

# INVERNADEROS ANDINOS PARA CULTIVOS HORTICOLAS EN EL CUSCO-PERU

PEDRO ZANABRIA PACHECO

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

APARTADO 673

Telfax: 0051-84-226951

JOSE DORIA RICO

Grupo de Energia Solar

Facultad de Fisica

Universidad Complutense de Madrid

## RESUMEN

Las características climáticas de la zona andina del Perú (3000-4200 m) limitan el cultivo de hortalizas y otros productos, en condiciones ambientales normales. La irradiación, las humedades relativas bajas y los vientos fríos secos, provocan un enfriamiento nocturno del suelo y el aire. Estos fenómenos han sido estudiados y como resultado de ello, se ha desarrollado un prototipo de "Invernadero Andino" que se adecua a dichas características climáticas.

Se ha estudiado y seleccionado diferentes tipos de cubiertas de polietileno térmico existentes en el mercado nacional, así como materiales a emplearse como pantallas antirradiativas; los invernaderos ensayados incluyen paredes de adobe, con el objeto de disminuir las pérdidas térmicas, y evitar que las plantas no alcancen la temperatura mínima letal, que le produce la muerte.

El "Invernadero Andino" desarrollado, es técnicamente eficiente, emplea materiales rústicos de la zona: palos de eucalipto, adobes, cubierta de polietileno térmico estabilizado e internamente con una pantalla de tela para el sol diurno y como pantalla antirradiativa. Este prototipo viene difundándose en el ámbito del Departamento del Cusco, al Sur Este del Perú.

Este trabajo fué realizado en el Cusco-Perú, así como en Morata de Tajuña Madrid-España, extrapolándose los resultados a las condiciones climáticas de las zonas andinas.

## 1. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE LAS ZONAS ALTO ANDINAS DEL PERU

El estudio esta orientado a las zonas alto andinas del Departamento del Cusco, al Sur Este del Perú, comprendidas entre los 3000 y 4200 m, donde predominan al menos 3 pisos ecologicos: **QUECHUA** (2300 - 3500 m), región templada, piso de valle interandino, con cultivos posibles: maiz, trigo, frutales y algunas hortalizas de tallo corto. **SUNI** (3500 - 4000 m), región fría, piso intermedio con cultivos posibles: papa, habas, oca, olluco, quinua, cañihua, tarwi, etc. **PUNA** (4000 - 4800 m), región helada, piso de altura, cultivos posibles: papa amarga, cebada, pastizales.

Los valores medios anuales de temperatura oscilan entre los 7°C y 11°C , humedad relativa del 60 %, precipitación anual de 680 mm, con una radiación solar de 4,8 KWh/m<sup>2</sup>-día. El verano se desarrolla en la época de lluvias (diciembre a marzo , 70% de la precipitación anual). Los meses más fríos : mayo hasta agosto, donde predominan los vientos fríos y secos, ocurriendo frecuentemente las heladas.

Por otro lado se sabe, que la distribución geográfica de las plantas, está influenciada por la temperatura ambiente. Esta determina los límites entre los cuales una determinada especie puede sobrevivir, crecer y alcanzar la máxima producción. De esta forma , existen para cada especie o variedad una temperatura mínima y otra máxima, por debajo o encima no puede sobrevivir.

## 2. ASPECTOS TECNICOS DEL ESTUDIO

Los principales factores limitantes que impiden el desarrollo de cultivos hortícolas en las zonas andinas, bajo condiciones normales, son:

- a. La irradiación nocturna puede hacer que la parte aérea de la planta alcance durante la noche, temperaturas hasta 10°C más baja que la correspondiente seca ambiental.
- b. La baja humedad relativa ambiental, hace que la temperatura de las hojas se aproxime a la saturación adiabática, cuya diferencia con la seca puede ser de hasta 3 a 4 °C.
- c. El viento, al favorecer los fenómenos de evaporación del suelo de cultivo (normalmente húmedo), provoca un enfriamiento del mismo hasta una profundidad de 10 cm, o más, haciendo que a éste nivel , la temperatura del sustrato se aproxime a la ambiente.

De todos es sabido que los invernaderos son sistemas destinados a crear un microclima que hace posible el cultivo de una determinada especie hortícola en regiones donde las condiciones ambientales no lo permitirían, ó adelantar la cosecha del mismo. Básicamente, un invernadero esta constituido por una estructura rígida , más o menos compleja, la que se cubre con una cubierta transparente, generalmente plástico, delimitando un recinto cerrado y hermético, en cuyo interior se cultiva el producto deseado.

Los invernaderos con cobertura transparente especial :térmica, estabilizada(anti UV), dotados de pantalla antirradiativa, con un murete de adobe perimetral disminuyen el efecto de los tres factores antes mencionados:

- a'. La cubierta transparente de plástico permite mantener la humedad relativa próxima a la saturación , con la cual las temperaturas seca y húmeda se mantienen próximas. La condensación de vapor de agua en la cubierta contribuye a reducir la pérdidas radiativas nocturnas, dado que el agua

es bastante opaca a la radiación térmica infrarroja (8 - 14  $\mu\text{m}$ ).

- b'. Al estar el aire confinado en el recinto del invernadero, y prácticamente saturado, disminuye la evaporación del suelo, con lo cuál, y debido a su inercia térmica, hace que la energía ganada durante el día se conserva. Consecuencia de ello es que las fluctuaciones de temperatura que experimenta durante el ciclo día - noche son mucho menores que las correspondientes al suelo en el exterior.
- c'. La colocación de una pantalla antirradiativa por la noche (doble plástico, arpillera, tela, etc.); en el interior y por encima del cultivo, reduce la pérdidas por radiación durante la noche. Así mismo la construcción de un murete de adobe de aproximadamente 1 m de altura, contribuye a disminuir las pérdidas por convección conducción a través de las paredes laterales del invernadero. así mismo evita que corrientes de aire frío a ras de suelo disipen la energía acumulada por el sustrato durante el día.

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

#### 3.1. CUBIERTAS

El restringido mercado de plásticos en el Perú, es una limitante para una adecuada selección del material de cubierta. Se viene empleando "polietileno térmico estabilizado", de 200  $\mu\text{m}$  de espesor y 3,50 m de ancho, cuyo espectro de ABSORCIÓN determinado con un Espectrómetro infrarrojo, se muestra en la LAMINA (1), donde se indica el porcentaje de transmisión de la Radiación infrarroja aplicada en función del número de onda. El patrón de comparación corresponde al espectro del "Polystirene". La vida útil del plástico oscila entre 1 a 2 años .

Los valores promedios de :  $\tau = 68\%$ ,  $\rho = 10\%$  y  $\alpha = 22\%$ . Una curva típica para temperaturas del aire, suelo interior y exterior de un invernadero (200  $\text{m}^2$  de área útil, a dos aguas, orientación  $30^\circ$  al NE, de estructura de palos de eucalipto rollizo, sin murete de adobe ni pantalla antirradiativa, ubicado a 3300 m, en Yaurisque.-Cusco.-Perú), registrada para el mes de junio, se muestra en la LAMINA (2). La Energía solar promedio recibida es de 4,3  $\text{KWh}/\text{m}^2$ -día.

#### 3.2. PANTALLAS ANTIRRADIATIVAS

En Morata de Tajuña Madrid-España, entre los meses de enero - abril de 1991, se realizaron estudios similares en 3 tipos de invernaderos, extrapolándose los resultados a las condiciones climáticas de las zonas andinas. Se ha evaluado el comportamiento de diferentes cubiertas, frente a la radiación térmica infrarroja, para el efecto se construyeron cajas térmicas radiantes, constituidas por una lámina de cobre ennegrecida, de  $35 \times 35 \text{ cm}^2$ , colocada sobre una base de madera en el fondo de una caja aislante de corcho blanco, y cerrada en la parte superior por la cubierta (pantalla antirradiativa) en estudio. El sensor

de temperatura es una termoresistencia Pt-100, colocada en el interior de un cilindro de cobre, sobre el que se apoya directamente la lámina de cobre.

La finalidad de utilizar este dispositivo es la de observar durante el periodo de radiación nocturna, cómo se puede cortar la radiación que emite un cuerpo negro (suelo invernadero, plantas, etc), con el uso de pantallas térmicas: dobles cubiertas de plástico, o simplemente una cubierta de tela sobre el cultivo, y de esta forma mejorar el comportamiento térmico del invernadero. Del mismo modo, se han construido sensores de superficie cónica radiante, constituidos por una superficie cónica de cobre pintada de negro, cerrada en su base, en su interior se ha colocado una termoresistencia Pt-100. Este dispositivo se coloca alejado del suelo y apuntando hacia el cielo y permite evaluar los efectos radiativos muy frecuentes e intensos en las zonas de gran altitud con noches despejadas y vientos en calma. Se puede aceptar que la temperatura que mide la termoresistencia en el interior del cono se aproxima a la temperatura que biológicamente afectaría a la parte aérea del cultivo, la cual es menor que la correspondiente al bulbo seco en noches despejadas.

La LAMINA (3) muestra la evolución de estas temperaturas para 2 tipos de materiales: polietileno corriente sin ningún tratamiento y tela ordinaria. Se observa una diferencia de temperaturas a lo largo de toda la noche entre 2° y 3°, manteniéndose siempre más alta la de la placa protegida con tela. La temperatura del cono exterior sigue la misma tendencia que la de la placa radiante con tela, mientras que la seca exterior está por encima de ellas.

La LAMINA (4), muestra la evolución de temperaturas de un "invernadero andino" instalado en Cusco Perú, con una pantalla de tela antirradiativa y murete de adobe, a una sola agua, mirando al N, con plantas en su interior (mediciones correspondientes al mes de diciembre). La temperatura del suelo (Ts), es medida a 10 cm de profundidad en el interior como el exterior. Se puede observar la gran diferencia entre la temperatura del suelo y la temperatura seca ambiente, su evolución es más estable, constituyéndose en la principal fuente de intercambio energético suelo-planta-aire, manteniendo la temperatura ambiente del interior, más de 4 grados con respecto de la seca exterior, en la horas más críticas de temperatura mínima. Esto amortigua los cambios bruscos de temperatura, haciendo posible el cultivo de hortalizas en el interior del invernadero. En todos los casos la humedad relativa en el interior se encuentra en promedio en 80%.

#### 4. EL "PROTOTIPO INVERNADERO ANDINO"

Luego de una serie de pruebas, se ha desarrollado un Prototipo de "Invernadero Andino", que se adecúa a las características climáticas de las zonas alto andinas, cuya estructura es: soportes de eucalipto en rollizo, techo de palo con alambre

galvanizado. La cobertura es de polietileno térmico estabilizado de 200µm de espesor y 3.50 m de ancho. Considera un murete perimetral de 1 m de altura, con una cubierta interior movable, para sombreado diurno y reducción de enfriamiento nocturno. La ventilación es por ventanas laterales y frontis y una puerta de acceso.

La forma, orientación y dimensiones estas adecuadas a la disponibilidad de terrenos y recursos del usuario. En las cartillas (boletines de divulgación) se señala las alturas de cumbre y banda en función de área cubierta.

Los costos de construcción, producción, operación y mantenimiento oscilan entre 4 y \$5 /m<sup>2</sup> de área útil. Considera una vida útil de 6 años para la estructura y 2 para el plástico.

Estos sistemas se vienen difundiendo con mucho éxito en la región del Cusco, a nivel de comunidades campesinas, Colegios Agropecuarios, Institutos Superiores Tecnológicos y otras instituciones de promoción social.

Paralelamente a estos estudios, se han realizado una serie de ensayos de diferentes cultivos: tomates, pimientos, acelgas, apios, lechugas, espinacas, etc. los que han sido sistematizados en boletines de difusión, que junto a las actividades de capacitación, permiten obtener resultados muy satisfactorios en cuanto a productividad de hortalizas en invernaderos.

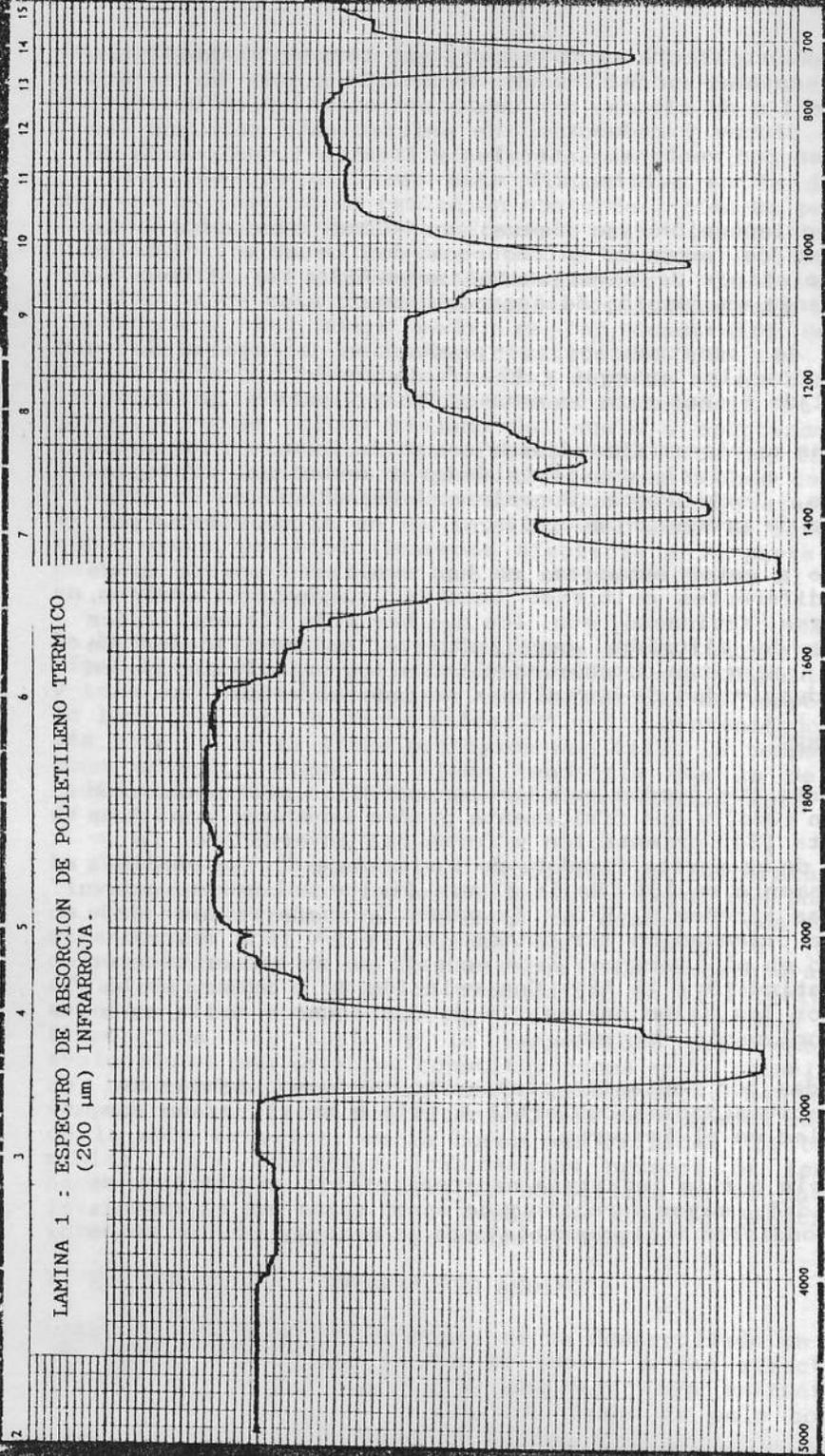
## 5. CONCLUSIONES

- a. Los factores que pueden reducir las pérdidas por conducción (Q<sub>cc</sub>) y que físicamente pueden manejarse son: Área de cubierta (S), orientación y forma del invernadero. La inclusión de un murete de adobe de 1 m, reduce dichas pérdidas aproximadamente en 18% (Es la altura límite del murete sobre todo en las paredes N, E-O, la pared S, puede rebasar este límite. La orientación más óptima es la E-O (eje mayor), sobre todo en el invierno. Este aspecto no es tan crítico en nuestra latitud (10 - 15 °S). Con relación a la forma, se ha elegido por los bajos costos, la de dos aguas o media agua (20° de inclinación mínima).
- b. Las pérdidas por radiación disminuyen empleando pantallas antirradiativas (dobles cubiertas o tela simple), estas son aconsejables en el invierno.
- c. Es necesario que la industria nacional oferte un plástico de mejor calidad, mayor duración y de menor costo que el actual, como una condición indispensable para la rentabilidad de estos sistemas.



WAVELENGTH MICRONS

LAMINA 1 : ESPECTRO DE ABSORCION DE POLIETILENO TERMICO  
(200  $\mu\text{m}$ ) INFRARROJA.

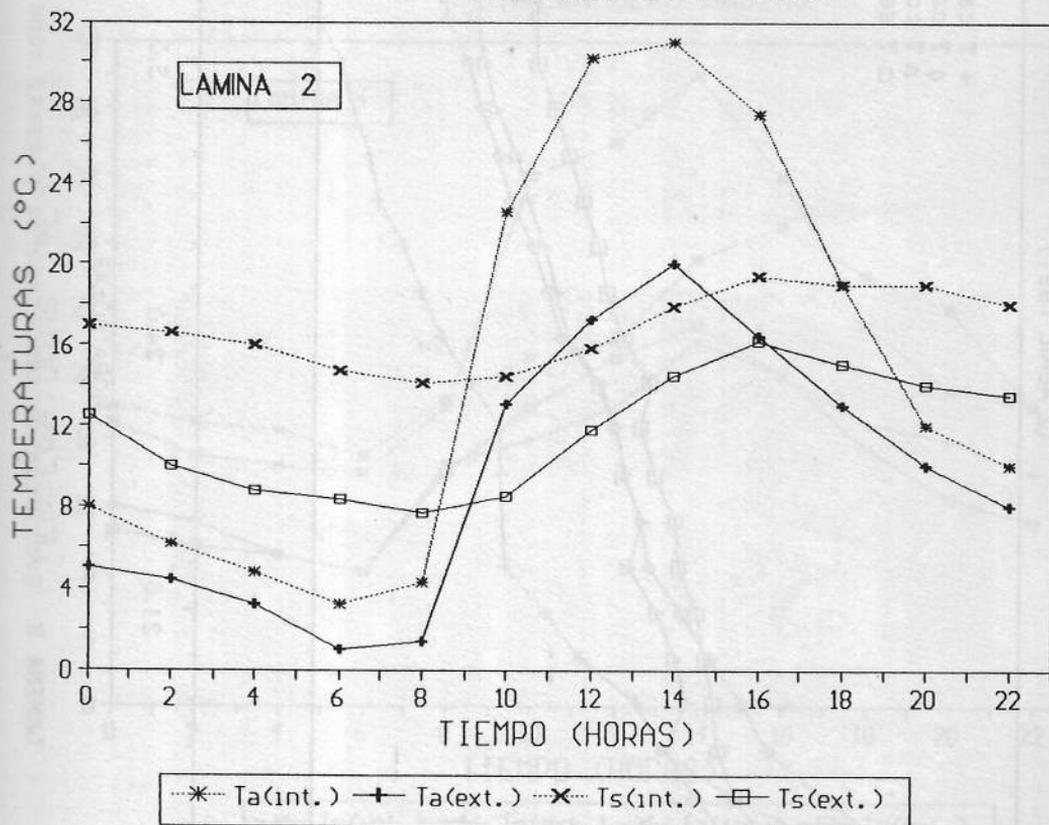


DATE -----  
 OPERATOR -----  
 REMARKS -----

FORMULA -----  
 PHASE -----  
 REFERENCE -----  
 THICKNESS -----

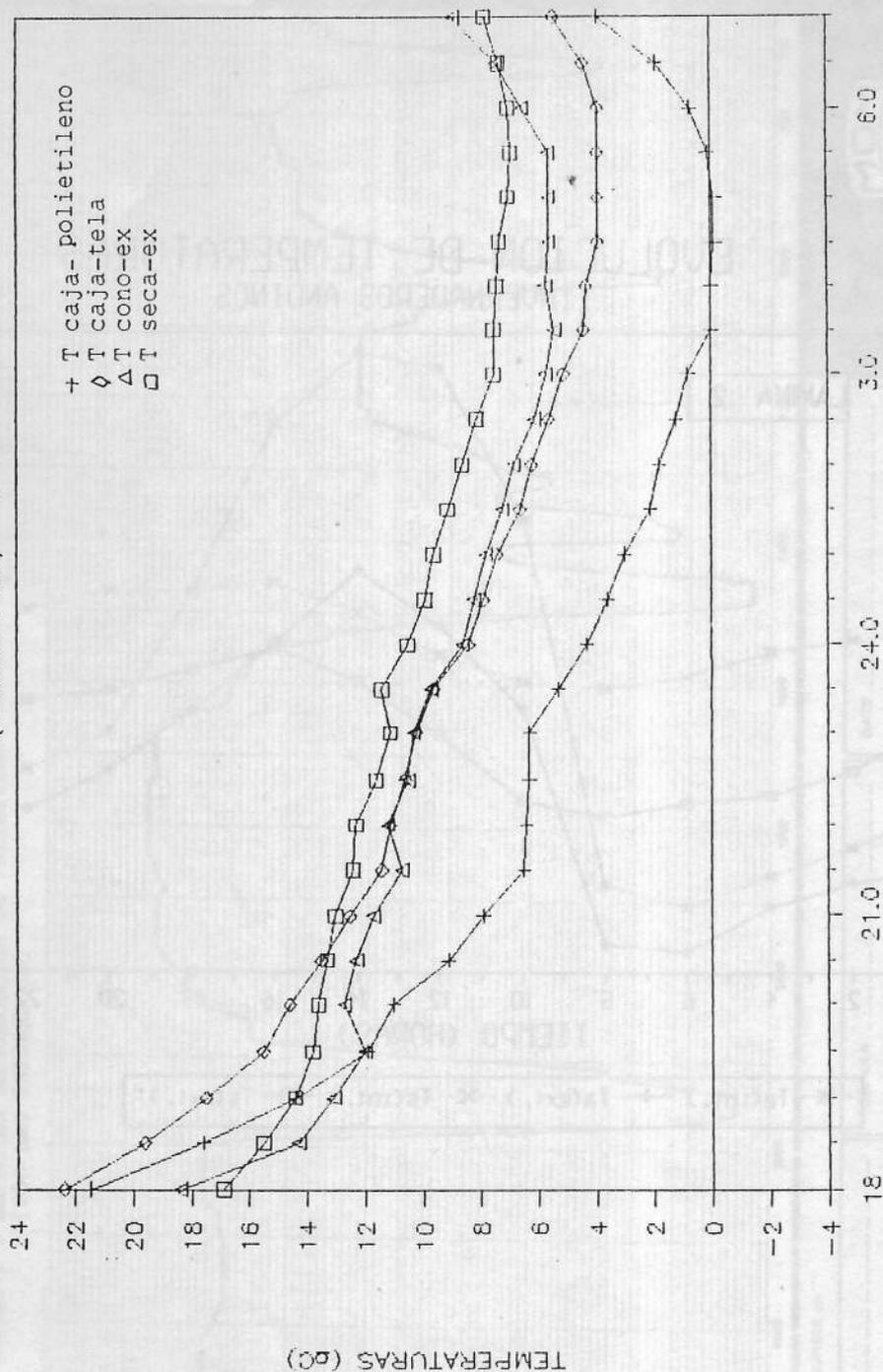
SAMPLE S -----  
 -----  
 -----

# EVOLUCION DE TEMPERATURAS INVERNADEROS ANDINOS



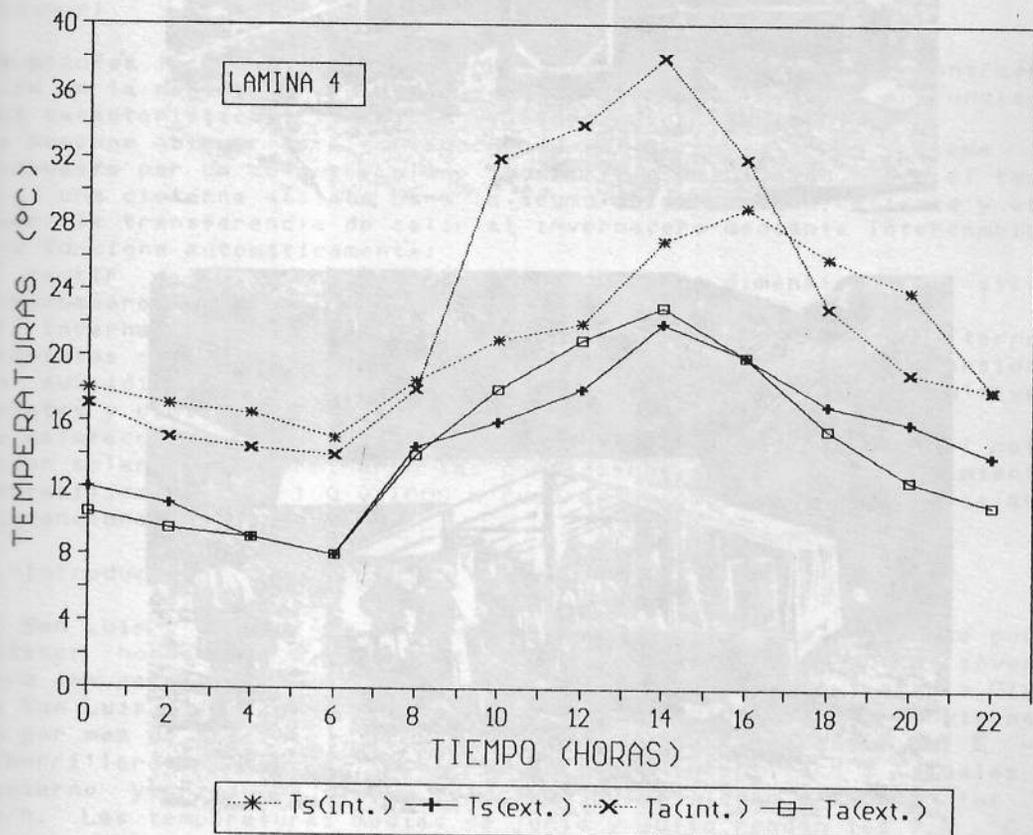
# SECA (E) - CAJAS - CONO (E)

(2 ABRIL 1991)



LAMINA 3 Evolución de temperaturas placas, cono y ambiente.

# EVOLUCION DE TEMPERATURAS INVERNADERO ANDINO



INVERNADEROS ANDINOS CUSCO-PERU: COMUNIDAD DE MANTO PARPAY (3500m)  
(Estructura, con cubierta y en producción)

