

I.-INTRODUCCION

Desde que el hombre comenzó a utilizar especies vegetales y animales para su beneficio, tuvo conocimiento de la influencia de las condiciones ambientales sobre la vida y la producción de sus cultivos y ganados.

A través de los tiempos los efectos favorables o perjudiciales que los fenómenos y condiciones meteorológicas ejercían en sus actividades fueron formando su conocimiento empírico que las distintas civilizaciones plasmaron como tradición escrita de su folclore, sus cantos, sus refranes o sus narraciones de todo tipo aun antes de nuestra era, aquellos pueblos agricultores como el egipcio, el chino, el babilónico etc., dejaron innumerables referencias sobre la influencia de los fenómenos atmosféricos en sus cultivos, pero las referencias nacionales y efectivas sobre tales efectos solo comenzaron con la creación de los primeros instrumentos de medición meteorológica.

Recién entonces y después de muchos años de observación realizadas simultáneamente en varios lugares y con el aporte de cantidad suficiente de datos, pudo comenzar a evaluarse en forma concreta la acción que algunos elementos del clima ejercen sobre la producción de los cultivos agrícolas (Páscale, 2004).

En el valle central de Tarija se producen normalmente años con heladas, principalmente en los meses de junio, julio y agosto, sin embargo también se presentan heladas tempranas durante los meses de abril y mayo, así mismo se presentan heladas tardías durante los meses de septiembre, esta helada tardía es la que más estragos causa en el cultivo de la vid, debido a que en estos meses la vid activa su ciclo vegetativo esta intolerancia se hace más notoria cuando las yemas están en estado de yema hinchada punta algodonosa. Este riesgo puede eliminarse con sistemas adecuados de protección, pero este significa un aumento en el costo de producción y, por consiguiente una disminución de los beneficios.

Agroclimáticamente, resulta muy útil la manera de relacionar los procesos fenológicos y el régimen de heladas en forma cuantificada, con el fin de utilizar en comparaciones agroclimáticas, con este motivo se creó se han desarrollado los índice agroclimáticos de peligrosidad de heladas (I.P.H.)

1.1.-JUSTIFICACION

La pérdida de producción esperada de vid en nuestra región, no solo afecta a la economía del agricultor. los daños por heladas pueden representar enormes pérdidas económicas incluso en la mayoría de los productores se habla de todo el ingreso anual que percibe, y está perdida también afecta la economía local, economía regional e incluso la departamental.

Se tiene pensado que cuando los recursos hidrocarburíferos del departamento se agoten, el fuerte de nuestra economía departamental será el ingreso que el cultivo de la vid genere.

En nuestro medio se tiene pocas experiencias respecto al índice de peligrosidad de heladas (I.P.H).O si se realizó son datos muy reservados que tienen algunas empresas.

Es por ello que urge la necesidad de desarrollar estudios y métodos para reducir riesgos de pérdidas por efecto de heladas.

El estudio y determinación del índice de peligrosidad de heladas en dos zonas productoras de vid en el valle central de Tarija, nos ofrece una herramienta considerando temperaturas mínimas perjudiciales para los momentos previos a la floración, plenitud de floración y pequeños frutos verdes.

Y así contribuir a mejorar la producción al determinar valores del índice de peligrosidad de heladas y estas sean tomadas en cuenta para reducir la probabilidad de daño, ya que la temperatura mínima letal difiere según la variedad y así tener el estudio como referencia al momento de tomar una decisión en trabajos a realizar con

una probabilidad mínima de daño en el cultivo más importante del valle central de Tarija como es el caso de la vid.

1.2.-OBJETIVOS

1.2.1.-OBJETIVOS GENERALES:

Determinar el índice de peligrosidad de heladas en dos zonas productoras de vid en el valle central de Tarija, como herramienta para la gestión del riesgo.

1.2.2.-OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar y comparar las fases fenológicas del cultivo de la vid en dos zonas productoras.
- Analizar las temperaturas mínimas extremas y su variabilidad espacio-temporal.
- Determinar el periodo medio libre de heladas.
- Realizar una propuesta la adaptación de la metodológica en la determinación del Índice de Peligrosidad de Heladas (I.P.H.). para vid.

II.-MARCO TEORICO O REVISION BIBLIOGRAFICA

La uva es el fruto de la vid (*Vitis vinífera* L.). Planta cuyo origen se sitúa por la región del cercano oriente y que hoy en día se encuentra ampliamente extendida en muchas regiones de clima mediterráneo cálido. La vid es una de las primeras plantas que cultivo el hombre, teniendo desde ese entonces un papel trascendental en la economía de muchas civilizaciones. Tras la mitigación del vino por parte del cristianismo, el cultivo de la vid experimento un gran auge que ha perdurado hasta nuestros días.

La historia de la viticultura boliviana se inicia con la llegada de los españoles en el siglo XVI, con la introducción de las primeras plantaciones de vid en la región de Mizque. Posteriormente, se expandió el cultivo a otros valles bolivianos llegando a los valles de los Cintis y, posteriormente, a los valles de Tarija. En la actualidad aún podemos encontrar viñedos que se manejan de manera similar a la época colonial; utilizando arboles de molle como tutores, sistemas de poda y manejo fitosanitario muy básicos y empíricos.

El cultivo de la vid boliviana se desarrolló con enfoques multipropósitos con tres destinos diferentes; uva de mesa, la elaboración de vino y singani. La primera transformación hacia una viticultura más moderna e industrializada llego al valle de Tarija recién en el periodo de 1960-1970, convirtiendo a esta región en el principal productor de uva de Bolivia, tanto para uva de mesa como para su industrialización en vinos y singani.

Los departamentos más importantes son:

Según los datos del INE y el Ministerio de Agricultura, Bolivia cuenta con una superficie de 5500 Ha.

Chuquisaca(Camargo y Tomina), La Paz (Luribay y Sapahaqui), Cochabamba (Misque, Capinota, Punata), Santa Cruz (Salpina, Comarapa, Charagua y valle Grand).

Tarija constituye el departamento más importante del país con aproximadamente del 50% de producción nacional y con una superficie cultivable de 2800 hectáreas y la industria enológica más grande del país, el sistema de poda más común y más usado es el guyot modificado con cuatro cargas.

Entre las variedades más importantes tenemos:

Moscatel de Alejandria, Torrontés blanca, Cabernet, Favorita, pinot, Criolla(negra y blanca), Sauvillon, Ugni blanc, cereza, Alfonso la valle y otros.

Las zonas más importantes son:

La Compañía, Huariguana, Chocloca, Saladillo, San José, Ancón Chico, Suncho Huaico, Angostura, Pampala Villa, La Concepción, La Higuera, San Isidro, Calamuchita, Ancón Grande, La Choza, Juntas, San Nicolás todas estas se encuentran dentro de la provincia Aviles también se puede nombra la Cabaña, Santa Ana, San Antonio, San Agustín, Yesera, San Luis, San Blas, Sella Méndez y otras (Tordoya, 1996).

2.1.1.- Estados Fenológicos de La Vid

Los estados fonológicos son los diferentes estadios que presenta la planta:

2.1.2- Lloro o llanto

El lloro, muestra el comienzo de la actividad del sistema radicular, salida de raicillas nuevas y la absorción por ellas de notable cantidad de agua, abundante en esta época en la tierra determinando una subida de sabia bruta y arrastre de pequeñísimas cantidades de compuestos orgánicos y minerales hacia el vuelo, que fluye por las lesiones y cortes de poda (Hidalgo, 2003).

Antes de la entrada en vegetación, juntamente a la poda a partir del mes de agosto sale un líquido incoloro, en forma de agua llamada “lloro o llanto de la vid” esta marca en resalida la reanudación de la actividad de la planta, la duración del lloro es de unos días y está constituido especialmente de agua y algunas sales minerales en cantidades mínimas (Tordoya, 2008).

2.1.3.- El desborre

Cuando la temperatura alcanza el umbral del crecimiento que corresponde a los 4-5° C en principio con temperaturas bajas la actividad celular es débil. Con la elevación de las mismas, sin acciones diarias acumulativas que dan lugar al hinchamiento y aperturas de las escamas, hasta llegar el umbral de crecimiento aparente con medidas diarias de 10°C

también llamados cero de vegetación, con aparición de la borra y posterior de la punta verde, estados fenológicos que determinan un momento del llamado desborre e iniciación aparente de la votación(Hidalgo, 2003)

Cuando en primavera las yemas comienzan a hincharse, las escamas fructíferas que la recubren se abren y la borra que se ve al principio aparece al exterior. Por ellas recibe el nombre de desborre es la primera manifestación del crecimiento, todas las yemas de una cepa se desborra al mismo tiempo (Álvarez, 1980).

2.1.4.- Crecimiento

Se caracteriza por la aparición de distintas partes de las ramas y de los órganos que portan. La punta de la yema latente que se volvió ápice de la rama es la que asegura el crecimiento. Si se suprime el alargamiento se detiene y las yemas anticipadas comienzan a dar feminelas, pero esto no es conveniente porque la vid toma aspecto de matorral.

En realidad el crecimiento de la vid es los resultados del aumento de tamaño de las células preexistentes (airéis) y de la multiplicación celular (merexis). Se sabe que la yema latente se encuentra formada por meristemas primarios o puntos vegetativos y de esbozos de hojas, zarcillos y entrenudos. El resultado del crecimiento es en suma los resultados o la suma de crecimiento de cada uno de estos órganos y de la actividad del meristemo Terminal. Cada entrenudo tiene su crecimiento propio y los entrenudos sucesivos participan de la cadena de elongación del pámpano (Tordoya, 2008).

2.1.5.- Floración, Polinización y fecundación

2.1.5.1.- Floración

El desarrollo de los órganos reproductores empieza con la iniciación de la inflorescencia es en las yemas latentes del año precedente y la diferenciación de las flores en primavera, después de la floración, las bayas de racimo crecen y maduran (Reynier, 1995).

Las flores de los vegetales pueden presentarse en forma aislada, denominándose en este caso flores solitarias o pueden estar reunidos en grupos; cuando ocurre este último se denomina inflorescencia en las cuales pueden ser simples o compuestas.

Las flores de la vides hallan agrupadas en una inflorescencia compuesta, es decir son varias inflorescencia simples reunidas las cuales constituyen el racimo (Ferraro Olmos, 1993).

2.1.5.2.- Polinización

La polinización se realiza generalmente por lo viento, aunque los insectos pueden influir, la temperatura es el factor principal de la polinización, ya que con temperatura de 20° a 25°cc. Este proceso se da en pocas horas, el frio puede tardar varios días (Cárdenas, 1999).

Corresponde el transporte del polen, que se efectúa normalmente hasta otra flor, por ello la fecundación es directa, se habla de (alogamia), a veces el polen se deposita en el estigma de la misma flor, no permitiendo entonces más que la autofecundación, se habla de(autogamia) (Reynier, 1999).

2.1.5.3.- Fecundación

La fecundaciones el resultado de la fusión de los núcleos masculinos y de los femeninos dando origen al nacimiento de las pepas, el ovario en fruto (Cárdenas, 1999).

La fecundación corresponde a la formación de huevos, el primer gameto se fusiona con la oosfera, de esta fecundación resulta el huevo principal con 2n cromosomas, que se dirige hacia los núcleos polares y se fusiona con ellos, formando un huevo accesorio con 3n cromosomas que se desarrollara en el albumen, esta doble fecundación es característica en angiospermas.

A continuación las otras células del saco embrionario degeneran los cigotos y los gametos del ovulo evolucionan para dar origen a una semilla o pepita de uva (Reynier, 1995).

2.1.6.- Desarrollo y maduración de bayas (frutos)

El desarrollo de las vayas comienzan con la polinización y continua hasta el estado de maduras, eventualmente de sobre maduras si la recolección se retrasa se traduce en el crecimiento en el volumen de las vayas acompañado de una evolución de las características físicas (color, asidos compuestos fenológicos).

Se distinguen generalmente tres periodos a lo largo del desarrollo del fruto.

Un periodo herbáceo, durante el cual la vaya verde y dura engrose y se comporta como un órgano cloro-fileno en crecimiento.

Un periodo de maduración, durante el cual la vaya cambia de color y de nuevo se comporta como un órgano de transformación y sobre todo, de almacenamiento comienza con un periodo de evolución rápida de las características físicas y bioquímicas de la uva y termina con el estado de madurez.

Un periodo sobre la maduración, durante el cual la uva se pacifica, mientras que su composición química evoluciona y puede sufrir ataques de hongos (Reynier, 1995).

2.1.7.- Agostamiento

Mientras que los racimos maduran, se asiste un cambio de aspecto de los pámpanos, el color verde desaparece al mismo tiempo que se diferencia netamente la corteza que encontramos en invierno en el sarmiento, el pámpano que se hace más duro impregnándose de lignina, se transforma entonces en sarmiento, pero el hecho más importante de agostamiento es la acumulación en el tallo y los tallos de materia de reserva, en particular almidón.

El agostamiento asegura pues la perennidad de la planta y permite su multiplicación (Reynier, 1995).

Uno de los factores que inducen a la planta a entrar en reposo es la presencia de bajas temperaturas en otoño e invierno, con lo que se reduce la actividad metabólica y de crecimiento, sin esta no habría brotación, otro factor que se ha considerado como inductor es el fotoperiodo corto, la sequía o la falta de nutrientes puede inactivar a la planta pero su efecto es hacia el proceso de latencia (Cárdenas, 1999).

2.1.8.- Caída de hojas

Hacia el final del agostamiento las hojas se vacían de sus sustancias y cambian de aspectos, las variedades blancas y negras se amarillan, también presentando manchas rojas o marrones; las variedades tintas (con pulpa colorada) normalmente enrojecen, fenómeno que no debe confundirse, con las afecciones de origen parasitario o fisiológico.

Al final del periodo de vida activa se forma una capa de súber en un peciolo, la hoja se cae y se puede considerar que la planta desprovista de sus hojas ha encontrado en la fase de reposo vegetativo (Reynier, 1995).

2.2.- CLIMATOLOGIA

La vid se adapta a climas muy variados, se cultiva en regiones cálidas, en zonas relativamente frías pero indudablemente prefiere climas templados (Ferraro, 1993).

a).- Precipitación

El cultivo normal de la viña exige precipitaciones anuales de 600 mm, la distribución del agua debe ser regular en función de la capacidad de retención del suelo, esto es importante (Tordoya, 2008).

b).- Humedad

Se sabe que el aprovechamiento del agua es uno de los problemas más importantes de la agricultura, los vegetales consumen una considerable cantidad de agua para la elaboración de sus tejidos: de 300 a 400 kg por kilo de materia seca y mucho más,

El promedio de humedad debería ser inferior al 60%, el máximo no debería superar el 75% y no debe haber ocurrencia de neblina (Cordero, 1998).

c).- Temperatura

Las estaciones ideales para el desarrollo de la vid son: para brotar requiere de 9-10°C, prospera bien entre los 11-24°C, florece y fructifica con una temperatura de 18-20°C.

La vid es bastante resistente a las heladas invernales pero, es sensible a las heladas primaverales que pueden llegar a comprometer la cosecha (manual de cultivo uva de mesa FDTA).

2.3.- Fenómenos meteorológicos adversos al cultivo de la vid

Los accidentes climáticos, heladas, granizos y el viento, pueden causar daños muy graves a la acción vitivinícola. En el caso de las heladas otoñales, si la temperatura baja a -2 o -3 °C, las hojas se desecan parcialmente, pero los no son los adecuados racimos permanecen intactos. Cuando la temperatura disminuye más de -6 °C, no sólo se produce el secado de las hojas sino que, en caso de que las uvas estén maduras se produce la pérdida de agua de éstas por alteración de las membranas, alimentando la concentración de azúcares, solamente sirviendo éste para vinos licorosos. Si, por el contrario, las uvas están maduras en forma incompleta al momento de la helada, se produce un color tinte rojizo en estas alterándose el sabor de los vinos elaborados. Ante heladas de invierno, la resistencia de los cepajes a las bajas temperaturas (entre -15 a -20 grados centígrados) depende de distintos factores: las cepas, la etapa de crecimiento en que se encuentre la planta en el momento de producirse la helada, y las condiciones que acompañan a la helada: con o sin nieve. Los daños que se producen pueden situarse en brotos, sarmientos y tronco. Por último, las heladas de primavera son en general producidas por vientos polares que producen un descenso brusco de la temperatura.

En el caso de los granizos, se puede afirmar que los sitios preferidos por estos fenómenos varían con el estado vegetativo de la planta y el tamaño del granizo. Los daños más comunes son rotura de hojas y caída de flores o pequeñas bayas. También en algunos casos pueden producirse heridas en sarmientos principalmente cuando las piedras son relativamente grandes. Como prevención pueden realizarse mallas antigranizo, siempre y cuando el costo de estas se vea justificado por la calidad de la cepa y la frecuencia de este fenómeno en la zona. Las heridas del sarmiento pueden tratarse con frecuencia para evitar la entrada de hongos.

Finalmente, la acción directa de los vientos produce rotura de ramas, despegamiento de sarmientos en la base y caídas de las hojas. Además, el viento contribuye a la diseminación de enfermedades y plagas. Para aquellos cultivos más sensibles, una forma de prevenir estos daños es disponer las espalderas en la misma dirección de los

vientos predominantes. También se utilizan en la mayoría de los casos cortinas rompe vientos.(Manual de cultivo uva de mesa FDTA).

2.3.1.- Helada

CRITERIO	TIPO DE HELADA
----------	----------------

Helada se define como las condiciones existentes cuando la temperatura del aire a una altura próxima a la superficie del suelo, bajo de 0⁰C. el daño de la helada afecta la mayoría de los sistemas agrícolas de zonas templadas y climas mediterráneos. La importancia de la ocurrencia de la helada se suele caracterizar mediante el periodo libre de heladas medio. Este periodo determina la estación de crecimiento de los cultivos o la posibilidad de que un cultivo pueda darse en una región o no (Villalobos et al., 2002)

La helada como tal es mejor definirla desde dos puntos de vista:

2.3.2.-Helada meteorológica.-

Los meteorólogos consideran que hay una helada cuando la temperatura del aire, medida con un termómetro instalado dentro de una casilla meteorológica ubicada a una altura de 1.50 metros sobre el nivel del suelo, es de 0 °C (cero grados Celsius) o inferior (O.M.M., 1990).

2.3.3.-Helada agro meteorológica.-

La helada agrícola o agro meteorológica, ocurre cuando la temperatura del aire desciende a temperaturas muy bajas y prolongadas que producen la muerte de los tejidos vegetales y esta puede ser igual mayor o menor a cero grados centígrados.

2.3.4.-Clasificación De Heladas

Las heladas pueden clasificarse según el proceso físico que las origina, por los efectos visuales que causan sobre los cultivos y por su época de ocurrencia, una clasificación general de acuerdo a los tres criterios.

Cuadro 1.- Clasificación de las Heladas

Proceso Físico	1. Advección
	2. Radiación
	3. Mixtas
	4. Evaporación
Efectos Visuales	1. Blancas
	2. Negras
Época de Ocurrencia	1. Primaverales (tardías)
	2. Invernales
	3. Otoñales (tempranas)

Fuente: (Caba, 2000)

2.3.5.- Clasificación de las Heladas por el proceso físico que las origina

2.3.5.1.- Heladas por advección

Convección o de invasión de masas de aire frío. Son originadas por la invasión de grandes masas de aire frío procedentes de regiones polares (corrientes polares continentales), que causan grandes perturbaciones atmosféricas al descender a lo largo del continente, atravesando países y regiones enteras en forma de ríos de enorme caudal que se deslizan por entre los diversos accidentes orográficos.

2.3.5.2.- Heladas por radiación

De carácter micro climático, estas heladas son las más frecuentes, se originan por la pérdida de calor que las plantas y el suelo sufren por irradiación a la atmósfera durante la noche. Para que la helada se produzca se requiere generalmente de la existencia de

algunas condiciones ambientales locales, como son ausencia de viento, cielo despejado y sequía atmosférica. La inversión de la temperatura en el aire próximo al suelo es una característica de estas heladas. Las heladas mixtas resultan de la combinación de las dos anteriores, es decir que se produce advección y radiación.

2.3.5.3. Heladas por evaporación

Cuando la humedad relativa es muy baja y tiende a descender por la presencia de corrientes de aire seco se puede realizar la significativa evaporación de ciertas cantidades de agua que se encuentran sobre las plantas, con lo cual las mismas se enfrían. El cambio del estado líquido al gaseoso requiere del consumo de 600 calorías por cada centímetro cúbico de agua evaporada, y desde luego el calor necesario es tomado de los tejidos vegetales provocando su enfriamiento y consiguientemente la helada.

2.3.6.- Clasificación de las heladas según el efecto visible que causan

2.3.6.1.- Heladas blancas

Si durante el enfriamiento que tiene lugar en las plantas, en el suelo y en las partes bajas de la atmósfera, como consecuencia de una radiación neta negativa, existe suficiente humedad en el aire puede formarse el rocío, que es la condensación del vapor de agua sobre las partes frías, en forma de pequeñas gotitas. Al continuar el descenso de la temperatura estas gotas pueden congelarse, formando pequeños cristales de hielo (escarcha), que dan un color blanco a las superficies.

2.3.6.2.- Heladas negras

Cuando el descenso de las temperaturas por debajo de 0 °C se lleva a cabo sin alcanzar el punto de rocío, debido a una humedad absoluta de la atmósfera muy reducida, las heladas se presentan sin la formación de cristales de hielo, pero éstas sufren el efecto de la baja temperatura presentando “quemaduras” o necrosis en sus tejidos, pero sin el color blanco característico de las otras.

2.3.7.- Clasificación de las heladas por la época de ocurrencia

Este tipo de heladas derivan su nombre de acuerdo a la estación del año en que se presentan, siendo las invernales las que menor daño provocan, dado que en esa época la mayoría de las plantas se encuentran en reposo y por lo tanto, en condiciones de soportar bajas temperaturas. Las heladas tardías y tempranas que se presentan en la primavera y en el otoño respectivamente, son las que más estragos causan en los cultivos y plantaciones ya que se presentan en épocas de intensa actividad vegetativa. Las tardías acusan daños sobre la floración, foliación y fructificación de las plantas perennes y sobre la germinación, emergencia y estadios juveniles de las anuales. En cambio las heladas tempranas u otoñales pueden interrumpir bruscamente el proceso de maduración de los frutos y la formación de yemas de las cuales dependerá la producción del año siguiente.(Caba, 2000).

2.3.8.-Daño por congelación

Los daños por bajas temperaturas (frío y congelación) pueden producirse en todas las plantas, pero los mecanismos y la tipología del daño varían considerablemente. Algunos cultivos frutales, hortícolas y ornamentales de origen tropical experimentan daños fisiológicos cuando están sometidos a temperaturas por debajo de +12,5 °C, bastante por encima de las temperaturas de congelación. Sin embargo, el daño por encima de 0 °C es más por enfriamiento que por helada. Ésta ocurre en todas las plantas debido a la formación de hielo. Las plantas cultivadas que se desarrollan en climas tropicales, a menudo experimentan daños importantes por heladas cuando se exponen a temperaturas ligeramente por debajo de cero, mientras que muchos cultivos que se desarrollan en climas más fríos, a menudo, sobreviven con pocos daños si la congelación no es muy severa. Algunas excepciones son las lechugas, que se han originado en climas templados, pero pueden dañarse a temperaturas cercanas a 0 °C y algunos frutos subtropicales, que a pesar de tener un origen tropical pueden permanecer a temperaturas de -5 a -8 °C. Las especies o las variedades de cultivos exhiben distintos daños por heladas a la misma temperatura y en el mismo estadio fenológico, dependiendo de las condiciones meteorológicas previas. Su adaptación a las temperaturas frías antes de una helada nocturna se denomina “endurecimiento”. Durante los periodos fríos, las plantas tienden a endurecerse contra el daño por congelación, y pierden el endurecimiento después de un período de calentamiento. El endurecimiento está relacionado, probablemente, con el aumento del contenido de solutos en el tejido de las plantas o con la disminución de la concentración de bacterias activas en la nucleación de hielo (INA)

durante los períodos fríos, o una combinación de ambos. Durante los períodos cálidos, las plantas exhiben crecimiento, el cual reduce la concentración de solutos, y aumenta la concentración de bacterias INA, haciendo las plantas menos resistentes.

El daño por heladas ocurre cuando se forma hielo dentro del tejido de las plantas, dañando sus células. Puede ocurrir en las plantas anuales (cultivos para ensilado o forrajes de gramíneas y leguminosas; cereales; cultivos para aceite o de raíces; hortícolas; y cultivos ornamentales) multi-anuales y perennes (árboles frutales caducifolios y de hoja perenne). Los daños por heladas tienen un efecto drástico para la planta entera o pueden afectar únicamente a una pequeña parte del tejido de la planta, lo cual reduce el rendimiento o deprecia la calidad del producto.

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 (congelación o helada extracelular). Lo que realmente daña las plantas no son las temperaturas frías sino la formación de hielo (Westwood, 1978).

Se cree que la formación de hielo intracelular causa una “ruptura mecánica de la estructura protoplásmica” (Levitt, 1980).

La extensión del daño debido a la congelación intracelular depende principalmente de la rapidez del enfriamiento y la intensidad del enfriamiento antes de congelarse. Hay poca o ninguna evidencia de que la duración de la congelación afecte al daño. De hecho,

Levitt (1980) establece que el daño por congelación parece ser independiente del tiempo para periodos cortos (2–24 horas).

El daño directo por congelación intracelular se asocia con un enfriamiento rápido. Por ejemplo,

Siminovitch, Singh y de la Roche (1978) observaron congelamiento intracelular y muerte de las células cuando se enfriaron plantas de centeno a un ritmo de 8 °C por minuto hasta -12 °C, congelándose el agua súper-enfriada dentro de las células. Cuando las plantas se enfriaron hasta -12 °C durante 23 minutos, la formación de hielo fue extracelular y las plantas se recuperaron completamente después del deshielo. En estudios realizados en cámaras climáticas para determinar temperaturas críticas, los cortes de plantas se enfrían normalmente a un ritmo entre 1,0 y 2,0 °C h⁻¹. Éste es un

ritmo más lento que en el experimento con plantas de centeno y más lento que alguno de los ritmos que se dan normalmente en la naturaleza.

De hecho, Levitt (1980) indica que, en la naturaleza, el daño por congelación resulta de la formación de cristales de hielo extracelular y de que no hay evidencia de congelación intracelular. Aunque la evidencia no es muy grande, parece que el ritmo de deshielo después de una congelación está parcialmente relacionado con la intensidad del daño.

Levitt (1980) propuso que las células se morían de forma gradual como resultado del crecimiento de masa de hielo extracelular. 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 continúa 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.

Observa que los antitranspirantes se han propuesto como un método de protección contra la congelación. Se argumenta que los daños por helada ocurren por la deshidratación de las células y los antitranspirantes se dan a entender que reducen las pérdidas de agua desde las plantas y proporcionan protección contra la congelación. 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. No existe evidencia de que los antitranspirantes reducen la desecación debido a la formación de cristales de hielo extracelular.

2.4.- Efectos de las heladas sobre los cultivos

La madurez de las especies leñosas o su resistencia al frío se estima de acuerdo a la temperatura mínima media más baja a la que puede sobrevivir. En zonas tropicales los daños pueden ser causados por temperaturas tan altas como 10°C . Estos daños están causados por un enfriamiento y no por heladas.

Los daños por helada ocurren con temperatura en la planta varios grados por debajo de cero. Esto se explica por dos fenómenos: primero, en ausencia del núcleo de congelación una disolución puede enfriarse por debajo de 0°C sin que ocurra congelación fenómeno que se conoce como subfusión. El segundo lugar las disoluciones presenta un descenso crioscópico del punto de congelación, tanto mayor cuanto mayor sea la concentración del soluto. El efecto negativo de las heladas es un daño mecánico en los cristales de hielo formados en la planta, primero en el espacio extracelular y luego en el intracelular. El proceso comienza en el líquido extracelular por tener menor concentración de soluto. Al iniciarse la congelación se produce un desprendimiento de calor y un descenso microscópico del punto de congelación, al encontrarse los solutos. A partir de esos momentos vuelve a bajar la temperatura y se repite el ciclo. Partir de una determinada concentración extracelular de soluto, el agua intracelular puede salir por un proceso de osmosis. Al alcanzarse el equilibrio del potencial extra- intracelular, el líquido intracelular puede congelarse con el descrito más arriba. Esta congelación es la más dañina ya que acaba rompiendo las membranas celulares, lo que mata a las células. Cuando los brotes de planta leñosas están creciendo en primavera temperaturas de -2 a -8°C pueden matar el tejido activo. Los descensos lentos de temperaturas causan a menudo daño extracelular a los que la planta puede sobrevivir. La congelación intracelular es más común que ocurra cuando hay un descenso brusco de temperatura resultando normalmente en la muerte de la planta. En definitiva, la gravedad del daño de helada depende del grado de frío, la velocidad en el cambio de temperatura y el tiempo de exposición.

El periodo más crítico para que ocurra helada, en particular de los árboles frutales es primavera, cuando han florecido y aún hay probabilidades de que ocurran heladas. La mayoría de los árboles para su crecimiento con el acortamiento de los días a final de verano. más tarde, final del otoño, la planta entra en un estado de letargo. Antes de que la planta pueda responder a un aumento de temperaturas deberá haber acumulado varios cientos de hora frío este mecanismo protege a las plantas de las heladas impidiendo su desarrollo a principio de la primavera. Los cultivares se eligen de acuerdo a las

necesidades de frío y al clima en el que tiene que crecer. La germinación temprana de muchas plantas se evitan también mediante un mecanismo similar al descrito por lo que las semillas requieren ser expuestas a bajas temperaturas primero. (Villalobos et al. 2002).

2.5.- La sensibilidad de las plantas

Las plantas se agrupan en cuatro categorías de sensibilidad a la congelación: (1) frágiles; (2) ligeramente resistentes; (3) moderadamente resistentes; y (4) muy resistentes (Levitt, 1980).

Las plantas frágiles son aquellas que no han desarrollado la evitación de la congelación intracelular (plantas tropicales). Las plantas ligeramente resistentes incluyen muchos de los árboles frutales subtropicales, árboles caducifolios, y cultivos hortícolas que son sensibles al enfriamiento hasta los $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las plantas moderadamente resistentes incluyen aquellas que pueden acumular suficientes solutos para resistir el daño por heladas hasta temperaturas tan bajas como $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, principalmente evitando el daño por deshidratación, pero son menos capaces de tolerar temperaturas más bajas. Las plantas muy resistentes son capaces de evitar la congelación intracelular así como de evitar el daño debido a la desecación de las células.

A pesar de que las categorías de sensibilidad a la congelación dan una información general sobre el frío que un órgano de una planta puede aguantar antes de que ocurra el daño por helada, el endurecimiento y el estadio fenológico son casi tan importantes.

2.6.- Tipos de daño y temperaturas críticas

En árboles caducifolios, antes que las hojas estén completamente desarrolladas, normalmente hay una inversión desde el suelo hacia arriba, y por ello las temperaturas del aire más frías están cerca de la parte baja de los árboles. Cuando los árboles tienen la mayoría de las hojas expandidas, sin embargo, la temperatura mínima en las noches con helada de radiación, aumenta con la altura donde están la mayoría de las hojas. En cualquier caso, la utilización de temperaturas de una caseta meteorológica va a proporcionar únicamente una aproximación grosera del daño esperado. Además de las variaciones de temperatura de las distintas partes de las plantas dentro de un árbol, viñedo o campo cultivado, existen también variaciones en las bacterias INA, que ahora se sabe que son un factor determinante de hasta qué punto las plantas se súperenfriarán. Para nuestro conocimiento, ningún investigador ha tenido en cuenta las diferencias en

las concentraciones de bacterias nucleadoras de hielo cuando se han evaluado las temperaturas críticas. (FAO.2010).

2.7.- Cultivos anuales y bienales

Los síntomas de daño en cultivos hortícolas varían ampliamente y a veces pueden confundirse con daño biótico. Las especies difieren enormemente en su resistencia a las heladas, pero el nivel máximo de resistencia sólo se consigue cuando las condiciones ambientales permiten que tenga lugar el endurecimiento. La variedad es, a menudo, tan importante como la especie a la hora de definir la resistencia a las heladas, especialmente cuando hay tipos de invierno y de primavera. En general, también existe una relación inversa entre la precocidad de una variedad y la resistencia a las heladas. (FAO.2010).

Durante eventos de heladas rigurosas sin nieve, las hojas jóvenes de los pastos y las plántulas de los cereales de invierno pueden dañarse, pero es posible la recuperación si el nudo de ahijamiento no se ve afectado. Sin embargo, si se daña el meristemo, se producirá la muerte invernal. Al principio y al final del invierno y al principio de la primavera, las plantas pueden ser menos resistentes, lo cual favorece el daño. La retención de la nieve reduce este tipo de daño (Ventskevich, 1958).

2.7.1.- Cultivos perennes

Los límites de la distribución natural de muchas plantas, incluidos algunos árboles frutales, están relacionadas con la temperatura mínima a la cual se produce la súper congelación (i.e. punto de nucleación homogéneo), que es próximo a -40 °C. Por debajo del punto de nucleación homogéneo, el congelamiento es intracelular y letal (Burke *et al.*, 1976; Weiser *et al.*, 1979; Ikeda, 1982).

2.7.2.- Los árboles frutales

Generalmente, la sensibilidad de los cultivos de hoja caduca a la congelación aumenta desde la primera floración hasta el estadio de fruto pequeño, y es cuando el cultivo es más probable que sufra daños. La sensibilidad también es más alta cuando una meteorología cálida ha precedido una noche helada que si temperaturas frías han precedido a la helada. Se sabe que las plantas resisten a la congelación cuando se han expuesto a temperaturas frías durante largos periodos y este endurecimiento es menor si la exposición es a temperaturas cálidas.

Bajo temperaturas invernales extremas, o cuando los árboles fallan en el endurecimiento, se dañan los tejidos leñosos de las ramas (secado de las puntas) o los troncos se congelan (corazón ennegrecido). En el corazón ennegrecido, las células del

xilema se mueren, la madera se oxida, volviéndose oscura y decolorada y los vasos se llenan de oclusiones gomosas. El corazón ennegrecido normalmente no mata los árboles inmediatamente, pero organismos que pudren la madera invaden los árboles dañados reduciendo la productividad y la longevidad. Las yemas durmientes en invierno a menudo se súper-enfrían a temperaturas muy bajas. La muerte invernal de yemas y tejidos de la corteza ocurre normalmente en plantas que han perdido parcialmente el endurecimiento debido a periodos relativamente cálidos (FAO.2010).

Durante la primavera, la capacidad de súper-enfriamiento se reduce conforme las yemas se expanden y forman flores. Las flores completamente abiertas normalmente tienen temperaturas críticas entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Burkeet *al.*, 1976).

2.7.3.- Uva de mesa y uva de vinificación

Las uvas de mesa y las uvas para vino son dañadas con frecuencia por las heladas primaverales. Las hojas son más propensas a sufrir daño ya que son los primeros órganos en formarse, pero las flores y las pequeñas bayas a veces también son dañadas. En el caso de hojas dañadas es normal que se dé una recuperación total, pero el daño de los frutos puede reducir la producción. La ocurrencia de heladas a principios de otoño aumenta la susceptibilidad a los ataques de hongos como podredumbre gris (*botrytis* sp). Durante el invierno, las yemas que están en estadio de reposo son dañadas en muy pocas ocasiones, ya que pueden resistir temperaturas por debajo de los $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta -20 o incluso $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Leddet y Dereuddre, 1989).

2.7.4.- Los frutos de los cítricos

La mayoría de cítricos no tienen una dormancia bien marcada y estable. El crecimiento sólo se reduce en invierno y un intervalo de 1 a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el punto de congelación de los frutos es normal entre plantaciones frutales y variedades, e incluso entre árboles. Conforme la temperatura del aire cae durante la noche, la temperatura del fruto normalmente cae a continuación pero con un cierto retraso y normalmente está unos pocos grados Celsius más alta que la temperatura del aire, especialmente durante el anochecer. Contra más grande es el fruto, más grande es la diferencia entre la temperatura del fruto y la del aire. El súper-enfriamiento también juega un papel en la temperatura de congelación y explica la importancia de la concentración de núcleos de congelación y la helada blanca o la formación del rocío en la superficie del fruto. También se sabe que la piel tiene una temperatura de congelación más baja que la pulpa del interior. En consecuencia, el daño por helada puede ocurrir en el interior del fruto sin un daño aparente en el exterior.

2.8.-Métodos de lucha contra las heladas

Existen dos métodos para combatir las heladas, que son los métodos pasivos y activos

2.8.1.-Métodos pasivos

La protección pasiva incluye métodos que se han realizado con antelación a una noche de helada para evitar tener que necesitar una protección activa. Por ejemplo, las actividades de gestión pasiva incluyen los siguientes puntos:

- a.- Se Debe Evitar La Plantación En Hondonadas
- b.- Selección De Plantas
- c.- Manejo De La Nutrición De Las Plantas
- d.- Poda Adecuada
- e.- Enfriar Para Retrasar La Floración
- f.- Productos Químicos Para Retrasar La Floración
- g.- Las Cubiertas De Plantas
- h.- Evitar El Laboreo Del Suelo
- i.- El Riego
- j.- Eliminar Las Cubiertas De Los Cultivos
- k.- Cubiertas Del Suelo
- l.- Pintar Los Troncos
- m.- Control De Bacterias

2.8.2.- Métodos de protección activos

Los métodos de protección activos incluyen actividades que se realizan durante una noche de helada para mitigar los efectos de las temperaturas bajo cero. Estos métodos incluyen:

- i. Las estufas

- ii. El humo
- iii. Estufas de combustible líquido
- iv. Estufas de propano y de gas natural
- v. Estufas de combustible sólido
- vi. Estufas portátiles
- vii. Ventiladores
- viii. Helicópteros
- ix. Aspersores
- x. Riego de bajo volumen (por goteo)
- xi. Agua calentada
- xii. Riego De Superficie
- xiii. Inundación
- xiv. Aislamiento Con Espumas
- xv. Los Nebulizadores

2.8.3.- Los métodos combinados

2.8.3.1.- Los ventiladores y los aspersores por debajo de la planta

Evans (2000) reporta que el uso combinado de ventiladores y agua puede doblar el beneficio de utilizar cualquiera de los dos métodos de forma aislada. También, observa que la combinación de métodos reduce los requerimientos de agua.

Como el funcionamiento de los ventiladores aumenta artificialmente la velocidad del viento, las tasas de evaporación son más altas. En consecuencia, la combinación de ventiladores y de aspersores por encima de las plantas sobre planta es probable que sea perjudicial para la protección contra las heladas y no debería utilizarse. (FAO, 2010).

2.8.3.2.- Los Ventiladores Y Las Estufas

La combinación de ventiladores y de estufas se sabe que mejora la protección contra las heladas por encima de cada uno de los métodos por separado (Martsolf, 1979a).

De hecho, Brooks (1960) publicó que un ventilador y 50 estufas por hectárea eran aproximadamente iguales a 133 estufas por hectárea. En California, se encontró que la combinación de métodos era un 53%, 39% y 0% más barata en años con 100, 50 y 10 horas de protección, respectivamente.

En California, la combinación de ventiladores y de estufas ha protegido plantaciones de cítricos a temperaturas tan bajas como $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y sólo se necesitaron la mitad de las estufas cuando se combinaron los dos métodos. Un sistema normal tiene un ventilador de 74,5 kW con unas 37 estufas con chimenea por hectárea uniformemente espaciadas, sin estufas colocadas a menos de 30 m del ventilador (Angus, 1962).

Colocar la mitad de las estufas (25 a 50 ha⁻¹) cada una quemando fuel oil a un ritmo de 2,8 l h⁻¹ en la periferia del área protegida por un ventilador ahorra un 90% del combustible de la estufa durante la estación y mejora la protección contra las heladas porque las estufas no se utilizan en muchas noches de heladas poco severas (Evans, 2000).

2.8.3.3.- Los aspersores y las estufas

Martsolf (1979) publicó la utilización, con éxito, por parte de un agricultor en Pennsylvania, EE.UU. de la combinación de aspersores y estufas. El agricultor diseñó una cobertura (i.e. un trineo para la nieve de metal redondeado montado horizontalmente sobre un poste a unos 1,5 m por encima de la estufa) para evitar que el agua apagase la estufa. El agricultor puso en marcha las estufas en primer lugar y sólo abrió los aspersores cuando la temperatura del aire cayó muy baja. Esta combinación redujo la acumulación de hielo sobre las plantas y algunas veces no se necesitaron los aspersores. No se sabe si el agua que golpeaba la estufa causó una reducción en la generación de calor o si se favoreció la vaporización y la formación de una niebla beneficiosa.

2.9.- Tecnologías adecuadas

2.9.1.- Métodos activos

El riego por inundación como protección fue destacado por México y Argentina, pero no por otros países. Los aspersores sobre planta se han utilizado para la protección de bananas en Chipre y para los arándanos, cítricos y plantaciones frutales de hueso en Argentina. Los aspersores sobre planta también se han utilizado sobre estacas (esquejes leñosos), cucurbitáceas, flores y patatas en Zimbabwe. En Grecia, los micro-aspersor sobre planta se han utilizado sobre los kiwis, pero fue la única localización donde se citó el método. Las técnicas por debajo de las plantas – convencionales y micro-aspersores – se usan para la protección contra las heladas de los cítricos en Grecia. Ninguna otra localización se ha mencionado en los informes sobre el uso de los aspersores bajo plantas. Los que respondieron de Turquía identificaron sobre el uso de nebulizadores artificiales para la protección contra las heladas en cerezos, olivos y melocotoneros, y también se utilizaron los nebulizadores en bananos en Chipre. Los aspersores se utilizan a veces para la protección contra las heladas de cultivos anuales en el Valle del Rift en Jordania y en regiones montañosas.

Los helicópteros se han utilizado para la protección contra las heladas de las plantaciones de frutales de hueso en Argentina, y hay planes de usar helicópteros para viñedos en Uruguay.(FAO. 2010).

Cuadro 2 métodos de protección más aceptados en vid en dos países productores

Prácticas de protección contra las heladas más usadas en vid	
Argentina (Mendoza)	Nebulizadores artificiales Estufas de combustible sólido (coque,carbón vegetal, madera, etc.) Helicópteros Ventiladores que producen el aire hacia arriba
Uruguay	Riego por inundación Las estufas de combustible líquido (petróleo)

FUENTE: FAO, (2010)

2.10.- Resistencia natural a heladas en cultivos

La resistencia a las heladas en varias especies tuberíferas de debe a factores morfológicos como menor tamaño de células estomáticas, paredes celulares gruesas, menor área de estomas, hábito arrosetado de la planta, dos o más capas de palizada en el

tejido parenquimatoso de las hojas, factores fisicoquímicos como el contenido de lípidos en las células, capacidad de transformación de almidones hacia azúcares, capacidad de formar hielo extracelular, pigmentos protectores, habilidad para soportar deshidratación celular y mantener la cohesión bajo la presión de congelación (Estrada, 2000).

2.11.- La tolerancia y el endurecimiento de las plantas

Las plantas resisten las temperaturas bajas evitándolas o tolerándolas. Las estrategias para evitar las temperaturas bajas incluyen:

La retención de nieve a lo largo del invierno, protege tanto las partes aéreas de las plantas como las subterráneas (Ventskevich, 1958).

Órganos con elevada capacidad de calor (troncos y frutos grandes) que retrasan la caída de temperatura respecto a la temperatura del aire, lo que puede salvarlos de las temperaturas que más dañan (Turrell y Austin, 1969).

La tolerancia a bajas temperaturas puede conseguirse:

Evitando la congelación mediante una disminución del punto de congelación o un aumento en el grado de súper enfriamiento (Burke *et al.*, 1976).

Tolerancia de la congelación extracelular reduciendo la cantidad de hielo formado debido a un incremento de la concentración de solutos en el protoplasma (Li y Palta, 1978).

Tolerancia de un grado más alto de desecación debido a la plasmólisis del protoplasma (Gusta, Burke y Kapoor, 1975).

Aumento de la permeabilidad de la membrana del plasma para evitar la congelación intracelular (Alden y Hermann, 1971; Levitt, 1980).

La temperatura a la cual ocurre la congelación puede fluctuar considerablemente dependiendo de la dureza que han alcanzado las plantas. Sin embargo hay plantas bastantes plantas *C4*, (hojas de palmeras y plantas de tomate) que tienen muy poca o ninguna capacidad de endurecimiento (Larcher, 1982; Olien, 1967).

El endurecimiento implica tanto mecanismos de evitación como de tolerancia a la congelación. La acumulación de azúcares o azúcares alcoholes disminuye la temperatura de congelación de los tejidos (En hojas de olivo y de cítricos) y aumenta el súper-enfriamiento en muchos árboles frutales caducifolios o de hoja perenne en respuesta a una baja temperatura del aire.

Algunas células pueden endurecer aumentando la proporción de ácidos grasos no saturados de los lípidos de la membrana del plasma, que aumentarían la estabilidad de la membrana durante la desecación. Como el endurecimiento es un proceso activo que depende del nivel de asimilados en los tejidos, todas las condiciones que disminuyan el conjunto de asimilados en los tejidos reducirán el endurecimiento. Aunque las temperaturas frías provocan que los frutos de las plantas se endurezcan contra los daños por helada, el endurecimiento se pierde rápidamente tras unos pocos días cálidos. Las yemas de los frutos se volverán a endurecer pero a un ritmo mucho más lento que al que lo han perdido. Ésta es la base de la práctica de enfriar los cultivos con aspersores durante los períodos más cálidos del día para reducir la temperatura y evitar la pérdida de endurecimiento.

2.12.- Fundamentos del índice de peligrosidad de heladas (I.P.H.)

Un Método estadístico biológico para estimar la probabilidad de años en que puedan ocurrir daños por heladas en frutales, se desarrolló con una concepción más avanzada que el índice (I.C.K.) dicho método permitió crear el índice agroclimático de peligrosidad de heladas en frutales mediante el cual es posible comprobar posibilidades zonales de daño por temperaturas mínimas críticas. Este método que se describe a continuación se refiere principalmente a los frutales criófilos, aunque es aplicable a especies de follaje persistente, teniendo en cuenta las modificaciones en sus procesos fenológicos y en su temperatura crítica específicas.

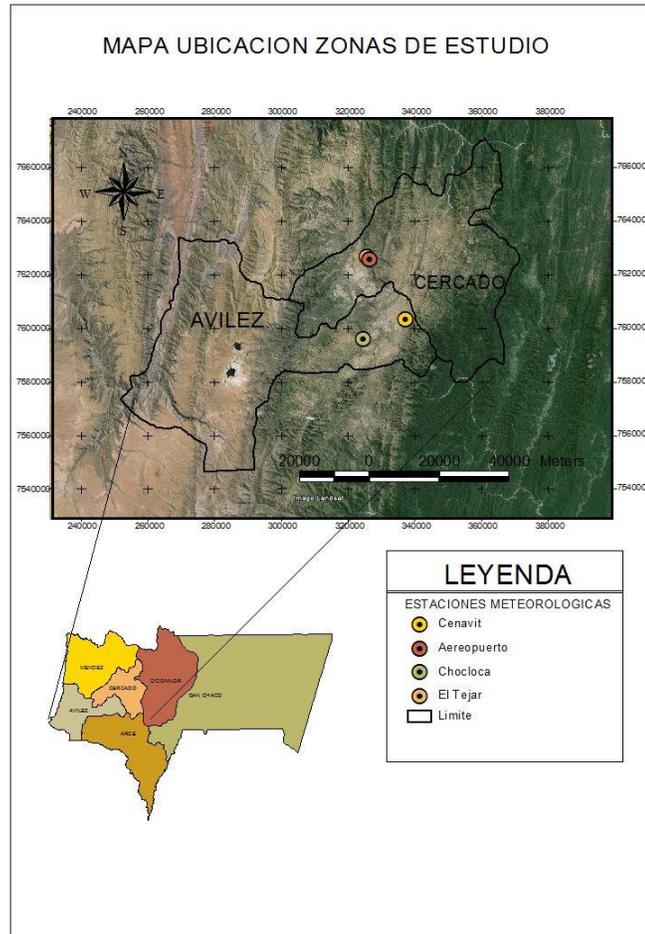
El I.P.H. se vinculan los tres aspectos involucrados en el problema, el primero.- establece una duración media en días de los distintos procesos fenológicos desde las manifestaciones de pre floración (yemas cerradas mostrando el color de los pétalos) hasta principios de fructificación (frutitos verdes creciendo) A pesar de que encada lugar se deben usar las aplicaciones locales que surjan

En el segundo aspecto a considerar en el I.P.H. se refiere a la intensidad de temperaturas mínimas capaces de provocar daño es decir temperaturas mínimas críticas, estas temperaturas son variables según el lugar las condiciones meteorológicas acompañadas a la especie, cultivar considerados etc., pero lo que es común es que para todas las situaciones es que la intensidad crítica disminuye a medida que la floración avanza a la fructificación

El tercer aspecto del I.P.H. considera el valor de la probabilidad estadística de ocurrencia de las temperaturas mínimas iguales o inferiores a cada uno de los niveles críticos, en las fechas en que comienza y termina parte del proceso fenológico que afectada por cada nivel. Partiendo de un registro de temperaturas mínimas diarias de más de 20 años de extensión se extraen anualmente las fechas de cada nivel térmico y se trazan curvas de probabilidad correspondiente ya sea usando las frecuencias reales o calculando la fecha media y la desviación típica, este último aceptando la casi normalidad de las series (Páscale, 2004).

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1.- Ubicación geográfica



El departamento de Tarija se encuentra ubicado al extremo del Sur de Bolivia y posee una superficie de 37.623 km². Además cuenta con seis provincias, siendo que Méndez, Cercado limita al Norte y Oeste con los departamentos de Chuquisaca y Potosí, al sur limita con las provincias de Avilés, Arce y la República de Argentina, por ultimo al Este con las provincias de O'Connor, Gran Chaco y la República del Paraguay. Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas 21°15' y 21°37' de latitud Sur, 64°55' y 64°38' de longitud Oeste, posee altitudes que van desde los 1900 m.s.n.m. hasta los 4344 m.s.n.m.

3.1.1.- Localización de la zona de estudio

El presente trabajo de investigación se llevara a cabo en dos zonas productoras de vid como lo son el municipio de Cercado que se encuentra ubicada a una Latitud sud $21^{\circ} 31'48''$ Longitud oeste.: $64^{\circ} 42' 39''$ y a una Altura de: 1,849 m.s.n.m. y el municipio de Uriondo que se encuentra ubicada a una Latitud sud $21^{\circ} 41' 31''$ Longitud oeste.: $64^{\circ} 39' 29''$ y una Altura de: 1730 m.s.n.m.

3.2.1.- Materiales

- base de datos.- se trabajara con datos de temperaturas mínimas diarias de las estaciones de Aeropuerto, El Tejar, CENAVIT y Chocloca del municipio de Cercado y Uriondo
- Base de datos fenológicos de la vid correspondientes a las zonas de estudio
- Procedimiento del cálculo I.P.H.

3.2.2.- Materiales de campo

- libreta de campo
- cámara fotográfica
- GPS

3.2.3.- Material de gabinete

- Base de datos de temperaturas mínimas letales para la vid
- Base de datos de temperaturas mínimas diarias de las dos localidades
- Planillas
- Computadora
- Calculadora

3.3.- Metodología

El siguiente trabajo comprende tres aspectos aspecto 1. Establecimiento de la duración media de los distintos procesos fenológicos, aspecto 2. Intensidad de temperaturas mínimas capaces de provocar daño, aspecto 3. Valor de la probabilidad estadística de ocurrencia de los distintos niveles de temperaturas capaces de provocar daño.

ASPECTO 1. Se establecerá una duración media en días de los distintos procesos fenológicos desde las manifestaciones de pre floración (yemas cerradas mostrando el color de los pétalos) hasta principios de fructificación (frutitos verdes creciendo), datos recopilados por el CENAVIT en el año 2009. Pero para un cálculo más preciso se deben usar datos de la zona o la zona más cercana.

Cuadro 3. Fenología de la vid en el Valle Central de Tarija

Estados principales	Brotación				Desarrollo de hojas			Inflorescencia		Floración				Desarrollo de bayas			
Fases fenológicas	Yema Invernal	Yema Inchada	Yema Algodonosa	Punta Verde	1° hoja separada	2-3 hojas separadas	5 hojas separadas	Flores agrupadas	Flores separadas	Inicio Floración	25% caliptras caídas	50% caliptras caídas	80% caliptras caídas	Cuaja bayas >2 mm	bayas de 4 mm	bayas arveja 7mm	Cierre racimos
	1	2	3	5	7	9	12	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33
Fechas	06/ag-12/ag	06/ag-20/ag	13/ag-27/ag	20/ag-03/sp	03/sp-17/sp	10/sp-15/oct	17/sp-21/oct	24/sp-21/oct	24/sp-12/nv	01/oct-12/nv	15/oct-12/nv	22/oct-12/nv	29/oct-19/nv	22/oct-26/nv	29/oct-26/nv	19/nv-10/dic	20/nv-14/en
	06/Ag-03/Sp				03/Sp-21/Oct			24/Sp-12/Nv		01/Oct-19/Nov				22/Oct-14/Ene			

Clasificación Fenológica de Eichhorn & Lorenz, CENAVIT, 2009. Citado por Caba Y Molina, 2010.

ASPECTO 2. En el segundo aspecto a considerar en el I.P.H. se refiere a la intensidad de temperaturas mínimas capaces de provocar daño es decir temperaturas mínimas críticas, estas temperaturas son variables según el lugar las condiciones meteorológicas acompañadas a la especie, cultivar considerados etc., pero lo que es común es que para todas las situaciones es que la intensidad critica disminuye a medida que la floración avanza a la fructificación, establecidos por Young el año 1965 siendo muy aceptado hasta estos tiempos.

Cuadro 4. Estados fenológicos de la Vid y temperaturas mínimas críticas

ESTADO FENOLÓGICO	TEMPERATURA CRÍTICA
Yema invernal	- 17
Yema hinchada	- 6 a - 12
Yema algodonosa - punta verde	- 3.8 a - 8.9
1 ^{ra} hoja separada	- 1.9 a - 6.1
2-3 hojas separadas	- 2.2 a - 5.6
5 hojas separadas – floración	- 1.1
Racimos desplegados – frutos verdes	- 0.6

Fuente: Schoonover, Hodgson y Young (1965).

ASPECTO 3. El tercer aspecto del I.P.H. considera el valor de la probabilidad estadística de ocurrencia de las temperaturas mínimas iguales o inferiores a cada uno de los niveles críticos, en las fechas en que comienza y termina parte del proceso fenológico que afectada por cada nivel. Partiendo de un registro de temperaturas mínimas diarias de más de 20 años de extensión se extraen anualmente las fechas de cada nivel térmico y se trazan curvas de probabilidad correspondiente ya sea usando las frecuencias reales o calculando la fecha media y la desviación típica, este último aceptando la casi normalidad distribucional de las de las series para este aspecto se usaron datos de las estaciones de: Aeropuerto, El Tejar, CENAVIT y Chocloca.

3.3.1.- Metodología cálculo de probabilidad de heladas (Distribución Normal).

Este método es utilizado cuando existe un número grande de observaciones de ocurrencia de heladas, y además, cuando todos los años se registran heladas.

Primeramente es necesario tabular las fechas de ocurrencia de primera y última helada, para luego transformar las fechas en número de orden del respectivo día del calendario juliano (año agrícola).

Luego se calculan la desviación típica o estándar y la media de los datos, con las expresiones siguientes.

$$S = \frac{\sqrt{n\sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}}{n(n-1)}$$

S= desviación estándar

Xi= cada una de las observaciones de heladas

X= media de los datos

N= número de observaciones

Una vez obtenidos estos valores se estandariza cada una de los datos, tanto de la primera como ultima helada con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{Xi - \bar{X}}{s}$$

con los valores **z** así calculados para cada dato , se entra en la tabla de Z (distribución normal estandarizada) y se obtiene las fechas de primera o ultima helada para las fechas de interés seleccionada, cuando se trabaja con las fechas medias y la desviación típica en lugares donde no ocurren en la totalidad de los años , para calcular IPH será necesario corregir las probabilidades derivadas multiplicando por el valor teórico de las mismas por el porcentaje real de años con registro.

$$Z = \left(\frac{Xi - X}{s} \right) \times \%real\ de\ años\ con\ ocurrencia$$

3.4.- Estimación del periodo medio libre de heladas

Período medio con y sin heladas: el período medio con heladas es el lapso comprendido entre la fecha media de primera helada y fecha media de última helada y corresponde a la época del año donde se espera que ocurran las bajas temperaturas. Calculado el período medio con heladas, se calcula el período medio sin heladas como la diferencia entre el número de días del año y el período medio con heladas. Es decir, que se considera período libre de heladas a aquel que comienza el día posterior a la última helada del año y finaliza el día anterior a la primera helada del año siguiente.

$$\text{PMLH: } 365 - x$$

X= primer helada- ultima helada

Para las fechas de ocurrencia de heladas deben estar convertidas en días julianos.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

La probabilidad de daño por helada tardía se determinó utilizando el índice de peligrosidad de heladas (IPH) siguiendo la metodología de Páscale *et. al.* (1997), quienes desarrollaron un índice agroclimático de peligrosidad de heladas primaverales en frutales criófilos basado en la duración en días de los distintos estadios fenológicos, las temperaturas mínimas críticas en cada estadio y su probabilidad de ocurrencia. Siguiendo tres etapas:

En la etapa 1 se estableció la duración media en días de los procesos fenológicos más importantes para el estudio que van desde yema hinchada a frutos verdes tamaño arveja (4 mm) se usaron las duraciones evaluadas a detalle por el Centro Nacional Vitivinícola (CENAVIT) presentadas en el año 2009 en el cual evaluaron la fecha de ocurrencia de los distintos procesos fenológicos por los que atraviesa la vid (*Vitis vinífera* L.) según escala fenológica Eichhorn & Lorenz.

Cuadro: 5 Duración media en fases fenológicas y temperaturas mínimas

<i>Fase fenológica</i>	<i>Yema hinchada</i>	<i>Yema algodonosa-punta verde</i>	<i>1^{er} hoja separada</i>	<i>2-3 hojas separadas</i>	<i>Floración</i>	<i>Frutos verdes</i>
<i>Duración en días</i>	14	21	14	35	63	28
<i>T° mín. críticas</i>	-6	-3,8	-1,9	-2,2	-1,1	-0,6

En la etapa 2 se recopiló información sobre investigaciones de temperaturas mínimas críticas capaces de provocar daño a las distintas fases fenológicas por la que atraviesa nuestro cultivo y se encuentran dentro del margen de estudio optando por el estudio realizado por Schoonover, Hodgson y Young (1965). Señalada en la tabla 5 donde interactúa la duración en días de los procesos fenológicos de estudio y temperaturas mínimas críticas capaces de provocar daño

En la etapa 3 se procedió con el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de helada para las dos zonas usando dos estaciones meteorológicas por zona o municipio, para cercado se trabajó con las estaciones de el Tejar y Aeropuerto la cual se denominó zona 1. En la zona del valle se trabajó con las estaciones del CENAVIT, Chocloca. la cual se denominó zona 2.

El cálculo se realizó en las siguientes fases:

Fase 1: se realizó la selección de fechas del día fenológico juliano de toda la serie donde se produjo temperaturas iguales o inferiores a cada uno de los niveles críticos según la fase que es afectada por este nivel.

Fase 2: se procedió al cálculo de la desviación típica y el porcentaje de años con ocurrencia del nivel crítico donde se obtuvieron los siguientes resultados:

ZONA 1

Cuadro: 6 Resultados del Cálculo de la Desviación Estándar Estación Meteorológica Aeropuerto.

	día juliano T =-0,6	día juliano T =-1,1	día juliano T =-2	día juliano T =-3	día juliano T =-4	día juliano T =-6
ΣX	2081,00	1822,00	1466,00	891,00	461,00	88,00
n	37,00	33,00	28,00	19,00	11,00	2,00
ΣX^2	124985,00	107930,00	83852,00	45519,00	20937,00	3880,00
Med.	56,24	55,22	52,35	46,89	41,90	44,00
s	14,85	15,14	16,21	14,41	12,72	2,83
n.total	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00
% años con ocurrencia	88,10	78,57	66,67	45,24	26,19	4,76

Cuadro: 7 Resultados del Cálculo de la Desviación Estándar Estación Meteorológica El Tejar

	día juliano T° =-0,6°C	día juliano T° =-1,1°C	día juliano T°=-2 °C	día juliano T°=-3 °C	día juliano T°=-4 °C	día juliano T°=-6 °C
$\sum X$	2222,00	1539,00	1330,00	757,00	484,00	88,00
n	37,00	27,00	25,00	16,00	11,00	2,00
$\sum X^2$	142680,00	93479,00	76896,00	38577,00	22832,00	3880,00
med	60,05	57,00	53,20	47,31	44,00	44,00
s	16,02	14,88	15,99	13,57	12,39	2,83
n.total	42,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
% años con ocurrencia	88,10	67,50	62,50	40,00	27,50	5,00

El cuadro 6 y 7 muestran los resultados del procedimiento para el cálculo de la desviación estándar (s) para diferentes fechas medias según el nivel crítico que se produjo y también refleja el resultado del porcentaje de años donde se produjo el nivel crítico según la fase fenológica que esta afecta. De las estaciones de Aeropuerto y El Tejar. Correspondientes a la primer zona de estudio.

ZONA 2

Cuadro: 8 Resultados del Cálculo de la Desviación Estándar Estación Meteorológica CENAVIT.

	día juliano T° =-0,6°C	día juliano T° =-1,1°C	día juliano T° =-2 °C	día juliano T° =-3 °C	día juliano T° =-4 °C	día juliano T° =-6 °C
$\sum X$	1399,00	1281,00	1172,00	859,00	632,00	141,00
n	22,00	21,00	20,00	16,00	12,00	3,00
$\sum X^2$	94267,00	83269,00	74512,00	50197,00	35782,00	7643,00
med	63,59	61,00	58,60	53,68	52,66	47,00

S	15,89	16,01	17,52	16,49	15,07	22,54
n.total	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
% años con ocurrencia	95,65	91,30	86,96	69,57	52,17	13,04

Cuadro: 9 Resultados del Cálculo de la Desviación Estándar Estación Meteorológica Chocloca.

	día juliano T° =-0,6°C	día juliano T° =-1,1°C	día juliano T° =-2°C	día juliano T° =-3°C	día juliano T° =-4°C	día juliano T° =-6°C
$\sum X$	1064,00	898,00	862,00	371,00	361,00	0,00
n	17,00	15,00	15,00	7,00	7,00	0,00
$\sum X^2$	69862,00	56612,00	53158,00	21047,00	19937,00	0,00
med	62,50	59,86	57,46	53,00	51,57	0,00
s	14,29	14,27	16,08	15,19	14,83	0,00
n.total	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	0,00
% años con ocurrencia	100,00	88,24	88,24	41,18	41,18	0,00

El cuadro 8 y 9 muestran los resultados del procedimiento para el cálculo de la desviación estándar (s) para diferentes fechas medias según el nivel crítico que se produjo y también refleja el resultado del porcentaje de años donde se produjo el nivel crítico según la fase fenológica que esta afecta. De las estaciones de CENAVIT y Chocloca. Correspondientes a la segunda zona de estudio.

Fase 3: En esta fase se procedió con la estandarización de los datos para calcular Z Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

ZONA 1

Cuadro: 10 Resultados del Cálculo de la estandarización para calcular Z, Estación Meteorológica Aeropuerto

	día juliano T° =-0,6°C	día juliano T° =-1,1°C	día juliano T° =-2 °C	día juliano T° =-3 °C	día juliano T° =-4 °C	día juliano T° =-6 °C
12	-2,978374189	-2,854983844	-2,488888857	-2,421843218	-2,351410141	-11,3137085
22	-2,305143134	-2,194413773	-1,872063861	-1,72770644	-1,564985345	-11,3137085
32	-1,631912078	-1,533843703	-1,255238866	-1,033569662	-0,778560548	-4,242640687
42	-0,958681023	-0,873273633	-0,63841387	-0,339432884	0,007864248	-0,707106781
52	-0,285449967	-0,212703563	-0,021588875	0,354703894	0,794289044	2,828427125
62	0,387781088	0,447866508	0,595236121	1,048840671	1,580713841	6,363961031
72	1,061012143	1,108436578	1,212061116	1,742977449	2,367138637	9,899494937
82	1,734243199	1,769006648	1,828886111	2,437114227	3,153563434	13,43502884
92	2,407474254	2,429576718	2,445711107	3,131251005	3,93998823	16,97056275
102	3,080705309	3,090146789	3,062536102	3,825387783	4,726413026	20,50609665
112	3,753936365	3,750716859	3,679361098	4,519524561	5,512837823	24,04163056
122	4,42716742	4,411286929	4,296186093	5,213661339	6,299262619	27,57716447

Cuadro: 11 Resultados del Cálculo de la estandarización para calcular Z, Estación Meteorológica El Tejar

	día juliano T° =-0,6°C	día juliano T° =-1,1°C	día juliano T° =-2 °C	día juliano T° =-3 °C	día juliano T° =-4 °C	día juliano T° =-6 °C
12	-2,999239847	-3,024396976	-2,575838626	-2,602410113	-2,581988897	-11,3137085
22	-2,375048412	-2,352308759	-1,950635076	-1,865392239	-1,775117367	-7,778174593
32	-1,750856976	-1,680220542	-1,325431526	-1,128374365	-0,968245837	-4,242640687
42	-1,126665541	-1,008132325	-0,700227976	-0,391356491	-0,161374306	-0,707106781
52	-0,502474106	-0,336044108	-0,075024426	0,345661383	0,645497224	2,828427125
62	0,12171733	0,336044108	0,550179124	1,082679257	1,452368755	6,363961031
72	0,745908765	1,008132325	1,175382674	1,819697131	2,259240285	9,899494937

82	1,370100201	1,680220542	1,800586224	2,556715005	3,066111816	13,43502884
92	1,994291636	2,352308759	2,425789774	3,293732879	3,872983346	16,97056275
102	2,618483072	3,024396976	3,050993324	4,030750753	4,679854877	20,50609665
112	3,242674507	3,696485193	3,676196874	4,767768627	5,486726407	24,04163056
122	3,866865943	4,36857341	4,301400423	5,504786501	6,293597938	27,57716447

ZONA 2

Cuadro: 12 Resultados del Cálculo de la estandarización para calcular Z, Estación Meteorológica CENAVIT.

	día juliano T° =-0,6°C	día juliano T° =-1,1°C	día juliano T°=-2°C	día juliano T°=-3°C	día juliano T°=-4°C	día juliano T°=-6°C
12	-3,246394793	-3,060110222	-2,659648075	-2,527395442	-2,698879132	-1,552873891
22	-2,617126564	-2,435597932	-2,088908145	-1,921014578	-2,035111515	-1,109195637
32	-1,987858335	-1,811085642	-1,518168215	-1,314633714	-1,371343898	-0,665517382
42	-1,358590106	-1,186573351	-0,947428284	-0,708252849	-0,70757628	-0,221839127
52	-0,729321877	-0,562061061	-0,376688354	-0,101871985	-0,043808663	0,221839127
62	-0,100053648	0,062451229	0,194051576	0,504508879	0,619958955	0,665517382
72	0,529214581	0,686963519	0,764791507	1,110889743	1,283726572	1,109195637
82	1,15848281	1,311475809	1,335531437	1,717270607	1,94749419	1,552873891
92	1,787751039	1,9359881	1,906271367	2,323651472	2,611261807	1,996552146
102	2,417019268	2,56050039	2,477011297	2,930032336	3,275029424	2,440230401
112	3,046287497	3,18501268	3,047751228	3,5364132	3,938797042	2,883908656
122	3,675555726	3,80952497	3,618491158	4,142794064	4,602564659	3,32758691

Cuadro: 13 Resultados del Cálculo de la estandarización para calcular Estación Meteorológica Chocloca.

	día juliano T° =-0,6°C	día juliano T° =-1,1°C	día juliano T° =-2°C	día juliano T° =-3°C	día juliano T° =-4°C	día juliano T° =-6°C
--	---------------------------	---------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

12	-3,533494731	-3,353376033	-2,826410346	-2,69955038	-2,668097627	0
22	-2,833792804	-2,652712424	-2,204674678	-2,041123458	-1,993824787	0
32	-2,134090877	-1,952048815	-1,58293901	-1,382696536	-1,319551947	0
42	-1,43438895	-1,251385206	-0,961203342	-0,724269614	-0,645279108	0
52	-0,734687023	-0,550721597	-0,339467675	-0,065842692	0,028993732	0
62	-0,034985096	0,149942012	0,282267993	0,59258423	0,703266572	0
72	0,664716831	0,850605621	0,904003661	1,251011152	1,377539411	0
82	1,364418758	1,551269231	1,525739329	1,909438074	2,051812251	0
92	2,064120685	2,25193284	2,147474996	2,567864996	2,726085091	0
102	2,763822612	2,952596449	2,769210664	3,226291918	3,40035793	0
112	3,463524539	3,653260058	3,390946332	3,88471884	4,07463077	0
122	4,163226466	4,353923667	4,012682	4,543145762	4,74890361	0

En el cuadro 9, 10, 11,12 y 13 se muestra los resultados de la estandarización de los valores para la posterior cálculo de la probabilidad de ocurrencia de los niveles críticos de daño en doce fechas con un intervalo de diez días.

Fase 4: con los valores de Z se entra en la tabla de Z (Distribución normal estandarizada), los valores de la probabilidad obtenidos de la tabla. como en nuestras zonas de estudio algunos niveles críticos no ocurrieron en la totalidad de los años, para calcular IPH es necesario corregir estas probabilidades derivadas multiplicando el valor teórico de las mismas por el porcentaje total de años con ocurrencia dentro de la serie. Donde se obtuvo los siguientes resultados expresados en los cuadros 14, 15, 16 y 17 de las dos zonas de estudio con un intervalo de 10 días.

ZONA 1

Cuadro: 14 Resultados del Cálculo de la Probabilidad porcentual de Ocurrencia de Heladas en la estación de Aeropuerto.

Fecha Probable	Fecha con T⁰ =-0,6°C	Fecha con T⁰ =-1,1°C	Fecha con T⁰ =-2°C	Fecha con T⁰ =-3°C	Fecha con T⁰ =-4°C	Fecha con T⁰ =-6°C
12- jul	87,86	78,39	66,22	44,88	25,94	4,76
22-jul	87,05	77,44	64,55	43,07	24,63	4,76
1-ago	83,46	73,09	59,03	38,18	20,26	4,76
11-ago	72,94	63	48,56	28,32	12,27	3,61
21-ago	53,71	46,02	33,53	23,97	5,58	0,01
31-ago	30,98	25,74	18,32	9,87	1,48	0
10-sep	12,72	10,58	7,46	2,69	0,23	0
20-sep	3,68	3,06	2,27	0,49	0,02	0
30-sep	0,64	0,61	0,48	0,03	0	0
10-oct	0,09	0,08	0,07	0	0	0
20-oct	0	0	0	0	0	0
30-oct	0	0	0	0	0	0

El cuadro14 muestra resultados de las probabilidades de ocurrencia de los diferentes niveles críticos de daño por heladas corregida con el valor real de años con ocurrencia de los diferentes niveles críticos de daño para la estación de aeropuerto , la probabilidad de ocurrencia en fecha 12 de julio de una temperatura de -0.6 °C es de un 87.86%, esta probabilidad muestra una disminución de según pasan los días llegando completamente a cero en el lapso de 100 días fenológicos se observa también el mismo comportamiento en la probabilidad de ocurrencia de temperaturas de -6°C misma que es de un 4.76% llegando a cero en 40 días contabilizados a partir del 12 de julio. Este comportamiento de las temperaturas críticas de vid es reflejado en cada uno de los niveles de daño por etapa fenológica.

Cuadro: 15 Resultados del Cálculo de la Probabilidad porcentual de Ocurrencia de Heladas en la estación de El Tejar

Fecha Probable	Fecha con T⁰ =-0,6°C	Fecha con T⁰ =-1,1°C	Fecha con T⁰ =-2°C	Fecha con T⁰ =-3°C	Fecha con T⁰ =-4°C	Fecha con T⁰ =-6°C
12- jul	87,88	67,41	62,18	39,81	27,36	5
22-jul	87,21	66,86	60,9	38,74	26,44	5
1-ago	84,47	64,36	56,66	34,74	22,87	5
11-ago	76,43	56,78	47,38	26,07	15,5	3,79
21-ago	60,85	42,47	32,99	14,68	7,18	0,01
31-ago	39,83	25,53	18,2	5,6	2,02	0
10-sep	20,22	10,71	7,56	1,4	0,34	0
20-sep	7,51	3,14	2,24	0,22	0,03	0
30-sep	2,05	0,63	0,49	0,02	0	0
10-oct	0,39	0,08	0,07	0	0	0
20-oct	0,05	0	0	0	0	0
30-oct	0	0	0	0	0	0

El cuadro 15 muestra resultados de las probabilidades de ocurrencia de los diferentes niveles críticos de daño por heladas corregida con el valor real de años con ocurrencia de los diferentes niveles críticos de daño para la estación meteorológica de el tejar, la probabilidad de ocurrencia en fecha 12 de julio de una temperatura de -0.6 °C es de un 87.88%, esta probabilidad muestra una disminución de según pasan los días llegando completamente a cero en el lapso de 100 días fenológicos al igual que la estación de aeropuerto, se observa también el mismo comportamiento en la probabilidad de ocurrencia de temperaturas de -6°C misma que es de un 5% llegando a cero en 40 días contabilizados a partir del 12 de julio. Este comportamiento de las temperaturas críticas de vid es reflejado en cada uno de los niveles de daño por etapa fenológica.

ZONA 2

Cuadro: 16 Resultados del Cálculo de la Probabilidad porcentual de Ocurrencia de Heladas en la estación de CENAVIT.

Fecha Probable	Fecha con T⁰ =-0,6°C	Fecha con T⁰ =-1,1°C	Fecha con T⁰ =-2°C	Fecha con T⁰ =-3°C	Fecha con T⁰ =-4°C	Fecha con T⁰ =-6°C
12- jul	95,54	91,19	86,55	69,08	51,9	12,24
22-jul	95,16	90,61	85,26	67,59	50,99	11,27
1-ago	92,73	87,8	81,3	62,44	46,69	9,69
11-ago	86,59	80,17	71,9	52,3	39,42	7,63
21-ago	72,89	64,82	55,73	37,25	26,83	5,36
31-ago	51,28	42,78	36,95	21,29	14,29	3,31
10-sep	28,64	25,57	19,45	9,21	5,3	1,76
20-sep	11,88	8,65	7,99	3,01	1,36	0,79
30-sep	3,56	2,34	2,49	0,7	0,23	0,3
10-oct	0,76	0,47	0,59	0,12	0,03	0,09
20-oct	0,11	0,06	0,1	0	0	0,03
30-oct	0	0	0	0	0	0

El cuadro 16 muestra resultados de las probabilidades de ocurrencia de los diferentes niveles críticos de daño por heladas corregida con el valor real de años con ocurrencia de los diferentes niveles críticos de daño, la probabilidad de ocurrencia en fecha 12 de julio de una temperatura de -0.6 °C es de un 95.54%, esta probabilidad muestra una disminución de según pasan los días llegando completamente a cero en el lapso de 110 días fenológicos diez días más a diferencia de las estaciones de cercado, se observa también un comportamiento similar en la probabilidad de ocurrencia de temperaturas de -6°C misma que es de un 12.24% llegando a cero en 110 días contabilizados a partir del 12 de julio. Este comportamiento de las temperaturas críticas de vid es reflejado en cada uno de los niveles de daño por etapa fenológica.

Cuadro: 17 Resultados del Cálculo de la Probabilidad porcentual de Ocurrencia de Heladas en la estación de Chocloca.

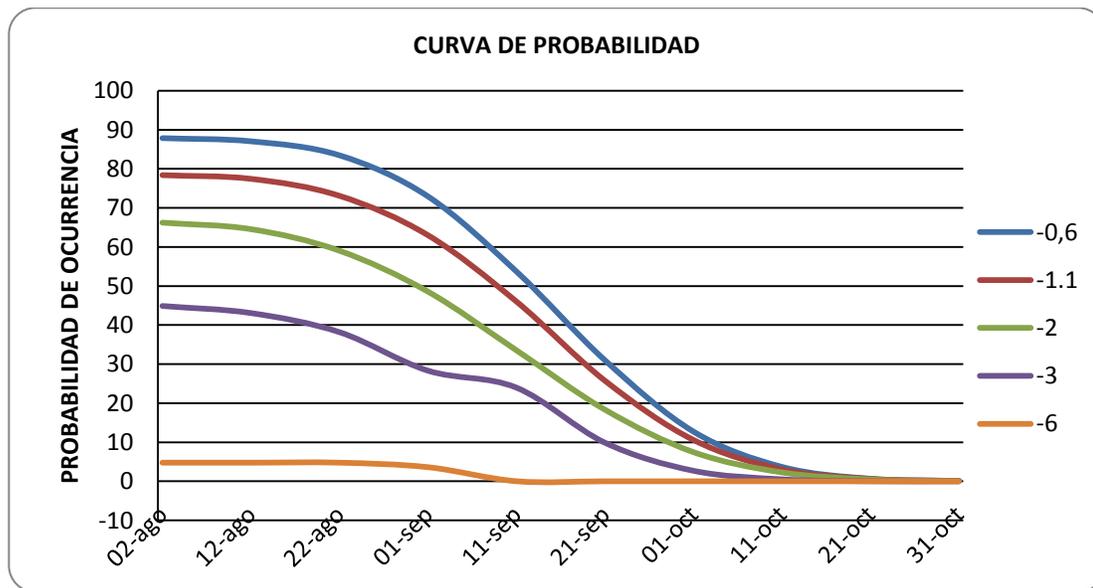
Fecha Probable	Fecha con T⁰ =-0,6°C	Fecha con T⁰ =-1,1°C	Fecha con T⁰ =-2°C	Fecha con T⁰ =-3°C	Fecha con T⁰ =-4°C	Fecha con T⁰ =-6°C
12- jul	100	88,19	87,34	41,02	41	0
22-jul	99,77	87,75	86,77	40,31	40,21	0
1-ago	98,34	85,17	82,66	37,56	37,1	0
11-ago	92,36	78,7	73,17	31,33	30,29	0
21-ago	76,42	62,37	55,38	21,47	20,17	0
31-ago	51,2	39,09	34,29	11,38	9,9	0
10-sep	25,46	17,39	16,2	4,33	3,5	0
20-sep	8,69	5,33	5,66	1,18	0,83	0
30-sep	1,97	1,07	1,43	0,21	0,14	0
10-oct	0,29	0,14	0,26	0,02	0,01	0
20-oct	0,03	0	0,03	0	0	0
30-oct	0	0	0	0	0	0

El cuadro 17 muestra resultados de las probabilidades de ocurrencia de los diferentes niveles críticos de daño por heladas corregida con el valor real de años con ocurrencia de los diferentes niveles críticos de daño para la estación meteorológica de el tejtar, la probabilidad de ocurrencia en fecha 12 de julio de una temperatura de -0.6 °C es de un 100%, esta probabilidad muestra una disminución de según pasan los días llegando completamente a cero en el lapso de 100 días fenológicos al igual que las estaciones meteorológicas de estudio de la provincia cercado, se observa también un comportamiento diferente en la probabilidad de ocurrencia de temperaturas de -6°C misma que es de un 0% a diferencia de las anteriores estaciones. Donde sí se presentó una probabilidad aunque fueron mínimas descartando el daño por este nivel que corresponde a la fase de yema hinchada.

En las siguientes figuras se presentan las curvas de probabilidad obtenidas empleando las fechas medias de ocurrencia de las diferentes fases fenológicas y las desviaciones

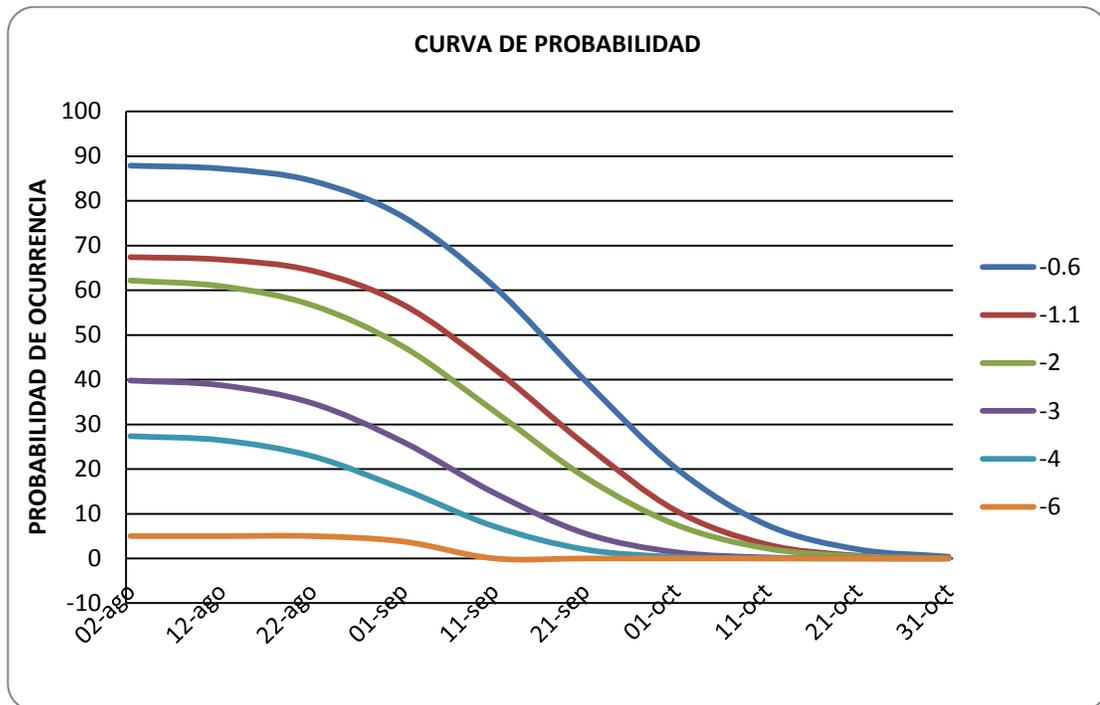
típicas respectivas de cada nivel de daño, para las localidades de cercado y Uriondo, mediante las cuales es posible calcular las probabilidades antes o después de cualquier fecha en que se producen los distintos procesos fenológicos usados en el cálculo IPH.

Figura 1. Curvas de Probabilidad de Ocurrencia de Heladas Estación de Aeropuerto.



En el grafico 1 se puede observar la probabilidad de ocurrencia de cada nivel crítico de daño que afecta a la vid y su descenso según pasan los días alejándonos de las fechas de brotación. Se observa también que la temperatura -6°C es la de menor probabilidad de ocurrencia, como también las de mayor probabilidad son las temperaturas correspondientes a los niveles de $-0,6^{\circ}\text{C}$ con un 90 % de probabilidad de ocurrencia en fechas de 1 de agosto y $-1,1^{\circ}\text{C}$ con una probabilidad de ocurrencia de un 80% para la fecha de 1 de agosto.

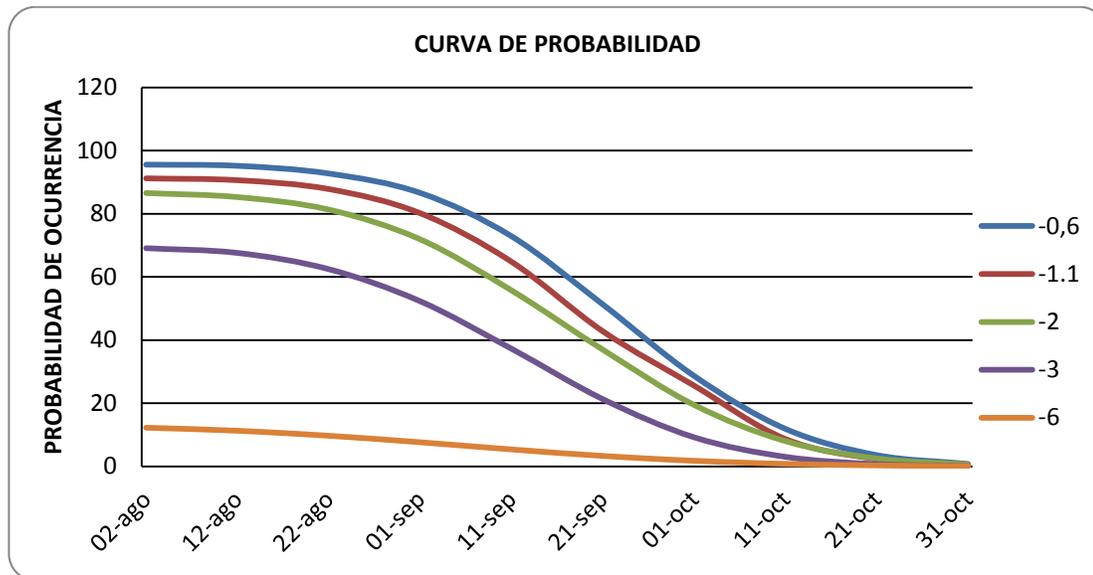
Figura 2. Curvas de Probabilidad de Ocurrencia de Heladas Estación El Tejar



En el grafico 2 se puede observar la probabilidad de ocurrencia de cada nivel crítico de daño que afecta al cultivo de Vid para la estación de El Tejar y su descenso según pasan los días alejándonos de las fechas de brotación. Se observa también que la temperatura -6°C es la de menor probabilidad de ocurrencia, como también las de mayor probabilidad son las temperaturas correspondientes a los niveles de $-0,6^{\circ}\text{C}$ con un 90 % de probabilidad de ocurrencia en fechas de 1 de agosto y $-1,1^{\circ}\text{C}$ con una probabilidad de ocurrencia de un 70% para la misma fecha.

Diferenciándose en una menor probabilidad de ocurrencia del nivel -1.1°C a la estación de Aeropuerto en un rango de 10% para fechas de inicio del ciclo fenológico.

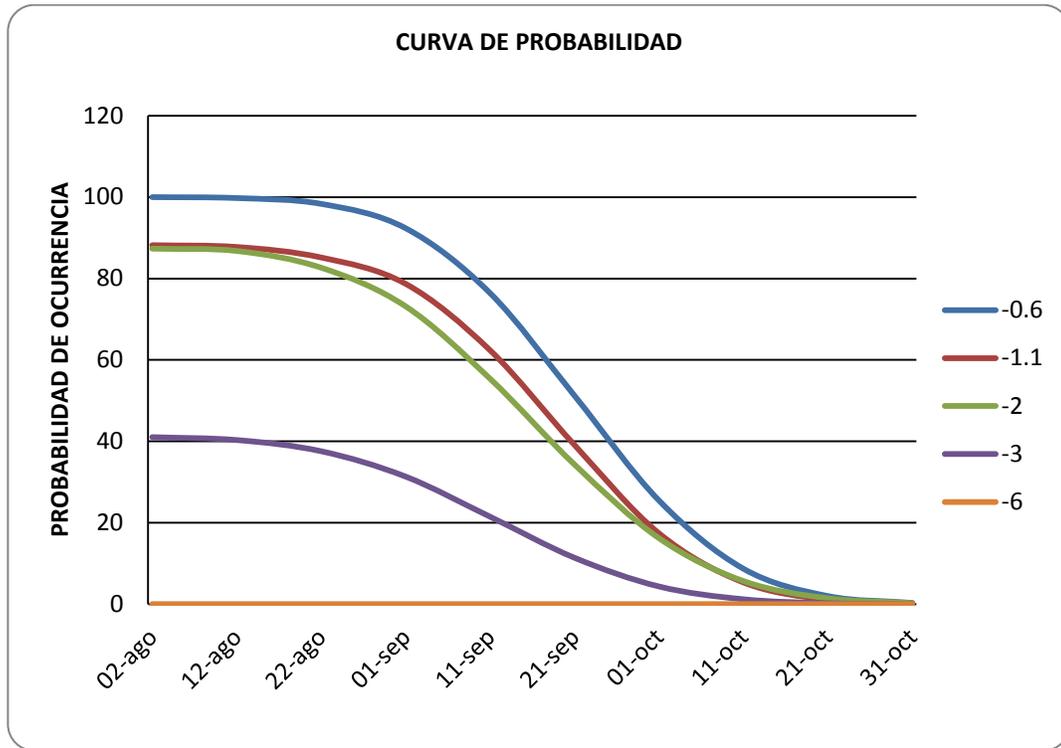
Figura 3. Curvas de Probabilidad de Ocurrencia de Heladas Estación de CENAVIT.



En el grafico 3 se puede observar la probabilidad de ocurrencia de cada nivel crítico de daño que afecta al cultivo de Vid para la estación de CENAVIT y su descenso según pasan los días alejándonos de las fechas de brotación. Se observa también que la temperatura -6°C es la de menor probabilidad de ocurrencia al igual que las dos estaciones meteorológicas de cercado que estudiamos, como también las de mayor probabilidad son las temperaturas correspondientes a los niveles de $-0,6^{\circ}\text{C}$; $-1,1^{\circ}\text{C}$ y -2°C entre un 97% a 85 % de probabilidad de ocurrencia en fechas de 1 de agosto observando una mayor probabilidad de ocurrencia de heladas que las estaciones de Aeropuerto y El Tejar.

Llama la atención los resultados obtenidos ya que la estación meteorológica de CENAVIT Se encuentra casi en el centro de las mayores superficies de vid del departamento y presentando una alta probabilidad de heladas en fechas donde la vid se encuentra en plena actividad vegetativa.

Figura 4. Curvas de Probabilidad de Ocurrencia de Heladas Estación de Chocloca.



En el gráfico 4 se puede observar la probabilidad de ocurrencia de cada nivel crítico de daño que afecta al cultivo de Vid para la estación de Chocloca y su descenso según pasan los días alejándonos de las fechas de brotación. Se observa que la temperatura -6°C es la de menor probabilidad de ocurrencia llegando a cero a diferencia de las tres anteriores estaciones meteorológicas que estudiamos, pero también es la de menor probabilidad de ocurrir, como también las de mayor probabilidad son las temperaturas correspondientes a los niveles de $-0,6^{\circ}\text{C}$; $-1,1^{\circ}\text{C}$ y -2°C entre un 100 % a 85 % de probabilidad de ocurrencia en fechas de 1 de agosto observando una mayor probabilidad de ocurrencia de heladas que las estaciones de Aeropuerto y El Tejar. Pero con menor probabilidad de ocurrencia del nivel -3°C a diferencia de la estación de CENAVIT con una diferencia de 20% menor.

Presentando también mayor probabilidad de heladas a diferencia de las estaciones meteorológicas de Aeropuerto y El Tejar.

Fase 5. En esta última fase se precede al cálculo IPH a partir de las probabilidades estandarizadas con el porcentaje de años donde se produjeron los niveles críticos de daño, para cinco posibles fechas de Floración.

4.1.-El Cálculo índice de peligrosidad de heladas

Se estima restando la probabilidad de la fecha de inicio de la fase fenológica con el final de dicha fase. Desde las fases de yema hinchada hasta bayas tamaño arveja (5mm.), donde se suman las probabilidades parciales y se obtiene IPH.

Cuadro: 18 Resultados del Cálculo del Índice de Peligrosidad de Heladas Aeropuerto.

Fecha	NIVELES CRITICOS DE DAÑO					IPH
	Yema hinchada	Yema algodonosa	1 ^{ra} hoja separada	floración	Frutos tamaño arveja	
	-6	-4	-2	-1,1	-0,6	
30-Sep.	0	12,36	48,56	23,97	0,23	85,12
10-Oct.	0	14,68	33,53	9,87	0,02	58,1
20-Oct.	1,15	10,79	18,32	0,49	0	30,75
30-Oct.	3,6	5,35	7,46	0,03	0	16,44
9-Nov.	0,01	1,46	2,27	0	0	3,74

En el cuadro 18 de resultados de la investigación se refleja el IPH, índice agroclimático de peligrosidad de heladas, que considera la relación entre el proceso fenológico de brotación, floración y fructificación de Vid, con la probabilidad climática de ocurrencia de temperaturas mínimas perjudiciales. Para la fecha 30 de Octubre fecha promedio de floración de este cultivo según datos recopilados de investigaciones de CENAVIT, donde se observa IPH es de un 16,44% de años con

heladas. Pero si la fecha de plena floración es adelantada 10 días IPH 30,75% de años con heladas. Si se adelanta 20 días en la floración IPH=58,1% y con un mes de anticipación es decir que la fecha de plena floración se diera el 30 de septiembre IPH alcanza valores de 85,12% de años con heladas.

Así mismo se obtiene que el valor parcial más alto de IPH se da en la fase fenológica de una hoja separada con un valor de 7,46 % de años con heladas que pueden afectar esta fase fenológica en *Vitis vinífera* L. y por último se observa también que los valores de IPH parciales decrecen conforme las fases fenológicas avanzan a floración.

Cuadro: 19 Resultados del Cálculo del Índice de Peligrosidad de Heladas El Tejar

Fecha	NIVELES CRITICOS DE DAÑO					IPH
	Yema hinchada	Yema algodonosa	1 ^{ra} hoja separada	floración	Frutos tamaño arveja	
	-6	-4	-2	-1,1	-0,6	
30-Sep.	0	10,94	47,38	14,68	0,34	73,34
10-Oct.	0	15,69	32,99	5,6	0,03	54,31
20-Oct.	1,21	13,48	18,2	0,22	0	33,11
30-Oct.	3,78	6,84	7,56	0,02	0	18,2
9-Nov.	0,01	1,99	2,24	0	0	4,24

En el cuadro 19 de resultados de la investigación se refleja el IPH. Para la estación de El Tejar donde la fecha 30 de Octubre es la fecha promedio de floración de este cultivo, donde se observa IPH es de un 18,2 % de años con heladas. Pero si la fecha de plena floración es adelantada 10 días IPH 33,11% de años con heladas. Si se adelanta 20 días en la floración IPH=58,1% y con un mes de anticipación es decir que

la fecha de plena floración se diera el 30 de septiembre IPH alcanza valores de 73,34% de años con heladas.

Así mismo se obtiene que el valor parcial más alto de IPH se da también en la fase fenológica de una hoja separada con un valor de 7,56 % de años con heladas que pueden afectar esta fase fenológica en *Vitis vinífera* L.

Cuadro: 20 Resultados del Cálculo del Índice de Peligrosidad de Heladas CENAVIT.

Fecha	NIVELES CRITICOS DE DAÑO					IPH
	Yema hinchada	Yema algodonosa	1 ^{ra} hoja separada	floración	Frutos tamaño arveja	
	-6	-4	-2	-1,1	-0,6	
30-Sep.	0,97	11,57	71,9	37,25	5,27	126,96
10-Oct.	1,58	19,86	55,73	21,29	1,36	99,82
20-Oct.	2,06	25,13	36,95	3,01	0,23	67,38
30-Oct.	2,27	21,53	19,45	0,7	0	43,95
9-Nov.	2,05	12,93	7,99	0,12	0	23,09

En el cuadro 20 de resultados de la investigación se refleja el IPH. Para la estación de CENAVIT perteneciente al municipio de Uriondo donde la fecha 30 de Octubre es la fecha promedio de floración de este cultivo, donde se observa IPH es de un 43,95 % de años con heladas. Pero si la fecha de plena floración es adelantada 10 días IPH 67,38% de años con heladas. Si se adelanta 20 días en la floración IPH=99,38% y con un mes de anticipación es decir que la fecha de plena floración se diera el 30 de septiembre IPH alcanza valores de 126,96% de años con heladas.

Así mismo se obtiene que el valor parcial más alto de IPH se da también en la fase fenológica de yema algodonosa con un valor de 21,53 % de años con heladas que pueden afectar esta fase fenológica y si se retrasa la fecha de plena floración 10 días IPH baja a 23,09% de años con heladas.

Cuadro: 21 Resultados del Cálculo del Índice de Peligrosidad de Heladas Chocloca

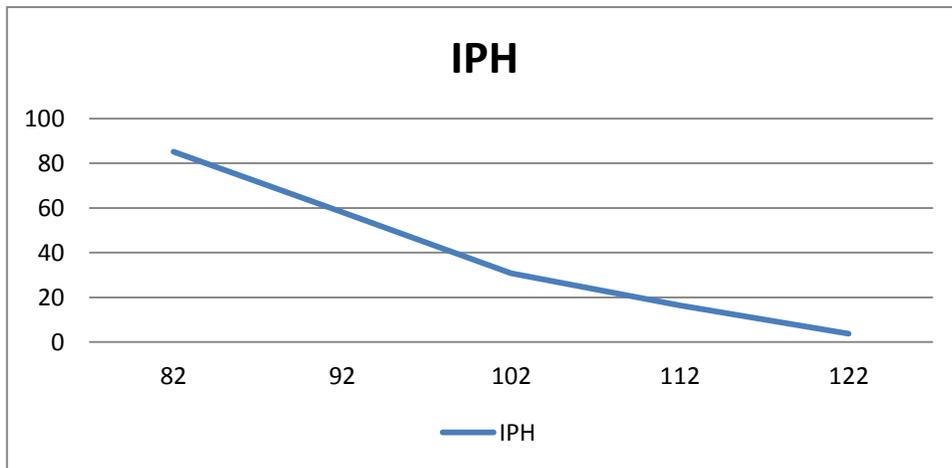
DIA	NIVELES CRITICOS DE DAÑO					IPH
	Yema hinchada	Yema algodonosa	1 ^{ra} hoja separada	floración	Frutos tamaño arveja	
	-6	-4	-2	-1,1	-0,6	
92	0	9,92	73,17	21,47	3,49	108,05
102	0	16,93	55,38	11,38	0,83	84,52
112	0	20,39	34,29	1,18	0,14	56
122	0	16,67	16,2	0,21	0	33,08
132	0	9,07	5,66	0,02	0	14,75

En el cuadro 21 de resultados de la investigación se refleja el IPH. Para la estación de Chocloca perteneciente al municipio de Uriondo donde la fecha 30 de Octubre es la fecha promedio de floración de este cultivo, donde se observa IPH es de un 33,08 % de años con heladas. Pero si la fecha de plena floración es adelantada 10 días IPH 56% de años con heladas. Si se adelanta 20 días en la floración IPH=84,52% y con un mes de anticipación es decir que la fecha de plena floración se diera el 30 de septiembre IPH alcanza valores de 108% de años con heladas.

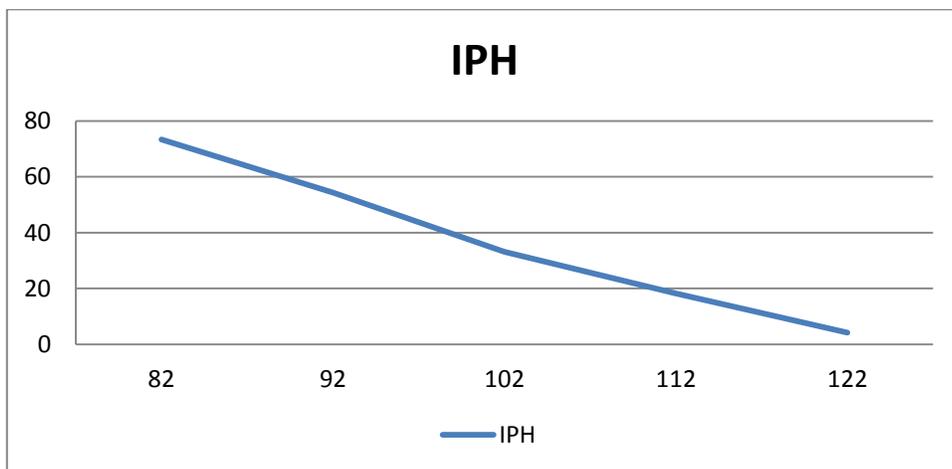
Así mismo se obtiene que el valor parcial más alto de IPH se da también en la fase fenológica de yema algodonosa con un valor de 16,67 % de años con heladas que

pueden afectar esta fase fenológica y si se retrasa la fecha de plena floración 10 días IPH baja a 14,75% de años con heladas.

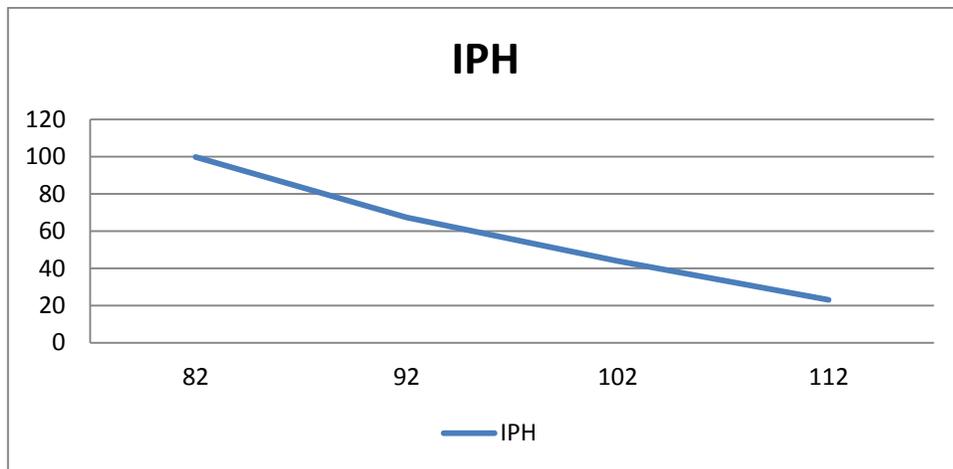
Grafica 5 muestra la curva IPH para diferentes fechas posibles de plena floración en aeropuerto.



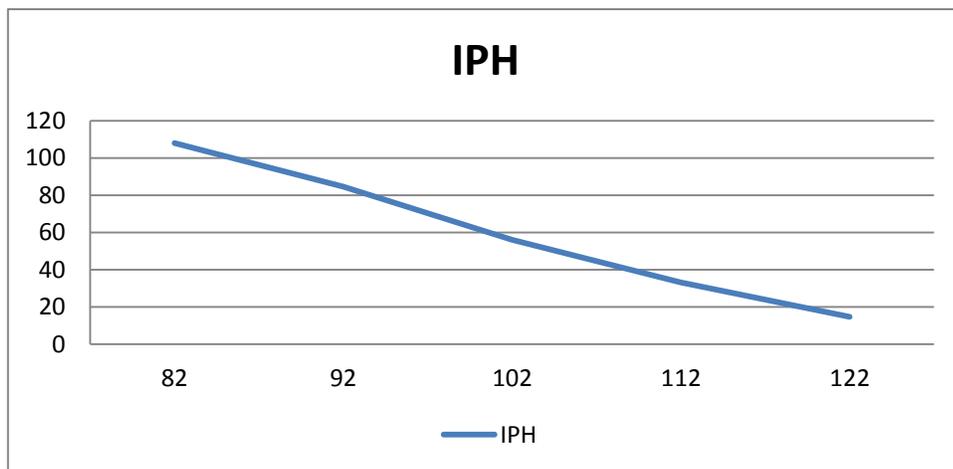
Grafica 6 muestra la curva IPH para diferentes fechas posibles de plena floración en El Tejar.



Grafica 7 muestra la curva IPH para diferentes fechas posibles de plena floración en CENAVIT.

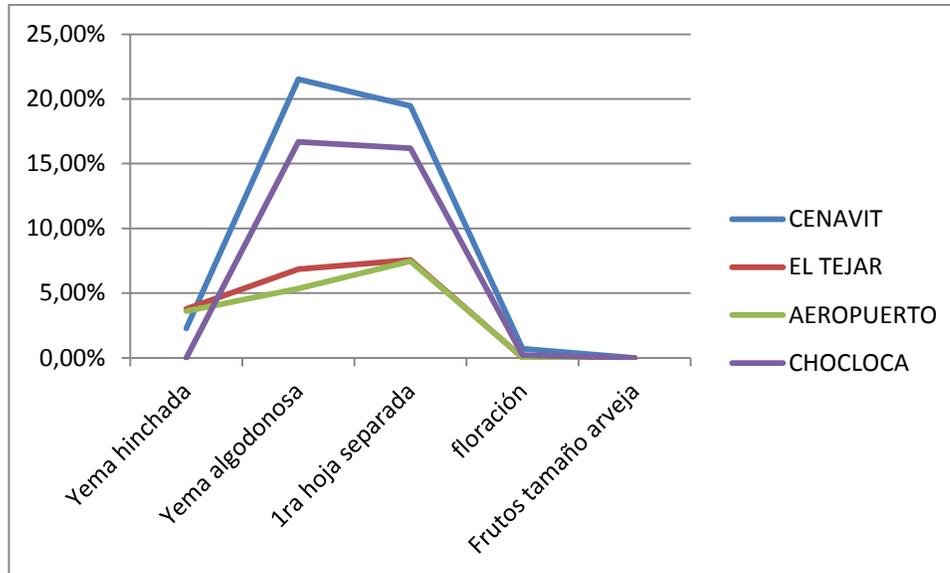


Grafica 8 muestra la curva IPH para diferentes fechas posibles de plena floración en Chocloca.



Las gráficas: 5,6,7,8 reflejan la reducción del índice agroclimático de peligrosidad de heladas con 10 días según el calendario fenológico juliano avanza, esto nos refleja la reducción del peligro de daño por heladas tardías disminuye según se retrase la floración y este aumenta si se adelanta la floración.

Grafica 9 oscilación de valores parciales IPH para fechas de floración de 30 de octubre.



En la gráfica 9 se muestra la oscilación de valores parciales del índice agroclimático de peligrosidad de heladas para la fecha media de floración presentados por CENAVIT en 2009 usado para las dos zonas productoras de vid (Cercado y Uriondo) donde se observa: el aumento de los valores parciales de IPH conforme se avanza de la fase de yema hinchada a una hoja separada para la ZONA 1 donde los valores IPH son mucho más bajos que la Zona 2 y difieren las fases fenológicas que son más afectadas por el nivel crítico

Se observa que en la fase fenológica de yema hinchada a yema algodonosa es donde el valor parcial más alto pertenece a la fase de yema algodonosa con un valor de IPH de 21,53% para CENAVIT y Chocloca con un valor de IPH =16,67% perteneciente a Uriondo a diferencia de la zona 1 perteneciente a Cercado donde la fase con más probabilidad de daño por heladas tardías pertenece a la fase fenológica de 1 hoja separada se observa también que es la zona donde los valores de IPH son más altos es en el municipio de Uriondo.

4.2 Resultado cálculo de la fecha media de ocurrencia de primer y ultima helada para las dos zonas de estudio

Los resultados son reflejados en los siguientes cuadros:

Cuadro 22 resultado del cálculo de ocurrencia de la fecha media de primer helada

	AEROPUERTO	EL TEJAR	CENAVIT	CHOCLOCA	Σ	media
SUMATORIA	13491	14005	7407	5503		
MEDIA	329,0487805	341,5853659	322,0434783	323,7058824	1316,38351	329,095877
Día calendario	25-may	7 de junio	18-may	20-may		25 de mayo

Según el Cálculo del periodo medio de ocurrencia de primer helada en aeropuerto se da el 25 de mayo, para el tejar el 7 de junio.

En la zona 2 se obtuvo que la fecha de primer helada se el 18 de mayo en CENAVIT y 20 de mayo en Chocloca con una variabilidad de dos días.

Cuadro 23 resultado del cálculo de ocurrencia de la fecha media de última helada

	AEROPUERTO	EL TEJAR	CENAVIT	CHOCLOCA	Σ	media
SUMATORIA	2081	2222	1399	1064		
MEDIA	50,75609756	54,19512195	60,82608696	62,58823529	228,365542	57,0913854
Día calendario	25 de agosto	29 de agosto	2 de septiembre	1 de septiembre		26 de agosto

Según el Cálculo del periodo medio de ocurrencia de última helada en aeropuerto se da el 25 de agosto, para El Tejar el 29 de agosto.

En la zona 2 se obtuvo que la fecha de ultima helada se el 18 de mayo en CENAVIT y 2 de septiembre y en Chocloca el 1 de septiembre un día antes que CENAVIT.

V.- Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados obtenidos para el trabajo de investigación es el siguiente:

1.- El índice de peligrosidad de heladas IPH para el 20 de octubre fecha media de plena floración, es mayor para la zona de CENAVIT con un valor del 43, 95 %, es más bajo para la zona del aeropuerto con 16,4 %; se tiene un valor de 18,2% para el tejear y se tiene un valor de 33, 08 % para Chocloca

1. El IPH es diferente en las zonas analizadas de acuerdo a la fase fenológica de la vid, es así que en la zona de Cercado el IPH es mayor en la fase fenológica de “una hoja separada”, mientras que en la zona de Uriondo el IPH es mayor en la fenofase de “yema algodonosa”.
2. El IPH disminuye conforme las fases fenológicas de la vid avanzan a la fructificación en las dos zonas.
3. La fecha media de ocurrencia de primera helada meteorológica es semejante en las zonas de estudio: 25 de mayo en el Aeropuerto, 29 de mayo el tejear, 18 de mayo en CENAVIT y 20 de mayo en Chocloca.
4. La fecha media de ocurrencia de última helada que afectan al cultivo de vid se comportan de forma semejante en las zonas de estudio: 25 de agosto en el Aeropuerto, 2 de septiembre en CENAVIT, 1 de septiembre Chocloca.
5. El periodo medio libre de heladas para ambas zonas son:

Zona 1: 282 días a partir del 26 de agosto.

Zona 2:260 días a partir del 3 de septiembre

6. El Periodo medio con heladas corresponden a las fechas:

Zona 1: desde el 25 de mayo hasta el 25 de agosto.

Zona 2: desde el 18 de mayo hasta el 2 de septiembre.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer seguimientos de predicción de heladas y hacer estos públicos para actuar o tomar medidas del caso y evitar pérdidas por este fenómeno.
2. Se recomienda el uso de métodos activos de protección contra heladas en el valle de la concepción en especial en la fase fenológica de yema algodonosa y primer hoja separada.
3. Realizar mayores estudios de las fechas de ocurrencia de los procesos fenológicos en diferentes comunidades y variedades. para determinar resultados con mayor precisión en la ocurrencia de las fenofases y estas fechas medias de ocurrencia sean locales
4. Es necesario realizar estudios para probar los métodos activos y pasivos de lucha o protección contra heladas.