


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

EVALUACION DE 2 METODOS PARA EL CONTROL DE HELADAS EN
EL CULTIVO DE LA PAPA (Solanum tuberosum L.)
EN LA ALDEA CHIRIJUYU, TECPAN GUATEMALA
CHIMALTENANGO

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a saint or historical figure, surrounded by a wreath. The text "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" is inscribed around the perimeter of the seal. The word "TESIS" is prominently displayed in the center of the seal.

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

P O R

JOSE GUILLERMO MALDONADO VERA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO

EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1989

DIGITALIZADO

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T(1295)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

R E C T O R

LIC. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Aníbal B. Martínez Muñoz
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez G.
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. Jorge E. Sandoval I.
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Wotzbelí Méndez Estrada
VOCAL CUARTO:	P. A. Hernán Perla Gonzáles
VOCAL QUINTO:	P. A. Julio López Maldonado
SECRETARIO:	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio

Ciudad de Guatemala,
26 de septiembre de 1989

Señor Ing. Agr.
Hugo Tobías
Director del IIA
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos
Ciudad

Señor Director:

En forma atenta me dirijo a usted, para informarle que, en esta fecha ha concluido la asesoría y revisión del trabajo de tesis titulado "EVALUACION DE DOS METODOS PARA EL CONTROL DE HELADAS EN EL CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum L.) en la Aldea "CHIRIJUYU, TECPAN GUATEMALA, CHIMALTENANGO", presentado por el estudiante "José Guillermo Maldonado Vera".

Considero que el trabajo aporta suficientes conocimientos sobre el fenómeno de las heladas y su control en esa zona del país y reúne todas las exigencias requeridas para su aprobación, dado el interés demostrado por el sustentante, por lo cual me permito recomendarla para su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Agr. M.A. Jorge L. Sánchez G.
~~ASESOR DE TESIS~~

Guatemala, 19 de septiembre de 1989.

Sr.

Ing. Agr. Hugo A. Tobías V.

Director de el IIA

Pte.

Señor Director:

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

"EVALUACION DE 2 METODOS PARA EL CONTROL DE HELADAS EN
EL CULTIVO DE LA PAPA (Solanum tuberosum L.)
EN LA ALDEA CHIRIJUYU, TECPAN GUATEMALA
CHIMALTENANGO"

presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando contar con la aprobación del mismo.

Atentamente,


Prof. José Guillermo Maldonado Vera

ACTO QUE DEDICO

AL SER SUPREMO JEHOVA

Guía que ilumina siempre
mi camino.

A MI PADRE:

José Joaquín Maldonado V.

Llevo en la sangre tus con-
sejos para ser tan íntegro
como tú.

A MI MADRE:

Carmen Vera de Maldonado

Como un homenaje al sacrifi-
cio brindado por toda la vi-
da, para lograr este triunfo
que es tuyo.

A MIS HERMANOS:

Maria del Rosario

Rosa Carolina

Carlos Enrique

Fredy Leonel

Por su apoyo y cariño
constante.

A LA MEMORIA DE MIS
ABUELOS:

Ofelia Vera

Gregorio H. Maldonado C.

A MIS SOBRINOS, EN
ESPECIAL A:

Jorge Alberto

A LAS FAMILIAS:

Maldonado de Los Angeles.
Garcia-Salas Maldonado.
Ochaeta Godoy.

A LA FAMILIA:

Jiménez Monterroso.

A:

Gricelda Judith

Con especial cariño por
el apoyo moral y espiritual.

TESIS QUE DEDICO:

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA.

A MIS AMIGOS:

Ing. Agr. José Antonio Villagrán Balderramos.

Ing. Agr. Jorge Arturo Aguirre Kish.

Ing. Agr. Walter Soel García Castro.

Dr. Juan Arturo Pierri López.

Ing. Agr. Sergio Mauricio Carías Sandoval.

EN ESPECIAL AL ING. AGR. M.A. Jorge Luis Sánchez García

Por su estrecha colaboración y brillante
asesoría en la realización de la presente tesis.

A LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Fernando Díaz Urrejola.

Ing. Agr. Fredy Hernández Ola.

Ing. Agr. Marco A. Dardón.

Gratitud sincera por la ayuda brindada.

AGRADECIMIENTOS

A MI PADRE, quien con responsabilidad y dedicación ha guiado el camino de mi formación.

A MI MADRE, como mínima recompensa a sus múltiples esfuerzos. Madre bendita seas.

A MIS HERMANOS, por el incalculable apoyo brindado en todo momento.

AL PERSONAL Y AMIGOS DE LA SECCION DE AGROMETEOROLOGIA DEL
INSIVUMEH

- Ing. Agr. Jorge Luis Sánchez García.
- Ing. Agr. Fulgencio Garavito.
- Ing. Agr. Mario Corado Castellanos.
- Luis Herrera.
- Leonel Campos.
- Mario Bautista.
- Clemente Raymundo.
- Carlos Paz.

Gracias a su esfuerzo y perseverancia, ésta investigación científica se hizo realidad.

AL PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO - PNUD - Y
A LA ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL - OMM --.

Por su valiosa ayuda en la realización de la presente tesis.

AL EXPERTO DE LA OMM, ING. AGR. FRANCISCO BOSHELL.

Por la orientación y apoyo brindado.

A LOS SEÑORES Y AMIGOS:

- Manuel de Jesús Yax Chacón y familia.
- Mariano Canú Yool.
- Hilario Coy Morales.

Gratitud especial por las experiencias brindadas.

C O N T E N I D O

	<u>Página No.</u>
RESUMEN	i
I. INTRODUCCION	1
II. JUSTIFICACION	3
III. HIPOTESIS	4
IV. OBJETIVOS	5
V. REVISION BIBLIOGRAFICA	6
5.1 Clasificación de heladas	6
5.1.1 Helada meteorológica	6
5.1.2 Helada agrícola	6
5.1.3 Heladas advectivas	6
5.1.4 Heladas radiativas	6
5.1.5 Heladas mixtas	6
5.1.6 Heladas blancas	7
5.1.7 Heladas negras	7
5.2 El fenómeno en Guatemala	7
5.2.1 Zonas que afecta	7
5.2.2 Períodos de ocurrencia	8
5.2.3 Magnitud de las pérdidas económicas que ocasiona	8
5.2.4 Condiciones generales que favorecen el período de ocurrencia de heladas	9
5.3 Métodos de control de heladas	11
5.3.1 Métodos activos	11
5.3.2 Métodos pasivos	18
5.4 Trabajos realizados en Guatemala	18
5.5 Pronóstico de heladas en Guatemala	20
VI. MATERIALES Y METODOS	22
6.1 Localización y descripción del área experimental	22

6.2 Materiales y equipo	22
6.2.1 Materiales	22
6.2.2 Equipo	22
6.3 Descripción del trabajo de investigación	23
6.3.1 Elaboración de los quemadores	23
6.3.2 Preparación del terreno	23
6.3.3 Siembra	23
6.3.4 Fertilización	23
6.3.5 Riegos	23
6.3.6 Prácticas culturales	23
6.3.7 Acopio de insumos	23
6.3.8 Toma de datos climáticos	24
6.3.9 Colocación de termómetros	24
6.3.10 Operación de los métodos de control de heladas	24
6.4 Técnicas de campo para el ensayo con quemadores	24
6.4.1 Diseño experimental	24
6.4.2 Descripción de la unidad experimental	25
6.4.3 Descripción de tratamientos	25
6.4.4 Variables de respuesta	26
6.4.5 Registro de la información	26
6.4.6 Análisis de la información	26
6.4.7 Croquis de campo para quemadores	27
6.5 Técnicas de campo para el ensayo sobre riego	28
6.5.1 Diseño experimental	28
6.5.2 Descripción de la unidad experimental	28
6.5.3 Descripción de tratamientos	28
6.5.4 Variables de respuesta	28

Página No.

6.5.5 Registro de la información	28
6.5.6 Análisis de la información	29
6.5.7 Croquis de campo para riego por aspersión	30
VII. RESULTADOS Y DISCUSION	31
VIII. CONCLUSIONES	59
IX. RECOMENDACIONES	60
X. BIBLIOGRAFIA	61
XI. APENDICE	63

INDICE DE CUADROS Y GRAFICAS

	<u>Página No.</u>
CUADRO 1. Temperatura promedio en grados centígrados obtenida en el experimento.	31
CUADRO 2. Análisis de varianza para el valor promedio de la temperatura en grados centígrados.	31
CUADRO 3. Prueba de Tukey para la interacción Quemadores y combustible, para los valores promedio de temperatura.	32
CUADRO 4. Temperatura en grados centígrados, incluyendo al testigo.	33
CUADRO 5. Análisis de varianza incluyendo al testigo.	33
CUADRO 6. Prueba de Tukey para valores de temperatura incluyendo al testigo.	34
CUADRO 7. Incremento de temperatura en grados centígrados obtenido en el experimento.	34
CUADRO 8. Análisis de varianza para el incremento promedio de temperatura en grados centígrados.	35
CUADRO 9. Prueba de Tukey para la interacción quemadores x combustible.	37
CUADRO 10. Tiempo total de combustión en horas de cada quemador obtenido en el experimento.	38
CUADRO 11. Análisis de varianza para el tiempo de combustión en horas.	38
CUADRO 12. Prueba de Tukey para la interacción quemadores x combustible	40
CUADRO 13. Rendimiento en Toneladas métricas/Ha.	41
CUADRO 14. Análisis de varianza para el rendimiento de papa en TM/Ha.	41
CUADRO 15. Incremento de temperatura en grados centígrados, incluyendo al testigo.	42
CUADRO 16. Análisis de varianza para el incremento de temperatura incluyendo al testigo.	43
CUADRO 17. Prueba de Tukey para los tratamientos incluyendo al testigo.	43

CUADRO 18.	Rendimiento de papa en TM/Ha, incluyendo al testigo.	44
CUADRO 19.	Análisis de varianza para el rendimiento. Incluye al testigo.	44
CUADRO 20.	Temperatura promedio en grados centígrados obtenida al aplicar riego.	45
CUADRO 21.	Incremento de temperatura obtenido al aplicar riego.	45
CUADRO 22.	Promedios de temperatura en grados Fahrenheit obtenidos al aplicar riego.	45
CUADRO 23.	Análisis de varianza para la temperatura registrada en grados Fahrenheit.	46
CUADRO 24.	Lecturas termométricas registradas antes y durante una helada aplicando riego.	48
CUADRO 25.	Incremento de temperatura al momento de aplicar riego por aspersión en papa.	48
CUADRO 26.	Costos de producción de papa por hectárea para la localidad de Chirijuyú, sin control de heladas.	53
CUADRO 27.	Costo por hora de helada mostrando el tratamiento más adecuado para el control.	55
CUADRO 28.	Costo de control de heladas por hectárea utilizando aserrín y aceite quemado.	56
CUADRO 29.	Costo de control de heladas por hectárea utilizando ólote y aceite quemado.	56
CUADRO 30.	Estado de desarrollo general de las plantas de papa en los 2 ensayos.	(A)*
GRAFICA 1.	Temperatura promedio obtenida en los tratamientos.	36
GRAFICA 2.	Incremento de temperatura obtenida en los tratamientos.	36
GRAFICA 3.	Tiempo de combustión de los quemadores en horas.	39
GRAFICA 4.	Temperaturas promedio al aplicar riego.	49
GRAFICA 5.	Decrementos de temperatura al aplicar riego.	50

GRAFICA 6. Número de horas de helada durante los meses de febrero y marzo.	54
GRAFICA 7. Mapa de la República de Guatemala con áreas susceptibles a heladas.	(A)*
GRAFICA 8. Mapa de la República de Guatemala con la localización del área de estudio.	(A)*
GRAFICA 9. Temperatura en abrigo durante la semana del 20 al 27 de febrero de 1989.	(A)*
GRAFICA 10 Humedad relativa obtenida durante la semana del 20 al 27 de febrero de 1989.	(A)*
GRAFICA 11 Temperatura de miniabrigo obtenida en la semana del 20 al 27 de febrero de 1989.	(A)*

(A)* = Apéndice.

EVALUACION DE 2 METODOS PARA EL CONTROL DE HELADAS
EN EL CULTIVO DE LA PAPA (Solanum tuberosum L.)
EN LA ALDEA CHIRIJUYU, TECPAN GUATEMALA
CHIMALTENANGO.

EVALUATION OF TWO METHODS OF FROSTS CONTROL
IN THE POTATO CROP (Solanum tuberosum L.) IN CHIRIJUYU
TECPAN GUATEMALA CHIMALTENANGO.

R E S U M E N

En Guatemala, el problema de las pérdidas en los cultivos causado por heladas, ha sido muy poco investigado, limitándose únicamente los estudios, a informar de la cuantificación de los daños ocasionados. Sin embargo a la fecha no pueden emitirse recomendaciones técnicas a los agricultores ya que no existen estudios científicos donde se hayan evaluado métodos de control de heladas especialmente en hortalizas.

La presente investigación tiene la finalidad de determinar el método de control de heladas más adecuado para el cultivo de la papa. Se incluye además un análisis económico que permita establecer costos, con el fin de que se pueda planificar un programa de prevención de heladas.

El ensayo se realizó en la aldea Chirijuyú de Tecpán Guatemala, Chimaltenango (2320 msnm), durante los meses de diciembre de 1988 a marzo del año en curso. Se evaluaron los métodos de quemadores y riego por aspersión. En cuanto al primer método se sometieron a prueba 2 tamaños de quemadores: de 5 y 22 galones, además de 3 tipos de combustibles: aserrín con aceite automotor quemado, olote con aceite automotor quemado y aserrín-olote con aceite automotor quemado. El riego por aspersión se evaluó en una parcela experimental diferente. Los 2 experimentos se condujeron simultáneamente.

Para el experimento del método de quemadores se empleó un diseño en bloques al azar con 6 tratamientos + 1 testigo y 4 repeticiones. En cuanto al riego, el diseño empleado fue también bloques al azar con 2 tratamientos y 4 repeticiones. Las principales variables evaluadas fueron, temperatura absoluta en cada unidad experimental, incremento de temperatura por cada tratamiento, tiempo de combustión de quemadores y rendimiento en TM/Ha.

Las severas heladas que se presentaron durante el ciclo del cultivo permitieron evaluar con mayor rigor los 2 métodos llegando a concluir que el quemador de 22 galones con aserrín y a ceite quemado es el que proporciona el mayor incremento de temperatura y un tiempo de combustión de 3 horas con 15 minutos, siendo éste importante para contrarrestar una helada de esa duración. El quemador del mismo tamaño con olote y aceite quema do proporciona un buen incremento de temperatura aunque el tiempo de combustión es de solamente 1 hora con 50 minutos.

El riego por aspersión al aplicarlo unas horas antes de la helada, provocó un marcado descenso de la temperatura en relación con el testigo, sin embargo durante la helada la diferencia entre las temperaturas de los 2 tratamientos disminuyó.

Se recomienda entonces utilizar para el control de heladas en papa, quemadores de 22 galones utilizando como combustible en su orden, olote con aceite quemado y aserrín con aceite que mado. El costo promedio al utilizar el método de quemadores es del 15% del valor de la cosecha.

I. INTRODUCCION

Las heladas en Guatemala, constituyen un problema para la agricultura, especialmente en el área occidental del país, debido a los daños que ocasiona a los cultivos. Muchos agricultores de esa zona del país, consideran a este fenómeno, como algo del cual no se puede escapar, limitándose muchas veces a no sembrar en época de fin de año, dejando de percibir ganancias económicas potenciales.

En algunos lugares del país, como en el municipio de Nahualá Solola, los agricultores tratan de controlar las heladas con la quema de llantas. En otros lugares queman pajón u otro material vegetal con la creencia de que el humo evita el daño causado por las heladas.

El cultivo de la papa es una de las fuentes principales de ingresos para el agricultor del altiplano, sin embargo por ser una planta altamente sensible a las heladas, regularmente trae cuantiosas pérdidas para el que la cultiva debido al daño irreversible que produce este fenómeno.

Las investigaciones científicas en éste y otros cultivos, también se ven afectadas ya que muchas veces las heladas han causado destrucción total de ensayos experimentales, haciendo perder valiosa información, y tiempo al investigador.

Por lo anterior, la Sección de Agrometeorología del INSIVU MEH con el apoyo del Proyecto OMM/PNUD GUA/87/009 ha iniciado una serie de investigaciones tendientes a contrarrestar y/o controlar las heladas en diferentes cultivos. Fue así como se llevó a cabo esta investigación con el propósito de evaluar el uso de quemadores y el riego por aspersión como métodos de control de heladas en papa. El estudio se llevó a cabo en la aldea Chirijuyú Tecpán Guatemala, durante los meses de diciembre de 1988 a marzo del año en curso. Se utilizaron para el efecto, 2 parcelas experimentales en las cuales se evaluaron por separado los dos métodos descritos anteriormente.

La información obtenida proporcionó datos de gran importancia para el control de heladas, tanto en el cultivo de la

papa como en otros cultivos y además sentó las bases para que en el futuro cercano se continúen los estudios sobre este tema que actualmente se encuentra muy poco investigado en el país.

II. JUSTIFICACION

En los últimos y primeros meses de cada año se intensifica el cultivo de papa bajo riego, debido a que en los meses de marzo a mayo se obtiene un buen precio de venta al consumidor. Sin embargo en muchas ocasiones, la potencial ganancia se convierte en pérdida, debido a la total destrucción de los cultivos a causa de las heladas que se presentan con mayor frecuencia en esa época del año.

Actualmente no se ha realizado ningún estudio para controlar heladas en ese cultivo, razón por la cual no pueden emitirse recomendaciones que tiendan a contrarrestar este fenómeno, tanto para la papa como para otros cultivos.

Es por eso que se hizo necesaria esta investigación que permitirá de inmediato proporcionar al agricultor de una alternativa para el control de heladas en el cultivo de la papa.

III. HIPOTESIS

- 3.1 Los métodos de quemadores y riego por aspersión son efectivos para el control de heladas en papa.
- 3.2 El tipo de combustible y el tamaño de quemador, son factores determinantes en la efectividad del método de quemadores.
- 3.3 Existen diferencias económicas significativas en la operación de los 2 métodos utilizados.

IV. OBJETIVOS

- 4.1 Evaluar la eficiencia del método de quemadores para el control de heladas en papa.
- 4.2 Determinar el tipo de combustible y el tamaño de quemador más adecuado.
- 4.3 Evaluar el sistema de riego por aspersión como método de control de heladas.
- 4.4 Establecer los costos económicos de la operación del método que resulte más efectivo.

V. REVISION BIBLIOGRAFICA

5.1 Clasificación de heladas:

5.1.1 Helada meteorológica:

Desde un punto de vista estrictamente meteorológico se presenta una helada cuando la temperatura ambiental en abrigo es menor o igual a 0°C .

5.1.2 Helada agrícola:

Es aquella en que los cultivos pueden ser sensibles a daños fisiológicos a temperaturas mínimas diferentes de 0°C . ya sea arriba o debajo de ese valor.

Según el proceso que las origina, se puede clasificar a las heladas en:

5.1.3 Heladas advectivas:

Estas van asociadas a grandes masas de aire frío provenientes de regiones polares que literalmente invaden una región por espacio de varios días, con vientos fuertes que contribuyen grandemente a los descensos de temperatura por el factor de enfriamiento resultante de la evaporación forzada por el viento. Este tipo de helada no es común en nuestras latitudes.

5.1.4 Heladas Radiativas:

Estas sí son comunes en nuestro medio y van asociadas a pérdidas intensas de calor durante la noche por irradiación de las plantas y el suelo a la atmósfera. Lo anterior se ve favorecido con la ocurrencia de cielos despejados, baja humedad ambiental y edáfica con baja velocidad del viento.

5.1.5 Heladas Mixtas:

Estas son una combinación de las dos anteriores, pudiéndose dar una situación de enfriamiento por radiación y advección simultáneamente, enfriamiento por radiación seguido por una leve advección y finalmente un enfriamiento advectivo seguido inmediatamente de otro por radiación. Este tipo de helada es poco frecuente.

Según el aspecto resultante de las heladas en los cultivos, estas también pueden clasificarse en:

5.1.6 Heladas Blancas:

Estas se forman cuando por efecto del enfriamiento, se alcanzan temperaturas ambientales menores de 0° C, con temperaturas del punto de rocío relativamente altas. En estos casos, el rocío que eventualmente se formaría, se convierte en hielo cristalino sobre la superficie de las hojas, originando lo que se conoce como escarcha. Estas son relativamente menos dañinas que las heladas negras.

5.1.7 Heladas Negras:

Estas se presentan cuando por el enfriamiento del ambiente, la temperatura desciende a valores menores que 0° C, con valores bajos de la temperatura del punto de rocío. En este caso no ocurre formación superficial de cristales de hielo sobre la superficie de las plantas, sin embargo sufren los correspondientes efectos fisiológicos presentando las típicas "quemaduras" o necrósis en sus tejidos.

5.2 El fenómeno en Guatemala.

5.2.1 Zonas que afecta:

Las zonas en que se presentan las heladas en Guatemala, están claramente definidas por la elevación mínima de 1,700 msnm, la que se comprobó a través de los datos climáticos de la Sección de Climatología de INSI VUMEH (5), y por medio de observaciones y encuestas puntuales en lugares comprendidos dentro del rango altitudinal en que se esperaba que ocurriera este fenómeno. En base a lo anterior se determinó que aproximadamente un 20% del territorio guatemalteco se ve afectado por heladas, lo que equivale a unos 22,000 Kms² de superficie. Como puede verse en el mapa del Anexo, unos 11 departamentos tienen extensas áreas susceptibles a heladas, como los casos de Huehuetenango, San Marcos, Quetzaltenango, la totalidad de Totonicapán, casi todo Sololá y Sacatepéquez, la franja central de Chimaltenango, Quiché, Guatemala y Jalapa; todos estos constituyen el Altiplano Central occiden-

tal. Algunos otros departamentos tienen menores áreas susceptibles a heladas como Alta y Baja Verapaz, mientras que en otros como Zacapa y Jutiapa, las áreas susceptibles a heladas corresponden a zonas montañosas o volcánicas marginales para la agricultura económicamente rentable.

5.2.2 Períodos de ocurrencia:

La época de mayor probabilidad de ocurrencia de heladas es la comprendida desde inicios de Noviembre hasta mediados de mayo, con una desviación estándar de 20 días. La ampliación o reducción de este período y la intensidad y severidad de las heladas dependerá de la elevación y de otros factores como las fechas de inicio y finalización de la estación lluviosa, ya que estos fenómenos se pueden catalogar como mutuamente excluyentes (ya que la mayor nubosidad y humedad de las lluvias restringen muy eficientemente el sobreenfriamiento de la atmósfera y el suelo que puedan conducir a una helada). En promedio la temporada de heladas tiene una duración aproximada de unos 175 días \pm 20 días de desviación estándar, o sea casi 6 meses, lo que la hace un riesgo climatológico-meteorológico bastante importante en la agricultura del altiplano del país. Durante ese período se registran en promedio unas 110 horas con helada (8). Porcentualmente la mayor acumulación de horas con helada se da en los meses de diciembre a febrero con un 86%. El restante 14% de las horas con helada se distribuyen en noviembre y marzo a mayo. El resto de los meses no muestra ocurrencia significativa de heladas.

5.2.3 Magnitud de las pérdidas económicas que ocasiona:

Como ya se ha mencionado anteriormente, el área potencialmente sensible a heladas es aproximadamente el 20% de nuestro territorio. En ésta, el régimen de tenencia de la tierra es predominantemente minifundista, por lo que una helada puede significar la pérdida completa para un agricultor si sus cultivos quedan expuestos a bajas temperaturas en fases fenológicas especialmente sensibles.

En 1983 se registró la temperatura más baja en la historia de Quetzaltenango, la que fue de -10° C habiéndose observado severos daños a los diferentes sectores económicos de esa importante ciudad y regiones vecinas. Sin embargo 4 años más tarde, en los primeros días de enero de 1987 se rompió ese récord, habiéndose registrado -11° C en esa misma ciudad a 2,380 msnm. Los daños reportados fueron por más de un millón de quetzales principalmente en esa ciudad, San Juan Ostuncalco, La Esperanza y San Carlos Sija. Las pérdidas se concentraron en plantaciones de hortalizas, flores y frutos. En San Francisco El Alto y San Cristóbal Totonicapán se redujo drásticamente la producción de huevos por la mortandad de las aves (8).

A finales de 1984 y principios de 1985, la región oriental del país, típicamente cálida y seca fue afectada por el ingreso de unas masas de aire frío, las que lógicamente no llegaron en ningún momento a ser menores de 12° C en Zacapa, sin embargo fueron suficientemente frías como para afectar cualitativamente la producción de melón de ese departamento, habiendo cosechado melones de menor tamaño que el estándar aceptado para exportación. Este fue un excelente caso que demostró la sensibilidad fisiológica de un cultivo económicamente importante ante condiciones de temperatura bastante por arriba del punto de congelación (8).

5.2.4 Condiciones generales que favorecen el período de ourrencia de heladas:

5.2.4.1 Cielos despejados y bajo contenido de humedad del aire:

Quando se presenta esta situación, se incrementa la radiación saliente efectiva, aparte que la humedad tiende a retener la radiación calórica emanada en onda larga.

5.2.4.2 Brisas débiles o calmas durante la noche:

Esto favorece la estratificación térmica que genera la radiación saliente efectiva, quedando así el aire más frío junto a la superficie del suelo.

5.2.4.3 Suelos sueltos:

Cuando se trabaja el suelo por medio de arados, rastras, azadones etc. se busca hacerlo más suelto, de modo que contenga más aire. Pero dado que el aire es un conductor de calor más pobre que cualquier tipo de suelo, el laboreo de la tierra repercute en un balance calórico menos favorable desde el punto de vista del almacenaje de calor en el suelo. Ello a su vez incide en que las heladas sean más severas en un suelo laborado o suelto que en uno compacto (8).

5.2.4.4 Suelos secos:

El suelo húmedo retiene más favorablemente el calor que el suelo seco, ya que el primero contendrá más agua cuya conductividad térmica es mejor. El albedo del suelo húmedo es menor (8).

5.2.4.5 Suelos cubiertos por malezas o pasturas:

En general el aire es más frío sobre un área cultivada y cubierta por malezas o por pasturas que sobre el suelo desnudo. Las diferencias medidas en las dos situaciones han llegado a cerca de 10° C, (8) (12) en noches de intenso enfriamiento. Los suelos cubiertos por malezas o pasturas se enfrían más que uno desnudo, debido a que sus pérdidas de calor a través de la evaporación son mucho mayores. Además en aquellos casos los cultivos están sobre una cobertura vegetal de segundo orden y que presenta una baja conducción térmica. Las malezas obstruyen la captación de energía lumínica y por lo tanto el suelo se mantiene más frío y hay más condiciones favorables para las heladas.

5.2.4.6 Suelos con alguna condición que reduzca su conductividad térmica:

Los suelos arenosos presentan una desventaja con respecto a suelos arcillosos, ya que los primeros por no retener suficiente humedad, presentan menor conductividad térmica. También tienen mayor aireación y por tanto son más susceptibles a mayor enfriamiento.

5.2.4.7 Condiciones que favorezcan la advección y permanencia del aire frío en un área:

En una noche, el flujo de aire a nivel meso y microclimático será de los lugares más altos a los más bajos. De aquí que las partes bajas de algunos terrenos, lugares encerrados, barreras y zanjones sean más susceptibles a las heladas.

5.3 Métodos de control de heladas:

5.3.1 Métodos activos:

5.3.1.1 Uso de quemadores o calentadores:

Este método consiste en la combustión de petróleo u otros materiales poco costosos (aceite usado etc.) en unos quemadores que se distribuyen por la plantación. En realidad, el rendimiento de este sistema es muy bajo, ya que el 90% del calor producido se dispersa por la atmósfera a nivel superior al de las plantas. Se necesitan entre 100 y 250 hornillos por hectárea. Aunque el costo de cada quemador es barato, debido al elevado número de ellos que debe instalarse y al alto consumo de combustible, el coste total de este sistema es elevado (3).

Según Arteaga (1), este método es el que más lógico se presente para combatir las heladas, ya que aporta calor en forma tangible al quemar diversos materiales en el terreno mismo. Por otra parte, se le reconoce como el método más antiguo de protección que se haya usado.

Sin embargo, razones de tipo económico y técnico hace que este método no siempre sea aplicable, pero cuando se cumplen ciertos requisitos se convierte en un método práctico, eficaz y hasta económico. Entre estos requisitos se puede mencionar aspectos como una buena elección del tipo de calentador, un número y distribución adecuada de los mismos y un encendido y apagado oportuno. En cuanto a la elección del tipo de calentador, no se puede recomendar en general un tipo específico de calefactor, ya que ello dependerá de las circunstancias particulares de cada caso, tales como tipo de cultivo, sistema de plantación, características del clima, capital disponible y valor de

la cosecha (1).

En cuanto al número de calentadores necesarios, algunos experimentos realizados principalmente en Australia y Estados Unidos han revelado que la cantidad de calor que se necesita para la protección contra temperaturas muy bajas, fluctúa entre 1.5 y 4 veces la pérdida calórica a través de la radiación neta, según las condiciones meteorológicas prevalecientes (8).

El número de calefactores que deben establecerse por hectárea está relacionado con el rendimiento calórico de los calefactores mismos, aunque también se admite que depende del tipo de cultivo a proteger, la intensidad de las heladas y el tipo de inversión térmica que se presente (1). De esta manera se estima que se requieren de 80 a 100 calentadores por hectárea, cada uno quemando alrededor de 3 litros de aceite combustible por horam para una protección adecuada en noches de heladas de mediana a severa intensidad (1).

Se debe también destacar que se obtiene una mejor protección con una mayor cantidad y una buena distribución de calentadores pequeños, que con un número menor de calentadores grandes. Estos últimos pueden incluso llegar a ocasionar efectos negativos ya que se pueden generar fuertes corrientes cálidas ascendentes, con un efecto "chimenea" que eventualmente podría romper la cobertura cálida y permitir un drenaje hacia abajo del aire frío(6).

En síntesis puede mencionarse que el objetivo que se persigue con el uso de diversos tipos de calentadores, es de agregar calor a la capa de aire en la cual se encuentran los cultivos, en forma tal que se compense el eventual enfriamiento ocasionado por la radiación saliente efectiva o radiación neta nocturna y se evite de esta manera la ocurrencia de temperaturas tan bajas, que sean perjudiciales para las plantas.

En cuanto al combustible utilizado en los calefactores, en diversas regiones se utilizan en mayor proporción materiales tales como leña, carbón, desechos vegetales secos, trapos o llantas viejas etc. La protección conseguida con ésta práctica ha sido efectiva en la mayor parte de los ca

sos ya que el calor transmitido por las fogatas, cuando se colocan estratégicamente en los cultivos que se busca proteger, ha mantenido la temperatura en el medio, en niveles superiores a aquellos considerados críticos (8). No obstante este procedimiento tiene algunas desventajas, tales como la dificultad para iniciar y para regular adecuadamente la combustión, así como la contaminación asociada con el humo producido. En un principio se correlacionaba la efectividad lograda a través de este método, con el humo que acompaña a la combustión inducida y en tal virtud se llegó a recomendar la quema de estiércol y paja húmeda para aumentar la humareda. No obstante esto no tomaba en cuenta la diferencia existente entre los gases calefactores (responsables del aumento de la temperatura) y el humo propio de tal combustión. Con el objeto de resolver los problemas ofrecidos por la práctica de las fogatas, se desarrollaron los quemadores o calentadores, los cuales utilizan principalmente aceite combustible del tipo diesel o gas oil. Los más eficientes han sido diseñados en California Estados Unidos y son del tipo chimenea similares a los que se observan en el anexo.

5.3.1.2 Uso de Riego por aspersión:

El agua se ha utilizado de diferentes maneras para proteger las plantas contra las heladas, con base en algunas propiedades físicas muy importantes. Cuando el agua se enfría por el intercambio de calor con el medio, se libera aproximadamente 1 caloría por gramo o centímetro cúbico de agua, por cada 1° C de reducción (6).

Sin embargo, cuando la temperatura alcanza 0° C, se libera una cantidad grande de energía, 80 calorías/gramo durante la formación de hielo. Este calor liberado se distribuye así: una parte del mismo va a las hojas y botones de la planta, otra parte al aire y otra al suelo. El calor absorbido por la planta es suficiente para mantener su temperatura por encima de la del punto de congelamiento.

El método de control de heladas de más amplia difusión en el mundo es el de irrigación por aspersión. El agua se debe esparcir continuamente o a intervalos repetidos frecuentes mediante una rápida rotación del aspersor, para su

plir el calor necesario a la planta e impedir su congelamiento. El equipo de irrigación no se debe remover durante el tiempo de protección y aunque se haya formado hielo, se debe seguir irrigando hasta que se haya derretido todo el que se acumula sobre la planta para no causarle daños a la misma.

El flujo mínimo de irrigación para mejorar la protección a cultivos como papa, pastos y hortalizas debe ser de 1.5 a 2.0 mm/hora. El equipo que se emplea es el mismo que se utiliza para el riego convencional, pero con algunas modificaciones.

Experimentalmente se ha demostrado (6) que:

- a) El tamaño de la boquilla debe ser de $5/32$ ó $3/16$ pulgadas (4 ó 4.5 mm), con una presión de 60 libras por pulgada cuadrada (3.5 a 4.5 atmósferas).
- b) La velocidad de rotación debe ser de una revolución por minuto para obtener un buen cubrimiento, ya que a una menor velocidad, la temperatura del agua podría quedar bajo el punto de congelación.
- c) El espaciamiento entre aspersores debe ser igual al doble del que se usa en un trabajo de irrigación normal.
- d) La irrigación se iniciará cuando la temperatura del "bulbo húmedo" alcanza la temperatura de congelamiento (0°C) o cuando la temperatura del aire sea igual a $+1^{\circ}\text{C}$.

Según Arteaga (1), el riego por aspersión se constituye en uno de los métodos más efectivos que se poseen actualmente para el combate de heladas y a diferencia del riego superficial, puede aplicarse en cultivos de cualquier porte.

Las primeras experiencias exitosas se obtuvieron en 1932, en Alemania, y hasta 1946 se dió a conocer la explicación racional del proceso que tiene lugar cuando se aplica este método, lo que permitió ir realizando ajustes al método.

La forma más común de aplicación es aquella en la cual se riega toda la superficie simultáneamente con la ocurrencia de la helada; además existen otras dos formas no muy usadas, una de las cuales es semejante en efectos al riego

superficial y consiste en regar el terreno uno o dos días antes de la helada con el fin de aumentar la capacidad de absorción de radiación solar del suelo e incrementar en ésta la transferencia de calor al cultivo en el momento de la helada, sin embargo, sus efectos son leves y sólo se a conseja en cultivos bajos, para heladas no muy intensas de hasta -3° C y siempre y cuando se cuente con un buen sistema de pronósticos de heladas (1). En la forma restante no se trata de regar las plantas o el suelo bajo cu bierta vegetal, sino que se busca modificar las condiciones térmicas del aire frío antes de que invada la zona del cultivo e inclusive, en ciertos casos impedir dicha invasión; esto se logra colocando "barreras de aspersores" en las zonas de entrada del aire frío. El calor liberado por el congelamiento del agua asperjada, modifica la temperatura de la corriente del aire invasor. Esta forma sólo es aplicable en terrenos accidentados y con posibilidades mí nimas de evaporación intensas durante la protección. A la forma más común de aplicación se le conoce como "Riego por aspersión directo" y a las dos formas restantes como "Riego por aspersión indirecto" respectivamente.

En cuanto al riego por aspersión directo, el método cae dentro de aquellos que aportan el calor necesario para evitar la ocurrencia de una helada, logrando esto por medio del calor latente de solidificación del agua, que se libera cuando el agua pasa de líquido a sólido y que es a proximadamente 80 calorías por cada gramo de agua congelada. Dicho calor liberado determina además que en el lugar donde ocurre el cambio de estado, la temperatura permanezca invariable y muy próxima a 0° C mientras dura dicho cambio.

En base a lo anterior, si se quiere evitar que la tem peratura de una planta descienda por abajo de 0° C se le debe proporcionar continuamente una película de agua que la cubra y que al solidificarse le aporte el calor suficiente para que no sufra daños. El aporte debe ser contí nuo para que siempre haya agua por congelar y la temperatu ra no baje de 0° C, debiendo cuidar que el cultivo a prote ger, soporte la carga de hielo que se generará.

El equipo de aspersión para la defensa contra las heladas debe guardar ciertos requisitos adicionales (1). En forma general se anotan los siguientes:

- a) Cobertura total del terreno cultivado en el momento de la helada. Este requisito implica mayor gasto.
- b) Intensidad de aplicación: Para la mayoría de las heladas bastan 2 a 3 mm/hr, pero se adopta una pluviometría de 4 a 5 mm/hr lo que asegura contra temperaturas de -6° a -8° C.
- c) Finura de las gotas de agua. Las gotas de agua no deben ser tan finas como para que las desvíe el aire o como para que se congelen en su trayectoria. Para lograr lo anterior se pueden usar boquillas de $5/32''$ ó $3/16''$ y presiones de 3 a 4 atmósferas (40 a 60 p.s.i).
- d) Diámetro de cobertura. Se procurarán diámetros de 20 a 30 metros para una óptima distribución del agua.
- e) Aspersores especiales. Han de dar una revolución/minuto o menos; el ángulo debe ser de unos 30° o menor; los golpes producidos deben ir de 200 a 300/giro.
- f) Distribución de los aspersores. Se prefiere la distribución en triángulos equiláteros pues es la que produce mayor uniformidad en el reparto de agua.
- g) Reserva de agua. Esta depende del número e intensidad de las heladas que se presenten en cada localidad. Burgos (1963) considera satisfactoria una reserva para heladas de 10 horas de duración en 2 ó 3 días consecutivos, lo que arroja una reserva aproximada de $1000 \text{ m}^3/\text{ha}$ para una pluviometría de 4 mm/hr.
- h) Movilidad de las tuberías. Aunque en cualquier caso la cobertura debe ser total, en los cultivos anuales que no siempre ocupan la misma superficie se pueden usar tuberías móviles. En árboles frutales se requieren equipos fijos y si se trata de frutales bajos, como la vid, se pueden usar equipos semifijos con la finalidad de facilitar las labores culturales y de cosecha.

5.3.1.3 Uso de humos y nieblas artificiales:

En algunas regiones se han utilizado diversos productos para formar cubiertas enturbiantes que intercepten el escape de la radiación térmica de la superficie hacia las capas superiores de la atmósfera durante una helada. En la nebulización se usan diferentes productos químicos para la formación de los núcleos de condensación, tales como el cloruro de amonio, trióxido de amonio, cloruro de zinc, anhídrido sulfúrico, glicol, fósforo rojo y blanco, etc. (1). Dichos productos se pueden disponer en forma de cartuchos, como el cloruro de amonio y el de zinc (comercialmente cartuchos Multafuma y Fumex), se pueden pulverizar mediante aparatos especiales, o simplemente se quema el producto con las debidas precauciones como el fósforo rojo y el trióxido de amonio.

5.3.1.4 Uso de cobertores:

Este método se recomienda principalmente para cultivos de poca altura como hortalizas o para pequeñas extensiones de siembras. Los materiales que se utilizan pueden ser, paja de trigo, zacatón, plásticos u otros disponibles en la localidad. Los cobertores no permiten la salida de radiación saliente de onda larga irradiada por el suelo.

5.3.1.5 Uso de ventiladores:

El método consiste en la mezcla de aire, aspirando el de las capas superiores más cálidas e impulsándolo hacia abajo hasta el nivel del cultivo. El dispositivo está formado por un gran ventilador, accionado por un motor, colocado sobre una torre metálica de 9 a 11 metros de altura. La hélice, que suele ser de dos palas, con un diámetro de 3 a 5 m, gira a 600-800 r.p.m. y se coloca formando un cierto ángulo, de manera que proyecte una corriente de aire sobre los cultivos. El motor debe tener una potencia mínima de 60 caballos de fuerza y puede llegar hasta los 200 caballos. El ventilador tiene además un movimiento de giro sobre el eje vertical, dando una vuelta cada 4 o 5 minutos. (6).

5.3.2 Métodos Pasivos:

5.3.2.1 Ubicación correcta de las áreas cultivadas:

Este método establece que en todo lo posible se deberán evitar áreas con riesgos de daños por heladas. Es necesario conocer la topografía del lugar para evitar cultivar en las partes bajas en donde es más probable que se asiente el aire frío por más tiempo.

5.3.2.2 Escogencia de la época de siembra:

Para evitar daños por heladas, el agricultor puede adelantar o retrasar las fechas de siembra de sus cultivos, especialmente en aquellos que son sensibles a este fenómeno.

5.3.2.3 Selección y mejoramiento de los cultivos:

Este método establece que por medio de investigaciones fitotécnicas se puedan obtener plantas que tengan más características para resistir heladas, y además que el agricultor trate de obtener plantas que se desarrollen durante la temporada libre de heladas.

5.3.2.4 Uso de prácticas agronómicas adecuadas:

El agricultor puede hacer uso de distintas prácticas para evitar daño por heladas, tales como mantener húmedo el terreno, cultivos libres de malezas, mantener suelos compactos, permitir el drenaje de aire frío en su terreno etc. (8).

5.4 Estudios sobre heladas realizados en Guatemala.

En experimentos realizados en Quetzaltenango (2380 msnm) en los primeros meses de 1988, Turcios (11) reporta haber utilizado el método de quemadores en plantaciones de durazno y melocotón, habiendo trabajado con latas para manteca de 25 lbs y con aserrín y aceite quemado, utilizando 3 galones de aceite por costal de aserrín. En dicho experimento se obtuvo un incremento promedio de 0.47° C en comparación con la temperatura de abrigo. El distanciamiento entre quemadores fue de 10 m entre sí. El mismo autor reporta haber experimentado con aserrín, viruta y aceite quemado en los mismos botes anteriores, con la variante de colocar 2 quemadores en vez de uno a la misma distancia de 10 m entre pares; el resultado fue de un incremento de 0.68° C lo cual considera insuficiente para la protección de un

cultivo como los frutales decídúos. Turcios reporta además haber trabajado con botes de 22 galones de capacidad, usando como combustible 2 costales de aserrín, uno de viruta y tres galones de aceite quemado, a una distancia de 8 metros cada quemador. El resultado fue de un incremento de 0.17° C en promedio en comparación con el termómetro en abrigo. El tiempo de duración de la combustión fue de 3.5 horas para cada quemador.

Se reporta que el distanciamiento utilizado entre los quemadores influyó para que el incremento de temperatura fuera muy bajo.

En cuanto a la evaluación de otros métodos, en San Cristóbal Totonicapán (2332 msnm), se evaluó la eficiencia de cobertores en un vivero forestal, obteniéndose un incremento promedio de 2° C. en hileras de arboles en comparación con hileras sin cobertor. El cobertor fue elaborado de pajón y el tamaño utilizado fue de 1 x 2 metros (9).

En relación a otro método activo como lo son los ventiladores, en Guatemala se ha utilizado este en una plantación de manzana y melocotón en San Juan de Argueta, Sololá (2300 msnm). Se tienen allí 7 ventiladores de 225 HP con motor diesel, que protegen las áreas más críticas de esa plantación de 14,000 arboles. Actualmente se utilizan fogatas con el fin de mejorar la protección en toda la plantación (9).

En cuanto a los métodos pasivos, Sánchez et al (9), reporta un experimento en la estación agrícola Labor Ovalle de Quetzaltenango, en donde se compararon las temperaturas mínimas superficiales en dos campos; uno con suelo limpio, compactado y humedecido periódicamente y otro con cubierta vegetal natural, seco y sin compactar. Los resultados muestran una diferencia promedio de 1.5° C, siendo la temperatura más alta en el suelo limpio y humedecido.

Se menciona también que en Almolonga Quetzaltenango en donde la mayoría de cultivos son hortalizas, la práctica de humedecimiento frecuente durante el día del suelo, hace que las heladas en este lugar sean menos severas que en otros lugares vecinos (9).

5.5 Pronóstico de heladas en Guatemala:

Actualmente en la sección de Agrometeorología de INSIVUMEH, con el apoyo del Proyecto OMM/PNUD GUA/87/009 se ha analizado y discutido a profundidad el pronóstico de las heladas en el país ya que hasta el momento es uno de los fenómenos que no se han tomado en cuenta en el informe del estado de tiempo que se reporta a diario. Se ha incluido en este análisis información sinóptica de altura y climática de superficie, de los principales elementos que podrían influir sobre las heladas. (9)

Se observó preliminarmente que datos como las temperaturas de bulbo seco y húmedo y el punto de rocío de las 16 horas, la temperatura mínima del día anterior, la nubosidad y la velocidad promedio del viento de las 06 a 16 horas, eran los elementos más significativos para detectar las heladas. Se hizo una serie de correlaciones simples y múltiples de las variables involucradas y se obtuvo un modelo matemático lineal de la forma:

$$Y = -0.35X_1 + 0.42X_2 + 0.32X_3 - 0.46$$

Donde : Y= Temperatura mínima en grados centígrados pronosticada para el día siguiente.

$X_1 = (TS_{16} - TH_{16}) - TN_2$. TS_{16} y TH_{16} son temperaturas de bulbo seco y húmedo de las 16:00 horas, TN_2 es la temperatura mínima registrada en el día actual.

$X_2 =$ Nubosidad media horaria de las 06:00 a las 16:00 horas.

$X_3 =$ Velocidad media horaria del viento (Mt/seg.) de las 06:00 a las 16:00 horas.

En una segunda instancia, se analizó información meteorológica en altura, que diera un indicio de las condiciones de macroescala que rigen la periodicidad e intensidad de la ocurrencia de las heladas en el periodo ya indicado. La información que se analizó fue la temperatura en °C a 700, 500 y 300 milibares (Hpa), punto de rocío a los mismos niveles, altura del nivel de congelación, valor de la inversión térmica y altura a la que ocurrió. El manejo computarizado de tal información dió un modelo matemático lineal de correlación múltiple, que ahora se pretende integrar con el modelo climático, a fin de obtener

una mayor confiabilidad en las predicciones. Dicho modelo tiene la siguiente forma:

$$Y = 0.77X_1 + 0.12X_2 - 0.21X_3 - 20.9$$

Donde:

Y= Temperatura mínima en grados centígrados pronosticada para el día siguiente.

X₁= Diferencia de temperatura de 500 a 300 milibares (Hpa).

X₂= Diferencia de temperatura de punto de rocío de 700 a 300 milibares (Hpa).

X₃= Diferencia de temperatura de punto de rocío de 500 a 300 milibares (Hpa).

El modelo climático brinda un dato de temperatura mínima pronosticada, hacia las 16:00 horas del día anterior al fenómeno. Con el modelo sinóptico de datos de altura, se obtendrá un pronóstico preliminar alrededor de las 09:00 horas, el cual se confirmará o modificará a las 16:00 horas. La integración de estos modelos es lo que en la actualidad se está desarrollando.

El modelo climático a la fecha ha brindado un acierto de aproximadamente un 75% en un rango de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Las mayores dificultades en el pronóstico del fenómeno, han ocurrido cuando se presentan cambios súbitos en las condiciones sinópticas generales. Este hecho determinó la necesidad de incluir variables de altura en el modelo climático primario.

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 Localización y descripción del área experimental:

El presente estudio se realizó en la aldea Chirijuyú de Tecpán Guatemala, Chimaltenango. Se encuentra ubicada en la latitud $14^{\circ}41'51''N$ y longitud $90^{\circ}57'43''W$. La altura oscila entre 2,100 y 2,320 msnm.

La extensión total de la aldea es de aproximadamente 11 Kms². La precipitación promedio es de 957 mm anuales. La estación lluviosa efectiva se inicia a finales del mes de mayo, terminando a mediados del mes de octubre, con una duración estimada de 135 días, en la que se recibe el 68% del total de la precipitación.

La temperatura media es de $16.4^{\circ}C$ siendo las temperaturas máximas de $25^{\circ}C$ y las mínimas de $-4^{\circ}C$.

Según la clasificación de Simmons et al (10), la serie de suelos que predominan son Tecpán, y estos se caracterizan por ser profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino en un clima frío húmedo-seco. El suelo superficial a una profundidad de 40 cms es franco arcillo-arenoso de color café a café oscuro. El contenido de materia orgánica es bajo (2%) y han estado intensamente cultivados desde hace mucho tiempo.

Según Holdrige, citado por Cruz (4), la zona de vida es Bosque Húmedo Montano bajo subtropical.

Chirijuyú está situado a 78 Kms de la ciudad capital por la carretera interamericana CA-1.

6.2 Materiales y equipo:

6.2.1 Materiales:

Se utilizaron 10 quintales de semilla de papa variedad Lóman, fertilizante 20-20-0 y Urea, abono foliar Microzit, fungicida (Metalaxil + Mancozeb).

6.2.2 Equipo:

- 1 abrigo meteorológico
- 39 termómetros de mínima tipo Lambrecht de -40 a $40^{\circ}C$.
- 1 termohigrógrafo de -30 a $50^{\circ}C$.
- 1 aspirómetro
- 1 teletermógrafo de -30 a $50^{\circ}C$.
- 1 miniabrigo meteorológico de superficie.

6.3 Descripción del trabajo de investigación:

La investigación se llevó a cabo durante los meses de octubre a marzo del presente año, habiéndose realizado las siguientes actividades:

6.3.1 Elaboración de los quemadores:

Para la elaboración de los quemadores se utilizaron botes de 5 y 22 galones de capacidad. A estos se les adicionó un "techito" con el fin de evitar que todo el calor producido fluya hacia arriba y por el contrario este se expanda lateralmente.

6.3.2 Preparación del terreno:

Se dieron 2 pasos de arado con tracción animal; posteriormente se hizo el trazo de los surcos dejando 0.70 mts entre cada uno.

6.3.3 Siembra:

Se utilizaron 10 quintales de semilla de papa variedad Lóman. En el surco se fue colocando fertilizante 20-20-0. La semilla se colocó a 0.24 m. La siembra se realizó el 26 de diciembre de 1988.

6.3.4 Fertilización:

Se efectuaron 2 fertilizaciones: una al momento de la siembra con 20-20-0 y otra al aporque con Urea el 20 de febrero 57 días después de la siembra.

6.3.5 Riegos:

Se aplicó riego por aspersion a razón de 1200 gal/hora siendo cada riego de cuatro horas 30 minutos. El intervalo de riego fue de cada 8 días desde el momento de la siembra.

6.3.6 Prácticas culturales:

Se realizaron 2 aplicaciones de Ridomil (Metalaxil + mancozeb) para el control de tizón tardío (Phytophthora infestans). Se efectuó una limpia para control de malezas haciéndose un picado entre los surcos.

6.3.7 Acopio de insumos:

Previamente a la operación de los métodos de control de heladas se llevó al área experimental suficiente cantidad de aserrín y olote. Se utilizaron 2 toneles de aceite quemado; cada tonel de 54 galones.

6.3.8 Toma de datos climáticos:

Desde antes de la siembra se registraron las temperaturas en abrigo a 1.5 m del termohigrógrafo, aspirómetro y un teletermógrafo con el sensor a 0.05 m sobre el suelo. Se registró también la humedad relativa.

6.3.9 Colocación de termómetros:

En las unidades experimentales previo a la operación del método de control se colocó un termómetro de mínima en cada una de éstas. Se contó también con un termómetro ambiental fuera de abrigo colocado a 0.30 m del suelo y con un teletermógrafo que se colocó en un abrigo situado a 0.05 m sobre el suelo para registrar la temperatura de la superficie.

6.3.10 Operación de los métodos de control de heladas:

Para los quemadores, los respectivos combustibles: aserrín y olote fueron preparados con anticipación, mezclándolos con aceite quemado. Posteriormente se colocaron en sus respectivos botes dejándoles una abertura en el centro que funciona como respiradero o chimenea. En cuanto al encendido este se realizó cuando la temperatura se acercaba a +1°C. En relación al sistema de riego éste se operó cuando la temperatura en continuo descenso se acercaba a +1°C.

6.4 Técnicas de campo para el ensayo con quemadores:

6.4.1 Diseño experimental:

En la investigación se utilizó un diseño en bloque al azar con 4 repeticiones. Siendo el experimento bifactorial, con 6 tratamientos más un testigo. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = U + Q_i + C_j + (QC)_{ij} + B_k + E_{ijk} \quad \text{donde:}$$

i = 1, 2 = a (número de quemadores)

j = 1, 2, 3, = b (Tipos de combustibles)

k = 1, 2, 3, 4 = r (repeticiones)

Y_{ijk} = Variable respuesta.

U = Efecto de la media general

- Qi = Efecto del iésimo quemador
- Cj = Efecto del jésimo combustible
- (QC)ij = Interacción entre el quemador y combustible.
- Bk = Efecto del Késimo bloque
- Eijk = Error experimental asociado a la k-ésima repetición del i-jésimo tratamiento.

6.4.2 Descripción de la unidad experimental:

Area total	1481.25 m ²
Parcela experimental	47.30 m ²
Parcela neta	33.64 m ²
Distanciamiento entre bloques	1.25 m
Distanciamiento entre tratamientos	0.80 m
Distanciamiento del cultivo	0.70 x 0.24 m

6.4.3 Descripción de tratamientos:

Los factores estudiados fueron:

Factor A: Tamaño de quemador:

- De 5 galones (5G)
- De 22 galones (22G)

Factor B: Tipo de combustible:

- Aserrín con aceite quemado (AAQ)
- Olote con aceite quemado (OAQ)
- Aserrín y olote con aceite quemado (AOAQ)

Los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

CLAVE	DESCRIPCION
5GAAQ	Quemador de 5 galones con aserrín y aceite quemado.
5GOAQ	Quemador de 5 galones con olote y aceite quemado
5GAOAQ	Quemador de 5 galones con aserrín-olote-aceite quem.
22GAAQ	Quemador de 22 galones con aserrín y aceite quemado
22GOAQ	Quemador de 22 galones con olote y aceite quemado.
22GAOAQ	Quemador de 22 galones con aserrín-olote-aceite quem.

6.4.4 Variables de respuesta:

- Temperatura en grados centígrados, antes, durante y después de la helada.
- Tiempo de combustión de c/u de los combustibles.
- Aspecto cualitativo y estado de desarrollo de las plantas.
- Rendimiento en Tm/ha de papa.

6.4.5 Registro de la información:

Antes de cada helada se hicieron lecturas de temperaturas registradas en los termómetros ubicados en cada unidad experimental, así como durante y después de la helada. La frecuencia de las lecturas fue de 30 minutos entre una y otra. Se registró también el tiempo de combustión de cada quemador. Debido a que una helada severa destruyó el cultivo 15 días antes de la cosecha los tubérculos no alcanzaron el grado de desarrollo necesario; aún así se determinó el rendimiento hasta ese momento.

Debido a que en el lugar de experimentación no se contaba con datos climáticos de años anteriores y a la falta de una comunicación rápida con estaciones meteorológicas principales, no se puso en práctica el pronóstico de heladas desarrollado por la sección de Agrometeorología; es importante hacer notar que este pronóstico se desarrolla en base a 2 modelos: un modelo matemático y un modelo climático. El modelo climático ha brindado un acierto de 75%, sin embargo actualmente se trata de integrar los dos modelos con el fin de que el pronóstico sea más acertado. Debido a esto para la operación de los métodos de control de heladas se mantenía una constante vigilancia de los datos climáticos diarios del lugar y las condiciones del tiempo locales.

6.4.6 Análisis de la información:

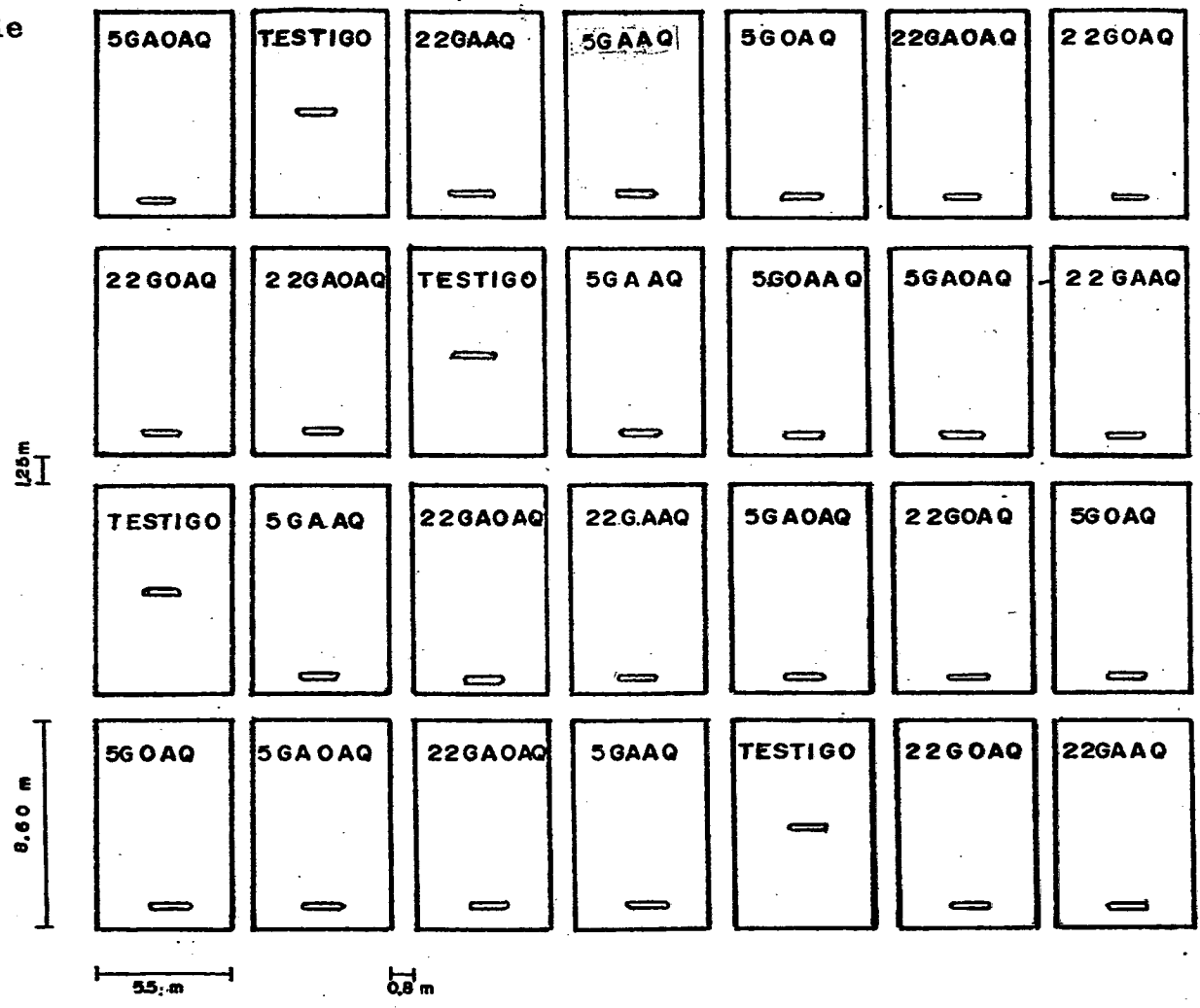
Se hizo un análisis de varianza para la temperatura registrada, en grados centígrados y al incremento de temperatura obtenido en base al termómetro testigo situado fuera de la parcela experimental. Se obtuvo también un promedio del tiempo de combustión y se realizó un análisis de varianza. Al rendimiento se le hizo el mismo análisis anterior. Se hicieron pruebas de Tukey para ~~andevan~~ con significancia estadística.

6.4.7

Croquis de campo para ensayo de quemadores.

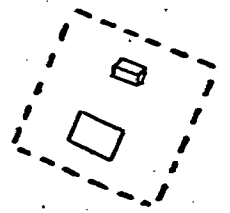


CE LA BRITISHIAH IN SAN CARLOS DE CARRERA
Biblioteca Central



- 27 -

ESTACIÓN METEOROLÓGICA



— = TERMÓMETRO

ESC : 1:300

6.5 Técnicas de campo para el ensayo sobre riego:

6.5.1 Diseño experimental:

En este ensayo se utilizó un diseño en bloques al azar con 2 tratamientos y 4 repeticiones, cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = U + B_j + T_i + E_{ij}$$

$$i = 1, 2 \text{ (tratamientos)}$$

$$j = 1, 2, 3, 4 \text{ (repeticiones)}$$

$$Y_{ij} = \text{Variable respuesta.}$$

$$U = \text{Efecto de la media general}$$

$$B_j = \text{Efecto del } j\text{-ésimo bloque}$$

$$T_i = \text{Efecto del } i\text{-ésimo tratamiento}$$

$$E_{ij} = \text{Error experimental asociado a la } ij\text{-ésima unidad experimental}$$

6.5.2 Descripción de la unidad experimental

Area Total	1575 m ²
Parcela experimental	60 m ²
Parcela neta	32 m ²
Distanciamientos entre tratamientos	9 m
Distanciamiento del cultivo	0.70 x 0.24 m

6.5.3 Descripción de tratamientos:

CLAVE	DESCRIPCION
CRA	Con riego por aspersión
SRA	Sin riego por aspersión

6.5.4 Variables de respuesta:

- Temperatura en grados centigrados, antes, durante y después de la helada.
- Desarrollo de los cultivos.

6.5. Registro de la información:

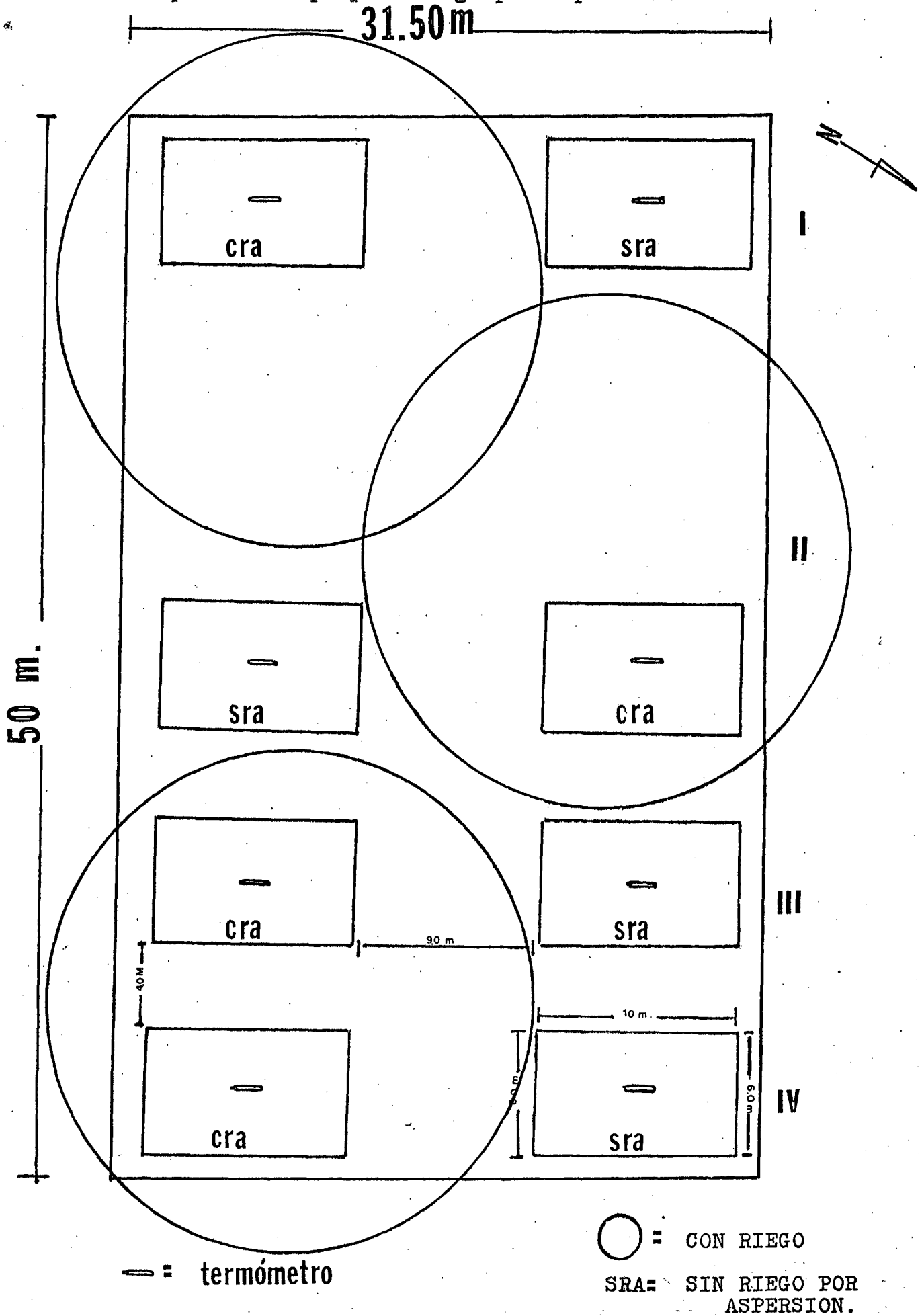
En cada unidad experimental se tenía ubicado un termómetro de mínima. Antes de operar el riego se hicieron lecturas termométricas, así como al momento del control de heladas. Las frecuencias de las lecturas

era cada 30 minutos. Se tomó también el dato de desarrollo del cultivo. No se registró el rendimiento debido a que el cultivo fue destruido por una helada severa y los tubérculos no habían alcanzado madurez fisiológica en contraste con el ensayo de quemadores.

6.5.6 Análisis de la información:

Unicamente se realizó un análisis de varianza para los datos de temperatura registrada y para incremento de temperatura con respecto al testigo.

6.5.7 Croquis de campo para riego por aspersión:



VII. RESULTADOS Y DISCUSION:

CUADRO 1: Temperatura promedio en grados centigrados, obtenida en el experimento sobre control de heladas en el cultivo de papa.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{X}
5GAOAQ	2.78	3.14	2.73	3.09	11.74	2.94
22GAAQ	3.93	3.40	3.99	3.57	14.89	3.72
5GAAQ	3.07	2.96	2.76	3.16	11.95	2.99
5GOAQ	3.08	3.05	3.12	3.15	12.40	3.10
22GAOAQ	2.80	3.17	2.79	3.03	11.79	2.95
22GOAQ	3.11	3.27	3.25	3.06	12.69	3.17
TOTAL	18.77	18.99	18.64	19.06	75.46	
\bar{X}	3.13	3.17	3.11	3.18	3.14	

En base al cuadro anterior se puede apreciar que el mayor valor de temperatura lo registra el quemador de 22 galones con aceite quemado, y el menor valor se obtiene con el quemador de 5 galones con aserrín y olote con aceite quemado. Para detectar diferencias se realizó un análisis de varianza.

CUADRO 2: Análisis de varianza para el valor promedio de la temperatura en grados centigrados.

F.V.	G.L.	SC	CM	FC	0.05 ^{FT}	0.01
Total	23	2.380584				
Bloque	3	0.018884				
Tratamientos	5	1.776784	0.3553568	9.11**	2.90	4.56
Quemadores	1	0.4482673	0.4482673	11.50**	4.54	8.68
Combustible	2	0.685505	0.3427525	8.79**	3.68	6.36
Q X C	2	0.6430117	0.3215059	8.25**	3.68	6.36
Error exp.	15	0.584916	0.0389944			

C.V. = 6.28%

** = Diferencia altamente significativa

Los resultados del cuadro No. 2 indican que existen diferencias altamente significativas tanto en los tratamientos como en la interacción de los quemadores y combustibles evaluados. Esto quiere decir que el valor de temperatura que se obtenga va a depender tanto del tamaño del quemador como del tipo de combustible. Se realizó una prueba de Tuckey para la interacción.

CUADRO 3: Prueba de Tukey para la interacción Quemadores y combustible, para los valores promedio de temperatura en grados centigrados.

Tratamientos	Media Temperatura en grados centigrados	Presentación
22GAAQ	3.72	a
22GOAQ	3.17	a b
5GOAQ	3.10	b
5GAAQ	2.99	b
22GAOAQ	2.95	b
5GAOAQ	2.94	b

a = Tratamientos estadísticamente similares entre sí.

b = Tratamientos estadísticamente similares entre sí.

En base al cuadro No. 3, se observa que los quemadores de 22 galones con aceite quemado y olote y aceite quemado respectivamente, proporcionan los valores más altos y estos son estadísticamente iguales, en contraste con los otros tratamientos que son similares entre sí.

En el siguiente cuadro se presentan los mismos valores de temperatura del cuadro No. 1 adicionando al testigo.

CUADRO 4: Temperatura promedio en grados centigrados, incluyendo al testigo.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{x}
5GAAQ	2.78	3.14	2.73	3.09	11.74	2.94
22GAAQ	3.93	3.40	3.99	3.57	14.89	3.72
5GAAQ	3.07	2.96	2.76	3.16	11.95	2.99
5GOAQ	3.08	3.05	3.12	3.15	12.40	3.10
22GAAQ	2.80	3.17	2.79	3.03	11.79	2.95
22GOAQ	3.11	3.27	3.25	3.06	12.69	3.17
TESTIGO	2.65	2.18	2.54	2.23	9.60	2.40
TOTAL	21.42	21.17	21.18	21.29	85.06	

Puede observarse en el cuadro No. 4 que el testigo tiene el valor más bajo en cuanto a temperatura registrada. Para tener una mejor inferencia acerca de los datos se realizó un análisis de varianza.

CUADRO 5: Análisis de varianza para el valor promedio de temperatura en grados centigrados, incluyendo al testigo.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	$F_{0.05}^{T}$	$F_{0.01}^{T}$
Total	27	4.438672				
Bloques	3	5.8434×10^{-3}				
Tratam.	6	3.675472	0.6125787	14.56	2.66	4.01
Error Exp.	18	0.7573566	0.0420754			

C.V. = 6.75%

** = Altamente significativo.

El análisis de varianza anterior indica que los tratamientos evaluados incluyendo al testigo son diferentes de manera significativa, por lo que se realizó una prueba de Tukey.

CUADRO 6: Prueba de Tukey para valores de temperatura, incluyendo al testigo.

Tratamientos	Media Temperatura en grados centígrados	Presentación
22GAAQ	3.72	a
22GOAQ	3.17	a b
5GOAQ	3.10	b
5GAAQ	2.99	b
22GAOAQ	2.95	b
5GAOAQ	2.94	b c
TESTIGO	2.40	c

Según el comparador Tukey, en los tratamientos con la misma letra no existe diferencia significativa entre sí.

Los resultados indican que el testigo y el quemador de 5 galones con aserrín y aceite quemado proporcionan un valor de temperatura estadísticamente similar. Los combustibles aserrín y olote con aceite quemado, mezclados en un mismo quemador proporcionan valores bajos de temperatura.

CUADRO 7: Incremento de temperatura promedio en grados centígrados obtenido en el experimento sobre control de heladas en el cultivo de papa.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{X}
5GAOAQ	1.79	1.50	1.71	1.15	6.15	1.54
22GAAQ	2.14	1.88	2.06	2.31	8.39	2.10
5GAAQ	1.63	1.66	1.42	1.64	6.35	1.59
5GOAQ	1.83	1.84	1.77	1.89	7.33	1.83
22GAOAQ	1.71	1.57	1.83	1.59	6.70	1.68
22GOAQ	1.59	2.03	1.88	1.76	7.26	1.82
TOTAL	10.69	10.48	10.67	10.34	42.18	
\bar{X}	1.78	1.75	1.78	1.72	1.76	

Para el incremento de temperatura se tienen las siguientes hipótesis:

- Ho: Todos los tratamientos evaluados producen el mismo incremento de temperatura.
 Ha: Por lo menos uno de los tratamientos evaluados es diferente a todos los demás.

El efecto de los tratamientos puede descomponerse en:

- Hol: No existe diferencia significativa en el incremento de temperatura producido por los 2 tipos de quemadores.
 Ho2: No existe diferencia significativa en el incremento de temperatura producido por los 3 tipos de combustible.
 Ho3: No existe interacción entre el tamaño de quemador y el tipo de combustible utilizado.

En base a los datos del cuadro No. 7, se deduce que el mayor incremento lo produce el quemador de 22 galones con aserrín y aceite quemado y el menor incremento el quemador de 5 galones con aserrín y olote con aceite quemado, habiendo una diferencia promedio de 0.56 grados centígrados, lo que significa un 26.67% de menor eficiencia en la generación de calor y por tanto de temperatura.

CUADRO 8: Análisis de varianza para el incremento promedio de temperatura en grados centígrados obtenido en el control de heladas en papa.

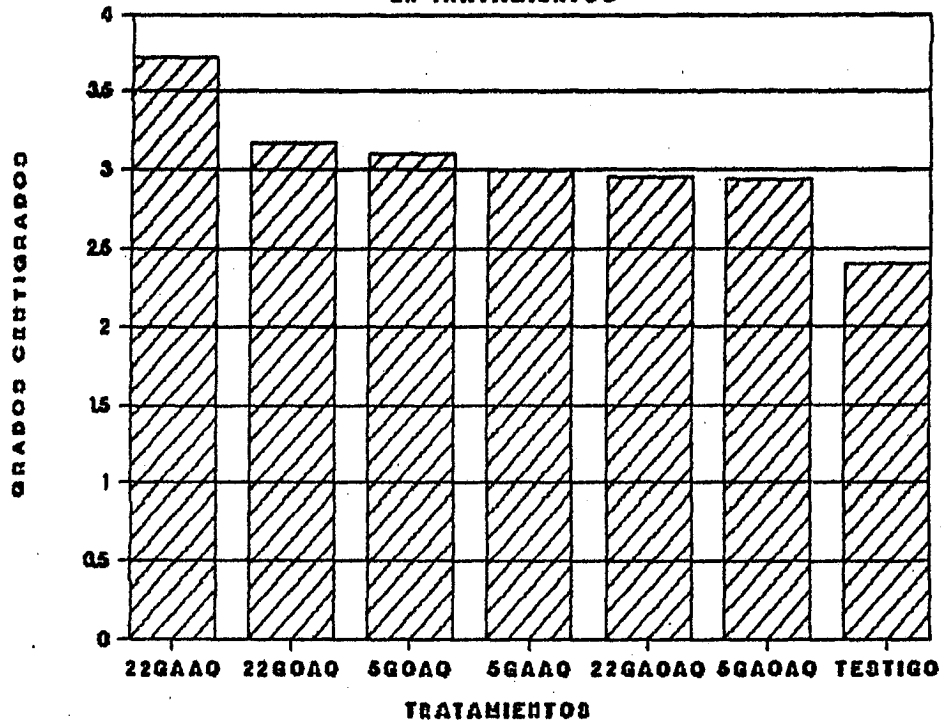
F.V.	G.L.	SC	CM	FC	FT	
					0.05	0.01
Total	23	1.36805				
Bloques	3	0.0138167				
Tratamientos	5	0.83455	0.16691	4.84**	2.90	4.56
Quemadores	1	0.2646	0.2646	7.64*	4.54	8.68
Combustible	2	0.275925	0.1379625	3.98*	3.68	6.36
Q X C	2	0.294025	0.1470125	4.24*	3.68	6.36
Error exp.	15	0.5196833	0.0346456			

C.V. = 10.59%

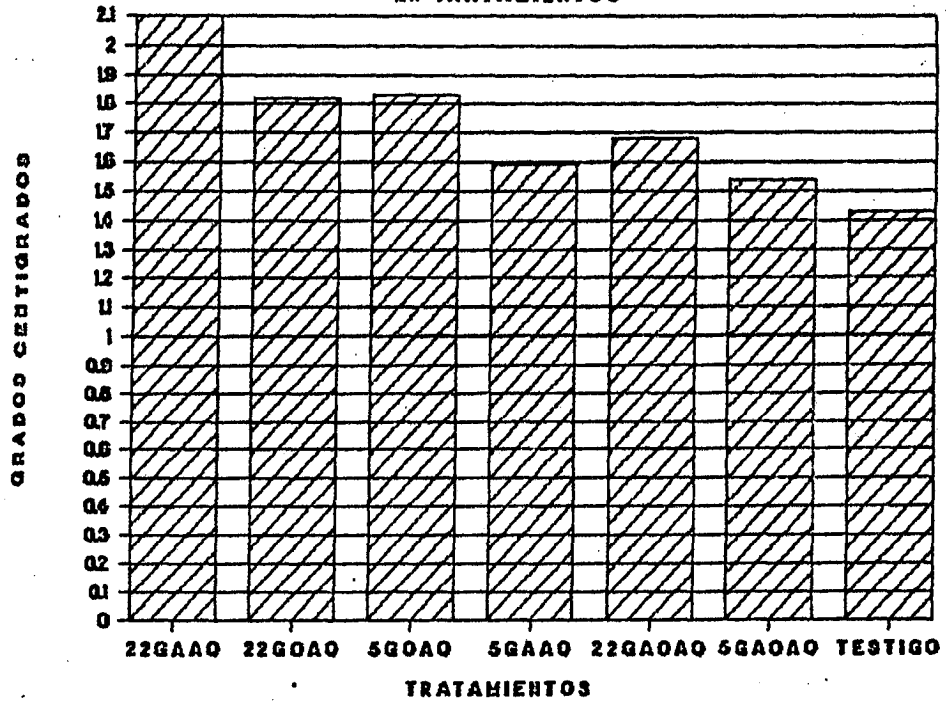
** = Diferencia altamente significativa.

* = Diferencia significativa.

GRAFICA 1
TEMPERATURA PROMEDIO
EN TRATAMIENTOS



GRAFICA 2
INCREMENTO DE TEMP.
EN TRATAMIENTOS



El coeficiente de variación reportado (C.V. = 10.59%) indica que durante la ejecución de la presente investigación se aplicó un manejo adecuado.

El cuadro No. 8 indica que existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, y una diferencia significativa en los niveles de quemadores, combustible e interacción de los mismos. Debido a esto es necesario realizar una prueba de Tukey solamente a la interacción debido a que los resultados obtenidos están influenciados por los 2 factores.

CUADRO 9: Prueba de Tukey para la interacción Quemadores x combustible con un nivel de significancia del 1%.

Tratamientos	Media Incremento de temperatura en grados Centígrados.	Presentación
22GAAQ	2.10	a
5GOAQ	1.83	a
22GOAQ	1.82	a
22GAOAQ	1.68	a
5GAAQ	1.59	a
5GAOAQ	1.54	b

Los tratamientos que aparecen con la letra "a" son estadísticamente similares. El tratamiento con la letra "b" es el único diferente a los demás tratamientos.

Puede notarse que los combustibles olote y aceite quemado usados en los 2 tipos de quemadores (5GOAQ y 22GOAQ) proporcionan valores relativamente altos, siendo superados únicamente por el quemador de 22 galones con a serrín y aceite quemado (22GAAQ).

En cuanto a la variable tiempo de combustión, los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO 10: Tiempo total de combustión en horas de cada quemador obtenido en el experimento sobre control de heladas en el cultivo de papa.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{x}
5GAOQ	1.65	1.53	1.42	1.55	6.15	1.54
22GAAQ	3.22	3.15	3.28	3.33	12.98	3.25
5GAAQ	1.70	1.52	1.57	1.48	6.27	1.57
5GOAQ	1.23	1.22	1.07	1.15	4.67	1.17
22GAOQ	2.17	1.92	1.95	2.05	8.09	2.02
22GOAQ	1.77	1.78	1.83	1.85	7.23	1.81

Considerando los resultados del cuadro anterior se deduce que el mayor tiempo de combustión lo proporciona el quemador de 22 galones con aserrín y aceite quemado y el menor tiempo de combustión el quemador de 5 galones con olote y aceite quemado, existiendo una diferencia de 2.08 horas, lo cual es bastante importante al momento de controlar una helada. Para detectar diferencias significativas se realizó un análisis de varianza.

CUADRO 11: Análisis de varianza para el tiempo de combustión en horas obtenido en el experimento sobre control de heladas en papa.

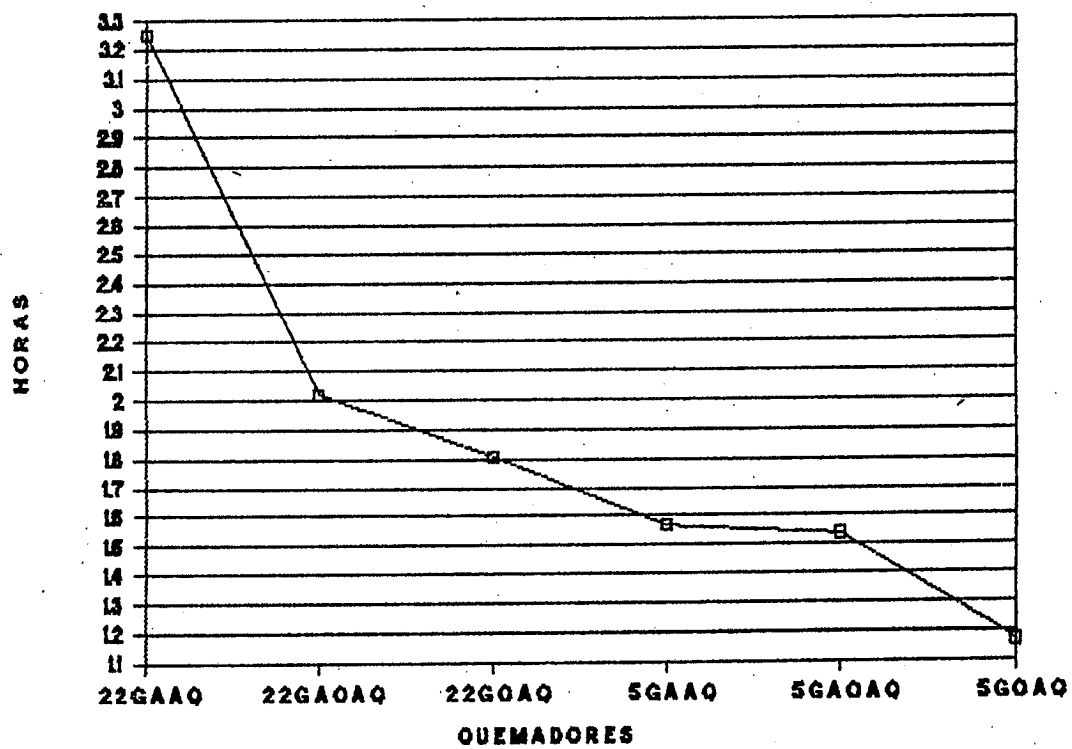
F.V.	G.L.	SC	CM	FC	0.05 ^{FT}	0.01
Total	23	10.574062				
Bloques	3	0.0435787				
Tratamientos	5	10.442587	2.089	356.50**	2.90	4.56
Quemadores	1	5.2360042	5.23600	893.55**	4.54	8.68
Combustible	2	3.524925	1.76246	300.77**	3.68	6.36
Q X C	2	1.6816578	0.84082	143.49**	3.68	6.36
Error Exp.	15	0.0878963	5.85975	5.85975×10^{-3}		

C.V. = 4.05%

** = Diferencia altamente significativa.

* = Diferencia significativa .

GRAFICA 3
TIEMPO DE COMBUSTION



El coeficiente de variación bajo indica que esta variable fue muy bien manejada en el experimento.

El cuadro No. 11 indica que existe una diferencia altamente significativa para los tratamientos, los niveles de quemadores, combustibles y la interacción de ambos. Se realizó una prueba de Tukey a la interacción con el fin de detectar diferencias entre los tratamientos.

CUADRO 12: Prueba de Tukey para la interacción Quemadores x combustible con un nivel de significancia del 1%.

Tratamientos	MEDIA Tiempo de combustión en horas.	Presentación*
22GAAQ	3.25	a
22GAOAQ	2.02	b
22GOAQ	1.81	b
5GAAQ	1.57	c
5GAOAQ	1.54	c
5GOAQ	1.17	d

* = En los tratamientos con la misma letra, no existe diferencia significativa entre sí.

Analizando los datos del cuadro anterior, se puede notar que el quemador de 22 galones con aserrín y aceite quemado presenta el valor más alto en cuanto a tiempo de combustión y no es igual a los otros tratamientos. Los quemadores de 22 galones con aserrín y olote con aceite quemado y el de 22 galones con olote y aceite quemado, estadísticamente son iguales, no existiendo diferencia significativa entre estos. El valor más bajo lo presenta el quemador de 5 galones con olote y aceite quemado.

Es importante hacer notar que en cuanto a la variable rendimiento, ésta no se evaluó hasta el momento de la cosecha ya que 15 días antes de la misma se presentó una severa helada, teniendo una duración de más de 7 horas, destruyendo toda la plantación de papa debido a que los quemadores duraron un máximo de 3.5 horas. Sin embargo se determinó el rendimiento hasta ese momento, cuando el cultivo había estado 62 días en el campo. Los resultados

se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO 13: Rendimiento de papa en Toneladas métricas/Ha. obtenido en el ensayo de quemadores para control de heladas.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{X}
5GAOAQ	2.05	5.26	3.80	4.09	15.20	3.80
22GAAQ	2.05	6.43	3.21	3.62	15.31	3.83
5GAAQ	4.68	3.95	2.34	4.38	15.35	3.84
5GOAQ	3.80	6.58	2.63	3.14	16.15	4.04
22GAOAQ	4.38	6.07	3.21	3.80	17.46	4.37
22GOAQ	2.34	4.38	2.12	4.09	12.93	3.23
TOTAL	19.30	32.67	17.31	23.12	92.40	
\bar{X}	3.22	5.45	2.89	3.85		

Con base a los datos del cuadro anterior, se deduce que el mejor rendimiento se obtuvo con el tratamiento 22GAOAQ y el menor rendimiento con el tratamiento 22GOAQ y el menor rendimiento con el tratamiento 22GOAQ existiendo una diferencia de 4.53 TM/ha. El bloque que mayor producción presenta es el bloque II con un promedio de 5.45 TM/ha.

No obstante se realizó un análisis de varianza para detectar diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

CUADRO 14: Análisis de varianza para el rendimiento obtenido en el cultivo de papa. (TM/Ha.)

F.V.	G.L.	SC	CM	FC	0.05 ^{FT}	0.01
Total	23	39.5878				
Bloques	3	23.258233				
Tratam.	5	2.7394	0.54788	0.60 ^{NS}	2.90	4.56
Quem.	1	0.0416667	0.0416667	0.046 ^{NS}	4.54	8.68
Comb.	2	0.8047	0.40235	0.444 ^{NS}	3.68	6.36
Q X C	2	1.8930333	0.9465167	1.045 ^{NS}	3.68	6.36
Error Exp.	15	13.590167	0.9060111			

C.V. = 24.72%

NS = No significativo

El coeficiente de variación alto, indica que en el manejo de esta variable hubo deficiencia en el experimento. Esto se debió principalmente a la calidad de la semilla y al desarrollo desuniforme que tenían los tubérculos al momento de la siembra.

El cuadro No. 14 , indica que no existe diferencia estadística alguna en cuanto al rendimiento en los diferentes tratamientos, siendo todos iguales entre sí.

Con relación al testigo que se implantó en el experimento, éste no fue incluido en los anteriores resultados, ya que no formaba parte de ninguno de los 2 factores estudiados, sin embargo se hizo un análisis de varianza aparte, tomando a los 6 tratamientos evaluados más el testigo. A continuación se presentan los resultados:

CUADRO 15: Incremento de temperatura promedio en grados centígrados, obtenido en el experimento de control de heladas, incluyendo al testigo.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{X}
5GAO AQ	1.79	1.50	1.71	1.15	6.15	1.54
TESTIGO	1.52	1.24	1.57	1.38	5.71	1.43
22GAAQ	2.14	1.88	2.06	2.31	8.39	2.10
5GAAQ	1.63	1.66	1.42	1.64	6.35	1.59
5GOAQ	1.83	1.84	1.77	1.89	7.33	1.83
22GAO AQ	1.71	1.57	1.83	1.59	6.70	1.68
22GOAQ	1.59	2.03	1.88	1.76	7.26	1.82
TOTAL	12.21	11.72	12.24	11.72	47.89	
\bar{X}	1.74	1.67	1.75	1.67	1.71	

Como puede notarse en los resultados anteriores, la parcela testigo experimentó un incremento de temperatura, tomando como base el termómetro situado fuera de la parcela experimental. Se deduce entonces que el testigo debido a que estaba situado dentro de la parcela experimental, se vió influenciado por el calor emanado de los quemadores vecinos al momento de hacer las lecturas termométricas. Para evaluar mejor ese efecto se realizó un análisis de varianza.

CUADRO 16: Análisis de varianza para el incremento de temperatura en grados centigrados, incluyendo al testigo.

F.V.	G.L.	SC	CM	FC	F _T	
					0.05	0.01
Total	27	1.8076965				
Bloques	3	0.0364965				
Tratam.	6	1.2079215	0.2013203	6.43**	2.66	4.01
Error Exp.	18	0.5632785	0.0312933			

C.V. = 10.34%

** = Diferencia altamente significativa.

Se realizó una prueba de Tukey para determinar significancias.

CUADRO 17: Prueba de Tukey para los tratamientos, incluyendo al testigo. Nivel de significancia del 1%.

Tratamientos	MEDIA Incremento de temperatura en grados centig.	Presentación*
22GAAQ	2.10	a
5GOAQ	1.83	a
22GOAQ	1.82	a
22GA0AQ	1.68	a
5GAAQ	1.59	a
5GA0AQ	1.54	b
TESTIGO	1.43	b

* = En los tratamientos con la misma letra no existe diferencia significativa entre sí.

Según el comparador Tukey, los únicos tratamientos diferentes son el testigo y el quemador de 5 galones con aserrín y olote con aceite quemado, que estadísticamente proporcionan el mismo nivel de incremento de temperatura en grados centigrados.

En cuanto al rendimiento del testigo, a continuación se muestran los resultados totales:

CUADRO 20: Temperatura promedio en grados centigrados obtenida al aplicar riego por aspersión para control de heladas en papa.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{X}
Con riego	-1.73	-0.91	-0.80	-0.71	-4.15	-1.04
Sin riego	0.73	0.57	0.67	0.74	2.71	0.68
TOTAL	-1.0	-0.34	-0.13	0.03	-1.44	

Como puede notarse, la temperatura registrada en los tratamientos fue más baja en donde se aplicó riego, incluso abajo del nivel de congelación, lo que permitió la formación de hielo sobre el follaje de la papa, mientras que donde no se aplicó riego no se formó hielo.

CUADRO 21: Incremento de temperatura obtenido con respecto al testigo al aplicar riego por aspersión para control de heladas.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{X}
Con riego	-2.41	-1.59	-1.48	-1.47	-6.92	-1.73
Sin riego	----	----	----	----	----	----

Con el fin de trabajar solo con datos positivos, se transformaron los resultados del cuadro No. 20 a grados Fahrenheit.

CUADRO 22: Promedio de temperatura en grados Fahrenheit obtenido al aplicar riego en papa.

TRATAM.	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	TOTAL	\bar{X}
Con riego	28.89	30.36	30.56	30.72	120.53	30.13
Sin riego	33.31	33.03	33.21	33.33	132.87	33.22
TOTAL	62.20	63.39	63.77	64.05	253.41	

Para detectar diferencias estadísticas de los resultados del cuadro anterior se realizó un análisis de varianza.

CUADRO 23: Análisis de varianza para la temperatura registrada en grados Fahrenheit al aplicar riego en el cultivo de papa.

F.V.	G.L.	SC	CM	FC	F _T	
					0.05	0.01
Total	7	21.128346				
Bloques	3	0.8696				
Tratamientos	1	18.932435	18.932435	42.824**	10.13	34.1
Error exp.	3	1.326311	0.442103			

C.V. = 2.09%

** = Diferencia altamente significativa.

Se puede notar que existe diferencia altamente significativa en cuanto a la aplicación de riego por aspersión para el control de heladas en papa. En este caso como únicamente son 2 tratamientos es fácilmente deducible al observar el cuadro No. 20 que en la aplicación de riego, se va a tener una menor temperatura en la parcela, que al no aplicar riego. En el cuadro 21 puede notarse que en el tratamiento con riego hubo un decremento de la temperatura en comparación con el testigo que mantuvo una temperatura promedio de 0.68° C. Lo anterior no concuerda con lo expuesto por Lasso (8) quien dice que "cuando la temperatura alcanza 0° C, se libera 80 calorías por gramo, durante la formación de hielo. Este calor liberado se distribuye así: una parte del mismo va a las hojas y botones de la planta, otra parte al aire y otra al suelo. El calor absorbido por la planta es suficiente para mantener su temperatura por encima de la del punto de congelamiento". Sin embargo en el experimento realizado se observó una total destrucción del follaje de la planta causándole la muerte; además no se registró ningún incremento de temperatura tal como lo reporta la literatura.

Se estima que el calor liberado por la congelación

del agua no es perceptible o sensible para los termómetros utilizados y por el contrario se cree que el decremento de temperatura es causado por la capa de hielo que se forma alrededor del termómetro al momento de la irrigación por aspersion. Se estima que la mayor parte del calor liberado va a las hojas de la planta, por lo que para medir ese calor, es necesario utilizar termistores localizados en esa parte de la planta.

Desde el punto de vista fisiológico, se reconoce que la sensibilidad a las bajas temperaturas reside en las membranas celulares (2). Las membranas por su bicapa lipídica, son una estructura semifluida, cuya mayor o menor fluidez está controlada por su composición lipídica y por la temperatura. Es decir que altas temperaturas y alta proporción de ácidos grasos no saturados en los lípidos de las membranas, favorecen una mayor fluidez de las membranas. Según la temperatura normal de vida de una planta, ésta adopta una determinada composición lipídica de las membranas para que tengan la apropiada fluidez. Un descenso moderadamente rápido de la temperatura, no permite una adaptación de la composición lipídica de las membranas a la nueva situación (2), con lo que estas se hacen más cristalinas, menos fluidas, provocando la salida de sus componentes que determinan un colapso en el funcionamiento de la célula y su muerte.

Es lógico pensar que en la planta de papa, la membrana celular sea aún más sensible a los rápidos descensos de temperatura que en otras plantas y que el calor liberado producto de la congelación del agua, no sea suficiente para un readecuamiento de la membrana a la nueva situación. Es posible también que aunque no haya habido congelación en los fluidos celulares, la membrana al hacerse menos fluida provoque un cese en las funciones principales de la célula (respiración, fosforilación etc.).

Para tener una mejor visión del comportamiento de la variación térmica como producto de la aplicación de riego por aspersion, en el siguiente cuadro se presentan los datos obtenidos de temperatura en grados centígrados, antes y durante una helada.

CUADRO 24: Lecturas termométricas registradas antes y durante una helada aplicando riego.

hora Tratam.	ANTES DE UNA HELADA			DURANTE UNA HELADA					\bar{X}
	10:00 PM	10:45 PM	11:45 PM	5:40 AM	6:00 AM	6:35 AM	7:00 AM	7:30 AM	
SR BI	2.0/1.5*	1.9/1.5	1.4	-1.0/-3.5	-2.5/-4	-0.7/-4	4/-4	8.5/-4	0.73
SR BII	1.8/1.5	1.7/1.5	1.5/1.4	-1.2/-3.0	-1.9/-3	-0.9/-3.5	3/-3.5	8.0/-3.5	0.57
SR BIII	2.2/1.4	2.0/1.4	1.5/1.4	-1.0/-3.5	-2/-4	-1.0/-4	3/-4	7.8/-4	0.67
SR BIV	2.0/1.5	1.9/1.5	1.3	-1.5/-4	-2/-4	-0.5/-4	4/-4	8.0/-4	0.74
CR BI	-1/-1.5	-2/-2.5	-2/-2.5	-2.5/-3.5	-2.4/-3	-2/-3	-0.2/-3	-0.5	-1.73
CR BII	1/0.5	-0.5	-1.4/-1.5	-1.8/-4	-2.2/-4	-2/-4	+0.5/-4	+0.5	-0.91
CR BIII	1.3	-0.5	-1.0/-1.5	-2.0/-3	-2.5/-3	-1/-3	0.1/-4	+0.5	-0.80
CR BIV	0.5	-0.5	-1.0/-1.5	-1.0/-3	-1.0/-3	-1.5/-3	0.5	-0.5	-0.71

* = El valor abajo de la diagonal es la temperatura más baja registrada. El valor arriba de la diagonal es la temperatura al momento de realizar la lectura.

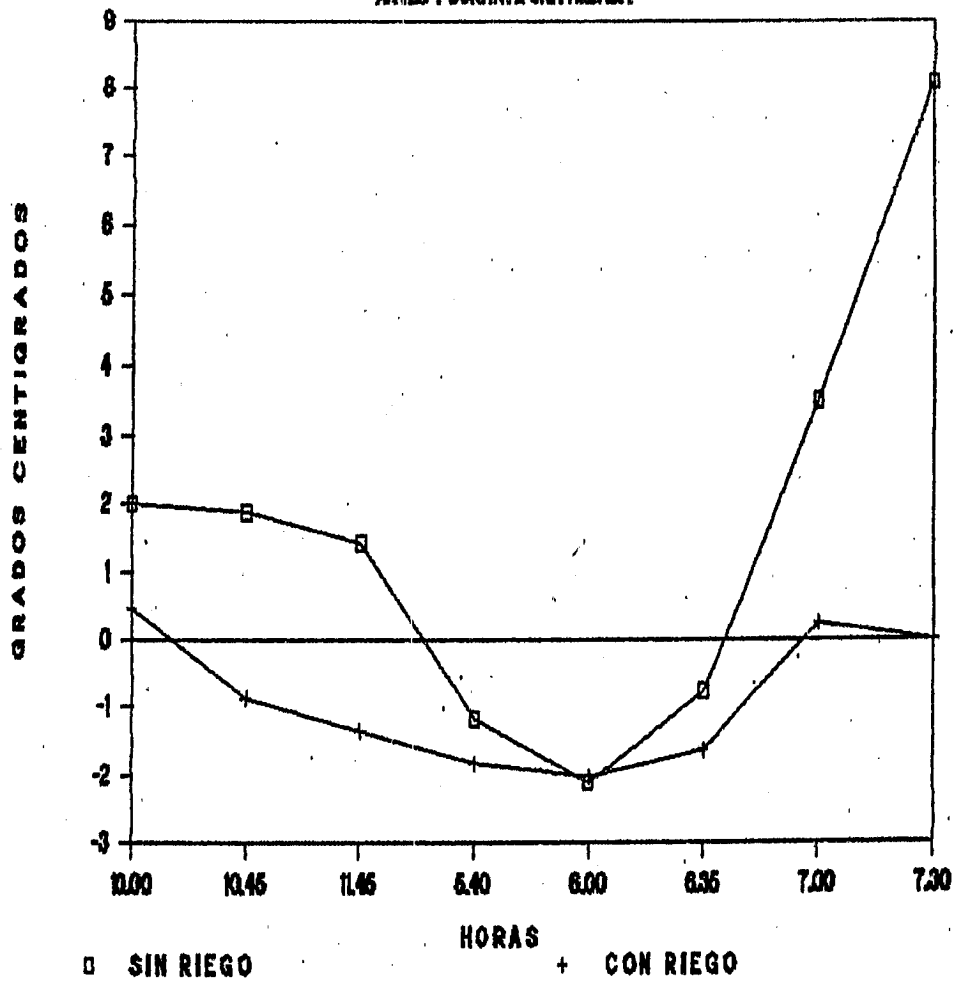
CUADRO 25: Incremento de temperatura al momento de aplicar riego por aspersión en papa.

hora Tratam.	10:00 PM	10:45 PM	11:45 PM	5:40 AM	6:00 AM	6:35 AM	7:00 AM	\bar{X}
CR BI	-3.0	-3.88	-3.43	-1.32	-0.3	-1.22	-3.7	-2.41
CR BII	-1.0	-2.38	-2.83	-0.62	-0.1	-1.22	-3.0	-1.59
CR BIII	-0.7	-2.38	-2.43	-0.82	-0.4	-0.22	-3.4	-1.48
CR BIV	-1.5	-2.38	-2.43	-0.18	+1.1	-0.72	-4.0	0.68

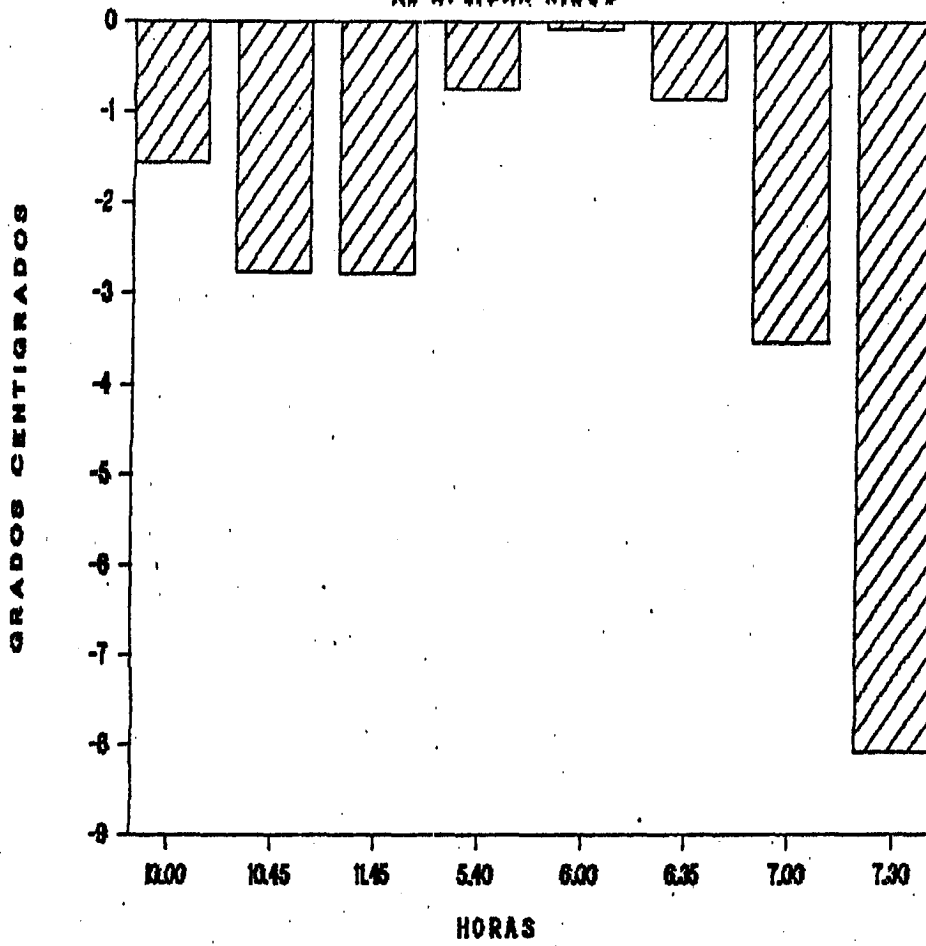
GRAFICA 4

TEMPERATURAS PROMEDIO AL APLICAR RIEGO

ANTES Y DURANTE UNA HELADA



GRAFICA 5
DECREMENTOS DE TEMPERATURA
AL APLICAR RIEGO



En relación a la gráfica No. 4, puede notarse que al aplicar riego antes de la helada, este parece ser contra producente, ya que hubo un descenso de la temperatura ma yor que el experimentado por la plantación donde no se a plicó riego. Se puede ver que hubo un enfriamiento del aire al momento de la irrigación, llegando la temperatura incluso a niveles de congelación del agua, aún cuando la temperatura del testigo permanecía sobre 0° C.

Durante la helada, la temperatura donde se aplicó riego siempre fue más baja que en el testigo, pero la di ferencia entre ambos tratamientos fue menor que antes de la helada. Después de las 6:00 AM al momento de la sali da del sol, el tratamiento sin riego, experimentó un pro nunciado ascenso y en un lapso de una hora, la temperatura había ascendido 5.6° C. En el tratamiento con riego, la temperatura también experimentó un ascenso per ésta siguió por debajo de 0° C. En esos momentos (cuando el sol alumbraba a plenitud) el hielo que cubría el follaje de las plantas comenzo a derretirse, sin embargo la temperatura apenas ascendía de 0° C.

En la gráfica No. 5, se puede notar que en vez de un incremento de temperatura hubo un decremento de la mis ma con relación al testigo, antes y durante la helada.

En relación a las especificaciones especiales que de ben considerarse para el sistema de riego a emplear para el control de heladas (1), se considera que la cobertura empleada en el experimento no fue la recomendada, ya que deben usarse el doble de aspersores de los utilizados pa ra un riego normal. En el ensayo se utilizó solo un as persor por unidad experimental; sin embargo el caudal del aspersor (1135 lts/hora) sí concuerda con el recomendado por la literatura, lo mismo que el diámetro de la boquilla o tobera ya que el utilizado fue de 4 mm. La velocidad de rotación del aspersor fue de 1 revolución en 45 segun dos lo cual también se considera adecuado (1). El diáme tro de cobertura era de 24 m por lo que había una óptima distribución del agua.

En base a todo lo anterior se considera que el riego por aspersión es contraproducente para el cultivo de la papa, ya que la capa de hielo sobre las hojas de esta planta provoca deshidratación de las mismas, causando necrosis del tejido y posteriormente la muerte de la planta. Es posible que la capa de hielo misma, provoque un desequilibrio fisiológico en los tejidos y que el calor proporcionado por la congelación del agua no sea suficiente para proteger a la planta de temperaturas extremas mínimas.

Tomando en cuenta la constitución morfológica y fisiológica de muchas plantas como frutales, hortalizas con hojas coráceas etc. se considera que el riego para control de heladas en estos cultivos, resultaría el método más efectivo.

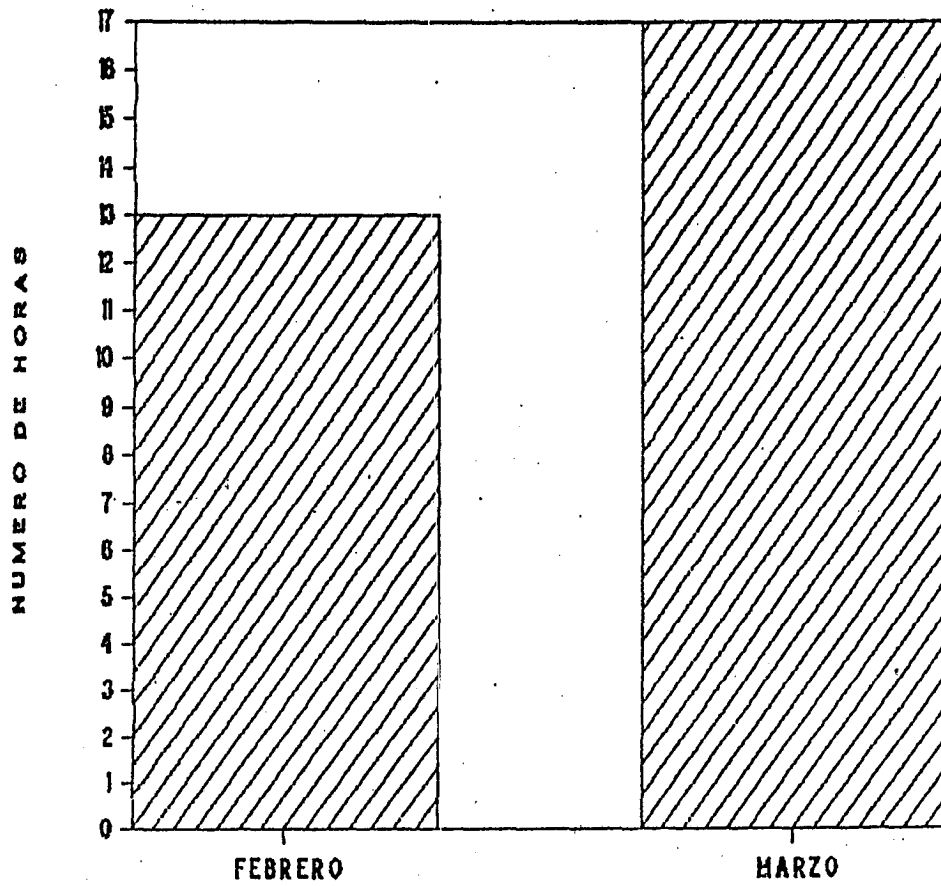
CUADRO 26 : Costos de producción* de papa por hectárea para la
localidad de Chirijuyú, sin control de heladas.

Concepto

1. COSTOS VARIABLES: (CV)	5026.45
(Q/Ha)	
A. INSUMOS.	3168.14
-Semilla	2212.39
-Fertilizante 20-20-0	438.05
-Fertilizante Urea	119.47
-Pesticidas	398.23
B. MANO DE OBRA: Q/Ha	1858.41
-Preparación de la tierra	353.98
-Siembra	265.49
-1a. limpia	88.50
-2a. limpia + 2da fertilización	132.74
-Aplicación de pesticidas	88.50
-Cosecha	530.97
-Transporte	398.23
2. COSTOS FIJOS (CF)	753.98
-Administración (10% de CV)	502.65
-Imprevistos (5% de CV)	251.33
-Arrendamiento	---
3. COSTOS TOTALES	5780.53
4. INGRESOS: (Q/Ha)	
-Ingreso total (IT)	10619.47
-Ingreso neto (IN)	4838.94
IN = IT - CT	
-Rentabilidad (%)	83.71%
$R = \frac{IN}{CT} \times 100$	

* = Al mes de marzo de 1989

GRAFICA 6
NUMERO DE HORAS HELADA



Puede notarse en la gráfica No. 6 que en la comunidad de Chirijuyú se presentaron un total de 30 horas de helada durante los meses de febrero y marzo (13 y 17 horas respectivamente). Se registraron temperaturas por debajo de 0° C durante 7 días, habiendo durado las heladas desde 1.5 hasta 7 horas cada día.

En base a lo anterior puede calcularse un costo por hora de helada y considerarse el combustible y tipo de quemador más adecuado para el control.

CUADRO 27: Costo por hora de helada mostrando el tratamiento más adecuado para el control.

HORAS DE HELADA:	TRATAMIENTO ADECUADO	COSTO/HORAS/Ha(Q)
1	5GOAQ	22.00
2	22GOAQ	103.74
3	22GAAQ	163.83
4	22GOAQ	207.48
5	22GOAQ	259.35
6	22GOAQ	311.22
7	22GOAQ	363.09
8	22GOAQ	414.96
9	22GOAQ	466.83

En el cuadro No. 27 puede notarse que a partir de 4 horas de helada en adelante, el tratamiento más económico es el de 22 galones con olote y aceite quemado, debido a que el quemador de 22 galones con aserrín y aceite quemado dura solo 3.25 horas. El tratamiento recomendado (22GOAQ) tiene un tiempo de combustión de 1 hora con 50 minutos pero puede seguirse alimentando con olote, mientras que el tratamiento 22GAAQ no puede seguirse alimentando ya que el aserrín provocaría un "ahogamiento del quemador.

CUADRO 28: Costo de control de heladas por hectárea utilizando Aserrín y aceite quemado. Mes de marzo de 1989.

CONCEPTO	TOTAL
-93 sacos de aserrin	46.50
-186 galones de aceite quemado	93.00
-Preparación y operación de quemadores	31.00
-4.5 galones de gas corriente	6.53
-9 cajas de cerillos	0.45
TOTAL	Q177.48

El costo de control de heladas/hora es de Q54.61/Ha. Considerando que se presenten 30 horas de heladas por ciclo del cultivo, el costo por temporada sería de Q1638.30/Ha.

CUADRO 29 Costo de control de heladas por hectárea utilizando Olote y aceite quemado. Mes de marzo de 1989.

CONCEPTO	TOTAL
-80 sacos de olote	24.00
-89 galones de aceite quemado	41.20
-Preparación y operación de quemadores	21.70
-4.5 galones de gas corriente	6.53
-9 cajas de cerillos	0.45
	Q93.88

El costo de control de heladas utilizando olote y aceite quemado es de Q51.87/hora/Ha. El costo durante el ciclo del cultivo sería de Q1556.10/Ha.

Al utilizar control de heladas con cualquiera de las dos opciones anteriores es necesario contar con 62 quemadores/Ha. El costo por quemador es de Q14.65 (Incluye precio de bote, elaboración y montaje del techito superior). Es decir que es necesaria una inversión inicial de Q908.30 para la compra y adecuación de los quemadores.

Como puede observarse en el cuadro 28, el costo utilizando aserrín es de Q177.48. Este costo incluiría únicamente la protección del cultivo para 3 horas con 15 minutos que es el tiempo promedio que dura el quemador en combustión. Si se desea una protección para más horas será necesario tener en disponibilidad más quemadores para poder encenderlos cuando termine el tiempo de combustión de los primeros. Sin embargo esto haría más difícil la operación del método y elevaría ostensiblemente los costos de control de heladas. Al utilizar aserrín y aceite quemado como método de control la rentabilidad variaría de la siguiente manera:

-Ingreso total (IT)	Q10619.47
-Costo total (CT)	7418.83 (5780.53 + 1638.30)
-Ingreso neto (IN)	3200.64 (10619.47 - 7418.83)
-Rentabilidad (%)	43.14%

Se puede notar al comparar los anteriores resultados con el cuadro 26 que la rentabilidad disminuye en 40.57%. El costo de control de heladas de Q1638.30 equivaldría a un 15.43% del ingreso total que es de Q10619.47 considerando el precio/qq a Q40.00 que es el promedio alcanzado para los meses de marzo y abril (9). Es importante anotar que el rendimiento de papa para la localidad es de 265 qq/Ha.

Al observar los costos del cuadro 29 puede notarse que utilizando olote y aceite quemado el costo asciende a Q93.88, sin embargo debido a que el tiempo de combustión de este material es de solamente 1 hora con 50 minutos, el costo de control por hora es de Q51.87 lo que lo hace similar al método de aserrín y aceite quemado. Sin embargo éste método presenta la ventaja que el quemador puede seguirse alimentando continuamente de olote y que el gasto de aceite quemado es menor que en el método anterior. Utilizando aserrín y aceite quemado los quemadores no pueden seguirse alimentando ya que esto provocaría el apagado de los calefactores por "ahogamiento" de los mismos"

La rentabilidad del cultivo al utilizar como método de control de heladas olote y aceite quemado varía de la siguiente manera:

-Ingreso total (IT)	10619.47
-Costo total (CT)	7336.63 (5780.53 + 1556.10)
-Ingreso neto (IN)	3282.84 (10619.47 - 7336.63)
-Rentabilidad (%)	44.75%

Puede notarse en base a los resultados anteriores que la rentabilidad al usar los dos métodos de control, son casi similares. El costo al utilizar olote y aceite quemado equivale al 14.65% del valor de la cosecha.

VIII CONCLUSIONES

Bajo las condiciones meteorológicas y climáticas de la aldea Chirijuyú Tecpán Guatemala, durante el período de diciembre de 1988 a marzo de 1989, se concluye:

- 8.1 El método de quemadores para control de heladas en papa, resultó efectivo al utilizar recipientes de 22 galones de capacidad, juntamente con los combustibles: olote con aceite quemado y aserrín con aceite quemado.
- 8.2 El riego por aspersión no es efectivo para controlar heladas en papa, ya que provoca marcados descensos de temperatura y destrucción del follaje de la planta.
- 8.3 El costo de control de heladas al utilizar aserrín y olote cada uno con aceite quemado, es de Q1638.30/Ha y Q1556.10/Ha respectivamente, equivalente al 15% del valor de la cosecha.

IX. RECOMENDACIONES

- 9.1 Utilizar los quemadores de 22 galones para el control de heladas en el cultivo de la papa, recomendándose como combustibles en su orden, olote con aceite quemado y aserrín con aceite quemado.
- 9.2 Al utilizar el olote como combustible, se recomienda que se alimente continuamente al quemador, para lograr un mayor tiempo de combustión.
- 9.3 Debido a que las heladas en la región pueden durar más de 7 horas, se recomienda un encendido sincronizado de los quemadores o un control integrado, utilizando antorchas con diesel a la vez, como método de soporte, esto para lograr un mejor cubrimiento de la duración de la helada.
- 9.4 Utilizar prácticas agronómicas que reduzcan las posibilidades de una helada, tales como un buen manejo del suelo, mantener libre de malezas al cultivo, proporcionar riegos profundos, correcta ubicación de los cultivos etc.
- 9.5 Hacer un estudio sobre la densidad y distribución topográfica de los quemadores por unidad de área.
- 9.6 Utilizar la información proporcionada por el pronóstico de heladas, y así de acuerdo a la intensidad y duración de éste fenómeno, se pondrá en práctica el método que resulte más económico de los recomendados anteriormente.
- 9.7 Realizar un análisis más profundo sobre el riego por aspersión en papa y en otros cultivos, tomando en cuenta densidad de aspersores por unidad de área, cambio de boquillas, etc.

X. BIBLIOGRAFIA

1. ARTEAGA RAMIREZ, R. 1983. Meteorología agrícola. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 442 p.
2. BARCELO COLL, J. et al. 1980. Fisiología vegetal. Madrid, Pirámide. p. 734-736.
3. BIBLIOTECA PRACTICA agrícola y ganadera; los fundamentos de la agricultura. 1983. España, Océano. v.1, 204 p.
4. CRUZ, J.R. DE LA. 1976. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, basado en el sistema Holdrige. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
5. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Tarjetas de control de parámetros meteorológicos.

Sin publicar.
6. LASSO ESPINOSA, L.D. 1982. Anotaciones sobre el fenómeno de las heladas. Colombia, Instituto Colombiano de Hidrología y Adecuación de Tierras. 46 p.
7. MALDONADO VERA, J.G. 1988. Diagnóstico general de la aldea Chirijuyú, Tecpán Guatemala. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 23 p.
8. SANCHEZ GARCIA, J.L. 1987. Características del fenómeno de las heladas y discusión acerca del control de los daños que ocasiona en el sector agropecuario. Guatemala, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 15 p.
9. _____ . 1988. Pronóstico y control de heladas en Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 15 p.
10. SIMMONS, Ch.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.

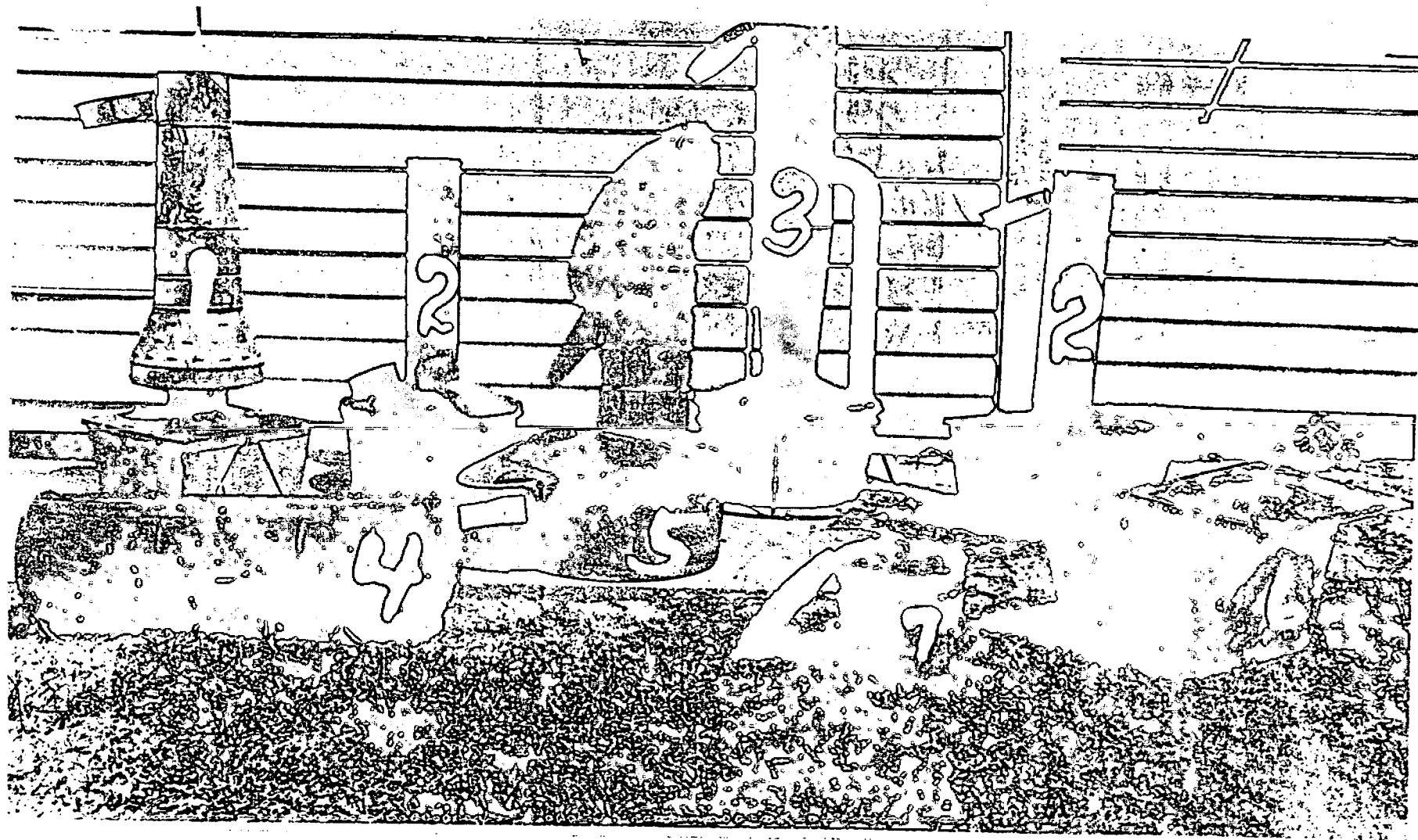
11. TURCIOS, M.E. 1988. Experimentos realizados para el control de heladas con quemadores. Guatemala, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 32 p.

12. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1963. Protection against frost damage. World Meteorological Organization. Technical Note no. 51 62 p.

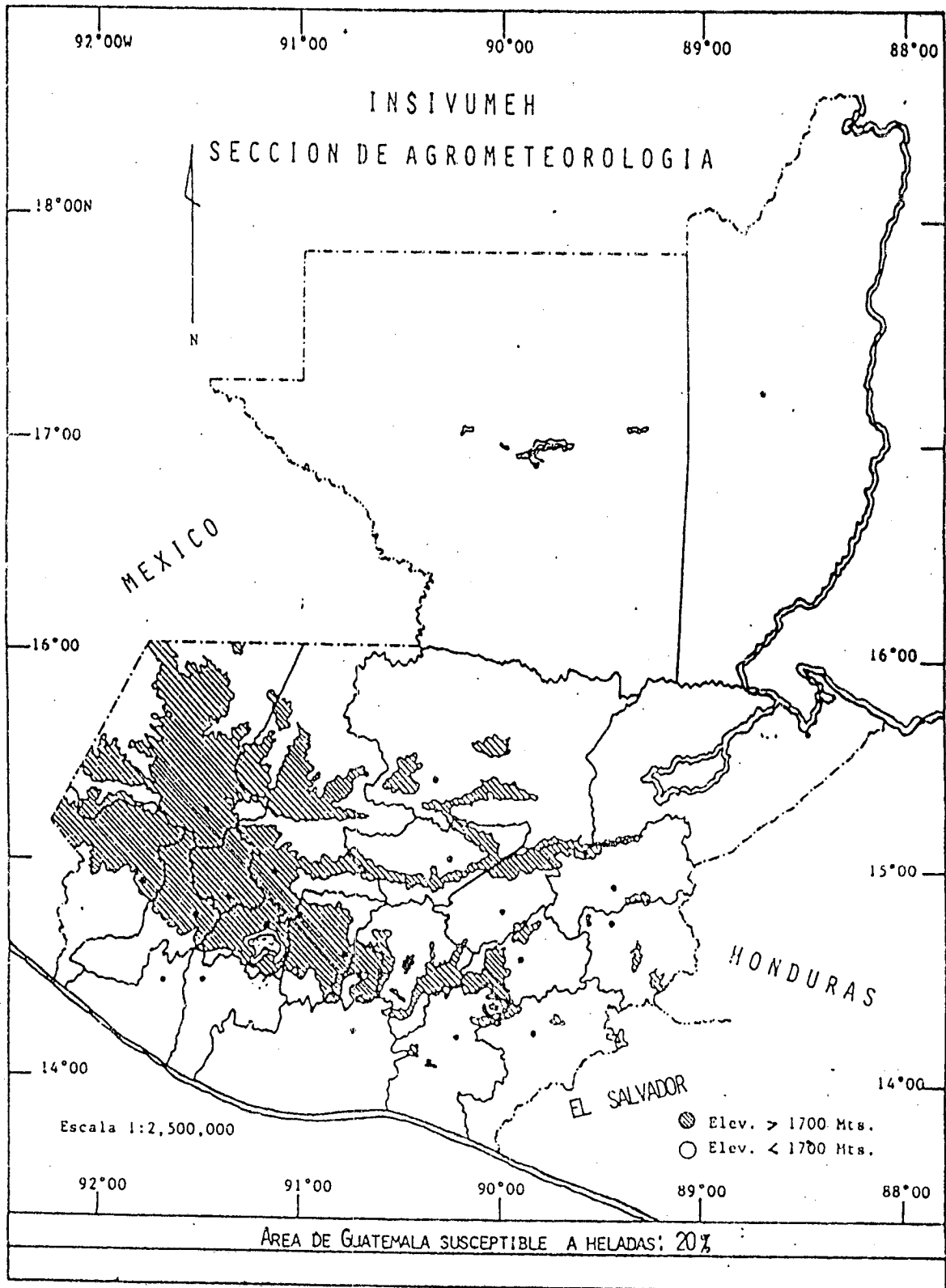
Vo. Bo.
Patruillo



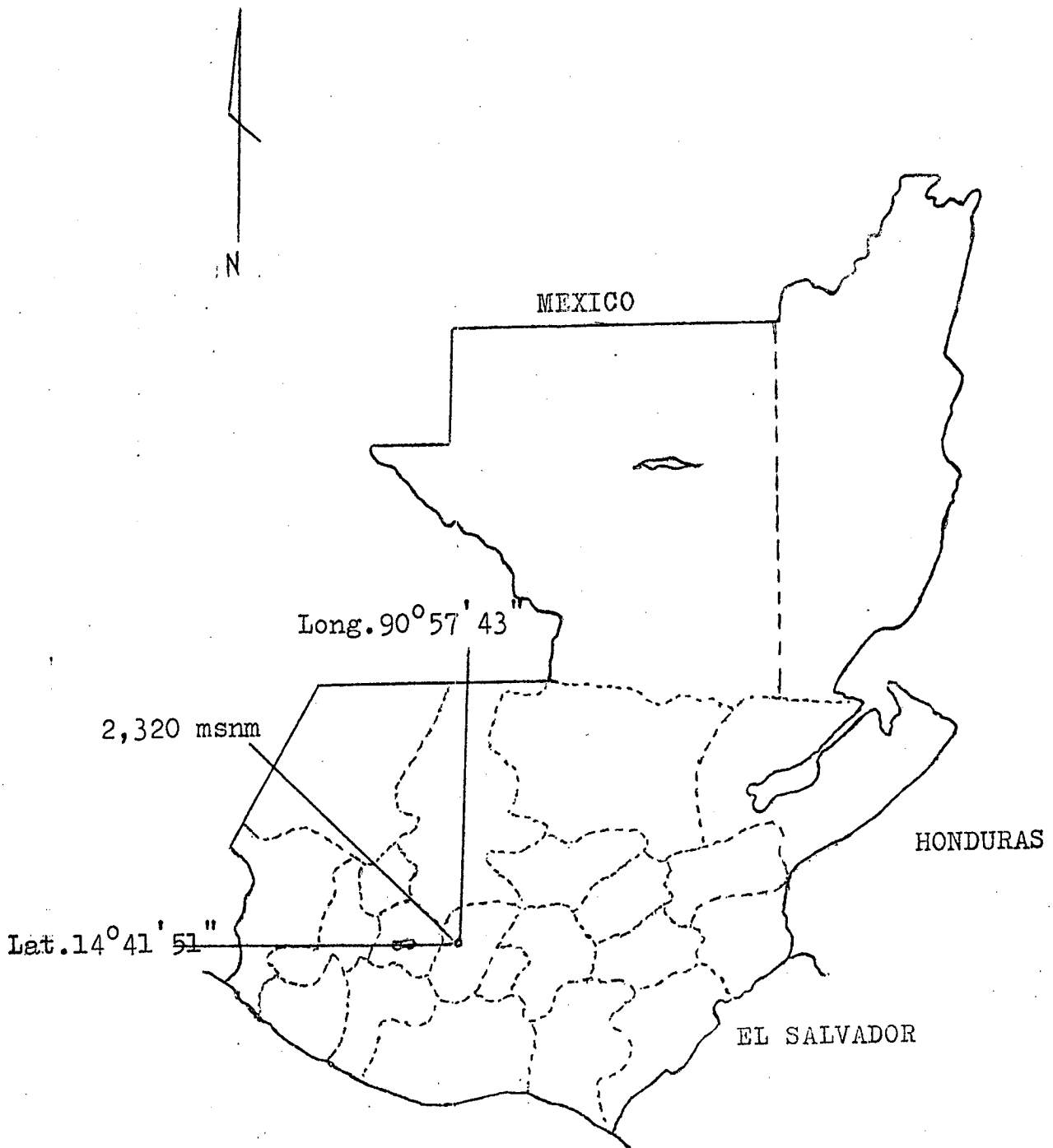
XI. APENDICE



FOTOGRAFIA MOSTRANDO DIVERSOS TIPOS DE QUEMADORES
UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE HELADAS



GRAFICA 7: MAPA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA
CON AREAS SUSCEPTIBLES A HELADAS.



GRAFICA 8 : MAPA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA
LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

ALGUNOS ASPECTOS IMPORTANTES SOBRE LOS COMBUSTIBLES Y QUEMADORES

ASERRIN: Este combustible es de fácil adquisición en la región central de Chimaltenango, ya que existen varios aserraderos en esa localidad. El costo por costal de 100 lbs. es de Q0.50.

OLOTE: El agricultor utiliza este material para el fuego de sus estufas o "pollos", sin embargo algunos lo almacenan y lo utilizan al otro año como abono para sus terrenos. Debido a que la cosecha la realizan en el mes de enero y a que el desgranado lo efectúan hasta el mes de mayo, en el período comprendido de riesgos de heladas no existe cantidad disponible para usarlo en los quemadores.

ACEITE QUEMADO: El aceite quemado es muy limitante en la región, ya que no existen talleres grandes donde se pueda obtener. En la ciudad capital se puede conseguir solamente en grandes talleres y algunas gasolineras. El precio por tonel de 54 galones es de Q25.00 sin envase.

QUEMADOR DE 22 GALONES: Estos botes pueden conseguirse con facilidad en la terminal de buses de la ciudad capital a un precio de Q12.00 cada uno.

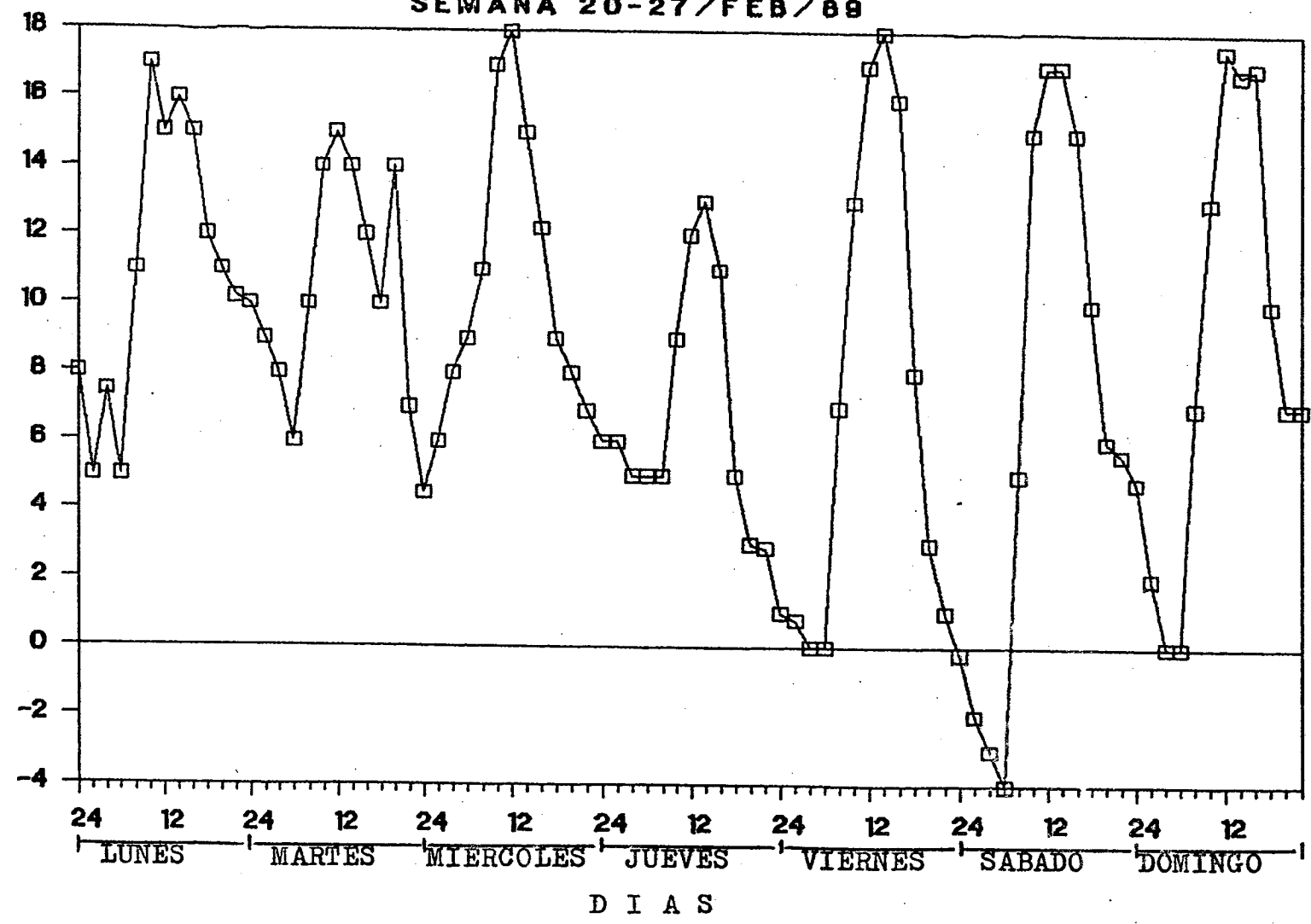
QUEMADOR DE 5 GALONES: Estos también se consiguen con facilidad en la terminal de buses a un precio de Q5.00 cada uno.

GRAFICA 9

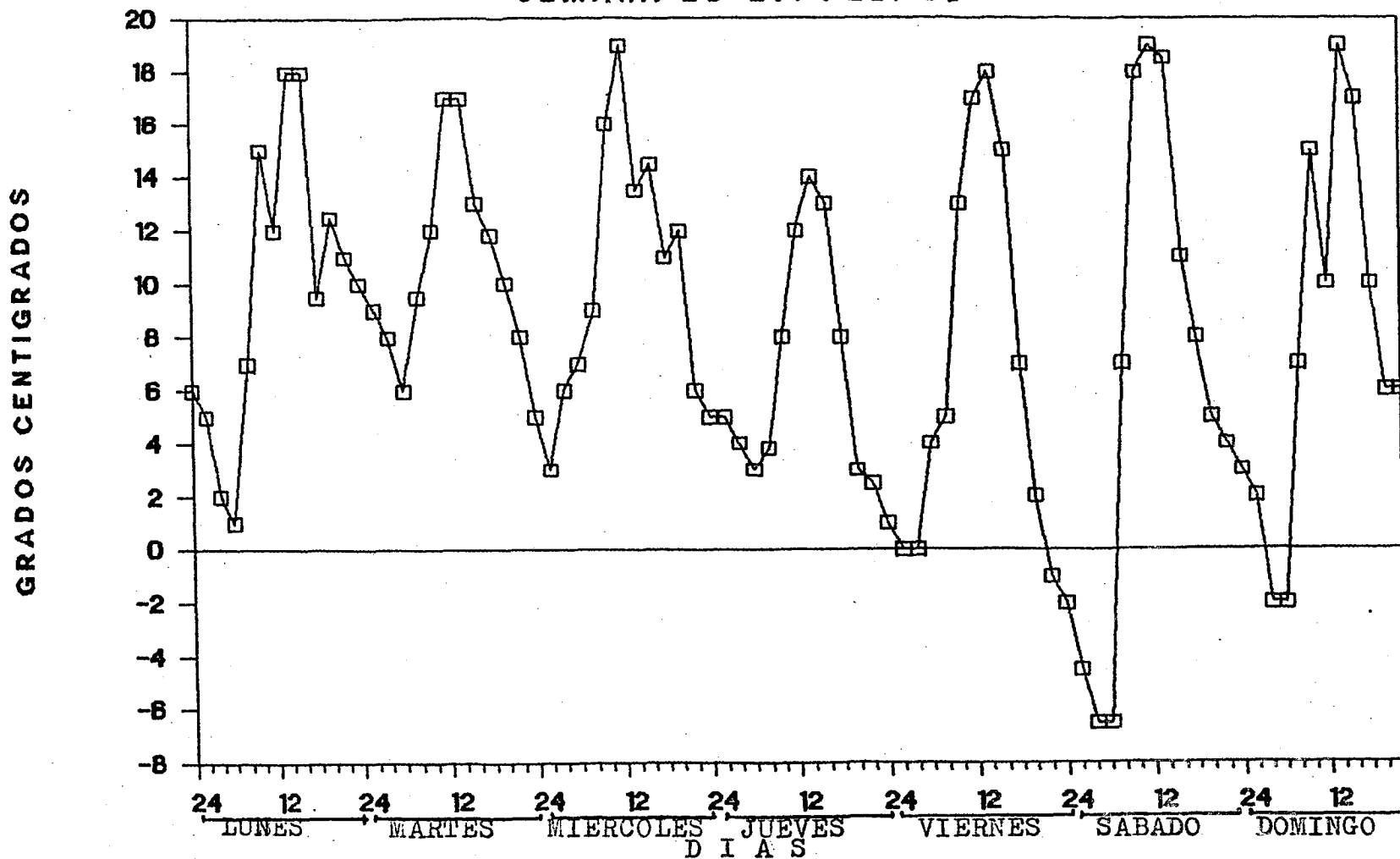
TEMPERATURA ABRIGO

SEMANA 20-27/FEB/89

GRADOS CENTIGRADOS



GRAFICA 11.
TEMP. MINIABRIGO*
 SEMANA 20-27/FEB/89



* Situado a 0.05 m. del suelo

Interpretación de las gráficas que muestran la temperatura de abrigo y miniabrigo, además de la humedad relativa:

En la semana del 20 al 27 de febrero de 1989 se dieron condiciones ideales para la ocurrencia de heladas que de hecho se presentaron con los consiguientes daños a los cultivos de la región. En la Grafica 9 se muestra la temperatura registrada en abrigo y puede notarse que entre los días lunes y martes hubo muy poca variación térmica debido al ingreso de un frente frío al país. El martes la temperatura máxima descendió al igual que la temperatura mínima. En la Grafica 10 puede verse que la humedad relativa estuvo bastante alta debido a que se presentaron lloviznas y a la alta nubosidad prevaleciente en esos dos días. El día miércoles la humedad relativa fue descendiendo y la temperatura mínima también, sin embargo a mediodía la temperatura fue superior a los anteriores días. Mientras tanto para el día jueves continuaban las lloviznas intermitentes y una alta nubosidad la que no permitía la entrada de energía calórica en buena escala. El día viernes se despejó subitamente, elevándose la temperatura aceleradamente mientras que la humedad relativa descendió considerablemente al mediodía. El cielo despejado permitió una fuerte pérdida de energía calórica durante la noche y la humedad relativa alcanzaba valores cercanos a 100%. A eso de las 24:00 horas del viernes la temperatura ya se encontraba en 0° C prevaleciendo esas condiciones críticas hasta a eso de las 7:00 horas del día sábado. La temperatura descendió hasta los -4° C causando severos daños a los cultivos. En la temperatura registrada en el miniabrigo puede observarse en la Grafica 11 que la temperatura más baja fue de -7° C con lo que puede notarse claramente que la inversión térmica proporciona diferencias de temperaturas muy marcadas aún a poca distancia en la altura con respecto al suelo. En el día sábado la temperatura subió aceleradamente debido a lo despejado del día, mientras que la humedad relativa registró su valor más bajo.

CUADRO 30: Estado de desarrollo general de las plantas de papa en los 2 ensayos.

TRATAM	22GAAQ		22GAOAQ		22GOAQ		5GAAQ		5GAOAQ		5GOAQ		TESTIGO		CON RIEGO		SIN RIEGO		
	Fecha	Hojas	Alt.	hojas	Alt.	Hojas	Alt.	Hojas	Alt.	Hojas	Alt.	Hojas	Alt.	Hoja	Alt.	Hoja	Alt.	Hojas	Alt.
BLOQUE IV	25-1	5	10.3	4	8.9	5	7.8	3	6.5	6	7.3	4	7.9	5	10	2	7.0	2	6.8
	1-2	7	12.0	7	11.3	6	9.4	5	9.7	7	8.9	7	9.3	6	12	4	10.3	3	8.5
	8-2	12	14.0	13	14.2	11	12.8	12	11.7	11	13.6	12	14.2	12	14.8	10	13.1	8	12.2
	15-2	15	16.5	16	16.0	16	15.3	15	15.8	13	15.7	15	16.0	15	16.4	17	18.6	12	17.0
	22-2	17	17.3	16	17.9	18	18.0	15	16.3	15	18.3	16	17.3	17	17.6	19	20.2	17	18.9
BLOQUE III	25-1	4	8.0	3	5.0	4	7.0	4	9.0	5	9.1	3	7.0	4	5.0	4	8.0	3	7.3
	1-2	6	11.0	7	7.3	7	9.4	5	10.5	7	9.9	6	9.8	6	7.4	7	9.6	10	9.0
	8-2	13	15.8	12	11.2	12	14.0	12	16.0	14	13.7	11	13.9	11	11.3	12	14.8	12	13.2
	15-2	17	16.6	15	14.0	17	14.9	14	17.6	17	14.9	15	18.0	14	14.6	18	19.7	16	18.9
	22-2	18	21	17	17.8	20	17.1	16	19.0	18	16.6	16	20.0	16	18.6	18	23.8	19	20.9
BLOQUE II	25-1	3	7.3	3	7.0	5	8.0	3	7.1	3	6.3	4	7.2	3	8.0	4	8.9	4	9.4
	1-2	5	9.0	5	8.9	6	10.3	5	8.6	5	8.7	5	8.3	4	10.2	8	10.8	7	12.1
	8-2	9	12.4	10	12.2	9	12.9	8	12.2	7	12.8	8	11.9	8	12.2	11	13.3	11	13.0
	15-2	13	16.0	12	16.2	14	17.4	11	15.4	9	14.3	10	12.9	10	17.0	16	17.8	14	16.3
	22-2	15	16.4	14	17.3	17	21.8	13	20.2	12	18	13	15.0	13	20.0	19	24.0	17	20.2
BLOQUE I	25-1	5	7.8	5	7.4	7	8.0	7	6.9	6	8.3	5	7.9	5	7.0	2	6.3	3	5.8
	1-2	8	9.4	7	9.3	8	9.0	9	7.9	7	10.4	8	9.8	8	8.6	5	9.4	5	10.1
	8-2	12	15.7	11	15.0	10	13.1	13	12.3	11	14.0	11	15.0	13	13.9	11	15.0	10	14.3
	15-2	19	18.3	17	18.0	14	15.7	16	15.6	16	17.8	12	18.0	19	14.2	17	19.8	15	18.6
	22-2	20	23	18	21.0	17	17.8	21	16.8	19	22.1	16	20.2	20	19.3	20	24.9	19	23.0

O. G. ...
 ...
 ...

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	FECHA
-Preparación de quemadores	Mes de noviembre y diciembre
-Acopio de insumos	Mes de diciembre
-Siembra en los 2 ensayos	26 de diciembre
-Riegos en los 2 ensayos	Cada 8 días después de la siembra
-1a. fertilización con 20-20-0	26 de diciembre
-2a. fertilización con Urea	21 de febrero
-1er. control de enfermedades	25 de enero
-2do. control de enfermedades	8 de febrero
- 1er. experimento de heladas	2 de febrero
- 2do. control de heladas	14 de febrero.
-3er. experimento de heladas	25 de febrero.
-4to. experimento de heladas	3 de marzo.
-Evaluación del rendimiento	9 de marzo.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
 DISEÑO DE LA MATERIA Y SAN CARLOS DE GUAYAMA



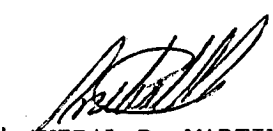
FACULTAD DE AGRONOMIA

GUATEMALA, C. A.

16-10-1989

"IMPRIMASE"




ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.
D E C A N O