde el inicio una helada blanca.

El pico más bajo de temperatura que registra es a las 2H y 3H con una temperatura de $-1,3^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 54% y 42 respectivamente. Finalizando la helada con una temperatura de 0°C (cero) grados centígrados y una humedad del 22%, con estos datos podríamos decir que termina con una helada negra.

Tabla 17 Quimsacocha - helada 3

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	$^{\circ}\text{C}$	%
24/11/2005/4:00	-0,2	26
24/11/2005 5:00	-2,8	30
24/11/2005 6:00	-3	29
24/11/2005 7:00	-1,9	25
24/11/2005 8:00	0	27

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 4 horas

La helada número 3, tiene una duración de 4 horas, iniciando a las 4H con una temperatura de $-0,2^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 26%, presentando desde el inicio una helada negra. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 5H con una temperatura de $-2,8^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 30%. Finalizando la helada con una temperatura de 0°C (cero) grados centígrados y una humedad del 27%, teniendo como resultado una helada negra con una duración de 4 horas, produciendo en la planta quemaduras, mostrando como signo manchas negras en la planta, esto se debe a la baja humedad relativa.

Tabla 18 Quimsacocha - helada 4¹⁶

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
25/11/2005/2:00	-1,7	15
25/11/2005 3:00	-0,6	22
25/11/2005 4:00	-2,6	23
25/11/2005 5:00	-3	28
25/11/2005 6:00	-3,9	21
25/11/2005 7:00	-2,3	23
25/11/2005 8:00	-1,1	19

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 6 horas

La helada número 4, tiene una duración de 6 horas, iniciando a las 2H con una temperatura de -1,7°C grados centígrados y con una humedad del 15%, presentando desde el inicio una helada negra. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 6H con una temperatura de -3,9°C grados centígrados y una humedad del 21%. Finalizando la helada con una temperatura de -1,1°C grados centígrados y una humedad del 19%, teniendo como resultado una helada negra con una duración de 6 horas, produciendo en la planta quemaduras, mostrando como signos manchas negras en la planta.

Tabla 19 Quimsacocha - helada 5

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
26/11/2005/1:00	-1,4	31
26/11/2005 2:00	-2,7	29
26/11/2005 3:00	-3,6	26
26/11/2005 4:00	-3,9	23
26/11/2005 5:00	-2,7	22
26/11/2005 6:00	-2,5	18
26/11/2005 7:00	-2,4	17
26/11/2005 8:00	-0,5	14

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 7 horas

⁸ Datos de las estaciones meteorológicas (Quimsacocha, La Esmeralda y San Gerardo propiedad del PROMAS Universidad de Cuenca, Ing. Cristian Coello/ Ing. Paul Arizaga), información procesada por: Andrés Bernardo Cordero D.

La helada número 5, tiene una duración de 7 horas, iniciando a las 1H con una temperatura de $-1,4^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 31%, presentando desde el inicio una helada negra. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 4H con una temperatura de $-3,9^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 23%. Finalizando la helada con una temperatura de $-0,5^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 14%, teniendo como resultado una helada negra con una duración de 7 horas, produciendo en la planta quemaduras, mostrando como signos manchas negras en la planta.

Tabla 20 Quimsacocha - helada 6

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	$^{\circ}\text{C}$	%
27/11/2005 1:00	-1,3	27
27/11/2005 2:00	-2,1	27
27/11/2005 3:00	-2,8	23
27/11/2005 4:00	-2	22
27/11/2005 5:00	-2,2	21
27/11/2005 6:00	-3,7	22
27/11/2005 7:00	-2,7	21
27/11/2005 8:00	-1,7	15

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 7 horas

La helada número 6, tiene una duración de 7 horas, iniciando a las 1H con una temperatura de $-1,3^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 27%, presentando desde el inicio una helada negra. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 6H con una temperatura de $-3,7^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 22%. Finalizando la helada con una temperatura de $-1,7^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 15%, teniendo como resultado una helada negra con una duración de 7 horas, produciendo en la planta quemaduras, mostrando como signos manchas negras en la planta.

Tabla 21 Quimsacocha - helada 7

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
28/11/2005/0:00	-2,1	33
28/11/2005 1:00	-2,7	42
28/11/2005 2:00	-3,3	39
28/11/2005 3:00	-2,9	39
28/11/2005 4:00	-5,2	54
28/11/2005 5:00	-5,3	48
28/11/2005 6:00	-3,2	48
28/11/2005 7:00	-3,9	44
28/11/2005 8:00	-3,4	33

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 8 horas.

La helada número 7, tiene una duración de 8 horas, siendo las más dañina de todas las heladas registradas por los sensores de la estación meteorológica, ya que las temperaturas que se registran son las más bajas iniciando a las 0:00H con una temperatura de -2,1°C grados centígrados y con una humedad del 33%, presentando desde el inicio una helada negra. Los picos más bajos de temperatura que se registra son a las 4H y 5H con una temperatura de -5,2°C y -5,3°C grados centígrados respectivamente y una humedad del 54% y 44%. Finalizando la helada con una temperatura de -3,4°C grados centígrados y una humedad del 33%, teniendo como resultado una helada negra con una duración de 6 horas produciendo quemaduras en la planta apareciendo como signo manchas negras y una helada blanca de 2 horas, produciendo en la planta congelamiento intra y extracelular, mostrando como signo escarcha sobre la planta.

Tabla 22 Quimsacocha - helada 8

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
29/11/2005/2:00	-0,3	28
29/11/2005 3:00	-1,9	36
29/11/2005 4:00	-2,2	33
29/11/2005 5:00	-4,1	35
29/11/2005 6:00	-2,3	25
29/11/2005 7:00	-1	29
29/11/2005 8:00	-1,5	24

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 6 horas.

La helada número 8, tiene una duración de 6 horas, iniciando a las 2H con una temperatura de -0,3°C grados centígrados y con una humedad del 28%, presentando desde el inicio una helada negra. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 5H con una temperatura de -4,1°C grados centígrados y una humedad del 35%. Finalizando la helada con una temperatura de -1,5°C grados centígrados y una humedad del 24%, teniendo como resultado una helada negra con una duración de 6 horas, produciendo en la planta quemaduras, mostrando como signos manchas negras en la planta.

Tabla 23 Quimsacocha - helada 9

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
04/01/2006/5:00	-0,5	75
04/01/2006 6:00	-1,2	73
04/01/2006 7:00	-1,3	70
04/01/2006 8:00	-0,7	55

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 3 horas.

La helada número 9, tiene una duración de 3 horas, iniciando a las 5H con una temperatura de -0,5°C grados centígrados y con una humedad del 75%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 7H con una temperatura de -1,3°C grados centígrados y una humedad del 22%.

Finalizando la helada con una temperatura de $-0,7^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 55%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 3 horas, produciendo en la planta congelamiento intra y extracelular, mostrando como signos la formación de escarcha sobre las plantas.

Tabla 24 Quimsacocha - helada 10

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	$^{\circ}\text{C}$	%
18/02/2007/0:00	-1	90
18/02/2007 1:00	-0,7	86
18/02/2007 2:00	-0,8	88
18/02/2007 3:00	-0,4	77
18/02/2007 4:00	-0,2	84
18/02/2007 5:00	-0,5	84
18/02/2007 6:00	-0,3	86
18/02/2007 7:00	-0,4	91

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 7 horas.

La helada número 10, tiene una duración de 7 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -1°C grado centígrado, siendo esta la temperatura más alta registrada y con una humedad del 90%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 6H con una temperatura de $-3,7^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 22%. Finalizando la helada con una temperatura de $-1,7^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 15%, teniendo como resultado una helada negra con una duración de 7 horas, produciendo en la planta quemaduras, mostrando como signos manchas negras en la planta.

Tabla 25 Quimsacocha - helada 11

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
14/04/2006/3:00	-0,2	81
14/04/2006 4:00	-0,3	81
14/04/2006 5:00	-0,2	79
14/04/2006 6:00	-0,6	80
14/04/2006 7:00	-0,3	75

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 4 horas.

La helada número 11, tiene una duración de 4 horas, iniciando a las 3H con una temperatura de $-0,2^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 81%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 6H con una temperatura de $-0,6^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 80%. Finalizando la helada con una temperatura de $-0,3^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 75%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 4 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 26 Quimsacocha - helada 12

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
15/10/2007/3:00	-0,6	93
15/10/2007 4:00	-0,8	92
15/10/2007 5:00	-1	93
15/10/2007 6:00	-0,4	90

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 3 horas.

La helada número 12, tiene una duración de 3 horas, iniciando a las 3H con una temperatura de $-0,6^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 93%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 5H con una temperatura de -1°C grado centígrado y una humedad del 93%.

Finalizando la helada con una temperatura de $-0,4^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 90%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 3 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 27 Quimsacocha - helada 13

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	$^{\circ}\text{C}$	%
19/02/2007/0:00	-0,7	93
19/02/2007 1:00	-0,5	93
19/02/2007 2:00	-1,3	91
19/02/2007 3:00	-1,6	89
19/02/2007 4:00	-1	87
19/02/2007 5:00	-0,6	84
19/02/2007 6:00	-0,4	81
19/02/2007 7:00	-1,4	81

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 7 horas.

La helada número 13, tiene una duración de 7 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de $-0,7^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 93%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 3H con una temperatura de $-1,6^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 89%. Finalizando la helada con una temperatura de $-1,4^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 81%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 7 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 28 Quimsacocha - helada 14

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
21/02/2007/0:00	-0,2	68
21/02/2007 3:00	-0,3	66
21/02/2007 4:00	-0,7	65
21/02/2007 5:00	-0,6	64
21/02/2007 6:00	-0,2	62
21/02/2007 7:00	-0,3	63

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 7 horas

La helada número 14, tiene una duración de 7 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -0,2°C grados centígrados y con una humedad del 68%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 4H con una temperatura de -0,7°C grados centígrados y una humedad del 65%. Finalizando la helada con una temperatura de -0,3°C grados centígrados y una humedad del 63%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 7 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 29 Quimsacocha - helada 15

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
28/10/2007/5:00	-0,6	93
28/10/2007 6:00	-0,6	95
28/10/2007 7:00	-1,2	94
28/10/2007 8:00	-1	95

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 3 horas.

La helada número 15, tiene una duración de 3 horas, iniciando a las 5H con una temperatura de -0,6°C grados centígrados y con una humedad del 93%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 7H con una temperatura de -1,2°C grados centígrados y una humedad del 94%.

Finalizando la helada con una temperatura de -1°C grado centígrado y una humedad del 95%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 3 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 30 Quimsacocha - helada 16

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	$^{\circ}\text{C}$	%
05/12/2007/0:00	-0,2	62
05/12/2007 1:00	-0,3	65
05/12/2007 2:00	-1,3	67
05/12/2007 3:00	-1	63
05/12/2007 4:00	-1	64
05/12/2007 5:00	-1,7	67
05/12/2007 6:00	-1,7	67
05/12/2007 7:00	-1,5	67
05/12/2007 8:00	-1,2	59

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 8 horas.

La helada número 16, tiene una duración de 8 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de $-0,2^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 62%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 5H y 6am con una temperatura de $-1,7^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 67%. Finalizando la helada con una temperatura de $-1,2^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 59%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 8 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 31 Quimsacocha - helada 17

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
06/12/2007/1:00	-0,6	80
06/12/2007 2:00	-1,1	75
06/12/2007 3:00	-0,8	72
06/12/2007 4:00	-1,6	69
06/12/2007 5:00	-1,7	63
06/12/2007 6:00	-1,6	69

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 5 horas

La helada número 17, tiene una duración de 5 horas, iniciando a la 1H con una temperatura de -0,6°C grados centígrados y con una humedad del 80%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 5H con una temperatura de -1,7°C grados centígrados y una humedad del 63%. Finalizando la helada con una temperatura de -1,6°C grados centígrados y una humedad del 69%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 4 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 32 Quimsacocha - helada 18

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
05/06/2008/0:00	-0,4	77
05/06/2008 1:00	-0,3	68
05/06/2008 2:00	-0,6	65
05/06/2008 3:00	-0,4	65
05/06/2008 4:00	-0,5	62
05/06/2008 5:00	-0,3	64
05/06/2008 6:00	-0,3	56

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 6 horas

La helada número 18, tiene una duración de 6 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -0,4°C grados centígrados y con una humedad del 77%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 2H con una temperatura de -0,6°C grados centígrados y una humedad del 65%.

Finalizando la helada con una temperatura de $-0,3^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 56%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 6 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 33 Quimsacocha - helada 19

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	$^{\circ}\text{C}$	%
01/10/2009/15:00	-0,1	60
01/10/2009 16:00	-0,8	43
01/10/2009 17:00	-2	57
01/10/2009 18:00	-2,1	60
01/10/2009 19:00	-2,7	63
01/10/2009 20:00	-2,8	53
01/10/2009 21:00	-1,7	50
01/10/2009 22:00	-0,8	37

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 7 horas.

La helada número 19, tiene una duración de 7 horas, iniciando a las 15H con una temperatura de $-0,1^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 60%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 20H con una temperatura de $-2,8^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 53%. Finalizando la helada con una temperatura de $-0,8^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 37%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 7 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular. Se presentaron dos humedades relativas menores al 45%, pero en duración la helada blanca prevalece.

Tabla 34 Quimsacocha - helada 20

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
10/09/2010/2:00	-0,3	86
10/09/2010 3:00	-1,2	81
10/09/2010 4:00	-1,3	64
10/09/2010 5:00	-0,1	58

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 3 horas

La helada número 20, tiene una duración de 3 horas, iniciando a las 2H con una temperatura de -0,3°C grados centígrados y con una humedad del 86%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 4H con una temperatura de -1,3°C grados centígrados y una humedad del 64%. Finalizando la helada con una temperatura de -0,1°C grados centígrados y una humedad del 58%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 3 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 35 Quimsacocha - helada 21

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
05/11/2010/12:00	-0,1	53
05/11/2010 1:00	-0,6	50
05/11/2010 2:00	-1,1	52
05/11/2010 3:00	-0,9	51
05/11/2010 4:00	-0,1	44
05/11/2010 5:00	-1,4	46
05/11/2010 6:00	-2,3	35

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 6 horas.

La helada número 21, tiene una duración de 6 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -0,1°C grados centígrados y con una humedad del 53%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 6H con una temperatura de -2,3°C grados centígrados y una humedad del 35%.

Finalizando la helada con una temperatura de $-2,3^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 35%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 5 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular, y una hora de helada negra, la cual no afecta ya que la helada blanca es la que prevalece y tiene mayor duración.

Tabla 36 Quimsacocha - helada 22

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	$^{\circ}\text{C}$	%
24/11/2010/3:00	-0,6	68
24/11/2010 4:00	-1,2	71
24/11/2010 5:00	-1,8	69
24/11/2010 6:00	-0,9	64
24/11/2010 7:00	-0,3	48

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 4 horas.

La helada número 22, tiene una duración de 4 horas, iniciando a las 3H con una temperatura de $-0,6^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 68%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 5H con una temperatura de $-1,8^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 69%. Finalizando la helada con una temperatura de $-0,3^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 48%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 4 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 37 Quimsacocha - helada 23

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
25/11/2010/0:00	-0,1	75
25/11/2010 1:00	-0,6	73
25/11/2010 2:00	-0,9	62
25/11/2010 3:00	-1,1	69
25/11/2010 4:00	-0,6	64
25/11/2010 6:00	-0,1	63
25/11/2010 7:00	-0,1	56

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 7 horas.

La helada número 23, tiene una duración de 7 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -0,1°C grados centígrados y con una humedad del 75%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 3H con una temperatura de -1,1°C grados centígrados y una humedad del 69%. Finalizando la helada con una temperatura de -0,1°C grados centígrados y una humedad del 56%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 7 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 38 Quimsacocha - helada 24

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
12/03/2011/1:30	-0,1	73
12/03/2011 2:00	-0,3	74
12/03/2011 2:30	-0,3	70
12/03/2011 4:30	-0,3	74
12/03/2011 5:00	-0,6	75
12/03/2011 5:30	-0,4	75
12/03/2011 6:00	-0,7	76
12/03/2011 6:30	-1	76
12/03/2011 7:00	-0,4	68

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 5.30 horas. **Helada blanca**

La helada número 24, tiene una duración de 5.30 horas, iniciando a las 1:30H con una temperatura de -0,1°C grados centígrados y con una humedad del 73%,

presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 6:30H con una temperatura de -1°C grado centígrado y una humedad del 76%. Finalizando la helada con una temperatura de $-0,4^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 68%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 5,30 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 39 Quimsacocha - helada 25

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	$^{\circ}\text{C}$	%
16/03/2011/1:00	-0,8	88
16/03/2011 1:30	-1,2	87
16/03/2011 2:00	-1,2	84
16/03/2011 2:30	-0,2	87
16/03/2011 3:00	-0,1	86
16/03/2011 3:30	-0,5	86
16/03/2011 4:00	-1,2	88
16/03/2011 4:30	-1,3	87
16/03/2011 5:00	-0,2	78
16/03/2011 6:30	-0,2	84

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 5.30 horas **helada blanca**

La helada número 25, tiene una duración de 5,30 horas, iniciando a las 1H con una temperatura de $-0,8^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 88%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 4:30H con una temperatura de $-1,30^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 87%. Finalizando la helada con una temperatura de $-0,2^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 84%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 5,30 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 40 Quimsacocha - helada 26

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
12/08/2011/0:30	-0,2	86
12/08/2011 1:00	-0,2	84
12/08/2011 1:30	-0,3	84
12/08/2011 2:00	-0,4	81
12/08/2011 2:30	-0,3	79
12/08/2011 3:00	-0,3	77
12/08/2011 3:30	-0,6	77
12/08/2011 4:00	-0,7	76
12/08/2011 4:30	-0,9	76
12/08/2011 5:00	-0,8	78
12/08/2011 5:30	-0,5	80
12/08/2011 6:00	-0,8	82
12/08/2011 6:30	-0,9	82
12/08/2011 7:00	-0,4	80

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 6.30 horas

La helada número 26, tiene una duración de 6,30 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -0,2°C grados centígrados y con una humedad del 86%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 4:30H con una temperatura de -0,9°C grados centígrados y una humedad del 76%. Finalizando la helada con una temperatura de -0,4°C grados centígrados y una humedad del 80%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 6,30 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 41 Quimsacocha - helada 27

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
17/10/2011/4:00	0	69
17/10/2011 4:30	-0,1	59
17/10/2011 5:00	-0,5	40
17/10/2011 6:00	-0,4	43
17/10/2011/19:30	-0,1	40
17/10/2011 22:00	-0,3	47
17/10/2011 22:30	-1,2	52
17/10/2011 23:00	-1,7	28

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 5.30 horas.

La helada número 27, tiene una duración de 5,30 horas, iniciando a las 4H con una temperatura de 0°C grados centígrados y con una humedad del 69%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 5H con una temperatura de -0,5°C grados centígrados y una humedad del 40%. Finalizando la primera helada con una temperatura de -0,4°C grados centígrados y una humedad del 43%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 1 hora y una helada negra con una duración de 1hora, luego se produce otra helada iniciando a las 19:30H con una temperatura de -0,1°C grados centígrados y con una humedad del 40%. El pico más bajo de temperatura que registra fue a las 23H con una temperatura de 1,7°C grados centígrados y una humedad del 28%, teniendo como resultado una helada de 3.30 horas y una helada total en el día de 5.30 horas.

Tabla 42 Quimsacocha - helada 28

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
18/10/2011/0:30	-0,8	45
18/10/2011 1:00	-1,3	39
18/10/2011 2:00	-0,1	40
18/10/2011 2:30	-0,3	43
18/10/2011 3:00	-0,9	51
18/10/2011 3:30	-0,8	55
18/10/2011 4:00	-1,1	61
18/10/2011 4:30	-0,8	65
18/10/2011/19:00	-0,2	84
18/10/2011 19:30	-0,2	83
18/10/2011 20:00	-0,2	75
18/10/2011 20:30	-0,1	65
18/10/2011 21:30	-0,1	71
18/10/2011 22:00	-1,3	76
18/10/2011 22:30	-2,2	78
18/10/2011 23:00	-2,7	79
18/10/2011 23:30	-2,3	76

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 8.30 horas

La helada número 28, tiene una duración de 4 horas, iniciando a las 0:30H con una temperatura de -0,8°C grados centígrados y con una humedad del 45%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 1H con una temperatura de -1,3°C grados centígrados y una humedad del 39%. Finalizando la primera helada con una temperatura de -0,8°C grados centígrados y una humedad del 65%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 3 horas y una helada negra con una duración de 1hora, luego se produce una segunda helada iniciando a las 19H con una temperatura de -0,2°C grados centígrados y con una humedad del 84%. El pico más bajo de temperatura que registro fue a las 23H con una temperatura de -2,7°C grados centígrados y una humedad del 79%, teniendo como resultado una helada de 4.30 horas y una helada total en el día de 8.30 horas.

Tabla 43 Quimsacocha - helada 29

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
19/10/2011/0:00	-1,9	75
19/10/2011 0:30	-2,1	74
19/10/2011 1:00	-2,4	76
19/10/2011 1:30	-2,6	74
19/10/2011 2:00	-2,8	76
19/10/2011 2:30	-3,2	79
19/10/2011 3:00	-3,9	81
19/10/2011 3:30	-4,1	83
19/10/2011 4:00	-4,1	83
19/10/2011 4:30	-2,9	77
19/10/2011 5:00	-1,3	72
19/10/2011 5:30	-0,3	62
19/10/2011 6:00	-0,2	75

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 6 horas

La helada número 29, tiene una duración de 6 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -1,9°C grados centígrados y con una humedad del 75%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 3:30H y 4am con una temperatura de -4,1°C grados centígrados y una humedad del 83%. Finalizando la helada con una temperatura de -0,2°C grados centígrados y una humedad del 75%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 6 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 44 Quimsacocha - helada 30

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
20/10/2011/0:00	-1,6	89
20/10/2011 0:30	-1,8	85
20/10/2011 1:00	-1,8	82
20/10/2011 1:30	-2,3	83
20/10/2011 2:00	-2	84
20/10/2011 2:30	-2,7	80
20/10/2011 3:00	-0,5	77
20/10/2011 3:30	-1,1	44

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 3.30 horas

La helada número 30, tiene una duración de 3,30 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de $-1,6^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y con una humedad del 89%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 2:30H con una temperatura de $-2,7^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 80%. Finalizando la helada con una temperatura de $-1,1^{\circ}\text{C}$ grados centígrados y una humedad del 44%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 3,30 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 45 Quimsacocha - helada 31

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
21/10/2011/0:00	-1,6	90
21/10/2011 0:30	-1,5	86
21/10/2011 1:00	-1,5	81
21/10/2011 1:30	-1,8	84
21/10/2011 2:00	-1,7	83
21/10/2011 2:30	-2,7	83
21/10/2011 3:00	-2,8	76
21/10/2011 3:30	-2,5	76
21/10/2011 4:00	-2,5	74
21/10/2011 4:30	-1,6	72
21/10/2011 5:00	-1,2	71
21/10/2011 5:30	-1,2	64
21/10/2011 6:00	-0,8	58
21/10/2011/19:30	-1,3	72
21/10/2011 20:00	-1,6	63
21/10/2011 20:30	-2,1	63
21/10/2011 21:00	-2,4	64
21/10/2011 21:30	-2,8	69
21/10/2011 22:00	-2,9	62
21/10/2011 22:30	-2,4	67
21/10/2011 23:00	-3,6	65
21/10/2011 23:30	-2,5	66

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 10 horas

La helada número 31, tiene una duración de 6 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -1,6°C grados centígrados y con una humedad del 90%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 1H con una temperatura de -2,8°C grados centígrados y una humedad del 76%. Finalizando la primera helada con una temperatura de -0,8°C grados centígrados y una humedad del 58%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 6 horas, luego se produce una segunda helada iniciando a las 19:30H con una temperatura de -1,3°C grados centígrados y con una humedad del 72%. El pico más bajo de temperatura que registro fue a las 23H con una temperatura de -3,6°C grados centígrados y una humedad del 65%, teniendo como resultado una helada de 4 horas y una helada total en el día de 10 horas.

Tabla 46 Quimsacocha - helada 32

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
22/10/2011/0:00	-2,4	61
22/10/2011 0:30	-2,5	65
22/10/2011 1:00	-2,9	64
22/10/2011 1:30	-2,5	67
22/10/2011 2:00	-2,5	66
22/10/2011 2:30	-2,4	66
22/10/2011 3:00	-2,1	62
22/10/2011 3:30	-1,7	62
22/10/2011 4:00	-1,8	59
22/10/2011 4:30	-1,1	56
22/10/2011 5:00	-1,9	57
22/10/2011 5:30	-1,3	55
22/10/2011 6:00	-0,9	53
22/10/2011 6:30	-0,3	50

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 6.30 horas

La helada número 32, tiene una duración de 6,30 horas, iniciando a las 0:00H con una temperatura de -2,4°C grados centígrados y con una humedad del 61%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a la 1H con una temperatura de -2,9°C grados centígrados y una humedad del 64%. Finalizando la helada con una temperatura de -0,3°C grados centígrados y una humedad del 50%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 6,30 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

Tabla 47 Quimsacocha - helada 33

Fecha & Hora	Temperatura	Humedad
d/m/a/hora	°C	%
21/11/2011/1:30	0	57
21/11/2011 2:00	-0,7	63
21/11/2011 2:30	-0,2	64
21/11/2011 3:30	-0,1	69
21/11/2011 4:00	-0,4	64
21/11/2011 4:30	-0,8	70
21/11/2011 5:00	-0,7	68

Fuente: PROMAS (Universidad de Cuenca), procesado por Andrés Bernardo Cordero D.

Duración: 3.30 horas

La helada número 33, tiene una duración de 3,30 horas, iniciando a las 1:30H con una temperatura de 0°C grados centígrados y con una humedad del 57%, presentando desde el inicio una helada blanca. El pico más bajo de temperatura que registra es a las 4:30H con una temperatura de -0,8°C grados centígrados y una humedad del 70%. Finalizando la helada con una temperatura de -0,7°C grados centígrados y una humedad del 68%, teniendo como resultado una helada blanca con una duración de 3,30 horas, produciendo congelamiento intra y extracelular.

11. Evaluación de los Daños fisiológicos en los cultivos producidos por las heladas

11.1. Daños fisiológicos de la planta

11.1.1. El daño celular

El daño directo por helada ocurre cuando se forman cristales de hielo dentro del protoplasma de las células (congelación o helada intracelular), mientras que el daño indirecto puede ocurrir cuando se forma hielo dentro de las plantas pero fuera de las

células (i.e. congelación o helada extracelular). “Lo que realmente daña las plantas no son las temperaturas frías sino la formación de hielo”¹⁷.

Se cree que la formación de hielo intracelular causa una “ruptura mecánica de la estructura protoplásmica”¹⁸. La extensión del daño debido a la congelación intracelular depende principalmente de la rapidez del enfriamiento y la intensidad del enfriamiento antes de congelarse.

Levitt propuso que las células se morían de forma gradual como resultado del crecimiento de masa de hielo extracelular¹⁹. Recuerda que la presión de vapor a saturación es más baja sobre hielo que sobre el agua líquida. Como resultado de la formación de hielo extracelular, el agua se evaporará desde el agua líquida dentro de las células y pasará a través de las membranas semipermeables de las células y se depositará sobre los cristales de hielo fuera de las células.

Conforme el agua sale de las células, la concentración de solutos aumenta y reduce el riesgo de congelación. Sin embargo, a medida que el hielo continua creciendo, las células se desecan más. Normalmente, en las plantas dañadas, los cristales de hielo extracelular son mucho más grandes que las células muertas de alrededor, que se han colapsado debido a la desecación. En consecuencia, la principal causa en la naturaleza del daño por helada a las plantas es la formación de hielo extracelular, que produce un estrés de agua secundario a las células adyacentes. De hecho, hay una estrecha relación entre las plantas tolerantes a la sequía y las plantas tolerantes a la congelación. Se argumenta que los daños por helada ocurren por la deshidratación de las células, sin embargo, la desecación de las células resulta de la evaporación del agua celular en respuesta al gradiente de presión de vapor provocado por la formación de hielo extracelular y no debido a la transpiración.

¹⁷ El daño producido por las heladas: fisiología y temperaturas críticas, FAO food and agricultura organization of the united nations – visto el 14 de junio del 2012 Westwood, 1978 – visto el 24 de junio del 2011

¹⁸ Levitt, 1980 <http://www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s05.pdf> - visto el 10 de noviembre del 2011

¹⁹ Levitt 1980 <http://www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s05.pdf> - visto el 14 de junio del 2012

11.1.2. Daños por enfriamiento

Algunas plantas sufren este tipo de daños cuando la temperatura se acerca a 0°C:

- Reducción de la actividad funcional.
- Deshidratación, debido a que al enfriarse las raíces no son capaces de absorber el agua necesaria.
- Desnutrición paulatina de las plantas, al reducirse la actividad fotosintética y aumentar el consumo de las reservas acumulada.

11.1.3. Daños por congelación de tejidos

Se deben principalmente a la formación de cristales de hielo en los espacios intracelulares de los tejidos vegetales. Estos cristales producen un daño mecánico, al clavarse en las células y al aumentar la presión sobre las paredes celulares (puesto que ocupan un mayor volumen).

En cualquier caso, los daños más importantes se producen durante la descongelación, ya que en este momento el contenido de las células se vierte al exterior por los distintos puntos de ruptura, provocando la deshidratación de los tejidos.

La importancia de estos daños varía en función de la velocidad del deshielo. Es importante recordar que los efectos de las heladas sobre las plantas varían dependiendo de la especie (algunas son más sensibles que otras a las bajas temperaturas y a la congelación) y de su estado de desarrollo (los estados fenológicos más vulnerables al frío son la floración y la maduración de los frutos).²⁰

²⁰ Las plantas y las heladas, Oscar Domínguez 2007 – visto el 2 de diciembre del 2011 www.jardinactual.com/menu-revista-articulos/205-LAS_PLANTAS_Y_LAS_HELADAS

11.1.4. Estrés por bajas temperaturas

El nivel del daño por frío sufrido por la planta o el órgano depende de la temperatura a la que fue expuesta, el tiempo de exposición y la sensibilidad de la especie y/o variedad.

Mientras menor sea la temperatura a la que sea expuesta la planta u órgano por debajo de su umbral de daño por frío mayor será la severidad de los daños eventuales. De la misma manera, mientras mayor sea la duración de la exposición a temperaturas por debajo del umbral, mayor será el daño.²¹

La sensibilidad de la planta al estrés por frío varía debido a varios factores, de los que la especie, cultivar, órgano de la planta o condición morfológica y fisiológica al momento de la exposición son de importancia crítica.

11.1.5. Daños de las heladas sobre las plantas²²

Los efectos dañinos de las heladas sobre los cultivos no siempre son los mismos, varían en su intensidad de acuerdo a los siguientes factores: especie y variedad considerada, tipo de órgano expuesto, etapa fenológica, contenido hídrico de la planta, intensidad de la helada, duración de la helada, temperatura de la planta y el órgano.

²²Las heladas en fruticultura – Ing. Agr. Sergio Antonio Toledo Vivar Visto el 16 de mayo del 2011 www.ecoplant.cl/LAS%20HELADAS%20EN%20FRUTICULTURA.pdf

²²Las heladas y sus efectos – Ing. Erico Cousiño - visto el 4 de mayo del 2013- <http://archivo.abc.com.py/suplementos/rural/articulos.php?pid=347336>

Se establecen 4 grados de daños por heladas, que involucran la acción de los factores anteriores.

a) El frío daña o mata órganos vegetativos, tales como hojas y tallos, perturbando las funciones de los órganos restantes.

b) La helada destruye un gran porcentaje de flores, impidiendo así que muchas de ellas se transformen en frutos.

c) La baja temperatura destruye los frutos en formación, y los que sobreviven resultan mal formados.

d) El frío es lo suficientemente intenso y prolongado como para provocar la muerte de la planta completa.

Tabla 48 Temperatura de congelación

La temperatura de congelación más alta para frutas y verduras ²³		
Nombre común	Nombre científico	Temperatura
Ajo (bulbo)	Allium sativum	-2
Albaricoque	Prunus armeniaca	-1,1
Alcachofa	Cynara scolymus L.	-1,2
Apio	Apium graveolens var. dulce	-0,5
Banana	Musa paradisiaca var. Sapiantum	-0,8
Banana	Musa paradisiaca var. Paradisiaca	-0,8
Arándanos (Cranberry)	Vaccinium macrocarpon	-0,9
Baya de saúco (Elderberry)	Sambucus ssp.	-1,1
Frambuesa (Raspberries)	Rubus idaeus L.	-0,9
Fresa	Fragaria ssp.	-0,8
Berenjena	Solanum melongena	-0,8
Berra, berro, mastuerzo acuático	Lepidium sativum	-0,3
Brócoli	Brassica oleracea L. var. Itálica	-0,6
Calabaza común (calabacín)	Cucurbita pepo L.	-0,5
Cebolla	Allium cepa	-0,8
Champiñón	Agaricus, otros géneros	-0,9
Chirimoya	Annona cherimola	-2,2
Ciruelas	Prunus × domestica L.	-0,8
Limón	Citrus limón	-1,4
Lima	Citrus aurantifolia;	-1,6
Mandarina	Citrus reticulate Blanco.	-1,1
Naranja	Citrus sinensis	0,9
Col	Brassica oleracea var. Capitata	-0,9
Coco	Cocos nucifera	-0,9
Coliflor	Brassica oleracea var. Botrytis	-0,8
Espárrago, verde, blanco	Espárrago, verde, blanco	-0,6
Espinaca	Espinaca	-0,3
Perejil	Petroselinum crispum	-1,1
Sandia	Citrullus vulgaris	-0,4
Tomate	Lycopersicon esculentum	-0,5
Puerro	Allium porrum L.	-0,7
Pepino	Cucumis sativus	-0,5

²³ El daño producido por las heladas: Fisiología y temperaturas críticas, FAO food and agricultura organization of the united nations – visto el 14 de junio del 2012 www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s05.pdf

Fuente: A partir de Whiteman, 1957, tal como presenta la University of California, Davis, página web de Postcosecha: http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/prop_a.shtml.

Tabla 49 Temperaturas críticas

Intervalo de temperaturas críticas (°C) que dañan a los cultivos forrajeros y para ensilar			
Cultivos	Germinación	Floración	Fructificación
Trigo de primavera	-9; -10	-1; -2	-2; -4
Avenas	-8; -9	-1; -2	-2; -4
Cebada	-7; -8	-1; -2	-2; -4
Guisantes	-7; -8	-2; -3	-3; -4
Lentejas	-7; -8	-2; -3	-2; -4
Cilantro (Coriander)	-8; -10	-2; -3	-3; -4
Amapolas	-7; -10	-2; -3	-2; -3
Diente de león	-8; -10	-3; -4	-3; -4
Judías	-5; -6	-2; -3	-3; -4
Girasol	-5; -6	-2; -3	-2; -3
Mostaza blanca	-4; -6	-2; -3	-3; -4
Lino	-5; -7	-2; -3	-2; -4
Cáñamo	-5; -7	-2; -3	-2; -4
Zanahoria	-6; -7	–	–
Nabo	-6; -7	–	–
Col	-5; -7	-2; -3	-6; -9
Soja	-3; -4	-2; -3	-2; -3
Maíz	-2; -3	-1; -2	-2; -3
Sorgo	-2; -3	-1; -2	-2; -3
Patatas	-2; -3	-1; -2	-1; -2
Algodón	-1; -2	-1; -2	-2; -3
Melón	-0,5; -1	-0,5; -1	-1
Arroz	-0,5; -1	-0,5; -1	-0,5; -1
Tomate	0; -1	0; -1	0; -1
Tabaco	0; -1	0; -1	0; -1

Fuente: A partir de Whiteman, 1957, tal como presenta la University of California, Davis, página web de Postcosecha: http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/prop_a.shtml.

11.1.6. Respuestas directas al daño por frío

Se piensa que las temperaturas frías resultan en cambios en las propiedades físicas de la membrana celular que resultan en una serie de posibles daños o disfunciones indirectas. Ocurre una transición en la fluidez de las membranas que se cree que

coincide con la temperatura umbral al menos en algunas especies sensibles al frío. En lugar que ocurra una alteración uniforme en la membrana, los cambios de fluidez ocurren probablemente en “micro dominios” dentro de la membrana.

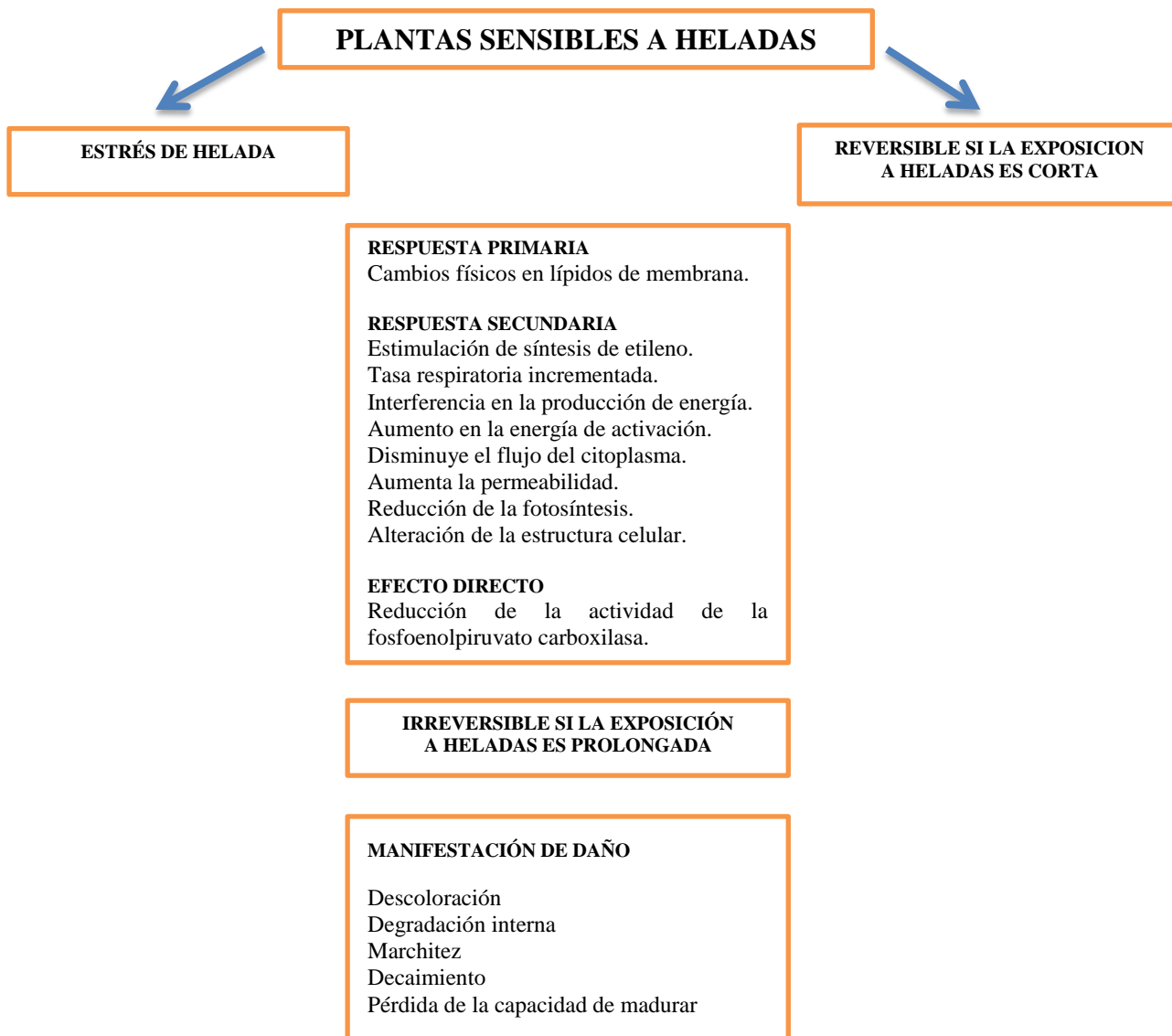
11.1.7. Respuestas indirectas al daño por frío

Después de una exposición de especies sensibles a temperaturas frías lo suficientemente prolongado, los cambios en las membranas resultan en un número de posibles respuestas secundarias: pérdida de la integridad de las membranas, salida de solutos y cambios en la actividad enzimática.

Estos cambios secundarios llevan a la manifestación eventual de los síntomas del daño por bajas temperaturas. Los síntomas físicos y químicos específicos varían ampliamente entre las diferentes plantas sensibles al frío. Las lesiones pueden ser en la forma de lesiones superficiales, inhibición de la maduración, descoloración, inhibición del crecimiento y marchitez.⁷

Las disfunciones resultantes de los cambios moleculares primarios inducidos por las temperaturas bajas pueden ser “reparadas” y/o revertidas en algunas especies si el tejido se regresa a temperaturas adecuadas antes de que ocurra un daño permanente.

Ilustración 1 Plantas sensibles a heladas



11.1.8. Síntomas visibles del daño por heladas²⁴

Una vez ocurrido el fenómeno de la helada, y de acuerdo a su intensidad y duración aparecen ciertos síntomas característicos en los tejidos afectados.

- El follaje nuevo y los brotes “tiernos”, se vuelven lacios y posteriormente se deshidratan por completo secándose, adquiriendo un color café o negro oscuro y un aspecto “chamuscado”. Las hojas adultas se pueden secar totalmente o bien tornarse amarillas o con pigmentaciones especiales.

- Cuando la helada afecta la corteza de las ramillas, ramas e incluso del tronco, ella se resquebraja, abriéndose y formando grietas que dejan expuesta la madera.

- Cuando la helada afecta a los frutos, el daño difiere según el estado de desarrollo en que es afectado por la helada. Los frutos recién cuajados, que son los más susceptibles pueden deshidratarse totalmente, secarse y caer, o pueden ser dañados parcialmente, según la intensidad y duración de la helada.

- Cuando el evento ocurre con fruta madura en el árbol o a punto de madurar, generalmente aparecen manchas oscuras en la epidermis del mismo y zonas deshidratadas, definidas y pardeadas en la pulpa. Por su parte los frutos cítricos se deshidratan internamente y su pulpa se torna granulosa.

²⁴ Las heladas en fruticultura – Ing. Agr. Sergio Antonio Toledo Vivar Visto el 16 de mayo del 2011
www.ecoplant.cl/LAS%20HELADAS%20EN%20FRUTICULTURA.pdf

- Cuando la helada ocurre poco antes de la maduración de la fruta, por lo general se detiene este proceso, el cual no se reanuda, especialmente si se ha dañado fuertemente el follaje.

Como consecuencia de las temperaturas bajas, en la planta se suceden los siguientes pasos:

- Se produce un debilitamiento de la actividad funcional reduciéndose entre otras cosas las acciones enzimáticas, la intensidad respiratoria, la actividad fotosintética y la velocidad de absorción del agua.
- Existe un desplazamiento de los equilibrios biológicos frenándose la respiración, fotosíntesis, transpiración, absorción de agua y circulación ascendente.
- Finalmente se produce la muerte celular y la destrucción de los tejidos.

12. Materiales y Métodos

12.1. Materiales:

Datos registrados por los sensores de temperatura, humedad y radiación solar de las estaciones meteorológicas de: Quimsacocha, La Esmeralda y San Gerardo, los cuales van en el anexo # 2.

12.2. Métodos:

- Clasificación del clima
- Selección de variables para caracterizar las heladas
- Análisis estadístico de las variables en estudio
- Relación entre variables para caracterizar las heladas

- Inventario de eventos meteorológicos con características de heladas
- Calendarización de los eventos meteorológicos inventariados
- Descripción de cada evento meteorológico considerado como helada
- Relación entre los eventos meteorológicos extremos estudiados y los daños que causan al cultivo

13. Conclusiones

El número de heladas registradas en Quimsacocha es mayor que en San Gerardo y La Esmeralda, existiendo una mayor incidencia del fenómeno meteorológico en los meses de octubre y noviembre. El promedio de duración de una helada en la zona de Quimsacocha según el estudio es de 5.64 horas, por lo tanto todas las heladas estudiadas son dañinas, causando quemaduras y congelamiento intra y extracelular.

El número de heladas registradas en la estación meteorológica La Esmeralda en el año 2005 son dos, en el año 2008 aparece en el mes de junio 1, en el año 2009 se ha producido en los meses de septiembre y noviembre, 1-3 respectivamente, en el año 2010 este fenómeno se manifiesta una sola vez en el mes de agosto. Constatando que en el año 2009 se ha producido una mayor frecuencia de heladas en comparación con los otros años, presentando 4 heladas durante todo el año. La mayoría de heladas se encuentran en el mes noviembre.

Los rangos de temperatura en los que se ha producido heladas en la zona de la estación meteorológica La Esmeralda, como temperatura máxima registrada tenemos $-0,2^{\circ}\text{C}$, y la mínima registrada es de $-4,00^{\circ}\text{C}$, tomando en cuenta que cualquiera de estas temperaturas con una duración mínima de 3 horas se la considera como dañina.

En la estación meteorológica de San Gerardo donde existen dos sensores de temperatura, no se presentó el fenómeno meteorológico “la helada” registrando como

temperaturas más bajas las de 2.74°C y 2.7°C, desde el año 2008, año en que fueron instalados los sensores.

Las temperaturas bajo los cero grados centígrados acompañadas de la humedad, tiempo de duración y radiación solar, causan a los agricultores problemas con la producción de sus cultivos.

La humedad relativa superior al 45% juega un papel importante en la acción y afección de la helada sobre la planta, produciendo así las heladas blancas.

La humedad relativa inferior al 45% y una temperatura bajo los 0°C (cero) ocasionan una helada negra, produciendo quemaduras en la planta.

La radiación solar interviene directamente en la formación de escarcha y hielo en el exterior e interior de la planta, debido a que si el valor de radiación solar registrado por los sensores es alto va a existir una mayor evaporación de agua por lo tanto se va a producir una mayor cantidad de escarcha sobre la planta, mientras que si el valor de radiación fue más bajo la cantidad de evaporación va a ser menor y por lo tanto el recubrimiento por escarcha sobre la planta va a ser en menor cantidad.

14. Recomendaciones

Para un mejor estudio y más globalizado de este fenómeno meteorológico recomendaría implementar estaciones meteorológicas en sectores como **Tarqui – Irquis – Nabon**, considerando que son zonas con potencial de producción agropecuaria donde existe una gran incidencia de este problema, para lograr obtener datos de cada sitio y así poder estudiar las heladas para estructurar un control para cada zona.

Buscar la implementación de un mecanismo de hacer llegar esta información técnica a los agricultores y productores de las zonas de estudio.

Realizar charlas en los centros de investigación para seguir con el estudio e implementar capacitaciones a los agricultores sobre este fenómeno meteorológico tan complejo y en algunos casos dañino.

15. Bibliografía

- 1.** Clasificación climática de Koppen, Mcknight, Tom L; Hess, Darrel-2000 visto 24 de julio del 2011 www.es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen
- 2.** Clima: Elementos y factores profesional en línea registro N° 188.540 www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Clima.htm, visto el 24 de julio del 2011.
- 3.** Clasificación climática de Koppen, Mcknight, Tom L; Hess, Darrel-2000 visto 24 de julio del 2011 www.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen
- 4.** Las heladas, Silvia Larocca – visto 24 de julio del 2011 www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/heladas.htm
- 5.** Condiciones de Helada, Nimbus weather services 2011- visto el 1 de agosto del 2011 www.nimbus.com.uy/helada.php
- 6.** Datos de las estaciones meteorológicas (Quimsacocha, La Esmeralda y San Gerardo propiedad del PROMAS Universidad de Cuenca, Ing. Cristian Coello/ Ing. Paul Arizaga).
- 7.** Riesgos climáticos: Caracterización Agroclimática de las heladas en cinco Saltos (Rio negro, Argentina), Ing. Agr. Juliana Gastiazoro Bleter – visto el 10 de mayo del 2011 www.redagraria.com/publicaciones_cientificas/riesgos_climaticos/principal/3_introduccion.html Hirschorn (Burgos, 1963).
- 8.** Las heladas en fruticultura, Sergio Antonio Toledo Vivas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – visto el 10 de mayo del 2011 www.ecoplant.cl/LAS%20HELADAS%20EN%20FRUTICULTURA.pdf

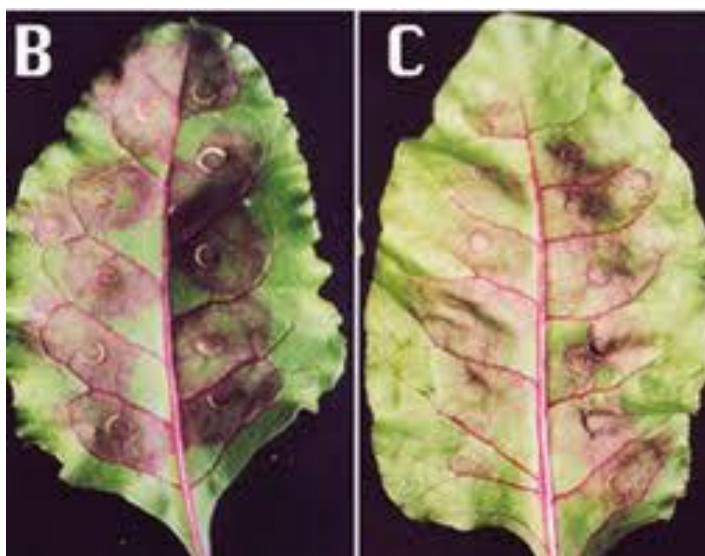
9. Radiación Solar-Meteorología y Climatología de Navarra, Gobierno de Navarra, visto el 4 de agosto del 2011-
www.meteo.navarra.es/definiciones/radiacion_solar.cfm
10. Apuntes de meteorología agrícola, Fuentes, Yague J. Luis. Op. Cit., p. 155. Visto el 11 de noviembre del 2011
11. Apuntes de meteorología agrícola, Fuentes, Yague J. Luis. Op. Cit., p. 155. , visto el 11 de noviembre del 2011
12. Datos de las estaciones meteorológicas (Quimsacocha, La Esmeralda y San Gerardo propiedad del PROMAS Universidad de Cuenca, Ing. Cristian Coello/ Ing. Paul Arizaga)
13. Datos de las estaciones meteorológicas (Quimsacocha, La Esmeralda y San Gerardo propiedad del PROMAS Universidad de Cuenca, Ing. Cristian Coello/ Ing. Paul Arizaga), información procesada por: Andrés Bernardo Cordero D.
14. Las plantas y las heladas, Oscar Domínguez 2007 – visto el 2 de diciembre del 2011
www.jardinactual.com/menu-revista-articulos/205-LAS_PLANTAS_Y_LAS_HELADAS
15. Las heladas en fruticultura – Ing. Agr. Sergio Antonio Toledo Vivar Visto el 16 de mayo del 2011
www.ecoplant.cl/LAS%20HELADAS%20EN%20FRUTICULTURA.pdf
16. El daño producido por las heladas: Fisiología y temperaturas críticas, FAO food and agricultura organization of the united nations – visto el 14 de junio del 2012
www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s05.pdf
17. Las heladas en fruticultura – Ing. Agr. Sergio Antonio Toledo Vivar Visto el 16 de mayo del 2011
www.ecoplant.cl/LAS%20HELADAS%20EN%20FRUTICULTURA.pdf
18. Las heladas y sus efectos – Ing. Erico Cousiño - visto el 4 de mayo del 2013
<http://archivo.abc.com.py/suplementos/rural/articulos.php?pid=347336>

Citas Bibliográficas

1. El daño producido por las heladas: fisiología y temperaturas críticas, FAO food and agricultura organization of the united nations – visto el 14 de junio del 2012
Westwood, 1978 – visto el 24 de junio del 2011
2. El daño producido por las heladas: fisiología y temperaturas críticas, FAO food and agricultura organization of the united nations – visto el 14 de junio del 2012
Westwood, 1978 Levitt, 1980 – visto el 10 de septiembre del 2011

ANEXO 1

Fotografías 1 Daños fisiológicos en la planta producidos por una helada negra – remolacha (*Beta vulgaris*)



Fotografías 2 Daños fisiológicos en cultivo de maíz (*Zea mays L*)



Fotografías 3 Daños fisiológicos en cultivo de alcachofa (*Cynara scolymus*)



Fotografías 4 Daños fisiológicos en planta Costilla de Adán (*Monstera deliciosa*)



Fotografías 5 Daños fisiológicos en cultivo de cítricos – limón (*Citrus limón*)



**Fotografías 6 Daños fisiológicos en la planta producidos por una helada blanca ficus – ornamental
(*Ficus Benjamina*)**



Fotografías 7 Daños fisiológicos en planta de Col (*Brassica oleracea L*)



Fotografías 8 Daños fisiológicos en planta de Nabo (*Brassica rapa L*)



Fotografías 9 daños fisiológicos en frutilla silvestre (*Fragaria chiloensis*)



Fotografías 10 Daños fisiológicos en Pastos



ANEXO

Fotografías 11 Estación meteorológica de Quimsacocha

Ubicación: 17M 698423 E 9663781 N Cota (m.s.n.m) 3762



Fotografías 12 Estación meteorológica La Esmeralda (Jima)

Ubicación: 17M 730471 E 9651481 N Cota (m.s.n.m) 2638



