



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# INVERNADEROS SOSTENIBLES PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN ZONAS ALTO ANDINAS DEL CUSCO

Pedro Zanabria-Pacheco

Piura, julio de 2015

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales

Zanabria, P. (2015). *Invernaderos sostenibles para la producción de hortalizas en zonas alto andinas del Cusco* (Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)  
[Creative Commons Atribución-](#)  
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

**UNIVERSIDAD DE PIURA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**Invernaderos sostenibles para la producción de hortalizas en zonas alto andinas del Cusco**

Tesis para optar el Grado de  
Máster en Gestión y Auditorías Ambientales

**Pedro Fortunato Zanabria Pacheco**

**Asesor: Jorge Guillermo Ugarte Berrío**

Piura, julio 2015

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mi esposa Elisabeth, a mis hijos Edward, Alexander, Diana y a los investigadores jóvenes peruanos, para motivarlos a desarrollar el talento y la creatividad y proponer soluciones a los grandes problemas científicos, tecnológicos, sociales y económicos del país. No interesa la edad, ni color político, sino la pasión, el amor y el compromiso que ponemos a nuestro trabajo. La búsqueda del bienestar personal, familiar, y de nuestra sociedad, nos dará libertad de pensamiento, responsabilidad ambiental, comprometidos con el desarrollo sostenible del país, en un ambiente de libertad, respeto y armonía con la naturaleza.

## **Prólogo**

Hace más de 25 años, el Grupo de Investigación en energía solar de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, iniciaba las investigaciones preliminares de las aplicaciones de las energías renovables, en particular la energía solar.

En 1990 iniciamos una cooperación con la Facultad de Física de la Universidad Complutense de Madrid, el Catedrático José Doria Rico, muy apasionado de las aplicaciones de energías renovables, apoyó nuestro trabajo y juntos visitamos el Sur de España para conocer de cerca el desarrollo tecnológico de los grandes invernaderos y sentar las bases para el conocimiento de la plasticultura en zonas alto andinas del Cusco. Se desarrollaron los primeros estudios sobre los problemas y las limitaciones de la horticultura en zonas alto andinas

En el invierno andino no se pueden producir hortalizas por el clima imperante. El invernadero andino, de estructura de palos y murete de adobe, competía con el modelo boliviano. El primer invernadero tradicional de diseño estructural de palos y techo tipo capilla se construyó por los años 85, este modelo se sigue replicando y difundiendo en la actualidad, a pesar de la experiencia, subsisten los problemas técnicos, económicos, organizativos y sociales. Hoy en día son todavía desconocidos los sistemas de gestión ambiental, para prever los impactos ambientales; así mismo la agricultura orgánica no es una práctica difundida. La naturaleza y complejidad de un invernadero, puede mejorar el aprendizaje enseñanza de los escolares rurales; la aparición de libros modernos de plasticultura y otros factores, nos impulsaron a realizar un estudio más sistemático que contemple todos los aspectos señalados, particularmente aplicados a zonas alto andinas del Perú y en particular del Cusco, así mismo en el análisis y evaluación experimental se presentan datos, cálculos y curvas del comportamiento de los invernaderos bajo ciertas condiciones, que servirán de referencia a estudios posteriores.

Expreso mi homenaje y reconocimiento a la memoria del maestro y amigo Guillermo Ugarte Berrio (QEPD), asesor del presente trabajo, a la memoria de Gerd Zoller y José Doria, a Telle y Satu Zoller, presidentas honorarias del Centro de Capacitación para el desarrollo (CECADE) Qosqo Yachay Wasi, por el apoyo y facilidades prestadas para la realización del presente proyecto.

## **Resumen**

Para identificar los problemas que limitan la producción de hortalizas en zonas alto andinas del Cusco, se han diseñado y construido dos prototipos de invernaderos a 3330 msnm, variando la orientación, materiales y forma del techo.

Las formas curvas con orientación E-O y la construcción de un muro de adobe en la pared sur o un murete de adobe perimetral de 1 m de altura, adicionalmente la colocación de una pantalla térmica antirradiativa por encima del cultivo, mejoran las temperaturas en el interior de los invernaderos, alcanzando hasta 7 °C por encima de la temperatura mínima exterior (5 °C) en el invernadero de adobe y techo curvo, y de 3 °C en el invernadero de estructura de palos, techo tipo capilla y muro perimetral, permitiendo la producción de hortalizas en la estación fría.

La rentabilidad económica es S/. 30/m<sup>2</sup> para el invernadero de techo curvo, y S/. 22/m<sup>2</sup> para el de techo capilla.

La Declaración de Impacto Ambiental (DIA), para un proyecto de difusión y construcción de 112 invernaderos de 50 m<sup>2</sup> cada uno, en las instituciones educativas de la provincia de Paruro. Cusco, da como resultado la viabilidad del proyecto por los impactos leves al medio.

## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1 .....	3
Fundamentos teóricos.....	3
1.1.    Introducción.....	3
1.2.    Niveles térmicos característicos de los cultivos.....	4
1.3.    El clima exterior.....	5
1.3.1.    El sol en el imperio de los incas .....	5
1.3.2.    El movimiento de la tierra y las estaciones .....	6
1.3.3.    La radiación solar y el espectro electromagnético.....	7
1.3.4.    Disponibilidad de datos de radiación.....	11
1.3.5.    Diagramas de trayectorias del sol.....	14
1.3.6.    Características climáticas de las zonas alto andinas del Cusco .....	14
1.4.    El clima en el interior del invernadero.....	15
1.4.1.    La radiación solar en invernadero: absortancia, transmisividad y reflectancia ...	17
1.4.2.    Orientación, forma del invernadero y transmisividad .....	18
1.4.3.    Características de las cubiertas de plástico.....	19
1.5.    Balance térmico de un invernadero .....	22
1.5.1.    Métodos de aislamiento y formas de evitar el enfriamiento en invernaderos .....	27
1.5.2.    Altas temperaturas en el invernadero .....	28
1.6.    Fisiología de los cultivos: fotosíntesis, respiración y otras funciones.....	30
1.6.1.    Actividades de las hojas, funciones fisiológicas y crecimiento.....	31
1.6.2.    Factores internos que influyen la fotosíntesis .....	32
1.6.3.    Factores externos que influyen en la fotosíntesis .....	32
1.6.4.    Temperatura.....	35
1.6.5.    CO <sub>2</sub> .....	35
1.6.6.    Humedad ambiental.....	36

1.6.7.	Fotomorfogénesis .....	36
1.6.8.	Fotoperiodismo.....	36
1.6.9.	Respiración.....	37
1.7.	Impacto ambiental de los residuos agrícolas en la plasticultura.....	37
Capítulo 2	.....	41
Antecedentes	.....	41
<b>2.1.</b>	<b>Panorama actual de los plásticos en el mundo</b> .....	41
<b>2.2.</b>	<b>La plasticultura en España</b> .....	43
<b>2.3.</b>	<b>Los invernaderos en América del Sur, experiencias más relevantes</b> .....	45
<b>2.3.1.</b>	<b>Flores para Abrapampa</b> .....	45
<b>2.3.2.</b>	<b>Invernaderos para la producción de hortalizas en el Alto La Paz –Bolivia.</b>	46
<b>2.4.1.</b>	<b>Los grandes invernaderos del Callejón de Huaylas (Caraz y Carhuaz, 1982-2013)</b>	47
<b>2.4.2.</b>	<b>Experiencias en la Región Cusco</b> .....	48
Capítulo 3	.....	61
Diseño y construcción de dos prototipos de invernaderos andinos.....		61
3.1.	Ubicación del proyecto y características climáticas .....	61
3.2.	Aspectos técnicos del estudio .....	62
3.3.	Diseño del modelo experimental para evaluación de invernaderos andinos .....	64
3.3.1.	Estudios de recurso solar y trayectorias del sol.....	64
3.3.2.	Estudio de la utilización de cubiertas .....	67
3.3.3.	Estudio de la orientación y forma de los invernaderos .....	68
3.3.4.	Estudio de la utilización de pantallas antirradiativas .....	69
3.3.5.	Análisis del balance térmico de invernaderos .....	70
3.4.	Instrumental empleado en las diferentes medidas y evaluaciones experimentales ....	71
3.5.	Estudios previos de sostenibilidad del proyecto y evaluación del impacto ambiental	71
3.6.	Diseño y construcción de dos prototipos de invernadero andino .....	72
3.6.1.	Invernadero de pared de adobe y techo curvo (tipo I).....	72
3.6.2.	Invernadero de palo, con techo a dos aguas y murete perimetral de adobe .....	75
Capítulo 4	.....	79
Evaluación experimental y discusión de resultados .....		79
4.1.	Introducción.....	79
4.2.	El recurso solar y trayectorias del sol.....	79
4.3.	Evaluación del tipo de cubierta .....	81
4.4.	Evaluación de la orientación y forma de los invernaderos .....	82

4.5.	Evaluación del empleo de pantallas antirradiativas.....	83
4.6.	Evaluación del balance térmico de invernaderos.....	84
4.7.	Análisis y discusión de los parámetros meteorológicos del interior y exterior de los invernaderos.....	85
4.7.1.	Medida de la irradiancia en el interior y exterior de tres tipos de invernaderos..	85
4.7.2.	Evolución de temperaturas, humedad relativa y temperatura del suelo en el interior y exterior de un invernadero .....	86
4.7.3.	Evolución de temperaturas, humedad relativa, sin y con pantalla térmica.....	88
4.8.	Evaluación económica .....	90
4.9.	Propuesta de inserción de invernaderos en el proceso educativo rural.....	92
Capítulo 5	.....	97
Gestión ambiental de invernaderos para la producción de hortalizas en zonas alto andinas	.....	97
5.1.	Impacto ambiental de la plasticultura .....	97
5.1.1.	Aspectos territoriales .....	97
5.1.2.	Aspectos relativos al sistema de producción .....	98
5.2.	Gestión de un invernadero .....	99
5.3.	El medio ambiente y el desarrollo sostenible .....	101
5.4.	Herramientas de gestión ambiental.....	103
5.5.	Marco jurídico y conceptual de la evaluación de impacto ambiental en el Perú.....	104
5.5.1.	Ministerio del Ambiente.....	104
5.5.2.	Ministerio de Agricultura .....	110
5.5.3.	Normas complementarias vinculantes .....	117
5.6.	Clasificación de un proyecto de producción de hortalizas en invernaderos alto andinos.....	123
5.7.	Contenido básico de la evaluación preliminar de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Categoría I.....	126
5.8.	Conclusiones de la DIA .....	148
Conclusiones	.....	149
Bibliografía	.....	153
Anexos	.....	157

## Introducción

En la actualidad, la “**plasticultura**”, ciencia joven de no más de 50 años, ha alcanzado niveles de gran desarrollo en todo el mundo, en especial en los países desarrollados, esta ciencia se ocupa de la ingeniería de los plásticos en la agricultura y horticultura modernas. En los países en desarrollo como el Perú, esta ciencia aún no ha alcanzado un desarrollo sostenido debido a muchos factores, técnicos, sociales y económicos.

Desde que en 1924 apareció en EEUU el primer sustituto del vidrio para su aplicación en agricultura, nada nuevo apareció hasta que en 1938 se dio a conocer el **Polietileno**; posteriormente y en los últimos 40 años, hubo en todo el mundo un desarrollo vertiginoso de los plásticos, toda una ciencia, desarrollo industrial y tecnológico acorde a las exigencias de una agricultura intensiva.

Los plásticos son los principales protagonistas del nuevo escenario agrícola, se utilizan como cubiertas para invernaderos, pequeños túneles, filmes para acolchados, mallas de sombreo, bolsas para cultivos hidropónicos, tuberías de riego por goteo, láminas de impermeabilización en embalses. Se usan en la producción de semillas, viveros de plantas. Son fundamentales en la gestión y uso racional del agua, desde el almacenamiento en embalses impermeabilizados con láminas de polietileno hasta la distribución, redes anti granizo, corta vientos, anti-pájaros, anti-heladas, anti-insectos, etc. Están presentes en los sistemas productivos dentro de los invernaderos, post cosecha y comercialización.

Los resultados experimentales de la tesis se han obtenido de las mediciones de campo realizadas en los inviernos del 2013 y 2014 respectivamente. Para una mejor comprensión, la tesis se ha dividido en 5 capítulos, conclusiones y anexos. El primer capítulo, presenta los fundamentos teóricos de la ciencia de la plasticultura, en el segundo capítulo hacemos una revisión de los antecedentes más relevantes a nivel internacional, nacional y la región Cusco. En el tercer capítulo se propone la metodología a desarrollar en la evaluación experimental de los diferentes parámetros que mejoran la inercia térmica interior de los invernaderos, se diseñan y dimensionan dos prototipos de invernaderos andinos, con protección para el evitar el enfriamiento nocturno. En el capítulo 4 se discuten y analizan los resultados de las mediciones experimentales para determinar la influencia de las distintas variables que determinan el balance térmico: orientación, forma del techo, cubiertas, pantallas térmicas antirradiativas, permitiendo obtener conclusiones de importancia en el diseño y construcción de invernaderos. Un aspecto fundamental desarrollado en este capítulo es el análisis económico para determinar

los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como la rentabilidad de un invernadero, muy útiles en proyectos productivos. Así mismo se presentan las bases para el desarrollo de un proyecto regional de difusión y construcción de un invernadero andino en cada Institución Educativa de la Región del Cusco, los objetivos y actividades que mejorarán los procesos de aprendizaje y enseñanza de los estudiantes de las zonas alto andinas. En el capítulo 5, se ha realizado una revisión de la legislación peruana ambiental, y en base a ella se hace un ensayo para elaborar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), cuyo contenido mínimo debe estructurarse para desarrollar un proyecto de instalación de 112 invernaderos alto andinos en igual número de instituciones educativas de la provincia de Paruro, dicho proyecto generaría impactos ambientales leves. Finalmente se presentan la bibliografía, conclusiones y anexos.

En los diferentes capítulos de la tesis, se han transcrito textualmente: leyes, principios, definiciones, enunciados y demás comentarios que a nuestro juicio son relevantes precisarlas en el marco teórico y aplicaciones. Para un adecuado manejo de la información, se señalan las referencias bibliográficas básicas (Castilla Nicolás 2007, Díaz, Espí, Fontecha, Jiménez, López y Salmerón, 2001, entre otros textos), en los cuales los autores citan a otros investigadores, de esta forma construimos el conocimiento integral de los diferentes temas abordados en la tesis.

# Capítulo 1

## Fundamentos teóricos

### 1.1. Introducción

Un invernadero, es un sistema destinado a crear un microclima (efecto invernadero), que hace posible el cultivo de una determinada especie hortícola en regiones donde las condiciones ambientales no lo permitirían, o adelantar la cosecha del mismo.

Los cultivos protegidos, entre otros, buscan (Wittwer, 1995, citado por Castilla, 2007).

- Reducir las necesidades de agua, reducir las pérdidas de agua por evaporación y limitar el crecimiento de las malas hierbas que compiten por el agua del suelo. Reducen la radiación solar.
- Proteger los cultivos de las bajas temperaturas, usando sistemas de protección para el enfriamiento nocturno y calefacción. Reducir la velocidad del viento.
- Atenuar el impacto de climas áridos y desérticos, a través de la creación de un microclima apto para el cultivo hortícola.
- Reducir daños de plagas, enfermedades, nematodos, malas hierbas, pájaros y otros predadores.
- Extender las áreas de producción y los ciclos de cultivo, con el empleo de invernaderos, túneles, acolchados.
- Aumentar las producciones, mejorar la calidad de los productos y preservar los recursos, empleando eficientemente el suelo, agua, luz solar, CO<sub>2</sub>, aire y viento.
- El control climático permite optimizar la productividad y calidad. Acolchado con filmes, que sirven para guardar la humedad, impedir que los frutos se ensucien, frenar el desarrollo de las malas hierbas, guardar el calor del suelo, etc.

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), promueve que la implantación de industrias deberán responder prioritariamente a las necesidades de la agricultura, herramientas, abonos, pesticidas y desde luego, materiales plásticos, cuya contribución a la economía del agua tiene una importancia particular en zonas áridas.

## 1.2. Niveles térmicos característicos de los cultivos

Todo ciclo productivo de un cultivo tiene lugar en un entorno térmico que encierra un nivel óptimo de temperatura. Por tanto, el ideal para la producción agrícola, es que la planta esté sometida en cada momento de su ciclo a dicha temperatura óptima. La distribución geográfica de las plantas está influenciada prioritariamente por la temperatura ambiente. En la Tabla 1, se presentan temperaturas características de diferentes cultivos.

**Tabla 1.** Temperaturas características de diferentes cultivos

	Temp. mínima letal (°C)	Temp. mínima biológica (°C)	Temp. óptima Noche / Día (°C)	Temp. máxima biológica (°C)	Temperatura sustrato de germinación Mínima/Óptima (°C)
<b>Hortícola</b>					
Tomate	-2 a 0	8-10	13-16/22-26	26-30	9-10 /20-30
Pepino	0-4	10-13	18-20/24-28	28-32	14-36 /20-30
Melón	0-2	12-14	19-21/24-30	30-34	14-16 /20-30
Pimiento	-2 a 0	10-12	16-18/22-28	28-32	12-15 /20-30
Berenjena	-2 a 0	9-10	15-18/22-26	30-32	12-15 /20-30
Lechuga	-2-0	4-6	10-15/15-20	25-30	4-6 / 20
Fresa	-2-0	6	10-13/18-22	-	- -
<b><u>FLORÍCOLA</u></b>					
Clavel	-4-0	4-6	10-12/18-21	26-32	- -
Rosa	-6-0	8-10	14-16/20-25	30-32	- -
Garbera	0-2	8-10	13-15/20-24	-	20-22
Gladiolo	0-2	5	10-12/16-20	-	6-8

**Fuente:** Matallana y Marfa (1980).

- (1) **Temperatura mínima letal:** produce daños irreversibles a la planta, con posibilidad de muerte de la misma en caso de duración prolongada. En invernaderos sin apoyo térmico es muy probable de que se alcance esta temperatura.
- (2) **Temperatura mínima biológica o cero vegetativo:** por debajo de esta temperatura la planta interrumpe su actividad vegetativa alcanzándose el crecimiento cero.
- (3) **Temperatura óptima diurna y nocturna:** esta varía en función de la especie, energía solar disponible, disponibilidad de agua, influencia de las propiedades físicas y químicas del sustrato, sistema de riego, prácticas culturales, estado de desarrollo de la planta y edad de la misma, nutrición y prácticas culturales, concentración de CO<sub>2</sub>. De la complejidad del conjunto de factores enunciados hay dificultad de determinar exactamente cuál debería ser el nivel térmico óptimo para el cultivo.
- (4) **Temperatura máxima biológica:** por encima de esta temperatura, el cultivo empieza a manifestar desequilibrios fisiológicos: disminución del crecimiento y producción. El sombreado, ventilación y la refrigeración deberán emplearse para bajar esta temperatura.

- (5) **Temperatura de germinación óptima:** donde el sistema radicular alcanza el óptimo en los procesos de adsorción de la solución del suelo.

### 1.3. El clima exterior

Las condiciones climáticas locales son determinantes del microclima generado dentro de un invernadero y de su manejo futuro, por lo que su conocimiento previo es necesario al construir un invernadero. El clima de un lugar está condicionado por los intercambios radiativos entre el sol y la tierra. Los elementos más importantes del clima para los invernaderos son la radiación solar, las temperaturas, la humedad relativa, el viento y las precipitaciones.

#### 1.3.1. El sol en el imperio de los incas

El Cusco, es una hermosa ciudad Inca-Colonial, ubicada al Sur Este del Perú en los Andes peruanos, a una altitud de 3 400 msnm, cuna del gran Imperio Inca, denominado también Imperio del Sol, porque el Sol fue y continúa siendo la máxima divinidad y el benefactor supremo; en nuestros días continúa siendo el eje de la cultura andina eminentemente agraria, que sigue festejando todos los solsticios de invierno la **“Gran Fiesta del Sol”** el **“Inti Raymi”**.

Los Incas erigieron grandes templos de adoración al sol: **Machupicchu, Sacsaywaman, Ollantaytambo, Pisac y en la ciudad del Cusco: El Ccoricancha el gran Templo del sol, era una “Casa de oro”** dedicada al culto y adoración del sol, fue y sigue siendo una bellísima obra arquitectónica. Como pueblo agrario, toda su organización económica y social estuvo en tiempo de los Incas, en función directa de las observaciones astronómicas relacionadas con el sol. Así las siembras y cosechas como también la crianza de ganado pariciones y marcado de ganado.

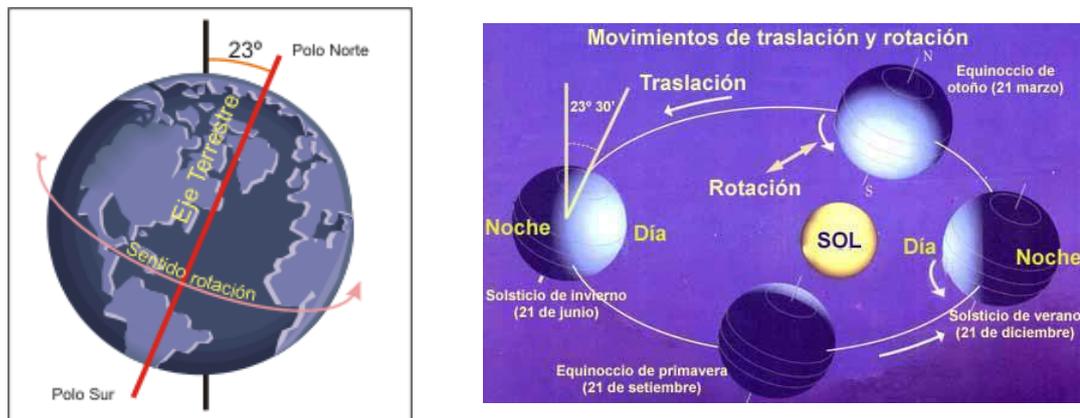
En Astronomía habían aprendido a determinar los equinoccios, los solsticios y los días en que el sol pasaba por el zenit, para ello construyeron el **“intíwatana” o lugar donde se amarra el sol**, que es una columna de piedra, situada en el santuario de Machupicchu, mediante el cual podían realizar un seguimiento al sol a través de la sombra proyectada. Así mismo instauraron grandes festividades que se desarrollaban en todos los rincones del gran Tawantinsuyo, destaca el **“Inti Raymi” o “Fiesta del Sol”**, que se desarrollaba y continúa en nuestros días en el solsticio de invierno (24 de junio, día del Cusco).

Según el cronista Huamán Poma de Ayala, el año estaba dividido en meses de 30 días y cada uno de ellos en tres períodos de diez días. Los Incas desarrollaron una diversidad de tecnologías que les permitió usar racionalmente la energía solar, y que hasta hoy se siguen empleando en las diferentes zonas andinas del Perú, podemos señalar entre otras: el secado de maíz, la preparación de la papa expuesta a las heladas sirve para elaborar el chuño, la moraya (chuño blanco), deshidratación de productos andinos como la oca o "caya", carnes de alpaca y llama en forma de "charquis" y "chalonas", quinua, frijoles y muchos otros. Estos productos secos eran almacenados en los **“tambos”** y se conservaban por muchos años, hasta siglos, como ha sido probado por restos hallados en tumbas prehispánicas, en perfecto estado de conservación. El pueblo peruano, sobre todo andino, continúa desarrollando estas tecnologías ancestrales y mantienen una gran reverencia y respeto al

astro rey y la gran importancia en la vida económica y social de los pueblos andinos del Perú y América.

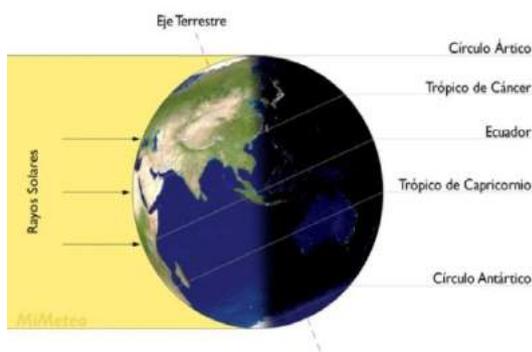
### 1.3.2. El movimiento de la tierra y las estaciones

La tierra tiene un movimiento de rotación en torno a su eje polar. Esta rotación origina el día y la noche. Este eje está inclinado en un ángulo de  $23,45^\circ$  con respecto al plano de la órbita de la tierra en torno al sol (la eclíptica). El eje terrestre apunta en una dirección fija con respecto a la eclíptica, la tierra describe una órbita elíptica alrededor del sol, donde el sol ocupa uno de los focos de la elipse, la siguiente figura muestra la declinación y elíptica alrededor del sol.

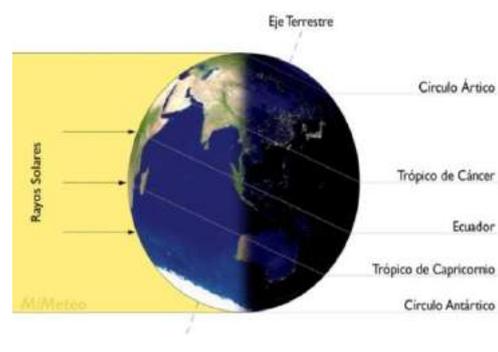


**Figura 1.** Declinación terrestre y movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol

El efecto combinado del movimiento orbital de la Tierra y la inclinación de su eje de rotación dan lugar a las estaciones del año, produciéndose puntos críticos llamados solsticios: invierno y verano y equinoccios de primavera y otoño.



**Figura 2a.** Solsticio verano hemisferio N



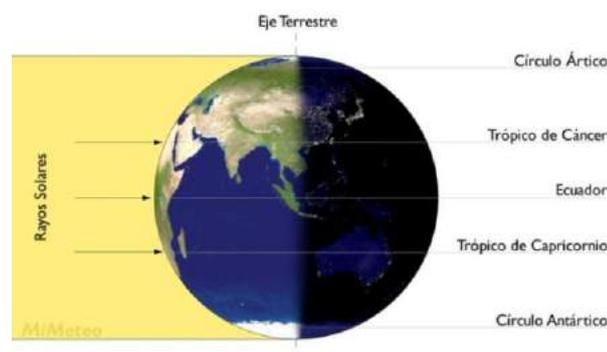
**Figura 2b.** Solsticio de verano hemisferio S

Fuente: <http://www.mimeteo.com/blog/tiempo-y-clima/estaciones/>

En el solsticio de verano del hemisferio norte (N), el sol alcanza el cenit (punto más alto del sol en el cielo) al medio día sobre el trópico de cáncer el 20 o 21 de junio de cada año. En éste momento los rayos caen perpendicularmente sobre los  $23,5^\circ$  N. El solsticio de invierno en el hemisferio sur se corresponde al solsticio de verano del hemisferio norte. En el solsticio de verano del hemisferio sur, el sol alcanza el cenit al medio día sobre el

Trópico de Capricornio cada 21 o 22 de diciembre. En el solsticio de verano la duración del día es máxima y mínima en el solsticio de invierno, dependiendo de la latitud del lugar.

Entre el solsticio de verano del hemisferio norte y el solsticio de verano del hemisferio sur se suceden las estaciones del otoño y primavera, los equinoccios.



**Figura 3.** Equinoccios de primavera y otoño

Fuente: <http://www.mimeteo.com/blog/tiempo-y-clima/estaciones/>

Los equinoccios ocurren dos veces al año: el de otoño (hemisferio sur) y primavera (hemisferio norte) alrededor del 20-21 de marzo y del 22-23 de septiembre (primavera, hemisferio sur y otoño hemisferio norte), donde los rayos del sol caen verticalmente sobre el Ecuador y la duración del día es aproximadamente igual al de la noche, así mismo en estas estaciones el sol sale exactamente del este y se pone por el oeste, pasando por el cenit. La duración de las estaciones difiere unas de otras debido a que la órbita terrestre alrededor del sol es excéntrica y la tierra recorre su trayectoria elíptica con velocidad variable, la duración se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Duración de las estaciones

Inicio	H. norte	H. sur	Días duración
20-21 Marzo	Primavera	Otoño	92,9
21-22 Junio	Verano	Invierno	93,7
22-23 Septiembre	Otoño	Primavera	89,6
21-22 Diciembre	Invierno	Verano	89,0

Fuente: <http://www.mimeteo.com/blog/tiempo-y-clima/estaciones/>

### 1.3.3. La radiación solar y el espectro electromagnético

El Perú gracias a su favorable ubicación geográfica: cercanía al Ecuador y la gran altitud de gran parte de su territorio (Cordillera de los Andes) cuenta con elevados niveles de radiación solar (700 a 1 000 W/m<sup>2</sup>), ofreciendo un gran potencial para su utilización en diferentes tecnologías. El conocimiento y análisis de la radiación solar disponible en un lugar determinado es indispensable para el diseño, construcción y evaluación de sistemas solares. Sin embargo la información disponible sobre radiación solar es muy escasa, limitada y no sistematizada; en los últimos 20 años gracias a este potencial y el desarrollo científico tecnológico alcanzado por muchas instituciones nacionales en especial las

universidades, el SENAMHI, Ministerio de Energía y Minas y otros centros privados, han implementado estaciones y sistemas de medición sistemática de la radiación solar, disponiéndose de mapas y datos de radiación solar para las diferentes regiones del país.

### 1.3.3.1. Radiación global, directa y difusa

La radiación solar, en su trayecto hacia la superficie terrestre, es parcialmente absorbida, reflejada y difundida por los distintos constituyentes de la atmósfera. Para los efectos prácticos que nos interesan, estos fenómenos de absorción, reflexión y difusión, dan origen a una descomposición de la radiación en la superficie terrestre de dos componentes: la directa y la difusa, la primera es la que proviene directamente del disco solar (aquella capaz de proyectar sombras), y la segunda es la que llega difundida de todas direcciones de la bóveda celeste. La suma de estos dos componentes se llama radiación global o hemisférica. La radiación global se mide normalmente con un aparato llamado piranómetro. La radiación difusa también se puede medir usando los piranómetros, pero teniendo cuidado de bloquear la radiación directa. Los instrumentos para medir la radiación directa se llaman pirheliómetros.

Una definición práctica de la radiación directa: es aquella que se mide por un pirheliómetro o la capaz de proyectar sombra. Una parte de la radiación que llega a la superficie de la tierra es reflejada, siendo esta fracción conocida como reflectividad o albedo ( $r$ ). Por tanto, de la radiación solar que llega a la tierra, los captadores pueden emplear tres componentes: la directa, la difusa y la reflejada. (Grossi, 2001).

La parte restante de la radiación solar que incide sobre la atmósfera se refleja de nuevo hacia el espacio o bien es absorbida por las masas de nubes. La fracción absorbida puede llegar a la superficie de la tierra de forma indirecta (lluvias, radiación calorífica de las nubes), pero en un nivel de degradación energético no apto para su aprovechamiento. Uno de los instrumentos más comunes en las estaciones meteorológicas, son los heliógrafos, no miden directamente la radiación solar. Estos instrumentos se usan para determinar el número de horas de sol directo que hay en un cierto período.

En cuanto a la nomenclatura de estas magnitudes, se emplean las letras  $I$  para denominar a potencia solar incidente en una superficie por unidad de área en  $W/m^2$ , a esta magnitud se le denomina irradiancia. De igual modo la letra  $H$  para la energía solar incidente en una superficie por unidad de área, en  $J/m^2$  o  $(W.h/m^2)$ , esta magnitud recibe el nombre de irradiación. Se emplean los sub índices  $h$ ,  $b$  y  $d$ , para identificar a la radiación global, directa y difusa respectivamente, así por ejemplo:

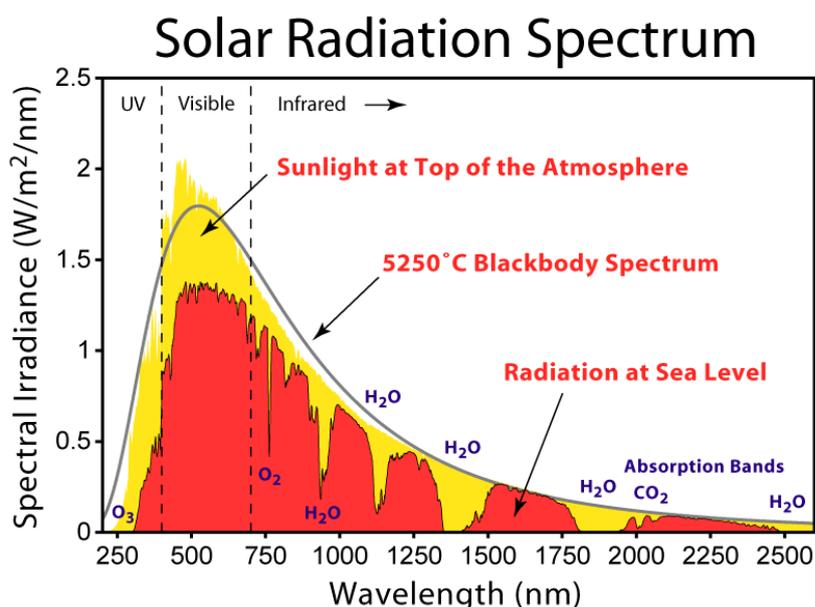
$$I_h = I_d + I_b$$

$$H_h = H_d + H_b \quad \text{ec. 1}$$

Dónde:  $I_h$ ,  $I_d$ ,  $I_b$ , son valores instantáneos de irradiancia en  $W/m^2$ , en el plano horizontal, los subíndices  $h$  para la global,  $d$  para la difusa y  $b$  para la directa.

### 1.3.3.2. El espectro electromagnético

El sol es una estrella de segunda o tercera generación, su diámetro es de  $1,39 \times 10^6$  km; la distancia media tierra-sol es de  $149,5 \times 10^6$  km. El sol es un reactor nuclear que por fusión convierte hidrógeno en helio. En su núcleo la temperatura alcanza  $4 \times 10^7$  K. La temperatura en su superficie es muy inferior, es alrededor de los 6 000 K. Se puede decir que la energía que nos llega del sol equivale a la emitida por un cuerpo negro que estuviese a una temperatura de 5 762 K. La radiación solar que llega a la tierra, emana esencialmente de la fotosfera del sol, emitiendo así hacia el espacio radiación electromagnética, ondas electromagnéticas que se desplazan a la misma velocidad,  $c = 2,99792458 \times 10^8$  m/s, velocidad de la luz. Lo que diferencia una de las otras es su longitud de onda o su frecuencia. La radiación emitida por el sol no tiene la misma intensidad a cualquier longitud de onda, sino que tiene una distribución espectral como indica la Figura 4.



**Figura 4.** Curvas de irradiancia espectral estándar (WRC: *World Radiation Center*) a una distancia promedio Tierra-Sol.  
Fuente: Thekaekara (1973) e Iqbal (1983)

La figura 4, muestra tres zonas, la zona amarilla corresponde al espectro de irradiancia solar extraterrestre para las diferentes longitudes de onda de los componentes del espectro. En esta zona se define la constante solar como la razón entre la energía solar total de todas las longitudes de onda incidentes sobre una unidad de área expuesta normalmente a los rayos del sol solar. La NASA luego de numerosas mediciones, ha establecido como valor de esta constante:

$$I_{sc} = 1\,353 \text{ W/m}^2 \quad \text{ec. 2}$$

La WRC luego de mediciones realizadas entre 1969 a 1980 (Iqbal, 1983), ha propuesto el siguiente valor:

$$I_{sc} = 1\,367 \text{ W/m}^2 \quad \text{ec. 3}$$

Este valor es aceptado internacionalmente, con una desviación estándar de  $1,6 \text{ W/m}^2$ . La curva continua de la gráfica, corresponde al espectro de irradiancia de un cuerpo negro de  $5\,250 \text{ K}$ .

La tercera zona (roja) corresponde a la radiación que llega a la superficie de la tierra (atmósfera clara, masa aire igual a 1), donde la radiación solar es reflejada, dispersada y absorbida por los diferentes componentes que constituyen la atmósfera.

La zona espectral con longitudes de onda menores que  $0,38 \mu\text{m}$  corresponde a la radiación ultravioleta, aquella entre  $0,38$  y  $0,78 \mu\text{m}$  es la radiación visible, y aquella superior a  $0,78 \mu\text{m}$  es la radiación infrarroja. El máximo de intensidad de la radiación solar ocurre aproximadamente a  $0,50 \mu\text{m}$ , lo que corresponde al color verde (Collares Pereyra, 1998).

Es posible calcular la cantidad de energía que está asociada a cada una de las bandas espectrales, resultando así que un  $7 \%$  corresponde a UV,  $47 \%$  al visible y  $46 \%$  al infrarrojo. Las plantas usan directamente en su metabolismo sólo la radiación visible comprendida entre los  $0,38$  y  $0,76 \mu\text{m}$ , tienen influencia directa en las diferentes funciones fisiológicas de las plantas (fotosíntesis y otras). La radiación UV, la radiación térmica infrarroja (corta y larga) contribuyen a la generación de calor sea de la planta, el suelo o el ambiente, son importantes en el estudio de los invernaderos.

La radiación que sale del sol no es idéntica a la que llega a la superficie de la tierra puesto que debe atravesar la atmósfera. En esta se difunde por las moléculas que constituyen el aire, por el polvo y el vapor de agua. Se absorbe en forma selectiva, por el ozono (UV corto), vapor de agua (IR largo) y el  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ , cuyas concentraciones varían con el tiempo. La cantidad de radiación absorbida o difundida depende de la trayectoria óptica de la radiación a través de la atmósfera. Cuando el sol está en el punto de máxima altura (medio día solar) llega mucho más radiación, y con distinta calidad espectral, que cuando está cerca del horizonte.

**Tabla 3.** Espectro electromagnético

Radiación banda	Longitud de onda( $\mu\text{m}$ )	Frecuencia (hz)	Efectos sobre las plantas
Cósmica	$5 \times 10^{-8}$	$10^{24}$	
Gamma (uranio-radio)	$10^{-6} - 14 \times 10^{-5}$	$10^{22}$	
Rayos X	$10^{-3} - 0,015$	$3 \times 10^{17} - 2,0 \times 10^{16}$	
<b>Ultravioleta</b>			
UV corta	0,015 – 0,28	$3 \times 10^{17} - 1,1 \times 10^{15}$	Detrimental
UV media	0,28 – 0,315	$9,5 \times 10^{14}$	Detrimental
UV larga	0,315 – 0,38	$7,9 \times 10^{14}$	Detrimental
<b>Visible</b>			
Violeta	0,38 - 0,44	$7,9 \times 10^{14} - 6,8 \times 10^{14}$	Fototropismo
Azul	0,44 - 0,49	$6,1 \times 10^{14}$	Asimilación de $\text{CO}_2$
Verde	0,45 - 0,56	$5,3 \times 10^{14}$	Asimilación de $\text{CO}_2$
Amarillo	0,565 - 0,595	$5,0 \times 10^{14}$	Incremento de vigor, tamaño y calidad de frutos.
Anaranjado	0,595 - 0,62	$4,8 \times 10^{14}$	Asimilación $\text{CO}_2$ , germinación de semillas.
Roja corta	0,62 - 0,70	$4,3 \times 10^{14}$	Crecimiento plantas y brotes.
Roja larga	0,70 - 760	$3,9 \times 10^{14}$	Germinación de semillas Asimilación de $\text{CO}_2$

<b>Radiación banda</b>	<b>Longitud de onda(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Frecuencia (hz)</b>	<b>Efectos sobre las plantas</b>
<b>Infrarroja</b>			
corta	0,76 - 1,00	$3,9 \times 10^{14}$ - $3,0 \times 10^{14}$	Temperatura
media	1,00 - 2,00	$1,5 \times 10^{14}$	Temperatura
larga	2,00 - 26,00	$1,2 \times 10^{13}$	Temperatura
<b>Ondas de radio y electricidad</b>	$2,6 \times 10^{-8}$	$1,2 \times 10^{13}$ - $3,0 \times 10^{-3}$	

Fuente: Torres, E. (1986)

### 1.3.4. Disponibilidad de datos de radiación

A la persona que desea aplicar la energía solar le interesa conocer los valores de radiación global y difusa para aplicaciones como secadores e invernaderos, también le puede ser de interés el conocer los valores de radiación directa cuando se trata de usar colectores, concentradores, etc.

Si la aplicación solar no está exactamente en un lugar donde hay datos de insolación, se debe buscar interpolar entre datos de dos o más estaciones vecinas que estén en las cercanías. Esta interpolación será tanto más exacta en la medida que no existan grandes accidentes geográficos entre la estación y la aplicación, y que el clima sea similar. Es evidente que la diferencia entre el fondo de un valle y la cumbre de una montaña puede ser enorme, haciendo incluso imposible una simple interpolación. En estos casos se debe proceder a establecer semejanzas con otros lugares en que estos efectos han sido medidos. Las estaciones meteorológicas del Perú, pertenecientes a la red del SENAMHI, han proporcionado una serie de datos sobre todo de heliofanía (horas de sol), irradiación ( $\text{kW.h/m}^2$ ), irradiancia ( $\text{W/m}^2$ ), para construir mapas de radiación nacional y regionales, publicándose el Atlas de Energía Solar del Perú.

El departamento del Cusco está ubicado al SO del Perú, a  $13^\circ 31'$  latitud sur,  $71^\circ 58'$  longitud oeste, tiene 13 provincias ubicadas en diferentes pisos ecológicos. Hasta aproximadamente 7 años atrás, solo dos estaciones meteorológicas (todas ubicadas en la ciudad del Cusco): Kayra (Universidad Nacional del Cusco), CORPAC; contaban con instrumentos para medir la radiación solar global, ninguna mide radiación solar directa ni difusa, muy importantes en algunas aplicaciones. Contando con la información de las estaciones Kayra, y de algunas provincias (Urubamba, La Convención, Espinar) que registran horas de sol o brillo solar, muchas de ellas en forma discontinuada, se ha desarrollado un estudio de correlación entre el índice de transparencia atmosférica ( $K_t$ ) y la fracción de horas de sol ( $i$ ), para la ciudad del Cusco, provincias de Urubamba, Quillabamba y departamento de Puno (Zanabria, 2003). En base a estos datos se puede determinar la energía solar global, directa y difusa para cualquier época del año.



**Figura 5.** Mapa de energía solar del Perú, promedios diarios anuales  
Fuente: SENAMHI (2003)

Para relacionar estos resultados con otras provincias y establecer niveles de radiación análogos, se ha tomado como criterio el clima, la altitud y la producción agropecuaria, estableciéndose 4 zonas:

**Zona 1:** Provincia del Cusco, Paruro, Anta, Canchis con una media diaria anual de 5,2 kW.h/m<sup>2</sup>.día.

**Zona 2:** Provincias de Urubamba, Calca y Quispicanchis, regadas por el río Vilcanota (Valle Sagrado de los Incas) donde se produce una variedad muy especial del maíz, el maíz gigante de Urubamba con una media diaria anual de 5,3 kW.h/m<sup>2</sup>.día.

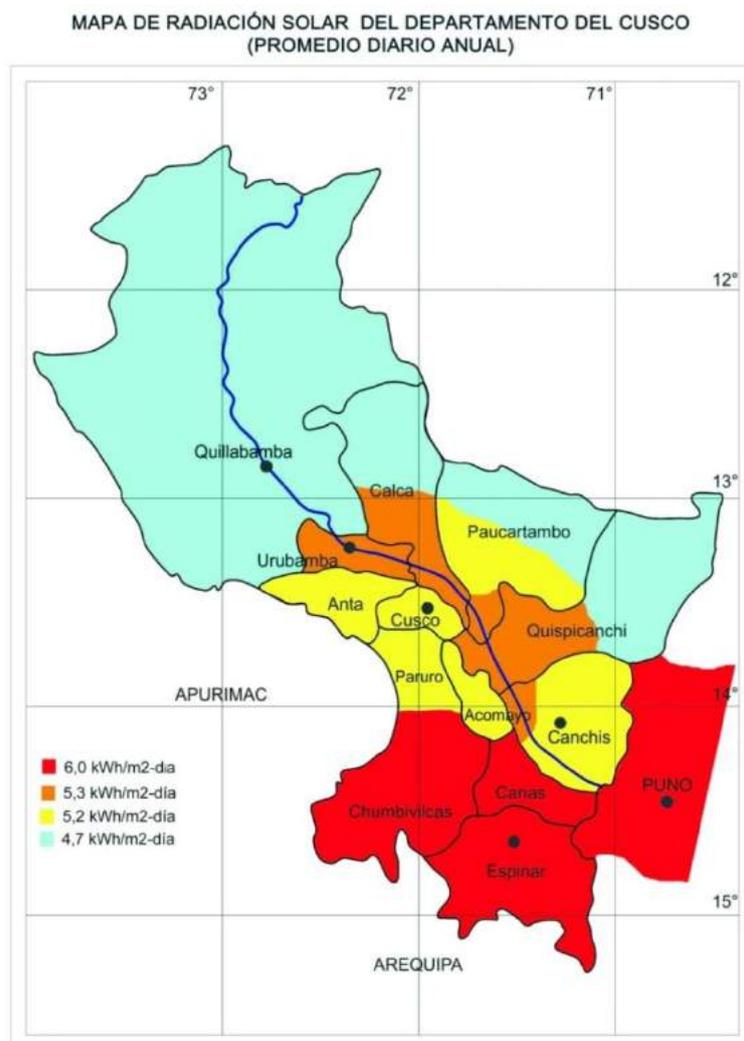
**Zona 3:** Provincias de Chumbivilcas, Canas y Espinar cuyas características climáticas y ecológicas son análogos a la zona altiplánica del departamento de Puno con un valor medio diario anual de 6,0 kW.h/m<sup>2</sup>.día.

**Zona 4:** Provincia de La Convención y las zonas de ceja de montaña de las provincias de Calca y Paucartambo con una media diaria anual de 4,6 kW.h/m<sup>2</sup>.día.

**Tabla 4.** Valores medios diarios mensuales de radiación solar en el Cusco

Mes	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4	
	kW.h/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>						
Enero	4,9	17,7	5,2	18,7	6,1	21,8	4,4	15,8
Febrero	5,2	18,7	5,6	20,2	6,2	22,2	4,3	15,6
Marzo	5,2	18,6	5,4	19,2	5,9	21,3	4,6	16,7
Abril	5,2	18,8	4,9	17,6	6,0	21,6	4,8	17,1
Mayo	5,0	17,9	5,0	17,8	5,7	20,5	4,8	17,4
Junio	4,5	16,3	4,4	16,0	5,2	18,6	4,4	15,9
Julio	4,8	17,4	4,8	17,2	5,2	18,8	4,6	16,7
Agosto	5,1	18,3	5,0	18,1	5,7	20,4	4,5	16,3
Setiembre	5,4	19,3	4,9	17,5	6,4	23,0	4,5	16,9
Octubre	5,8	20,7	6,1	22,0	6,6	23,6	5,0	18,0
Noviembre	5,9	21,4	5,9	21,2	6,6	23,8	4,9	17,5
Diciembre	5,7	20,5	5,7	20,5	6,2	22,4	4,4	15,7
<b>PROMEDIO</b>	<b>5,2</b>		<b>5,3</b>		<b>6,0</b>		<b>4,6</b>	

Fuente: Zanabria, P. (2003)

**Figura 6.** Mapa de radiación del Cusco

Fuente: Zanabria, P. (2003)

### 1.3.5. Diagramas de trayectorias del sol

El movimiento y la posición del sol en el transcurso anual, en una determinada localidad es un instrumento muy valioso para ubicar la posición del sol en cualquier época y hora del año. Los diagramas de trayectorias del sol se construyen en función de la latitud, longitud, declinación, ecuación del tiempo, duración del día, hora de entrada y salida del sol, altitud, azimut, entre otras. El autor del presente trabajo ha construido dos mapas de trayectorias del sol para el Cusco.

**Diagrama polar:** Sistema de coordenadas, donde la posición de un punto está determinada por la distancia al centro y por el ángulo polar. En este diagrama la distancia desde el centro, mide la altitud solar, el círculo exterior en dicho diagrama de posición del sol representa el horizonte, es decir  $\alpha=0$ . El centro se identifica con la vertical encima de la localidad de observación. El ángulo de azimut del sol es idéntico con el ángulo polar en el diagrama posición del sol, medido desde el S al este en las mañanas y hacia el oeste pasado el mediodía.

**Diagrama cartesiano:** Sistema de coordenadas, donde el eje horizontal representa el ángulo de azimut ( $\psi$ ), medido respecto del N, hacia el E en horas de la mañana, y al O después del mediodía. En el eje vertical la altitud solar ( $\alpha$ ). Este diagrama es de suma utilidad para determinar las sombras de edificaciones si se conoce la ubicación de su azimut y altitud. En el Capítulo 3, se estudiarán con más detalle estos instrumentos de análisis.

### 1.3.6. Características climáticas de las zonas alto andinas del Cusco

Es importante conocer las características climáticas de las zonas alto andinas del departamento del Cusco y en general del Perú, comprendidas entre los 3 000 y 4 200 msnm, donde predominan al menos 3 pisos ecológicos : Quechua (2 300 – 3 500 msnm), región templada, piso de valle interandino, con cultivos posibles : maíz, trigo, frutales y algunas hortalizas de tallo corto. Suni (3 500 - 4 000 msnm), región fría, piso intermedio con cultivos posibles: papas, habas, oca, olluco, quinua, cañihua, tarwi, etc., en el invierno se producen por lo menos 90 días de heladas. Puna (4 000 - 4 800 msnm), región helada, piso de altura, cultivos posibles: papa amarga, cebada, pastizales, etc.

Los valores medios anuales de temperatura oscilan entre los 5 °C y 11 °C, humedad relativa del 60 %, precipitación anual de 700 mm aproximadamente, con una irradiación diaria de 5 a 6,5 kW.h/m<sup>2</sup>. La velocidad y dirección del viento está determinada por la altitud, relieve y características orográficas de las diferentes zonas.

En la sierra peruana, por el curso anual de las temperaturas y por los síntomas climáticos, reina un clima tropical montañoso básicamente diferente de los climas de las zonas templadas. La diferencia anual de temperaturas, esto es, el mes más caluroso, y el mes más frío, es grande, como la diferencia de un día entre la temperatura máxima o mínima.

El verano se desarrolla en la época de lluvias (diciembre, enero, febrero y marzo, 70 % de la precipitación anual). En el invierno (mayo, junio, julio) predominan los vientos secos y fríos, donde el sol brilla en un cielo sin nubes. El cambio regular de la época de lluvias y el de la época de secas es el fenómeno más importante del clima, que estipula el ritmo de la

vida económica. Si no hay un regadío artificial, la agricultura queda limitada a practicarse solamente en la época de lluvias. Otro factor limitante de la agricultura en la época invernal son las temperaturas mínimas, ocurriendo frecuentemente las heladas. La Tabla 5, presenta información meteorológica para la ciudad del Cusco.

**Tabla 5.** Información meteorológica valores medios anuales (promedio de 20 años)

Meses	T <sub>máx</sub> (°C)	T <sub>mín</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	H.R. (%)	Evap (mm)	Prec (mm)	E. Solar kW.h/m <sup>2</sup> . día
Enero	19,1	7,0	13,0	68,5	62,1	138,8	5,1
Febrero	19,1	6,9	13,1	69,4	55,4	116,1	5,0
Marzo	19,4	6,5	12,9	70,1	61,1	99,6	5,3
Abril	19,9	3,9	11,4	67,7	65,3	47,6	4,9
Mayo	20,2	0,8	10,1	61,0	81,6	7,0	4,4
Junio	19,1	-1,7	9,1	58,3	88,1	2,7	4,3
Julio	19,7	-2,0	8,5	57,0	98,0	4,4	4,7
Agosto	20,2	0,1	10,1	55,0	100,2	7,2	4,8
Setiembre	20,1	3,0	11,8	55,1	90,0	21,7	5,3
Octubre	21,0	5,0	12,9	54,7	100,2	50,4	5,4
Noviembre	21,2	6,0	12,1	56,4	84,0	70,3	5,8
Diciembre	20,0	6,5	12,0	61,8	72,5	105,7	6,1
<b>PROMEDIO ANUAL</b>	<b>19,9</b>	<b>3,5</b>	<b>11,1</b>	<b>63,0</b>	<b>958,5 TOTAL</b>	<b>671,2 TOTAL</b>	<b>5,1</b>

Fuente: Estación Meteorológica de Kayra, 3 219 msnm. Cusco.

#### 1.4. El clima en el interior del invernadero

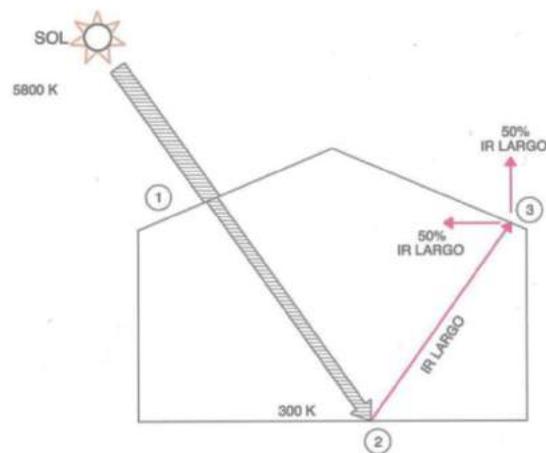
El invernadero modifica las condiciones del clima natural y da origen a un clima derivado o espontáneo dependiente básicamente de aquel, pero también del invernadero en sí, del material de cobertura, de las condiciones de renovación del aire, de la forma dimensiones y orientación del invernadero, de la cubierta vegetal presente y de las posibilidades de evaporación del suelo y de la cubierta

Las propiedades ópticas y térmicas de los materiales de cobertura han de poseer las siguientes características (Castilla, 2007).

a. Máxima transparencia a la radiación solar visible e infrarroja media, comprendida entre los 380 a 2 500 msnm. Durante el día, la radiación solar atraviesa la cubierta y es absorbida por las plantas y el suelo, el aire del invernadero se calienta, al estar confinado y no renovarse con aire fresco del exterior.

b. Opacidad máxima a la radiación térmica infrarroja (TIR) de longitud de onda larga (2500 a 2600 msnm) emitida por el suelo, la cubierta vegetal y por el material que constituye la estructura del invernadero, así mismo los materiales de cobertura deben poseer una débil emisividad.

La conjugación de ambas características origina el denominado "efecto invernadero o estufa". La intensidad de este fenómeno depende de la capacidad del invernadero para calentarse durante las horas de sol y de "guardar" el calor interno durante la noche. Es preciso indicar que la intensidad antes mencionada está también en relación con las características constructivas del invernadero: forma, volumen por unidad de superficie, orientación, naturaleza de la estructura, así como de las características de fijación de los materiales de cubierta.



**Figura 7.** Efecto invernadero

Fuente: Castilla, N. (2007)

De noche, la diferencia de temperatura con el exterior es el resultado de un balance complejo en el que influyen, sobre todo las características climáticas del lugar: temperaturas interior y exterior, temperatura del cielo, los intercambios de aire entre el invernadero y el exterior.

El efecto invernadero, influye notablemente en las plantas, pues al aumentar la temperatura el calor interno en la planta aumenta; la planta controla su temperatura con la transpiración. Se admite que la reacción de fotosíntesis crece con la intensidad luminosa hasta alcanzar un valor máximo que depende de la planta y del contenido de  $\text{CO}_2$  del aire; desde ese momento la asimilación de  $\text{CO}_2$  de la planta es máxima y así el crecimiento de la misma.

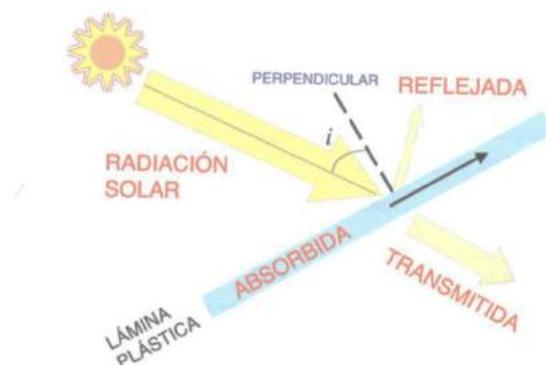
El valor máximo de intensidad luminosa varía según el cultivo entre 40 y 200  $\text{W}/\text{m}^2$  (Castilla, 2007). Si se supera dicho límite, la planta pierde su equilibrio en agua, o sea no está más en condiciones de absorber del terreno; aún con buen riego, toda el agua que ella debería evaporar para controlar la temperatura de las hojas. Cuando la planta llega a esta situación, cierra sus estomas limitando u parando completamente la absorción de  $\text{CO}_2$ . Además de la intensidad luminosa, la duración de la exposición luminosa de la planta influye sobre su crecimiento. La elección del material de cobertura es muy importante en un invernadero por los problemas señalados, de no ser así se cometerían muchos errores, sobre todo en el invierno, donde durante las primeras horas se produce el fenómeno de la inversión térmica, es decir la temperatura del interior del invernadero está por debajo de la temperatura exterior.

### 1.4.1. La radiación solar en invernadero: absortancia, transmisividad y reflectancia

Cuando un flujo de energía radiante incide sobre una superficie, una fracción ( $\rho$ ) es reflejada, una fracción ( $\alpha$ ) absorbida y el resto transmitida ( $\tau$ ), estos tres parámetros se relacionan de la siguiente manera:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad \text{ec. 4}$$

Los parámetros  $\rho$ ,  $\alpha$  y  $\tau$ , dependen del material transparente utilizado y de la longitud de onda de la radiación (visible e infrarroja). Para un cuerpo que es capaz de absorber toda la radiación incidente, la absorción es igual a la unidad.



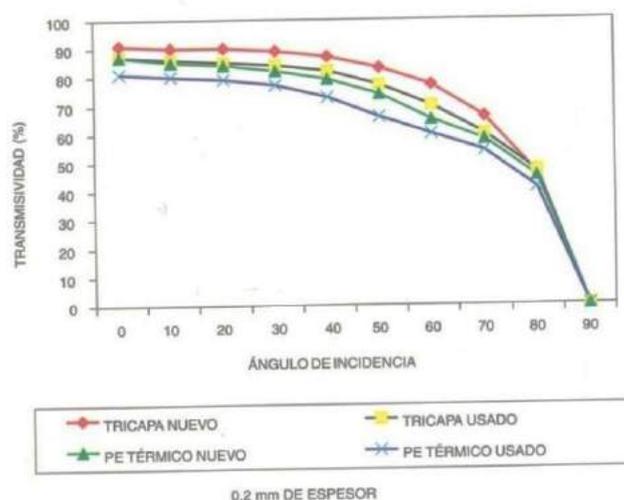
**Figura 8.** Radiación solar incidente en una lámina plástica

Fuente: Castilla, N. (2007)

La fracción de radiación solar global transmitida dentro de un invernadero es determinante en el crecimiento de las plantas dentro del invernadero y depende fundamentalmente entre otros factores de las condiciones climáticas: nubosidad (limita la radiación directa, difusa), posición del sol en el cielo, de la geometría de la cubierta del invernadero, orientación, del material de cerramiento, estructura, envejecimiento de la cobertura, etc.

La transmisividad a la radiación solar directa variará en función del ángulo de incidencia ( $i$ ), que forman el rayo solar y la perpendicular a la cubierta del invernadero. La figura 9, muestra que a mayor ángulo ( $i$ ),  $\tau$  disminuye considerablemente. En cuanto a la radiación difusa (proveniente de toda la bóveda celeste) está muy poco influenciada por la geometría de la cubierta del invernadero.

La primera alteración que genera un invernadero sobre los parámetros climáticos es la reducción de la radiación solar porque la transmisividad disminuye por los factores señalados líneas arriba.



**Figura 9.** Transmisividad a radiación directa (%) según el ángulo de incidencia (i)  
Fuente: Castilla, N. (2007)

#### 1.4.2. Orientación, forma del invernadero y transmisividad

La orientación del invernadero está determinada por el eje mayor (dirección longitudinal de la línea de cumbrera). Para establecer la orientación más conveniente, es necesario considerar globalmente: el viento, la topografía, el período de utilización del invernadero, la estacionalidad, el movimiento aparente y posición del sol.

En la sección 3.3.1, se analizarán las herramientas para el estudio del recurso solar y trayectorias del sol, importantes en los análisis de sombras y posición del sol a lo largo del año.

En la región Cusco, se deberá tomar en consideración el recurso solar, los mapas de trayectorias del sol y la climatología, por ello se recomiendan los siguientes aspectos:

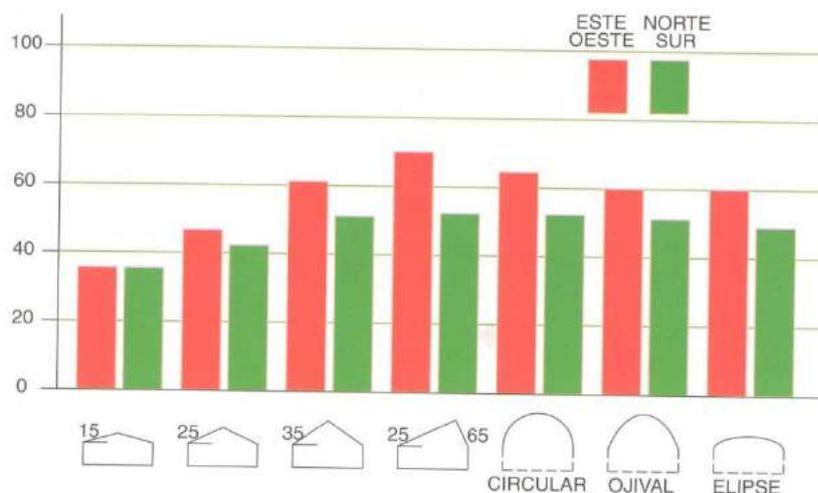
Un invernadero con una sola agua, deberá orientarse mirando hacia el N, para recibir más luz durante todo el año. Un invernadero a dos aguas orientado N-S (eje), tendrá menor iluminación en otoño e invierno, con una menor transmisividad, porque los rayos de sol no caerán en forma perpendicular a la superficie del invernadero, la radiación solar reflejada será mayor que la transmitida.

Un invernadero a dos aguas orientado E-O, permite exponer la pared y mitad del techo longitudinal norte a la radiación solar del otoño e invierno, mejorando la transmisividad al interior del invernadero, reduciéndose la fracción reflejada.

Un invernadero de techo curvo: semicircular, semi-elíptico, presenta mejores condiciones para captar mayor radiación en la orientación E-O, en cualquier época del año.

En la figura 10, se muestra la transmisividad para diferentes geometrías de cubiertas de invernadero, para el solsticio de invierno en Bélgica (51° LN), observándose que en la orientación Este-Oeste (E-O) la transmisividad es mayor para todos los tipos de geometría que los orientados Norte-Sur (N-S). Sin embargo la ubicación y orientación de los

invernaderos, por lo general está supeditada a la disponibilidad del terreno y el agua.



**Figura 10.** Transmisividad de diversas geometrías de cubiertas de invernaderos (mono capilla) en el solsticio de invierno (21 de diciembre), a la latitud de Bélgica (51° N), según su orientación E-O o N-S.

Fuente: Castilla, N. (2007)

### Forma del invernadero

La cubierta a dos aguas presenta menor superficie que la forma curva por unidad de superficie cubierta y limita las pérdidas de calor, pero también recibe menos luz. Estas estructuras pueden construirse de materiales rústicos y son más económicos que las curvas.

Las cubiertas curvas, en sus diferentes variantes (semicircular, asa de cesto, fusiforme, elíptica, etc.), admiten mayor transmisividad e iluminación que las formas rectas. Las inclinaciones normales de los invernaderos a dos aguas van de 15 a 25°.

La difusión es una característica importante en los materiales de cobertura, que impide formación de sombras y permite un mayor rendimiento luminoso. En tiempo despejado un 20 % de la luz es difusa en el aire libre, mientras que en invernaderos plásticos a veces es superior al 60 %.

#### 1.4.3. Características de las cubiertas de plástico

El nombre de plásticos deriva de su característica principal que es la plasticidad o capacidad de ser moldeado. Los plásticos están compuestos por macromoléculas (polímeros), formadas por unión de otras moléculas más pequeñas (monómeros), que se obtienen por procesos industriales de la polimerización y aditivos (Díaz, Espí, Fontecha, Jiménez, López y Salmerón, 2001). La casi totalidad de los monómeros empleados en la industria de los plásticos procede del petróleo.

Los plásticos se emplean en numerosas aplicaciones agrícolas, tanto en forma de filmes (cubiertas para túneles, invernaderos, acolchados, solarización, ensilaje, etc.), como en otras formas (tuberías, rafia, cajas, etc.).

Una de las características comunes a todos los filmes plásticos es su bajo peso respecto a los materiales tradicionales como el vidrio, según se observa en la Tabla 6:

**Tabla 6.** Densidades de diferentes materiales

<b>Material</b>		<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Polietileno de baja densidad	(LDPE)	0,915 - 0,93
Polietileno de alta densidad	(HDPE)	0,94 - 0,96
Polipropileno	(PP)	0,90 - 0,91
Copolímero etileno-acetato de vinilo	(EVA)	0,92 - 0,93
Policloruro de vinilo (flexible)	(PVC)	1,25 - 1,50
Policloruro de vinilo (rígido normal)	(PVC)	1,35 - 1,46
Policloruro de vinilo (alto impacto)	(PVC)	1,34 - 1,40
Poliestireno cristal	(PS)	1,05
Poliestireno antichoque	(PS)	1,04 - 1,07
Poliamida	(PA)	1,03 - 1,14
Poli metacrilato de metilo	(PMMA)	1,18
Poliéster/Fibra de vidrio		1,50 - 1,60
Vidrio		2,40

Fuente: Díaz et al., (2001)

La densidad de los plásticos es una ventaja porque facilita el manejo, la colocación, el transporte, que las estructuras sean menos rígidas, etc. Por ejemplo, 1 m<sup>2</sup> de filme de LDPE con un espesor de 200 µm, pesa alrededor de 184 g, un filme de las mismas dimensiones de PVC pesa en torno a 260 g, mientras que una placa de vidrio de 1 m<sup>2</sup> y 2,7 mm de espesor pesa 6,5 kg.

Los materiales plásticos más utilizados para filmes agrícolas son (Díaz et al., 2001):

- Polietileno de baja densidad (LDPE) y lineal de baja densidad (LLDPE), cuando son de larga duración y tienen foto estabilizadores contra los rayos UV, se designan como PE-LD (larga duración) o PE-UV (ultravioleta).
- Copolímeros de etileno y monómeros polares, principalmente acetato de vinilo (EVA) y en menor proporción, acrilato de butilo (EVA).
- Policloruro de vinilo (PVC) plastificado.

Además de buenas propiedades físicas y mecánicas, los plásticos deben tener propiedades térmicas, para ello se incorporan aditivos bloqueadores del IR-largo (infrarrojo), obteniéndose un PE térmico o infrarrojo (PE-IR) que limita la inversión térmica en el invernadero.

### **Los aditivos en los plásticos**

Díaz et al., (2001), en su libro “Los filmes plásticos en la producción agrícola”, presenta un estudio detallado de los diferentes plásticos, sus propiedades y características, en particular sobre su estructura molecular y los diferentes aditivos que se incorporan en el proceso de fabricación. A continuación resumimos los aspectos más relevantes: los aditivos funcionales más importantes son los foto estabilizadores, los antiácidos, los bloqueadores de la radiación infrarroja larga (rango de 7 a 14 µm), los modificadores de la tensión superficial, los bloqueadores de la radiación infrarroja corta y los aditivos de luminiscencia.

Los foto estabilizadores tienen como finalidad retrasar el envejecimiento de las láminas agrícolas, derivado de la degradación del polímero por la acción de los rayos UV del sol. Entre los foto estabilizadores cabe citar, los complejos de níquel (*quencher*) y diversos compuestos orgánicos, entre los que se citan los derivados de benzo-fenona y los “HALS” (acrónimo del inglés “*Hindered Amine Light Stabilizers*”), así como sus mezclas. Dentro de los foto estabilizadores, la última generación de HALS es la que se conoce como NOR-HALS. Estos compuestos presentan una mayor estabilidad frente a los pesticidas y otros ambientes ácidos agresivos que los HALS tradicionales y se utilizan en los filmes de duración más largos o en los empleados en invernaderos donde se utilice azufre (cultivos de rosas). Los complejos de níquel, hoy cuestionados por motivos medioambientales, dan al filme un color amarillo verdoso, mientras que los “HALS” son incoloros.

Los aditivos antiácidos mejoran la resistencia de los “HALS”, alargando su efecto foto estabilizador, el óxido de zinc, empleado como antiácido, tiene también un efecto difusor de la luz en la lámina que lo incorpora.

Los bloqueadores de la radiación IR (infrarroja) ha permitido la fabricación de los filmes de polietileno térmico, mejorando la termicidad de los filmes de polietileno ordinario. Estos productos pueden ser cargas minerales de diverso tipo: silicatos naturales o sintéticos, hidróxidos de aluminio (hoy en desuso) o de magnesio (Díaz et al., 2001). Los aditivos modificadores de la tensión superficial son de dos tipos:

- a. Los antiestáticos que tienen un efecto “anti polvo” evitando la atracción de polvo por electricidad estática en la cara exterior del filme, sin embargo hacen que la superficie del filme sea pegajosa y donde se pega el polvo arrastrado por el viento y se desprende con mucha dificultad por la lluvia, por lo que ya no se usan.
- b. Los “anti goteo” que evitan la formación de gotas en la cara interior del filme aumentando la tensión superficial del filme, de modo que la condensación de agua se efectúa en forma de película (Díaz et al., 2001).

Los bloqueadores de la fracción infrarroja de la radiación solar (conocida como NIR del inglés “Near Infra Red”, infrarrojo próximo, entre 760 y 2 500 msnm), cuando son incorporados a una lámina plástica de un invernadero, evitan la entrada de la radiación térmica calorífica, limitando el calentamiento del invernadero. Ello permite reducir el “efecto invernadero” en zonas de clima cálido (Díaz et al., 2001).

Los aditivos de luminiscencia (fluorescentes o fosforescentes) permiten alterar la calidad de luz transmitida a través de los filmes que los contienen. Estos aditivos absorben las longitudes de onda menos aprovechables por las plantas transformándolas en otras más efectivas para la fotosíntesis. Normalmente este efecto se consigue reconvirtiendo la radiación UV (que es absorbida) en radiación visible o reconvirtiendo radiación verde en roja, que es más eficiente para el proceso fotosintético. (Yanagi, 1996, citado por Castilla, 2007).

Otro tipo de aditivos de interés en los filmes de invernadero lo constituyen los que alteran la relación R/FR (rojo/rojo lejano, del inglés “Red/Far Red”) de la luz, de gran incidencia en la fotomorfogénesis de las plantas, a través del pigmento vegetal “fotocromo”.

Los aditivos que bloquean los rayos ultravioleta de la radiación solar afecta al comportamiento de los insectos, al limitar su capacidad de visión, y al desarrollo de algunas enfermedades (hongos).

### **Concepto de fotodegradación**

La radiación UV es parte del espectro solar, responsable de la degradación de los filmes (plásticos) agrícolas durante su exposición a la intemperie, ya que engloba las longitudes de onda con mayor contenido energético, esta alta energía fotónica es suficiente para romper algunos de los enlaces químicos presentes en el polímero (LDPE: polietileno de baja densidad, EVA: acetato de vinilo). Sin embargo, la fotodegradación de estos polímeros, químicamente puros, es muy lenta debido a los bajos rendimientos cuánticos (número de moléculas que reaccionan por cuanto de luz absorbida) de las reacciones de rotura y a sus débiles absorbancias frente a las radiaciones del espectro solar. Se dice que un plástico es fotodegradable cuando la degradación se produce, por tanto, como resultado de la acción de la luz natural.

También son particularmente sensibles a la foto degradación plásticos tipo PVC, poliolefinas, ésteres de celulosa, PS y poliamidas. Como se ha explicado en el acápite anterior, la adición de foto estabilizantes fotoquímicos (absorbentes o disipadores de luz), absorben la radiación UV y retrasan el envejecimiento de los plásticos.

### **1.5. Balance térmico de un invernadero<sup>1</sup>**

Un invernadero, básicamente está constituido por una estructura rígida, más o menos compleja, la que se cubre con una cubierta transparente, generalmente plástico (polietileno) especial, delimitando un recinto cerrado y hermético, en cuyo interior se cultiva el producto deseado.

Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos, publicación redactada por Valera, Molina y Álvarez (2008), presenta un estudio y metodología para calcular el balance térmico de un invernadero.

#### **Condiciones meteorológicas que influyen en las necesidades energéticas**

En el cálculo de las necesidades de climatización del invernadero ( $Q_{cli}$ ) intervienen tanto las condiciones climáticas a las que está expuesto el invernadero como las condiciones climáticas que es necesario mantener en su interior para el correcto desarrollo de los cultivos.

Los principales datos climáticos que caracterizan el clima de una zona son los siguientes:

- Intensidad máxima de radiación solar
- Temperatura y humedad exteriores
- Dirección y velocidad media del viento

---

<sup>1</sup> En esta sección, los textos y fórmulas, hacen referencia a un conjunto de autores, citados por Valera, Molina y Álvarez (2008), en su obra, Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos.

El principal parámetro en el balance energético de un invernadero es la temperatura exterior, que determina de forma directa las necesidades de refrigeración y calefacción. Existen diferentes valores de temperatura exterior que se pueden utilizar en el diseño de los sistemas de climatización. Los principales valores de temperatura exterior que se pueden considerar son:

- Temperatura media mensual del mes más cálido
- Temperatura media de las máximas diarias del mes más cálido
- Temperatura máxima absoluta del año
- Temperatura media mensual del mes más frío
- Temperatura media de las mínimas mensuales
- Temperatura mínima absoluta del año

Las necesidades energéticas del invernadero dependen fundamentalmente del salto térmico, es decir, la diferencia entre la temperatura interior y exterior que se desea mantener. En la Tabla 7, se presentan algunos de estos valores.

**Tabla 7.** Potencia instalada media y necesidades de calefacción en función del gradiente térmico

Salto térmico ( $T_i - T_e$ ) °C	Potencia caldera ( $W.m^{-2}$ )	Necesidades reales ( $W.m^{-2}$ )
5	115	50
10	175	105
15	290	121

Por el contrario, los sistemas de refrigeración se diseñarán para poder mantener unas condiciones térmicas adecuadas para el desarrollo de las plantas durante el periodo diurno en la época estival. Además de la temperatura del aire es importante mantener un adecuado régimen higrométrico Tabla 8, para evitar el estrés hídrico provocado cuando su valor descende demasiado, o la condensación de agua sobre el cultivo o la cubierta del invernadero son excesivas.

**Tabla 8.** Valores de humedad y concentración de  $CO_2$  adecuados a cada cultivo hortícola en invernadero

Especie	Temperatura óptima del sustrato (°C)	$CO_2$ (ppm)	Humedad relativa (%)
Tomate	15 – 20	1000 – 2000	55 – 60
Pepino	20 – 21	1000 – 3000	70 – 90
Melón	20 – 22	-	60 – 80
Sandía	15 – 20	-	-
Pimiento	15 – 20	-	65 – 70
Berenjena	15 – 20	-	65 – 70

Fuente: Tesis (2001), citado por Valera, Molina y Álvarez, 2008.

El análisis de los diferentes términos, permite diseñar sistemas que mejoren la inercia térmica del invernadero.

Los términos que intervienen en el balance energético de un invernadero se indican en forma de intensidad de energía (potencia). Según el primer principio de la termodinámica, la energía ganada por el sistema se equilibra con la energía perdida por el mismo. Sin

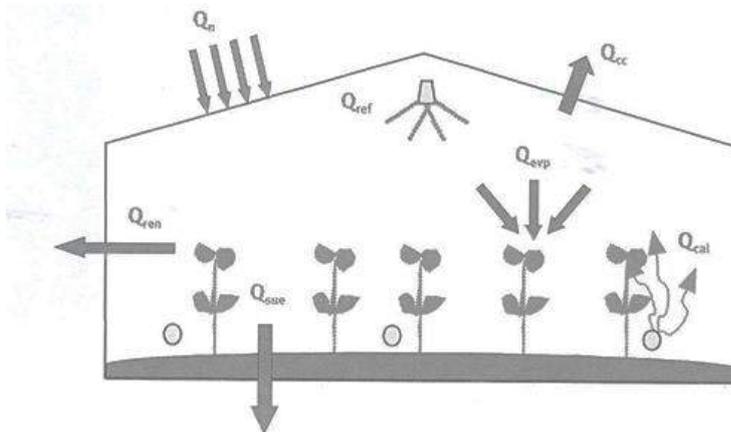
embargo, cada autor suele considerar una serie de componentes del balance energético despreciando otros. Existen diversos modelos simplificados del balance de energía (Walker, 1965, 1976; Kindelan, 1980; Arinze, 1984; Boulard y Baille, 1987; Al-Jamal, 1994; Baille, 1996).

Una forma simplificada de la ecuación del balance de energía en el invernadero puede ser:

$$R_n + Q_{cli} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evp} + Q_s \quad (W) \quad \text{ec. 5}$$

El primer miembro de la ecuación es la energía ganada por el invernadero, mientras que el segundo miembro, la energía perdida por el aire del invernadero; donde:

- $R_n$  : Radiación neta
- $Q_{cli}$  : Energía calorífica que es necesario aportar ( $Q_{cal}$ ) o eliminar ( $Q_{ref}$ ) del invernadero
- $Q_{cc}$  : Calor perdido por conducción-convección
- $Q_{ren}$  : Calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior
- $Q_{evp}$  : Calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo
- $Q_s$  : Flujo de calor perdido por conducción a través del suelo



**Figura 11.** Balance energético de un invernadero

En el presente trabajo tomaremos fórmulas simplificadas para calcular las pérdidas en un invernadero, para el periodo nocturno, de tal forma que el primer miembro de la ecuación 5 sea nulo, así mismo obviaremos el cálculo del término  $Q_{evp}$ : calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo, resultando en consecuencia:

$$Q' = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_s + Q_{rad} \quad (W) \quad \text{ec. 6}$$

#### a. $Q_{cc}$ : Pérdidas de calor por conducción-convección

Estas pérdidas se producen a través de las paredes y el techo

$$Q_{cc} = S_d \cdot K_{cc} \cdot (T_i - T_e) \quad (W) \quad \text{ec. 7}$$

Siendo  $S_d$  la superficie desarrollada de la cubierta del invernadero ( $m^2$ ),  $T_i$  la temperatura interior ( $^{\circ}C$ ) y  $T_e$  la temperatura exterior ( $^{\circ}C$ ).

El coeficiente global de pérdidas de calor por conducción-convección es:

$$K_{cc} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{1}{h_e}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}) \quad \text{ec. 8}$$

Dónde:

$e_c$  : espesor del material de cobertura (m), para el polietileno  $2 \times 10^{-4}$  m (200 $\mu$ m)  
 $\lambda_c$  : conductibilidad térmica del material de cobertura (W/m.K), para el polietileno de baja densidad es : 0,45 W/m.K , (Anexo 2)

$h_e$  : coeficiente superficial de convección para el ambiente exterior del invernadero, para el invernadero con cubierta de polietileno:  $h_e = 0,95 + 6,76 \cdot v^{0,49}$  ,  
 $v$ =velocidad del viento.

$\Delta T = T_i - T_e$  = salto térmico entre el interior y el exterior del invernadero (media de mínimas mensuales) (K)

$V$  : velocidad del viento (m/s)

$h_i$  : coeficiente superficial de convección para el ambiente interior del invernadero en función de la temperatura de la cubierta ( $T_c$ ) y del aire ( $T_i$ ), es:

$$h_i = 1,95 (T_c - T_i)^{0,3} \quad (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}), \text{ para } (T_c - T_i) \leq 11,1^\circ\text{C} \quad \text{ec. 9}$$

(Papadakis, 1992)

$$h_i = 7,2 \quad (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}), \text{ para } (T_c - T_i) > 11,1^\circ\text{C} \quad \text{ec. 10}$$

(Garzoli y Blackwell, 1987)

## b. $Q_{ren}$ : Pérdidas por renovación del aire

La entrada de aire procedente del exterior supone una pérdida o ganancia de energía según las diferencias de temperatura y humedad en el exterior:

$$Q_{ren} = V_{inv} \cdot R/3600 \cdot \rho \cdot [C_{pa} \cdot (T_i - T_e) + \lambda_o \cdot (X_i - X_e) + C_{pv} \cdot (X_i \cdot T_i - X_e \cdot T_e)] \quad (\text{W}) \quad \text{ec. 11}$$

donde:

$V_{inv}$  : volumen del invernadero ( $\text{m}^3$ )

$C_{pa}$  : calor específico del aire (a  $0^\circ\text{C}$  es 1006,92540 J/kg·K)

$C_{pv}$  : calor específico del vapor recalentado (a  $0^\circ\text{C}$  es 1875,6864 J/kg·K)

$X_i, X_e$  : humedades absolutas interiores y exteriores, respectivamente (kg/kg)

Esta fórmula es muy compleja, y debe ser tomada en cuenta para análisis termodinámicos más exactos. Existen fórmulas empíricas mucho más sencillas para calcular las pérdidas por renovación de aire, por ejemplo como primera aproximación para calcular dichas pérdidas se puede emplear la fórmula de Bordes, 1992; y está dada por:

$$Q_{ren} = 0,35 R V_{inv} (T_i - T_e) \quad (\text{W}) \quad \text{ec. 12}$$

R= número de renovaciones por hora (del aire contenido en el invernadero) (h-1), es una función de la estanqueidad del invernadero y de la velocidad del viento exterior,  
 $V_{inv}$ = volumen del invernadero en  $m^3$ .  
 $(T_i - T_e)$  = salto térmico, °C.

En la Tabla 9 se presentan algunos valores de R.

**Tabla 9.** Renovaciones de aire en invernadero

Sistema de construcción	Renovaciones horarias (viento en calma)
Construcción nueva, vidrio o placa de poliéster	0,75 a 1,5
Construcción nueva, doble lámina de PE	0,5 a 1,0
Construcción vieja, vidrio, mantenimiento bueno	1 a 2
Construcción vieja, vidrio, mantenimiento malo	2 a 4

Fuente: Matallana y Marfá (1980)

### c. $Q_s$ : Pérdidas por conducción a través del suelo

$$Q_s = K_s \cdot S_c \cdot (T_i - T_s) / p \quad (W) \quad \text{ec. 13}$$

$K_s$  = coeficiente de conductividad térmica del suelo (W/m.°C), para la tierra húmeda vale 2, para tierra seca 1.

$S_c$  = Superficie del suelo,  $m^2$

$\Delta T = T_i - T_s$  = salto térmico entre el aire del invernadero ( $T_i$ ) y la temperatura del suelo ( $T_s$ ), (°C)

$p$  = profundidad a la que se estima la diferencia de temperatura (m)

### d. $Q_{rad}$ : Pérdidas por radiación

Las pérdidas por radiación, no solo se deben a las propiedades del material de cobertura frente a la radiación infrarroja sino a la energía emitida que es una función de la temperatura de la misma. De acuerdo con lo anterior los materiales de cobertura no solo deben ser opacos a la radiación infrarroja sino que deben poseer una débil emisividad ( $\epsilon$ ). Esto último está íntimamente unido a la teoría del cuerpo negro.

La radiación emitida por un cuerpo depende de la superficie, la naturaleza del cuerpo y su temperatura. Se admite que la radiación emitida por un cuerpo tiene la misma intensidad en todas las direcciones. Si dos cuerpos están a distinta temperatura, intercambiarán radiación. La transmisión neta se expresa (Urban, 1977):

$$Q_{1-2} = S_1 F_{1-2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \epsilon_1 \epsilon_2 \quad (W) \quad \text{ec. 14}$$

$Q_{1-2}$  = Calor intercambiado por radiación del cuerpo 1 que llega al cuerpo 2 (W)

$S_1$  = Superficie del cuerpo 1 ( $m^2$ )

$F_{1-2}$  = Fracción de energía emitida por el cuerpo 1 que llega al cuerpo 2 (adimensional)

$T_1$  y  $T_2$  = Temperaturas absolutas de la superficie de los cuerpos 1 y 2 (K)

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$\epsilon_1 \epsilon_2$  = emisividad de los cuerpos 1 y 2

Para calcular las pérdidas de calor nocturnas por radiación a través de la cubierta de un invernadero, considerando el invernadero en su conjunto como el cuerpo 1 y el resto de la bóveda celeste (cuerpo 2), la fórmula sería (Montero, 1988):

$$Q_{1-2} = S_1 F_{1-2} \sigma \varepsilon ( T_i^4 - T_{\text{cielo}}^4 ) \quad (\text{W}) \quad \text{ec. 15}$$

$S_1$  = superficie radiante del suelo del invernadero ( $\text{m}^2$ )

$F_{1-2} = 1$

$T_i$  = temperatura absoluta interior del invernadero (K)

$T_{\text{cielo}} = 0,055 T_e^{1,5}$ , donde  $T_e$  es la temperatura del aire exterior al invernadero

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

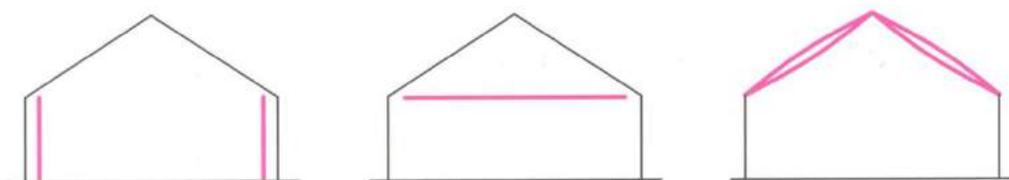
$\varepsilon$  = emisividad (para el polietileno) = 0,8

### 1.5.1. Métodos de aislamiento y formas de evitar el enfriamiento en invernaderos

La temperatura del invernadero dependerá del balance de energía, para evitar el descenso de la temperatura en el interior, se deberá reducir las pérdidas de calor y mantener los aportes diurnos de calor. Cuando los aportes naturales (radiación solar) son insuficientes, se recurre a los métodos de calefacción artificiales usando fuentes de energía convencionales: gas, petróleo, electricidad, para el calentamiento de aire, o el uso de energías renovables: solar, biomasa para generar calor.

La reducción de calor se consigue principalmente, reduciendo las superficies de intercambio calórico y las pérdidas por unidad de superficie, utilizando dispositivos de aislamiento y empleando cortavientos.

El balance energético de un invernadero permite buscar formas para reducir dichas pérdidas, en las estaciones de otoño e invierno, cuanto más grande sea el salto térmico  $\Delta T = T_i - T_e$ , mayores serán las pérdidas. Así por ejemplo para reducir las pérdidas por unidad de superficie, en particular las pérdidas por radiación, se emplean pantallas anti radiativas por sobre los cultivos o encima de la cubierta, se deberá usar pantallas poco permeables a la radiación infrarroja larga: telas, arpilleras o polietileno térmico, desplegadas durante las noches frías. En otros casos se emplean dobles cubiertas del mismo material de cubierta, dejando entre ambas un volumen de aire que sirve como aislante, se deberá evaluar en cada caso la reducción de la transmisividad de la luz. En otros casos se usan dobles cubiertas infladas, todos estos sistemas deberán ser versátiles de fácil manejo y sobre todo se deberá evaluar los costos y beneficios de las innovaciones. En la mayoría de las aplicaciones están pantallas sólo se usan de noche.

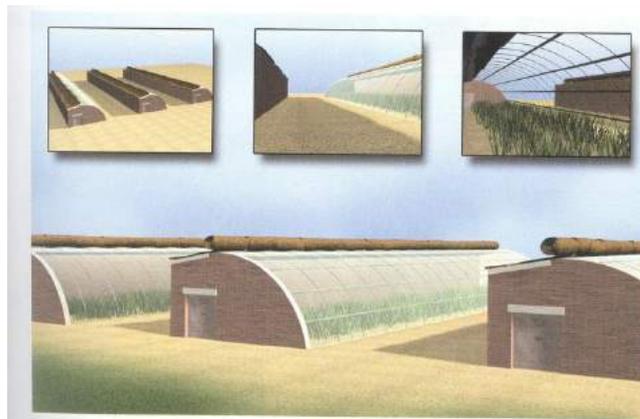


**Figura 12.** Dispositivos de aislamiento en invernaderos con pantallas térmicas móviles

Fuente: Castilla, N. (2007)

Las pérdidas con conducción-convección se disminuyen minimizando los efectos del viento exterior, protegiendo el invernadero por cortavientos, mejorando la estanqueidad, sellando puertas, ventanas y la fijación adecuada de los plásticos. Otra forma de evitar estas pérdidas es la de reducir el área de la cubierta plástica en las paredes perimetrales y mejorando la captación de la energía solar orientando el invernadero hacia el N en nuestra latitud como si se tratara de un colector solar.

Una aplicación interesante son los invernaderos desarrollados en la China para zonas frías, el aislamiento de la pared orientada al norte (hemisferio norte), y el uso de una especie de estera que se coloca de noche sobre la cubierta del invernadero, son efectivas para reducir las pérdidas de calor en el período nocturno.



**Figura 13.** Invernadero chino para zonas frías, reduce las pérdidas por radiación, conducción-convección.  
Fuente: Díaz et al., (2001)

### 1.5.2. Altas temperaturas en el invernadero

Las altas temperaturas en el invernadero crean trastornos en las plantas, por lo que es necesario reducir los aportes de energía y eliminar los excesos de la misma, para ello se eliminan los sistemas artificiales de calefacción, en otros sistemas naturales limitar la radiación solar, mediante el sombreado, interior o exterior al invernadero. Las altas temperaturas también se reducen con ventilación natural o forzada, en muchos casos la ventilación natural es suficiente.

La aireación o ventilación es el intercambio de aire entre el invernadero y el exterior, esto se realiza a través de puertas y ventanas. La renovación del aire permite evacuar calor en exceso y reducir la temperatura del aire, modificar la humedad atmosférica, evacuando el aire interior enriquecido de vapor de agua por la transpiración de las plantas y modificar la composición gaseosa de la atmósfera en especial del  $\text{CO}_2$ .

La ventilación lateral es muy importante en invernaderos pequeños, son efectivas incluso respecto de las cenitales en la hora de renovar el aire, en invernaderos grandes (anchos superiores a 35 m) es la ventilación cenital la que predomina (Pérez-Parra, 2003). Se recomienda que el área de las ventanas es del 15 al 20 % en túneles y del 25 al 33 % en invernaderos multicapa (Wacquan, 2000)

Para protegerse de los daños por insectos y, sobre todo, de las virosis transmitidas por ellos, se puede filtrar el aire a nivel de las aperturas con la ayuda de mallas de trama fina para evitar la entrada de insectos. Estas mallas frenan el aire y reducen notablemente la ventilación, por lo que se debe aumentar el área de apertura.

Matallana y Marfá, 1980. “Los invernaderos y la crisis energética”, desarrollan una serie de alternativas, como técnicas de ahorro energético, emplear una pantalla antirradiativa, que consiste de un plástico simple, tela o arpillera colocada sobre el cultivo, debajo de la cubierta, cuya función es la de cortar la radiación que emite un cuerpo negro (suelo invernadero, plantas, etc.) y de esta forma se mejora el comportamiento térmico del invernadero. Las características y efectos principales que producen al ser instaladas en un invernadero son:

- a. Mejora el aislamiento térmico de los invernaderos, impermeables a las radiaciones infrarrojas de onda larga (rad TIR).
- b. Las pantallas térmicas son móviles o removibles; se emplean por lo general en las noches frías. Se colocan entre el cultivo y la cubierta, reduce la transferencia de calor. Esta reducción es mayor cuanto menor es la emisividad de la pantalla a la radiación infrarroja (pantallas aluminizadas). Los principales efectos que se observan:
  - Aumento de la temperatura mínima nocturna del invernadero en 2 – 3 °C, disminuyendo las pérdidas por radiación en el periodo nocturno.
  - Aumento en 1 a 2 °C la temperatura de las plantas y el suelo.
  - Reducción de las pérdidas de calor por infiltración del aire.
  - Al desplegar la pantalla al atardecer y recoger a la salida del sol, disminuyen el consumo de combustibles empleados para calefacción entre el 20 al 27 %.
- c. Una pantalla térmica posee un factor de transmisión lo más pequeño posible y un factor de reflexión lo más elevado posible en el infrarrojo medio y largo (2,5 – 40  $\mu\text{m}$ ).
- d. Las pantallas pueden ser de polietileno o poliéster con una o dos caras aluminizadas, si tiene una cara, ésta debe mirar al exterior, también suelen emplearse fibras tejidas enrollables, telas, etc. Tanto en el interior como en el exterior. En cualquiera de los casos deberá realizarse un análisis económico.

Otras alternativas de ahorro energético son: paredes dobles del invernadero, micro túneles hechos de polietileno, acolchados, cortavientos, aumento de la hermeticidad del invernadero, acumuladores de agua (bolsas, tanques, etc.).



**Figura 14a.** Micro túnel (CECADE-Cusco)



**Figura 14.b.** Acolchado y túnel removible Murcia España

En la Tabla 10, se presentan las propiedades térmicas para diferentes tipos de pantallas, donde se aprecia valores referenciales de transmisión TIR para el poliéster y polipropileno, que son componentes básicos de diferentes tipos de materiales: telas, arpilleras, plásticos, etc.

**Tabla 10.** Propiedades de diferentes tipos de pantallas térmicas

<b>Materiales</b>	<b>Transmisión-reflexión de luz solar* (%)</b>	<b>Transmisión-reflexión de rad infrarroja (TIR) %</b>	<b>Difusión solar (%)</b>	<b>Ahorro de Energía (%)</b>
<b>Poliétileno de baja densidad</b>	84 - 14	42 - 5	80	32,5
<b>Poliéster tejido</b>	39 - 58	5 - 2	29	41
<b>Poliéster aluminizado al 50%</b>	37 - 68	18 - 18	32	-
<b>Poliéster aluminizado al 75%</b>	19 - 68	9 - 27		.
<b>Poliéster aluminizado al 100%</b>	0 - 82	0 - 36	0	46,5
<b>Poliéster (PRV) 1 mm espesor **</b>	89 - 7	27 - 4	-	-
<b>Polipropileno (PP) 0,8 mm (espesor)***</b>	74 - 20	21 - 5	-	-

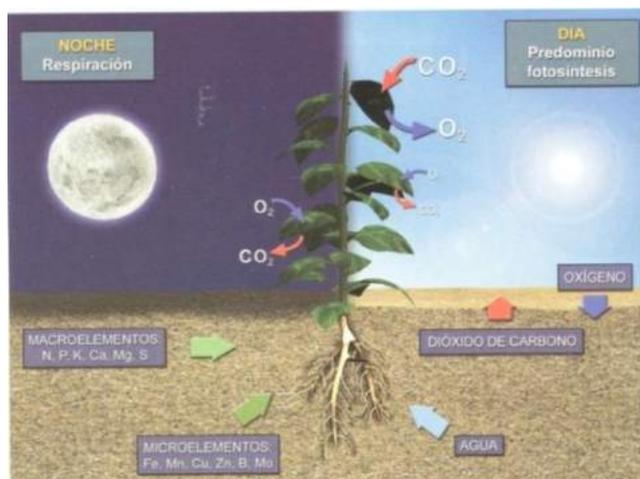
\*Angulo de incidencia de la luz solar 45°

Fuente: Baile, 1985, Pirand, 1994, \*\*Nijskens, 1984 y \*\*\* Feuilloley, 1989, citados por Valera, Molina y Álvarez, 2008.

## **1.6. Fisiología de los cultivos: fotosíntesis, respiración y otras funciones**

Las plantas, el fitoplancton y los organismos unicelulares foto sintetizadores, llamados productores primarios, sustentan el resto de los seres vivos produciendo el oxígeno necesario para su respiración y constituyendo su fuente de alimentos.

Las plantas presentan tres tipos de órganos vegetativos: raíces, tallos y hojas, además de los órganos generativos. La Figura 15, representa de forma esquemática las funciones de los diferentes órganos:



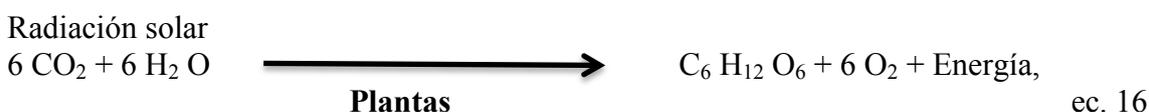
**Figura 15.** Funciones de los órganos de las plantas  
Fuente: Díaz et al., (2001)

### 1.6.1. Actividades de las hojas, funciones fisiológicas y crecimiento<sup>2</sup>

Las hojas cumplen actividades muy importantes en el proceso de fabricar sus nutrientes: la fotosíntesis, la respiración, la transpiración y la circulación de savia.

**Fotosíntesis:** La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas, utilizando la energía solar, sintetizan compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas. Todas las formas de vida existentes necesitan energía para su crecimiento y conservación. En el reino vegetal la energía empleada es la solar, mientras que los animales no pueden utilizar directamente la energía solar, empleando la energía almacenada en plantas u otros animales de los que se alimentan. Por tanto, la fuente primaria de toda energía metabólica empleada en nuestro planeta es el sol y la fotosíntesis es primordial para conservar las formas de vida, (Castilla, 2007).

En la fotosíntesis el paso más importante, químicamente, es la conversión del dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y del agua en hidratos de carbono y oxígeno. La reacción es:



La fotosíntesis puede describirse como el proceso de conversión de energía solar en energía química en los tejidos vegetales. Esta energía química es almacenada en forma de diversos compuestos (hidratos de carbono, principalmente ATP y NADPH). Mediante este proceso se fija el carbono en la molécula de los hidratos de carbono y se liberan oxígeno (O<sub>2</sub>) y compuestos altamente energéticos (ATP y NADPH), que serán posteriormente utilizadas por las plantas para formar amino-ácidos, ácidos orgánicos, Todos estos

<sup>2</sup> En las secciones 1.6.1. hasta 1.6.9, los textos y las leyendas de las figuras, hacen referencia a un conjunto de autores, cuyos trabajos son citados por Castilla N. (2007).

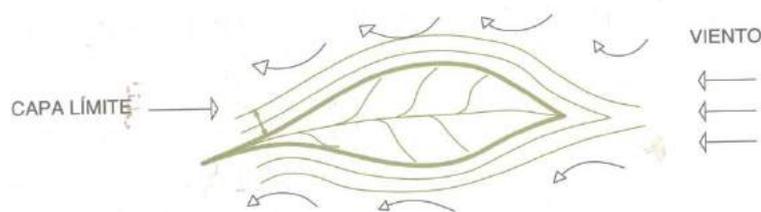
compuestos son transportados a las zonas de crecimiento, donde pasaran a formar parte de la estructura de las plantas, contribuyendo a la generación de biomasa.

La fotosíntesis depende de una serie de factores externos e internos. Los factores internos son las características de hoja (estructura, contenido de clorofila), la disponibilidad de agua, de nutrientes minerales y de enzimas, entre otros. Los factores externos más relevantes son la radiación solar incidente en las hojas, la temperatura, la humedad ambiental y la concentración de dióxido de carbono y de oxígeno en el entorno.

### 1.6.2. Factores internos que influyen en la fotosíntesis

Para acceder a los cloroplastos de los estomas (donde se realiza la fotosíntesis) el  $\text{CO}_2$  debe difundirse desde el aire exterior a la cavidad del estoma. Este acceso del  $\text{CO}_2$  hasta el estoma está dificultado por la estabilidad de las capas de aire que rodea la hoja (capa límite) y la cavidad estomática. El  $\text{CO}_2$  debe vencer estas dos barreras, que se cuantifican por su resistencia: la resistencia de la capa límite y la resistencia estomática (Gijzen, 1995). Ambas barreras limitan la fotosíntesis y controlan los flujos de vapor de agua, de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{O}_2$ , influyendo tanto en la fotosíntesis, como en la transpiración y respiración.

Todos los factores que introduzcan el cierre estomático reducen la fotosíntesis. La falta de movimiento de aire reduce, también la fotosíntesis, al aumentar el espesor de la capa límite en las hojas y elevar la resistencia a la difusión de las moléculas de  $\text{CO}_2$  (Nobel, 1974), véase la Figura 16.



**Figura 16.** Esquema de hoja y de la capa límite (capa de aire inmóvil que la rodea)

En invernaderos, la escasez de viento, en relación con el cultivo al aire libre, genera gruesas capas límite. La resistencia a la difusión gaseosa de la capa límite de las hojas puede ser notablemente superior a la de los estomas cuando los movimientos de aire son débiles, como ocurre en invernaderos cerrados (Urban, 1977). En la práctica el horticultor debe mantener un cierto movimiento de aire en el invernadero para una fotosíntesis eficiente y una producción adecuada.

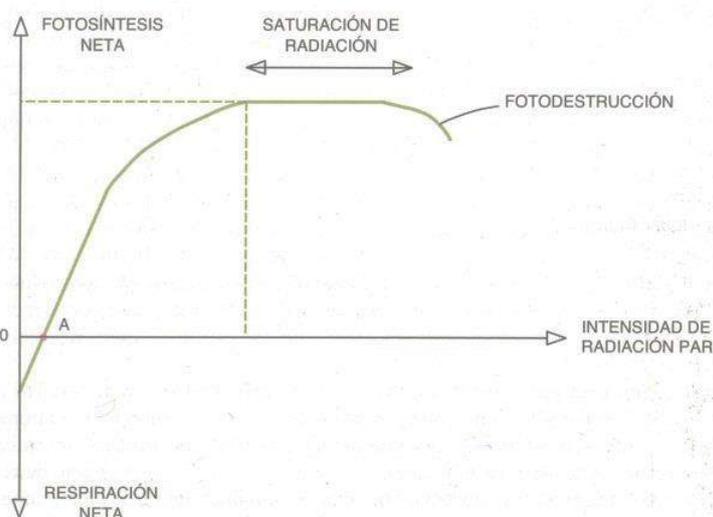
### 1.6.3. Factores externos que influyen en la fotosíntesis

#### La radiación

La fotosíntesis de una planta está influenciada por tres propiedades de la luz: la “calidad” de la luz, su “intensidad” y su “duración”. Solo una fracción de la radiación solar global es empleada en la fotosíntesis. Esta fracción se conoce como radiación PAR (del inglés «*Photosynthetic Active Radiation*»). En el rango PAR de 400 a 700 mnm (radiación visible), no todos los fotones de distinta longitud de onda tienen la misma eficiencia fotosintética. En el rango de 500 a 600 mnm (color verde) la radiación no es bien

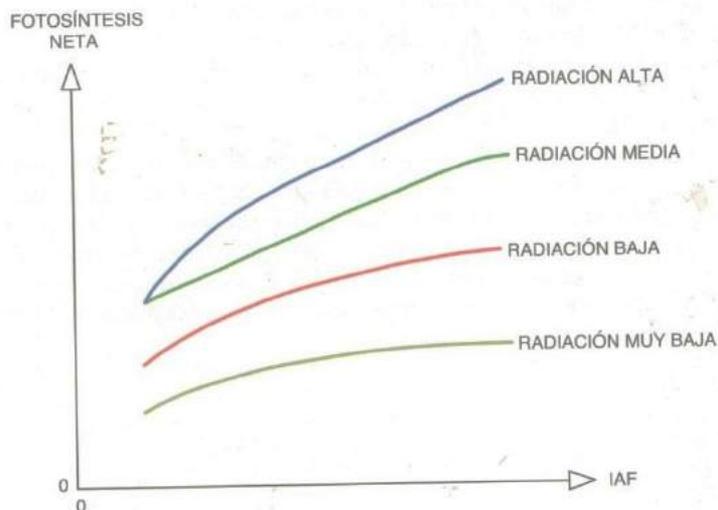
absorbida por la clorofila (reflejando parte) dando a las plantas el típico color verde (Langhams, 1997).

Existe una respuesta curvilínea de la fotosíntesis de hojas individuales a la radiación PAR absorbida, si no son limitantes otros factores como  $\text{CO}_2$  y temperatura, figura 17, (Urban, 1977). A baja radiación, la fotosíntesis puede ser inferior a las pérdidas por respiración. Ganancias y pérdidas se igualan en el punto de compensación de radiación. Una planta no puede subsistir mucho tiempo por debajo del punto de compensación. Con alta radiación el aumento de fotosíntesis deja de ser proporcional al crecimiento de radiación, llegando a alcanzar un máximo, que es el punto de crecimiento de radiación, el punto de saturación de radiación, ver Figura 17. Cuando la radiación es muy baja la iluminación artificial es más eficiente en incrementar la fotosíntesis que cuando la radiación es alta.



**Figura 17.** Respuesta de la fotosíntesis a la radiación PAR. A: punto de compensación de radiación. (Adaptada de Hall, 1977)

La radiación controla la fotosíntesis no sólo por su intensidad, Figura 18, sino también a través de las longitudes de onda disponibles y su duración.

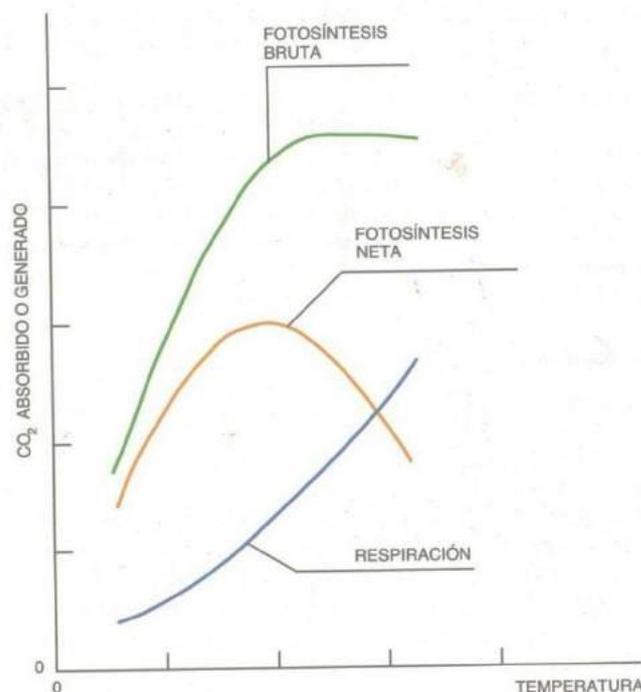


**Figura 18.** Fotosíntesis neta en función del Índice de Área Foliar (IAF) y de la intensidad de la radiación (adaptada de Urban, 1997)

Se distingue entre plantas de sombra y plantas exigentes en la luz, según su respuesta a la radiación. En las plantas de sombra, el punto de saturación se alcanza con poca radiación, lo que no ocurre en plantas exigentes en la luz, en las cuales el punto de compensación es más alto. Las especies hortícolas comestibles suelen tener punto de compensación más elevados (Urban, 1977).

Bajos niveles de intensidad de radiación en la mayoría de las plantas inducen hojas pequeñas (con mayor índice longitud/anchura), entrenudos más largos, menor concentración de clorofila y menor peso seco. Los niveles altos de radiación inducen la estimulación del crecimiento de ramificación, la proliferación de puntos de crecimiento, la posible fotodestrucción de la clorofila (conocida como «*bleaching*») y en casos extremos, generan estrés atribuible a excesos de radiación de algunos rangos. También se producen el calentamiento de las hojas aumentando el consumo de agua, y desecación de la planta.

Este nivel de saturación de radiación depende también de otros factores: de la temperatura y del contenido de  $\text{CO}_2$  del aire (Figura 19). (Urban, 1997). El exceso de radiación puede dañar el aparato fotosintético: las hojas pueden blanquearse y disminuye la tasa de fotosíntesis.



**Figura 19.** Efecto de la temperatura en la respiración y en las fotosíntesis bruta y neta de una planta tipo C3 (adaptada de Mastalerz, 1977)

En la naturaleza, en condiciones de poca luz o de sombra, las hojas tienden a colocarse horizontalmente, para interceptar el máximo de radiación en un proceso de adaptación de las plantas que implica un mecanismo de selección natural a largo plazo. Cuando la intensidad lumínica es alta, las hojas tienden a una posición más vertical.

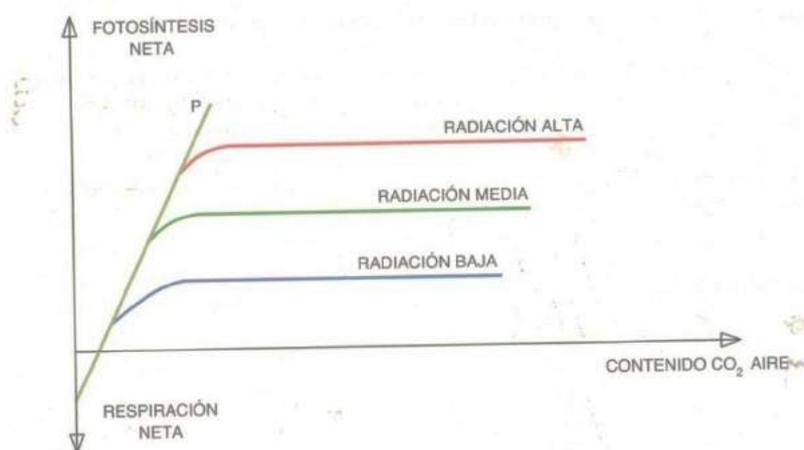
### 1.6.4. Temperatura

La actividad fotosintética tiene una clara respuesta a la temperatura; muestra un mínimo (sobre 5 °C), alcanza un óptimo (de 25 a 35 °C en la mayoría de las especies hortícolas) y disminuye a valores superiores (Urban, 1997).

La temperatura óptima aumenta con el nivel de radiación y de CO<sub>2</sub> (Acock, 1990). En la práctica, no es de interés mantener temperaturas altas con baja radiación (no calefaccionar demasiado en días de poca luz). Con temperaturas altas los cultivos crecen mejor con radiación elevada; por ello, hay que tratar de limitar los sombreos en cultivos hortícolas usuales (que son exigentes en radiación).

### 1.6.5. CO<sub>2</sub>

La tasa de fotosíntesis es casi proporcional al contenido de CO<sub>2</sub> del aire (Urban, 1997), Figura 20. El umbral crítico de CO<sub>2</sub> por debajo del cual el balance de carbono es negativo (respiración supera a la fotosíntesis), es normalmente menor de 200 ppm (Gijzen, 1995).



**Figura 20.** Fotosíntesis neta en función del contenido de CO<sub>2</sub> del aire, con diferentes intensidades de radiación. La figura esquematiza el «principio de los factores limitantes» aplicado a la radiación (adaptada de Mastalerz, 1977).

**P:** línea de fotosíntesis neta potencial.

Los mayores contenidos de CO<sub>2</sub> inducen un mayor valor del índice CO<sub>2</sub> /O<sub>2</sub>, lo que altera la actividad de las enzimas que favorecen la fotosíntesis y limita la foto-respiración, mejorando el balance de carbono (Urban, 1997).

Los niveles de CO<sub>2</sub> del aire han subido en el último siglo, desde valores de 280 ppm (Nederhoff, 1995), a los actuales de 350-370 ppm y se prevé continúe subiendo.

Los valores de CO<sub>2</sub> atmosférico que maximizan la fotosíntesis foliar están en torno a 1 000 ppm (Kimbal, 1986 y Hicklenton, 1988).

A nivel práctico, valores de 750 ppm de CO<sub>2</sub>, han sido recomendados para cultivos de tomate y pepino, en países norte-europeos (Urban, 1997). La dificultad surge cuando es

necesario ventilar por exceso de temperatura, lo que implica pérdidas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y mayores costes. Por ello en condiciones mediterráneas, donde las mayores temperaturas exigen ventilar con frecuencia, la estrategia de enriquecimiento es distinta y se recomienda mantener niveles de 350 ppm de CO<sub>2</sub> en el aire interior, con las ventanas abiertas para ventilar, y de 600 a 700 ppm con las ventanas cerradas (Lorenzo, 1997).

#### **1.6.6. Humedad ambiental**

La humedad ambiental no interviene directamente en la fotosíntesis. Su papel es indirecto a través de su influencia en la apertura estomática, por tanto, en condiciones de riegos no limitantes y en ausencia de problemas de salinidad, la humidificación de la atmósfera no se justifica para mejorar la fotosíntesis.

#### **1.6.7. Fotomorfogénesis**

Las plantas utilizan la radiación solar como un suministro de energía y como una fuente de información (Hart, 1988). La fotomorfogénesis define el efecto de la radiación en el desarrollo de las plantas. La presencia de luz, independientemente de su intensidad siempre que se superen unos niveles mínimos, genera diversas respuestas en floración, germinación o fototactismos. La mayor parte de las reacciones fotomorfogénicas están inducidas por longitudes de onda en la región del azul (400 a 500 mnm) o en el rojo y rojo lejano (600 a 700 mnm y 700 a 800 mnm, respectivamente) y controladas por el pigmento «fitocromo» (Langhams, 1997). Las longitudes de onda más relevantes están en torno a 660 mnm (rojo) y a los 725 mnm (en el rojo lejano).

Hay tres grupos principales de pigmentos asociados a las principales foto-respuestas de las plantas (Whatley, 1984): 1) Clorofilas, implicadas en fotosíntesis. 2) El fitocromo, implicado en algunos cambios morfogénicos, en la percepción de la duración de la luz y en los ritmos diarios que afectan a algunos movimientos de las plantas. 3) El  $\beta$ -caroteno o las flavinas, relacionados con el fototropismo.

#### **1.6.8. Fotoperiodismo**

Es el mecanismo de control del desarrollo de las plantas que impone la duración del día y de la noche en ciclos de 24 horas. Así, existen plantas de día corto que generalmente florecen cuando la duración del día es inferior a su fotoperiodo crítico, normalmente menos de 12 horas, mientras que las plantas de día largo florecen cuando la duración del día es mayor de su fotoperiodo crítico, usualmente más de 12,5 horas (Langhams, 1997). Estos umbrales de fotoperiodo no son exactos, están influidos por otros factores: edad de las plantas, condiciones climáticas. Aquellas plantas cuya floración no dependa de la duración del fotoperiodo se llaman de día neutro (Vince-Prue, 1986). La mayor parte de las hortalizas cultivadas en invernadero son de día neutro.

Las semillas de algunas especies necesitan radiación para germinar, lo que consiguen si sus semillas se encuentran en la superficie del suelo (a menos de 5 mm de profundidad) (Langhams, 1997).

### **1.6.9. Respiración**

La respiración es el proceso esencial de liberación de energía, que se necesitaría para los procesos vitales. Supone una absorción de O<sub>2</sub> y una liberación de CO<sub>2</sub>, además de consumir hidratos de carbono en una reacción que podemos considerar como inversa a la fotosíntesis.

La respiración consume hidratos de carbono de origen fotosintético. Tiene dos componentes básicos: la respiración de mantenimiento que es proporcional al peso seco de la planta o de sus órganos activos (sin incluir reservas) y la respiración de crecimiento que es proporción a los productos de fotosíntesis. Existe una tercera forma, la foto-respiración, relevante en plantas tipo C3 que sólo existe en presencia de luz, que cumple una función de defensa contra el efecto tóxico de algunos iones (Berninger, 1989).

La respiración de crecimiento es menos sensible a la temperatura que la de mantenimiento, la cual se duplica por cada 7 a 10 °C de aumento de temperatura. Por ello es deseable limitar las temperaturas altas especialmente de noche, para mejorar el balance de carbono global.

### **1.7. Impacto ambiental de los residuos agrícolas en la plasticultura**

El Grupo Ecologista del Mediterráneo (1998), ha desarrollado un interesante estudio sobre los impactos ambientales producidos por la agricultura intensiva en las miles de hectáreas instaladas en el sur de España, Almería, así como las políticas de mitigación y control de los residuos que se generan.

A continuación se resumen los aspectos más relevantes del estudio.

La Comarca del Poniente, se encuentra situada al sur de la provincia de Almería, y es la zona de España con la mayor concentración de cultivos intensivos bajo plástico. Aunque, en principio, según la Junta de Andalucía en el Decreto 96/1990 referente a actuaciones de reforma agraria en la Comarca del Poniente, la comarca incluye los municipios de Roquetas de Mar, La Mojonera, Vicar, El Ejido, Adra, Berja, Dalías, Darrical, Enix y Félix, con una superficie total de 99 700 ha, el estudio desarrollado abarca la zona denominada Campo de Dalías, con una superficie de 30 000 ha, dedicadas en su mayoría a cultivos intensivos bajo plástico, que incluye a los cuatro primeros municipios, y parte de Berja. Así mismo se consideran también la problemática de otros municipios con una alta concentración de cultivos bajo plástico, como son Almería y Níjar, ya que el problema de los residuos agrícolas les afecta igual que al Campo de Dalías. Según los datos, como media, los residuos producidos por una ha de invernadero en un año serían los siguientes:

**Tabla 11.** Residuos sólidos producidos anualmente en 1 ha de enarenado bajo plástico

Residuo	Cantidad (t)*	%
Residuos vegetales	29,1	95,69
Plásticos	1,05	3,45
Cartones y papel	0,05	0,16
Metales	0,06	0,21
Otros	0,15	0,49
<b>Total</b>	<b>30,41</b>	<b>100</b>

\* toneladas

Fuente: J. López Gálvez y J. M. Neredó (1996), citados en el informe del Grupo Ecologista.

Los residuos vegetales representan el 95,69 % del total de residuos generados, pero con políticas adecuadas pueden reducirse, transformarse y eliminarse. Como principales consecuencias de la actual gestión de residuos agrícolas podemos destacar:

**Contaminación de las tierras de cultivo**, al ser una agricultura intensiva, para poder elevar la producción, es necesario el aporte de nutrientes artificiales para ir corrigiendo las carencias de las tierras agotadas, por lo que éstas van acumulando residuos químicos que después van a parar a los acuíferos.

**Impacto paisajístico**, en la comarca del poniente, residuos de todo tipo ayudados por el viento, y por la mano anónima, están esparcidos en cualquier lugar: playas, parajes naturales, ramblas, vías pecuarias, caminos, tierras sin cultivar, canales de riego, etc.

**Contaminación atmosférica**, las quemadas a pie de invernadero de todo tipo de residuos, incluso en los mismos vertederos del Poniente convierten la atmósfera en irrespirable, sobre todo cuando no hay viento, y al final de los períodos de cosecha cuando se acumulan los restos de éstas. También las distintas técnicas de aplicación de los productos fitosanitarios provocan contaminación en el aire: pulverización, espolvoreo y nebulización. La capa de ozono también se ve afectada por los residuos de bromuro de metilo usado para desinfectar las tierras. Otros apuntan que el aumento de temperatura interior de los invernaderos redundará posteriormente en el clima de la zona.

**Difusión y ampliación de plagas**, al abandonarse los residuos vegetales en los alrededores de los invernaderos, todos los transmisores de las plagas vuelven al interior del invernadero y a los colindantes, siendo los restos vegetales abandonados un caldo de cultivo para su multiplicación, ya que los montones de residuos se convierten en reservas de larvas y huevos de distintos insectos y otros parásitos, como trips, mosca blanca, araña roja, mûscidos, pulgones, etc., que pueden desarrollarse con facilidad en este medio y causar daños a los cultivos próximos por contaminaciones; así mismo, como consecuencia de distintos tipos de pudriciones y fermentaciones se generan efluentes que van penetrando en el subsuelo, con compuestos de naturalezas diversas como alcoholes, éteres y éteres orgánicos, complejos metílicos, etc., así como la proliferación y producción de numerosos microorganismos que contribuyen activamente a los procesos mencionados.

Esto supone uno de los inconvenientes de los puntos de acopio como sistema de recogida.

**La utilización de las matas de invernadero como alimento para el ganado**, con su alto contenido en residuos químicos derivados de los tratamientos fitosanitarios, y posteriormente utilizar su carne para consumo humano, hace que estos productos puedan pasar a la cadena alimenticia.

**La aplicación de los tratamientos contra plagas, de productos fitosanitarios, sin las debidas precauciones**, permite que estos residuos lleguen al hombre dando lugar a intoxicaciones que derivan en problemas neurológicos, infertilidad, abortos, etc., que se detectan después de una reiterada aplicación de estos productos.

**Los residuos en frutos**, cada día con niveles más bajos debido a las exigencias de las exportaciones, deberían ser nulos por incorporarse directamente en nuestra alimentación. Los frutos abandonados por su bajo precio o falta de calidad, sobre todo los muy azucarados, melón, sandía, producen auténticas nubes de moscas y mosquitos, siendo transmisores de enfermedades y plagas.

**Contaminación de aguas subterráneas**, se deduce de los distintos estudios realizados que en el Poniente almeriense es tan grave el problema de la calidad de las aguas como el de la cantidad, aunque ambos hechos suelen ir asociados.

Siempre se le ha dado más importancia a la contaminación por salinización (materiales del mismo acuífero, intrusión marina por sobreexplotación del acuífero, etc.), que a la contaminación por las actividades urbanas, industriales y en este caso agrícolas.

**Políticas del municipio de El Ejido**, frente a este panorama de insostenibilidad, el municipio de El Ejido, elaboró un plan de higiene rural.

**Principios básicos**, proponer sistemas de gestión ambiental que pueden sustentarse en principios de rentabilidad económica para agricultores y empresas de servicio, rentabilidad que siempre debe incorporar al medio ambiente. Con este principio se publicó la Ordenanza Municipal en el B.O.P. de Almería N° 234 de 9 de diciembre de 1992, mediante la cual el municipio ha asumido el papel de “investigador” de la calificación del problema y de las distintas soluciones a aplicar. En esta norma comunitaria se emplea como principio “el que contamina paga”, estableciéndose responsabilidades entre todos los actores del problema.

**Responsabilidad del municipio**, a continuación, se ha promovido la implantación de empresas que ofrecieran los servicios necesarios para poder cumplir con la Ordenanza, y se ha normalizado su actuación con precios públicos y contrata, actuando inicialmente con una intervención muy directa por varios motivos:

1. Vigilar el correcto cumplimiento de normas y servicios.
2. Garantizar el respaldo económico de los servicios prestados.
3. Detectar las posibles correcciones sobre el diseño original y paliar sus deficiencias.

Por último, se ha creado una estructura de vigilancia y asesoramiento a los agricultores e industriales, que ha favorecido enormemente los acuerdos directos entre ellos y ha redundado en la implantación definitiva del sistema.

**Responsabilidad de los agricultores: El que contamina paga**

Sobre el principio de no considerarse como reducibles los residuos que se generan hoy por la agricultura, al menos mientras se continúe con la metodología de cultivos actuales, el agricultor es el responsable de costear la canalización de sus residuos hacia los puntos de destino final, bien contratando a empresas de servicio que actúen siguiendo las ordenanzas municipales como llevándolos directamente por sus medios hasta ellos.

Otras responsabilidades del agricultor son las de facilitar las labores de recogida que realiza directamente el municipio, dejando sus plásticos preparados junto al invernadero y avisando a los servicios municipales o realizando las descargas en los puntos de recogida de acuerdo con la ordenación interna de los mismos, sin mezclas y sin obstruir las entradas.

Por último, el agricultor puede favorecer al sistema canalizando los residuos hacia la agricultura o disponiendo de sus propios terrenos de vertido controlado, siempre que se haga con las garantías aceptables por el Municipio.

**Responsabilidad de las empresas**

Aquí conviene distinguir entre las empresas que contrata el municipio para la materialización del proyecto, y el resto de empresas que participan en él por iniciativa propia. Las primeras intervienen en el plan porque han participado en un concurso público. A través del que se han convocado a los industriales con la capacidad y solvencia necesaria como para cumplir con los requisitos marcados por el municipio. Los servicios que realicen en nombre de tal concesión, están sujetos a precios públicos, plazos de respuesta y un sistema de información para posibilitar un seguimiento estadístico del proyecto, además de su correspondiente control de calidad.

El segundo grupo de empresas está formado por aquellas que, detectando una demanda de servicios como consecuencia de la presión municipal, ofrecen los mismos con completa libertad de precios y metodología lográndose una multiplicación de las opciones a disposición del agricultor. Es de destacar que actualmente se dedican a esta labor un total de 28 empresas en el municipio.

Tanto el primer grupo de empresas como el segundo, están sujetas a una revisión de sus sistemas de trabajo por parte del municipio, con el objeto de garantizar que no se contravienen los términos de la Ordenanza Municipal y que se mantienen en correcto estado los puntos de vertido final.

Existe un tercer grupo de empresas que es el formado por industrias de transformación y reciclado de los residuos captados por los anteriores, y que comienzan a asentarse en el territorio municipal cuando ven que existe una disponibilidad suficiente de materia prima para su actividad, y un sistema que garantiza el aprovisionamiento. Estas empresas establecen convenios bien con el municipio o con los propios recogedores donde se definen los sistemas, cadencias y calidades de los residuos aceptados.

## **Capítulo 2**

### **Antecedentes**

#### **2.1. Panorama actual de los plásticos en el mundo**

Los primeros invernaderos rústicos se desarrollaron en el hemisferio norte: Inglaterra, Holanda, Francia, Japón y China, eran estructuras de madera o bambú, cubiertas con paneles de vidrio o papel aceitado, luego se construyeron invernaderos con paredes de ladrillo, techo de vidrio a una sola agua, orientada hacia el Sur (Castilla, 2007). De noche se protegían con mantas de paja, caña como aislantes. En el siglo XIX aparecen los primeros invernaderos con cubierta a dos aguas de vidrio, producían uvas, melones, fresas, tomates.

Pronto se expandieron los invernaderos desde Europa a América y Asia. Holanda construyó invernaderos con techo de cristal, superando las 5 000 ha a mediados del siglo XX, dedicados mayormente al cultivo de tomate.

Fue el descubrimiento de los plásticos (polietileno) la que originó una expansión vertiginosa de los invernaderos en todo el mundo, según Jouet, J.P., 15 th International Congress for Plastics in Agriculture, USA 2000, los plásticos más usados son el polietileno de baja densidad (LDPE), poli cloruro de vinilo (PVC), copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA).

Estos materiales son fabricados y comercializados a nivel mundial siguiendo normas internacionales. La organización encargada de establecer las normas internacionales es la ISO (International Standard Organization), creada en Londres en 1946 por 25 organizaciones. A nivel europeo, los organismos de normalización son el Comité Europeo de Normalización (CEN). Un organismo privado con una reconocida importancia en el ámbito de los plásticos es ASTM (American Society for Testing and Materials). Díaz et al.,2001.

La evolución de la superficie de invernaderos en el mundo se presenta en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Superficies cultivadas bajo plástico en el mundo

<b>Continente</b>	<b>País</b>	<b>ha (1999)</b>
<b>Africa</b>	Argelia: Hortalizas, flores	5 005
	Túnez	1 307
	Egipto	1 350
	Marruecos: hortalizas (65%), bananos, flor cortada	10 000
	Sudáfrica	2 500
	Kenia	150
<b>Oriente Medio</b>	Israel	5 200
	Turquía	14 000
	Jordania	2 000
	Arabia Saudi	1 550
	Líbano	1 250
<b>América del Norte</b>	EE.UU.	9 250
	Canadá	600
<b>América Central y del Sur</b>	México: tomate, pepino, berenjena	1 200
	Guatemala	310
	Argentina: tomate, melón	600
	Chile	300
	Colombia: flor cortada	4 500
	Ecuador: flor cortada	2 700
	Brasil	700
<b>Asia</b>	China	200 000
	Corea	2 200
	Tailandia	100
	Japón	60 000
<b>Europa Occidental</b>	España : producción diversa Acochado: 118 341 ha, Túneles= 12 260 ha	51 000
	Inglaterra	2 500
	Italia	61 900
	Alemania	800
	Bélgica	350
	Francia	9 200
	Grecia	3 000
	Portugal	2 700
	Países Bajos	400
	Suiza	600
	Austria	450
	Finlandia	200
<b>Europa del Este</b>	Rusia	3 250
	Rumanía	900
	Bulgaria	300
	Eslovaquia	4 300
	Polonia	2 000
	Croacia	1 200
	Serbia	5 040
	Hungría	8 500
	<b>Total ha</b>	<b>483 062</b>

**Fuente:** Díaz et al., (2001)

## 2.2. La plasticultura en España



**Figura 21.** Invernaderos en la costa del Mediterráneo de España

Fuente: Agencia Andaluza del Agua.

Es una foto del “poniente almeriense” que pertenece a la Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

El XVIII Congreso internacional de los plásticos se celebró en Almería en febrero del 2009, el Dr. Ingeniero Agrónomo, Nicolás Castilla, uno de los ex-presidentes del Comité Internacional de Plásticos para la Agricultura y ponente invitado en el congreso de Almería. En su conferencia, “Claves de la moderna plasticultura”, cita estudios sobre la horticultura intensiva en el sudeste español y en la comunidad europea.

### **Estrategias para la producción en invernadero**

El Dr. Nicolás Castilla establece una clasificación de las dos estrategias principales para la producción de hortalizas en invernadero. La producción de hortalizas durante todo el año puede abordarse, básicamente, mediante dos estrategias: “A”, producir en invernaderos de alta tecnología todo el año. “B”, producir en dos o más ubicaciones, cuyas épocas de recolección se complementen en el año.

La alternativa “A” ha sido adoptada en el “agro sistema invernadero holandés”. Esa opción “A” sería económicamente inviable en condiciones mediterráneas. La alternativa “B” puede llevarse a cabo con distintos agro sistemas.

Por ejemplo, algunos productores holandeses coordinan sus suministros al mercado, produciendo en invernaderos sofisticados de vidrio en Holanda y en invernaderos mediterráneos en la costa sureste española, en los ciclos usuales en cada caso.

Algunos productores mediterráneos han optado, aunque la solución dista de ser óptima, por intercambiar la cubierta de lámina plástica de sus invernaderos por una cubierta de malla, cuando las condiciones climáticas lo requieren en pro de la calidad de la producción.

En el sur de España, la ausencia de producción hortícola procedente de invernadero de áreas litorales durante los meses de verano está siendo suplida por hortalizas procedentes de invernaderos de malla de las altiplanicies de comarcas del interior, cuya comercialización coordinada con los productos de áreas litorales está permitiendo a las agrupaciones de productores el suministro al mercado durante todo el año.

En los últimos años, los altos costes de la mano de obra en algunos países europeos han

favorecido que algunas de sus grandes empresas productoras desplacen aquellos cultivos más exigentes en mano de obra al norte de África (donde esos costes son inferiores), si bien su comercialización se coordina con la de otras especies que se siguen cultivando en el país europeo de origen.

Por otra parte, en los invernaderos y en los campos de otros países, por ejemplo en Estados Unidos, se han puesto en práctica otras opciones. En el caso de los norteamericanos, como expuso en el congreso el profesor Gene Giacomello de la Universidad de Arizona, hay una alternativa, la mencionada antes como “A”, de grandes “industrias hortícolas” que utilizan invernaderos de cristal con alta tecnología para producir tomates de gran calidad y a precios bajos que después se comercializan en las tiendas y supermercados plenamente “identificados” como “*greenhouses tomatoes*”.

### **Evolución de los plásticos en la agricultura de Almería**

Las organizaciones del Centro de la Mojonera y el Ifapa y sus equipos de investigación realizaron un estudio acerca de la evolución del uso de los plásticos utilizados en los cultivos de Almería, durante la campaña 2005/2006, recopilaron información de 445 agricultores de las comarcas del Campo de Dalías y Campo de Níjar-Bajo Andarax, zonas con mayor superficie invernada de la provincia.

De los resultados obtenidos se desprende que, en las 25 983 ha (San Juan 2007; citado por Castilla, 2007) de invernaderos en las comarcas objeto de estudio, el material de cubierta más utilizado es el polietileno de baja densidad, produciéndose un reemplazo del PE 720 galgas L. D. (larga duración) por materiales tricapa. Casi en el 20 % de la superficie invernada se utiliza acolchado plástico en el suelo, plástico negro en el 90 % de los casos. El empleo de malla anti insectos en ventanas alcanza casi el 100 % de las explotaciones, siendo el tipo más utilizado la de 20 x 10 hilos/m<sup>2</sup>, junto con 16x10 hilos/m<sup>2</sup> y color negro.

Otra característica del sistema productivo hortícola almeriense es el empleo generalizado de los sistemas de riego localizado; el 99,9 % de la superficie de invernaderos los utiliza.

En la década de 1970 los plásticos utilizados en invernaderos se usaban durante una sola campaña, eran de bajo espesor, 300 a 400 galgas, y sin aditivos de estabilización anti UV. En 1995 se generaliza la comercialización de plásticos tricapa y ahora, según los hitos de la plasticultura elaborados por un equipo de autores del Cidapa y Cajamar, desde los inicios de los años 2000, el 91 % de los agricultores utilizan plásticos tricapa de 800 galgas. Un porcentaje de estos plásticos, todos de larga duración, tienen efectos anti-virus o anti-plagas, niveles de termicidad, efecto anti-goteo y otros son fluorescentes de 2ª generación. Se ensayan también plásticos a los que se les llama anti-térmico. Los plásticos anti plagas bloquean la radiación ultravioleta que llega al invernadero alterando la actividad de los insectos polinizadores empleados en el invernadero, ya que interfieren en su visión y su orientación.

### **Los plásticos biodegradables y el acolchado**

Estos plásticos en referencia al uso y rendimiento frente a los filmes tradicionales, tienen beneficios adicionales, degradación en el sitio de instalación, no son tóxicos, no influyen en cultivos posteriores, son eco-compatibles. En el cultivo, los plásticos biodegradables se

comportan igual que los demás acolchados y después se fragmentan, tanto en la zona enterrada como en la expuesta. A la oxo bio degradación le afectan la luz, el calor y la presión mecánica.

A los agricultores el uso de estos plásticos les representa mantener los gastos, y actualmente se benefician de un 35 % de bonificación sobre el coste del film y ahorran tiempo (no necesitan recoger y transportar el plástico después del cultivo). Hay plásticos biodegradables para cada tipo de cultivo. En todos los casos se aconseja instalar el filme el mismo día de la siembra o trasplante. Se utilizan principalmente en melón, sandía, lechuga, brócoli, tomate en línea y maíz.

### 2.3. Los invernaderos en América del Sur, experiencias más relevantes

#### 2.3.1. Flores para Abrapampa

Un proyecto interesante, fue el desarrollado por el Proyecto OCLADE (Obra Claretiana Para el Desarrollo), Universidad Nacional de Salta a través del INENCO (Instituto de Energías No Convencionales), (Argentina) en la localidad de Abrapampa, Provincia de Jujuy, denominado Flores para Abrapampa, para la producción de flores (invernaderos en comunidades rurales de la puna Jujeña). La localidad de Abrapampa se encuentra a 3 484 msnm, latitud 22° 40' S. Con temperaturas máximas de 20 °C y mínimas de -22 °C en invierno, y máximas de 27 °C y mínimas de -2 °C en verano. La temperatura media anual es de 9,7 °C. El 33% de los días de invierno tiene su temperatura mínima por debajo de -15 °C y el 70 % por debajo de -10 °C mientras que en verano el 37 % de los días tiene mínimas inferiores a los 5 °C, región con una gran amplitud térmica diaria. Las precipitaciones que no superan los 240 mm anuales, concentradas en los meses de verano. Los vientos son predominantes del sur, sudoeste con alta intensidad produciendo erosión eólica. La orientación del invernadero es E-O, el material de todas las paredes envolventes es adobe con 25 cm de espesor, tal como se observa en la figura 21.



**Figura 22.** Invernaderos en la puna de Jujuy (Abrapampa).- Argentina  
Fuente: Proyecto OCLADE

Las limitaciones económicas, fundamentalmente la falta de capital en forma de dinero para la adquisición de algunos materiales, así como para la compra de semillas, no permiten una mayor multiplicación de esta tecnología.

En cuanto a las dificultades se pueden reconocer tres tipos de dificultades. En primer lugar dificultades de construcción, relacionado con debilidad de las estructuras: resistencia del plástico frente a la acción del viento y del sol, oxidación de varillas de hierro que dañan el plástico, desgaste del adobe, daños por granizadas, aberturas de tamaño inapropiado, rotura de costuras en el plástico. Las dificultades más frecuentes se relacionan con el control de extremos térmicos en el interior del invernadero (mínimas cercanas a 0 °C en invierno y máximas diarias de más de 40 °C en verano), para evitar el marchitamiento de las plantas. En segundo lugar dificultades de manejo: extremos térmicos en invierno y verano, falta de ajuste en los sistemas de ventilación, marchitamiento de las plantas enseguida de cosechadas por estrés hídrico, dificultades para proveer agua para riego. Esto permite la existencia de plagas, hongos, pulgones y el marchitamiento de plantas. Finalmente dificultades de organización, las que surgen básicamente de situaciones de incompatibilidad de horarios con otras actividades que no permiten la adecuada atención del invernadero por ausencias prolongadas. Estas son las dificultades más importantes.

### 2.3.2. Invernaderos para la producción de hortalizas en el Alto La Paz –Bolivia

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), a partir del 2003 desarrolló el proyecto exitoso “micro huertas”, promoviendo la construcción de 1500 invernaderos tipo “Andino Boliviano” en el Alto La Paz, que pese a la altitud y las bajas temperaturas, producen verduras y frutas, cuyo objetivo es luchar contra el hambre y garantizar la seguridad alimentaria de familias de escasos recursos.

El modelo “andino boliviano”, está construido de paredes perimetrales de adobe, con puerta y ventanas frontales, techo semicircular con estructura de fierro corrugado y cobertura de polietileno de baja densidad (AGROBOL, fábrica boliviana de polietileno).



**Figura 23.** Invernaderos en el Alto La Paz Bolivia

Fuente: FAO

En los viveros se cultiva tomate, paprika, ajíes, lechuga, repollo, espinaca, toronjil, canela, orégano; frutas, como frutilla, uva, higo; etc. Los productos sirven para el autoconsumo y los excedentes son comercializados en los mercados y ferias locales y regionales. Debido al éxito de estos sistemas, la FAO financió la construcción de otros 3 000 invernaderos en el Alto la Paz y otras regiones alto andinas del país, destinadas a las familias pobres. La marca “**Verdurita**” ya se posicionó en el mercado y el paladar paceño y alteño, especialmente en los supermercados de la capital boliviana. En la gestión del proyecto,

estuvieron además de expertos de la FAO, los municipios de la zona, trabajando en todos los aspectos: construcción, financiamiento, producción orgánica, manejo y comercialización, presentación de la marca “Verdurita”.

## **2.4. Experiencias en el Perú, empleo de plásticos en la agricultura**

En el Perú la plasticultura es una ciencia muy joven, antes de 1970, se empleaba el vidrio como principal elemento de cobertura con limitaciones técnicas y económicas, para la construcción de invernaderos y abrigos, posteriormente se importan plásticos de otros países: Japón, Alemania, para desarrollar experiencias y proyectos productivos, no se conoce el número de invernaderos, ni las hectáreas cubiertas con plástico. En los años 1975- 1985, la industria nacional empieza la fabricación de polietileno para uso agrícola (Plastix peruana) y otras aplicaciones: secadores solares para productos agropecuarios, ensilados, recipientes, etc. Sin embargo durante su producción ha tenido una serie de problemas técnicos, en cuanto a su durabilidad y elevados costos, no se tiene mayor información sobre la gestión ambiental de estos proyectos. Posteriormente se paraliza la fabricación de estos plásticos, a la fecha la industria nacional está reactivando tan importante actividad.

En las zonas alto andinas del Perú y el Cusco (3 000 a 4 500 msnm), por las características climáticas existe una limitada o casi inexistente producción y consumo de hortalizas: tomates, coles, lechugas, etc. Las familias en especial los niños tienen deficiencias nutricionales entre otros por el reducido consumo de verduras que le proveerán las vitaminas, fibras y minerales. Desde los años 80, muchos proyectos de cooperación internacional, ONGs, la Iglesia, gobiernos regionales y locales han impulsado proyectos de difusión, construcción y producción de invernaderos, con el objeto de dotar a los comedores escolares y comunales de hortalizas. Estos proyectos tuvieron una limitada vida útil por una serie de problemas que en el presente trabajo se estudian y analizan buscando contribuir al conocimiento de los aspectos técnicos, económicos y ambientales de los invernaderos. Destacan las siguientes experiencias:

### **2.4.1. Los grandes invernaderos del Callejón de Huaylas (Caraz y Carhuaz, 1982-2013)**

Se especializan en el cultivo de flores para el mercado nacional y para la exportación. Hoy en día SONGROSES S.A.C. es una de las empresas ubicada en Huaraz, en las provincias de Caraz y Carhuaz, que se dedica a la producción de rosas cultivadas en invernadero, cuentan con más de 20 variedades de rosas. Aplican todos los adelantos tecnológicos: hidroponía, riego tecnificado, control automático del clima en el interior de los invernaderos, empleando como cobertura el polietileno térmico estabilizado.

Holanda es uno de los principales productores y consumidores de flores del mundo, emplea una alta tecnología en la producción, desarrollo de semillas y variedades. El Perú 34 veces más grande que Holanda, solo puede producir para abastecer al 1 % del mercado local (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2013). Más del 90 % de los consumidores en Holanda usan las flores como adornos de casa, mientras que los peruanos casi el 97 % compra flores para el cementerio, por ello es necesario cambiar la costumbre de los consumidores, así mismo es necesario combatir la informalidad, pues ingresan al país por

la frontera norte camiones ilegales cargados de flores mucho más baratas pero sin ningún control fitosanitarios, introduciendo al país algunas plagas y enfermedades, poniendo en riesgo la producción nacional.

#### 2.4.2. Experiencias en la Región Cusco

La plasticultura empieza a desarrollarse por los años 80, las experiencias más importantes:

1. En 1984, la Granja Escuela de Yucay, distrito de Yucay, provincia de Urubamba, Cusco, de propiedad del Arzobispado del Cusco, horticultores españoles ensayan la producción de tomate y otras hortalizas en invernaderos tipo parral: estructura de palo de eucalipto, cubiertas de arpillera y polietileno de baja densidad (español), semillas importadas de España. Según los reportes, el material más vulnerable fue la cubierta de polietileno, con una duración de 1 año (efecto de la radiación UV), otro de los factores mecánicos en el deterioro de los invernaderos fue el viento de regular intensidad en la zona, que sumado a la falta de hermeticidad (gran altura de los invernaderos), deficiente sujeción externa, provocaba en los invernaderos desgarros, que obligaban a un cambio continuo. Las precipitaciones en el Mediterráneo (España) están por debajo de las precipitaciones en Cusco, por ello la caída (pendiente techo) de los invernaderos tipo parral es muy baja, en consecuencia se pueden cubrir extensiones muy grandes, sin elevar en demasía la cumbre. Sin embargo dicha tecnología en el Cusco no soporta las precipitaciones; para cubrir grandes extensiones, los invernaderos deben tener también un ancho considerable (30 a más metros), por consiguiente la cumbre se eleva muchos metros arriba (0,30 m por cada m de anchura). Al tener un invernadero más de 5 m de alto en cumbre, es muy difícil mantener la hermeticidad, y el viento deteriora el plástico.
2. A mediados del mes de junio de 1986 se ensaya en el Distrito de Yaurisque de la Provincia de Paruro (SO de la ciudad del Cusco, 3 330 msnm), un prototipo de invernadero-secadero de 200 m<sup>2</sup> de superficie cultivable, como se muestra en la figura 23), a dos aguas, dirección del eje mayor, 30° al NE, con ventilación cenital, estructura de palo rollizo, soporte en techo de alambre galvanizado, cubierta de polietileno peruano de baja densidad de 200 µm, el invernadero se adecuó para secar diversos productos agropecuarios: maíz, heno y se inició un proceso de experimentación de cultivos bajo cubierta, contando con el apoyo del Proyecto de Secado Solar (Convenio GTZ-UNI-UNSAAC) y el CYTED de España, con el asesoramiento del Dr. José Doria Rico, Catedrático de la Universidad Complutense de Madrid.



**Figura 24.** Invernadero secadero: heno, maíz y cultivo tomate

Fuente: Elaboración propia

3. En 1990, en el marco de una colaboración entre el Departamento de Física de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (representado por P. Zanabria) y la Facultad de Física de la Universidad Complutense de Madrid (representado por J. Doria), se desarrolla el proyecto “invernaderos andinos”, ensayándose varios prototipos tanto en España como en Perú, hasta proponer el denominado **invernadero andino**, que sirvió de modelo para posteriores proyectos de difusión. Los aspectos más importantes del estudio, fueron:

**a. Estructuras, orientación y forma del techo**

Se ha seleccionado el eucalipto, como material rústico para la construcción de las estructuras, ya que éste árbol crece en abundancia en las zonas andinas, y es muy económico, en comparación con otros materiales. Estos palos (en rollizo), deben ser tratados, sobre todo la base que entra en contacto con el suelo húmedo, para ello se carboniza superficialmente la parte en contacto con la humedad. Otro tratamiento empleado es pasar con aceite quemado como una medida de protección, en otros se emplea una pequeña zapata de concreto para la protección.

La orientación de los invernaderos es variable, en función de la disponibilidad de terreno, por lo general el eje mayor en dirección E-O.

La forma es del tipo capilla a dos aguas (está en función del material de estructura).

El techo del invernadero es de palo de eucalipto labrado, con una inclinación de  $20^\circ$ , para que el plástico sea sujetado establemente. Como superficie de sustentación se ha elegido el alambre galvanizado, en forma de entramado, tanto interior como exterior y se evitan los problemas mecánicos.

**b. Cubiertas**

El restringido mercado de plásticos en el Perú, es una limitante para una adecuada selección del material de cubierta. Se seleccionó el "polietileno térmico estabilizado" de  $200 \mu\text{m}$  de espesor y  $3,50 \text{ m}$  de ancho. La vida útil del plástico oscila entre 1 a 3 años.

Los valores promedios de,  $\rho$ ,  $\alpha$  y  $\tau$  (reflexión, absorción y transmisividad) determinados experimentalmente son respectivamente: 22 %, 10 % y 68 %. Irradiación para junio 1991, referencial de  $4,7 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{d}$  (Valores registrados y calculados por el autor de la tesis).

**c. Balance térmico**

Se ha calculado un balance térmico para el mes de junio de 1991, de un invernadero de  $200 \text{ m}^2$  de área útil, a dos aguas, orientación N-S, de estructura de palos de eucalipto rollizo, sin murete de adobe, ni pantalla antirradiativa, ubicado a  $3\ 500 \text{ msnm}$  en Yaurisque-Perú, dando los siguientes resultados:

$$Q_{cc} = 70,1\% \quad Q_{ren} = 1,2\% \quad Q_s = 7,2\% \quad Q_{rad} = 21,0\%$$

(Valores registrados y calculados por el autor de la tesis).

Porcentajes determinados del total de pérdidas, período nocturno.

Como se observa los mayores porcentajes de pérdidas corresponden a los factores  $Q_{cc}$  y  $Q_{rad}$  respectivamente. Con relación al primer factor, los parámetros que físicamente se pueden manejar son: área cubierta (S), orientación y forma del invernadero. Se propuso que un murete de adobe de 1 m alto, perimetral reduce en un 18 % el porcentaje de pérdidas, considerando que este murete no produce sombras ni reduce la luminosidad del invernadero.

#### d. Pantallas antirradiativas

El otro término  $Q_{rad}$ , depende de la superficie radiante  $S_s$ , de la emisividad  $\epsilon$ , que depende de las características del material de cobertura, que en este caso es PE (polietileno térmico), es opaco a la radiación térmica IR larga.

La alternativa es emplear una pantalla antirradiativa, que consiste de un plástico simple, tela o arpillera colocada sobre el cultivo, debajo de la cubierta, cuya función es la de cortar la radiación que emite un cuerpo negro (suelo invernadero, plantas, etc.) y de esta forma se mejora el comportamiento térmico del invernadero. Se han realizado muchos ensayos experimentales para determinar los materiales más adecuados a usarse como pantallas antirradiativas, estas pruebas se desarrollaron tanto en España como en el Cusco. Para tal efecto se han construido cajas térmicas radiantes, constituidas por una lámina de cobre ennegrecida (cuerpo negro), colocada sobre una base de madera, en el fondo de una caja aislante de teknoport, y encerrada en la parte superior por la cubierta (pantalla antirradiativa) en estudio. Determinándose como materiales, telas de tocuyo y arpilleras de entramado fino, dobles cubiertas de polietileno, se logra cortar la radiación térmica infrarroja y mantener la temperatura interior de la caja térmica en 2 a 3 °C por encima de la temperatura exterior.

#### e. Intercambios de calor suelo interior del invernadero

Se midieron la evolución de temperaturas de un "**invernadero andino**", con una pantalla de tela (tocuyo) antirradiativa y murete de adobe, a una sola agua, mirando hacia el N, con plantas en su interior. La temperatura del suelo  $T_s$ , es medida a 10 cm de profundidad en el interior como el exterior. Se observó una diferencia entre la temperatura del suelo y la temperatura exterior, su evolución es más estable, constituyéndose en la principal fuente de intercambio energético suelo-planta-aire, manteniendo la temperatura ambiente interior, más de 4 °C con respecto de la exterior, en las 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 %.

#### f. Prototipo de "invernadero andino"

Como consecuencia de estos análisis, se desarrolló un prototipo de "**Invernadero Andino**", que se adecua a las condiciones climáticas de la zona andina, con las siguientes características:

##### I. Estructura:

Soposte: Palos en rollizo de eucalipto

Techo: Palos labrados de eucalipto y enmallado de alambre galvanizado.

**II. Cobertura:**

Polietileno térmico estabilizado de 200  $\mu\text{m}$  de espesor; 3,50 a 8,50 m de ancho.

**III. Murete de adobe:** En todo el perímetro de 1 m de altura.**IV. Pantalla antirradiativa:** Un cielo raso de tela, movable para sombreado diurno y reducción de enfriamiento nocturno.**V. Ventilación:** Por puerta y ventanas ubicadas en los frontis o en las paredes laterales.**VI. Forma, orientación y dimensiones:**

Determinadas por la disponibilidad de terreno, agua y otros factores y recursos del usuario. En las cartillas (boletines de divulgación) se señala las recomendaciones con relación al dimensionamiento y construcción de estos invernaderos.

**VII. Costo de un invernadero andino:**

La vida útil de un invernadero, está en función de los materiales y tratamientos que recibe cada uno de ellos. Para un invernadero normal, se considera para la estructura, una vida útil de 6 años, para la cobertura 2 a 3 años. Los costos de construcción, producción, operación y mantenimiento oscilaban entre \$5 a \$6 /  $\text{m}^2$  de área útil.

4. En 1993, la Prelatura de la Provincia de Canchis (Cusco), a través del “Programa de Empleo y Juventud Provincias Altas” y en cooperación con AGROBOL (fábrica de plásticos para la agricultura) de Bolivia, apoyaron la construcción de más de 600 invernaderos o fitotoldos modelo boliviano (60 a 100  $\text{m}^2$ ), en la provincias altas del Cusco, Sicuani, Espinar, Canas y Chumbivilcas, beneficiando a grupos de jóvenes y comunidades, el modelo “boliviano” tenía como estructura paredes laterales de adobe (1,0 m altura o más), techo con estructura semicircular de fierro corrugado, cobertura de polietileno (PE), de 200  $\mu\text{m}$  de espesor (AGROBOL), el ancho de los invernaderos de aproximadamente 3 m. La figura 24, muestra el detalle de las paredes laterales de adobe y cubierta, así como el estado de abandono de los invernaderos.



**Figura 25.** Prototipos de invernaderos provincias altas del Cusco, con cubierta y después de abandonado.

**Fuente:** Elaboración propia

El proyecto consideraba la producción de hortalizas para los comedores comunales y escolares. A pesar de la gran inversión, este proyecto fracasó, pues muy pocos invernaderos (aproximadamente el 10 %) pudieron entrar en funcionamiento y producir

hortalizas. Las principales causas que determinaron el fracaso de este proyecto son: inadecuada gestión y organización del proyecto, falta de capacitación y seguimiento de la entidad promotora, debilidad en las organizaciones beneficiadas (falta de liderazgo), mala ubicación, debilidad estructural, deficiencias en el sistema de ventilación (muchos casos se construyeron lejos del agua), seguimiento y evaluación permanente sobre los objetivos del programa (desconocimiento del manejo del invernadero, producción de semilleros y cultivos bajo cubierta, problemas fitosanitarios, entre otros), vida útil de los plásticos, la primera cubierta y la estructura de fierro fue financiada por los promotores del proyecto (la mano de obra, piedras y adobes por los beneficiarios), a los dos años se necesitaba renovar el plástico, en muchos casos sin haber producido ningún producto, abandonaron el proyecto y los invernaderos desaparecieron.

5. El año 1996, contando con el apoyo de la Asociación Civil Casa Cusco cuyo promotor fue el sacerdote jesuita: Joaquín Meseguer, y los resultados del estudio preliminar de invernaderos andinos, desarrollados por P. Zanabria (UNSAAC) y J. Doria (Universidad Complutense de Madrid) se difundieron y construyeron 40 invernaderos de estructura de palo, cobertura de PE térmico español, en diferentes instituciones rurales, comunidades, parroquias y comedores populares, para producir hortalizas. El plástico duró aproximadamente 2 años, luego se renovaron con el apoyo de dicha asociación, otras organizaciones tuvieron dificultades para el segundo cambio, por no encontrarse el polietileno en los mercados locales. A continuación se pueden señalar algunas conclusiones:

- Los invernaderos comunales, pese a sus limitaciones y dificultades en el manejo y organización, produjeron hortalizas que complementaron la dieta en los comedores de niños de la comunidad.
- Los invernaderos instalados en los centros educativos, constituyen un buen material didáctico, para los niños que realizan una serie de prácticas, bajo de dirección del profesor y promotores del proyecto. La producción está destinada al comedor infantil, donde se alimentan los niños del colegio.
- Los invernaderos individuales son manejados con mayor responsabilidad por los dueños, que generalmente son los jóvenes de la comunidad, que no tienen presencia en las actividades productivas de la comunidad, la producción satisface las necesidades de autoconsumo y los excedentes son comercializados al comedor infantil.
- Para la instalación de estos invernaderos, los promotores han firmado un contrato, donde se estipula las obligaciones de ambas partes. El Proyecto otorgó un subsidio consistente en: dirección técnica, maestros constructores, cemento, arena, listonería, clavos, alambre galvanizado, semillas, abonos, control fitosanitario, etc.; además se les otorgó un crédito por el plástico a pagarse después de 1 año sin intereses. Este fondo permitió la adquisición de plásticos para la renovación de las cubiertas.
- El beneficiario (comunidad o individuo), aporta con los materiales rústicos: piedras, palos de eucalipto, adobes y la mano de obra no calificada.

Se capacitó a un grupo de técnicos en aspectos constructivos y manejo de la producción en invernaderos. Podemos señalar que además del cambio de cobertura, faltó consolidar la cohesión y organización en las comunidades campesinas donde se instalaron y en las instituciones educativas, cuyos profesores y alumnos no asisten a la escuela en el período de vacaciones, abandonando el proyecto. En la Figura 26 a, b se muestra dos invernaderos comunales, mientras que en la Fig. 26 c un invernadero escolar.



**Figura 26a y b:** Invernaderos comunales

**Fig. 26. c:** Invernadero escolar

Fuente: Elaboración propia

6. Posteriormente la Asociación Civil CECADE Qosqo Yachay Wasi ([www.cuscosolar.org](http://www.cuscosolar.org)) (2006-2014), apoyó la construcción de algunos invernaderos en Comunidades Campesinas sustentados en los trabajos desarrollados por Pedro F. Zanabria Pacheco (1996), sobre problemas tecnológicos-constructivos y manejo de invernaderos, continuó desarrollando trabajos de investigación y difundiendo la tecnología de la producción de hortalizas en invernaderos. La Figura 27 a y b, muestran un prototipo de invernadero andino instalado en una comunidad.



**Figura 27a:** Invernadero andino  
(Estructura palos)



**Figura 27b:** Cobertura de polietileno  
de baja densidad

Fuente: Elaboración propia

En las instalaciones de esta institución se han construido varios invernaderos para la producción de hortalizas y otros productos, así mismo cuenta con información técnica y bibliografía sobre los fundamentos teóricos prácticos de la construcción y manejo de invernaderos en diferentes regiones del mundo, en particular España. Estas aplicaciones son empleadas como material didáctico para la difusión de esta tecnología a diferentes instituciones y personas que visitan dicho centro. Para completar la información, el 2007, se instaló una estación meteorológica que mide además de las principales variables, la radiación solar (irradiación, irradiancia, UV y otras) que han sido empleadas en los estudios del presente trabajo.

El principal problema aún no resuelto, es la cobertura plástica, pues los plásticos nacionales son de mala calidad, antes del año de uso se destruye, por acción de la radiación ultravioleta.

## 7. Almacigueras y producción de tomate, pimiento y berenjena bajo condiciones de invernadero

Estudio desarrollado por la Bióloga Elisabeth Sequeiros en 1999, con aportes muy importantes en el manejo de semilleros y labores culturales, en invernadero alto andino (Cusco, 3 400 msnm), obtuvo los siguientes resultados:

- El proceso de germinación de las semillas de tomate, pimiento y berenjena depende fundamentalmente de la temperatura del sustrato de germinación. El tomate germina y emerge a los 5 días de sembrado, a una temperatura media de 22 °C; la berenjena demora 10 días a 22 °C, mientras que el pimiento germina en 11 días a igual temperatura. La diferencia en días con las plantas de la almaciguera de cama fría, es en promedio de 3 a 5 días según el caso.
- La producción de solanáceas provenientes de las almacigueras de cama caliente, con sustrato de humus de lombriz, son significativas: 8 kg/m<sup>2</sup> para el tomate, 9 kg/m<sup>2</sup> (36 frutos/m<sup>2</sup>) para el pimiento, mientras que las de cama fría alcanzan 5,32 kg/m<sup>2</sup> para el tomate, 7 kg/m<sup>2</sup> (32 frutos/m<sup>2</sup>) para el pimiento respectivamente. En el caso de la berenjena no se han observado diferencias sustanciales.
- Los bioabonos o abonos orgánicos, como el humus de lombriz, adecuadamente suministrados, proporcionan los nutrientes que la planta necesita, y se constituyen en sustitutos naturales y ecológicos de los fertilizantes químicos.
- El control fitosanitario de las plagas, enfermedades presentadas durante el ciclo vegetativo de las plantas han sido controladas y estabilizadas empleando insumos orgánicos.



**Figura 28a:** Almaciguera de cama fría

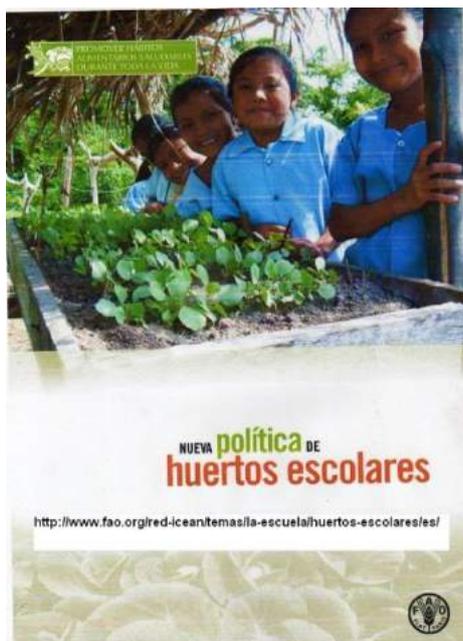


**Fig. 28b:** Producción de pimiento

Fuente: Elaboración propia

### 2.5. Huertos escolares

El programa especial para la seguridad alimentaria (PESA) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en Roma, septiembre del 2004, publica “La mejora de la nutrición y educación infantiles mediante programas de horticultura escolar”, aplicado con mucho éxito en muchas partes del mundo. Más adelante en el 2010, la FAO promueve y difunde “Nueva política de huertos escolares, 2010” donde además de la nutrición y educación infantiles se introducen nuevos enfoques relacionados al cambio climático, medio ambiente y seguridad alimentaria.



**Figura 29.** Huertos escolares

### **Introducción**

En la actualidad, dada la necesidad urgente de mejorar la seguridad alimentaria, la protección del medio ambiente, el mantenimiento de los medios de subsistencia y la nutrición, se está registrando un cambio de opinión sobre las posibilidades de los huertos escolares.

### **Posibilidades**

Con las condiciones y el respaldo adecuados, los huertos escolares permitirán alcanzar los siguientes objetivos:

- Enseñar a los niños la manera de obtener diversos alimentos, hortalizas, frutas, legumbres, pequeños animales y hacerlo pensando en una buena alimentación.
- Demostrar a los niños y sus familias cómo ampliar y mejorar la alimentación con productos cultivados en casa.
- Fomentar la preferencia de los niños por las hortalizas y frutas y su consumo.
- Reforzar los almuerzos escolares con hortalizas y frutas ricas en micronutrientes.
- Promover o restablecer los conocimientos hortícolas en las economías dependientes de la agricultura.
- Fomentar la capacidad empresarial en el ámbito de la horticultura comercial.
- Aumentar la sensibilización sobre la necesidad de proteger el medio ambiente y conservar el suelo.

### **El aprendizaje en primer lugar**

Programa de horticultura: Los huertos escolares no pueden por sí solos aumentar el nivel de salud de los niños o sustituir los almuerzos escolares, pero pueden contribuir a ello. Ante todo deben ser un instrumento educativo orientado no sólo a los niños, sino también a sus familias, la comunidad y la propia escuela. Por consiguiente, las actividades hortícolas deben respaldar las clases teóricas, y viceversa. El programa es multidisciplinario:

- El núcleo central del programa de horticultura consiste en aprender a cultivar, cosechar, conservar y preparar los alimentos, todo ello con el debido respeto del medio ambiente.

Las materias del programa son horticultura, estudios ambientales y economía doméstica.

- Este proceso se debe basar en la elección consciente de lo que hay que cultivar para mejorar la alimentación (educación nutricional) o para la venta (cultivo para el mercado/estudios comerciales).
- Se debe combinar el aprendizaje práctico con el social y la preparación para la vida activa, con objeto de incorporarlos a la vida cotidiana, promover un cambio en el estilo de vida y difundir el mensaje.

Por ejemplo:

- los alumnos deben organizar, observar, registrar, evaluar y celebrar todo el proceso;
- los conocimientos para la difusión y publicidad del aprendizaje hortícola forman parte del plan de estudios.

### **Respaldo de la investigación**

Hay pruebas claras y cada vez mayores de que:

- El consumo de hortalizas específicas puede tener un efecto importante en la salud de los niños.
- El cultivo y la preparación en las escuelas de alimentos del huerto aumenta las preferencias de los niños por frutas y hortalizas saludables.
- El cultivo de alimentos hortícolas, junto con la educación nutricional, se traduce en cambios voluntarios en la alimentación.
- Las actividades hortícolas, sobre todo con un enfoque orgánico, mejoran la comprensión de los niños sobre el medio ambiente y su actitud hacia él.
- La experiencia práctica y el aprendizaje realizando las actividades induce una tasa de retención muy superior a la de la enseñanza teórica.

### **Necesidades**

Las necesidades urgentes están imponiendo un replanteamiento a escala mundial de las posibilidades de los huertos escolares.

**La seguridad alimentaria básica** se ve amenazada a causa del cambio climático, el aumento de la demanda de alimentos, la elevación de sus precios, el mayor costo de los insumos y la pérdida de conocimientos agrícolas y de recursos humanos. Los gobiernos se están replanteando la política agrícola y la función que ha de desempeñar una población bien informada y con conocimientos para cubrir sus propias necesidades de alimentación y las de otros.

**La protección del medio ambiente** es ahora un imperativo que obliga a prestar atención a la conservación del combustible y el agua, el enriquecimiento del suelo, la repoblación forestal y el enfoque orgánico de la horticultura, incluso en el micro nivel de los patios posteriores de las escuelas y los huertos familiares.

**Los medios de subsistencia** se ven amenazados por la crisis financiera mundial y la consiguiente recesión económica, así como por el cambio climático, y los jóvenes son particularmente vulnerables. En las economías dependientes de la agricultura es lógico que se fomenten los conocimientos hortícolas y empresariales.

**Las necesidades nutricionales** siguen siendo enormes: aproximadamente una de cada siete personas está desnutrida y más de un tercio de la mortalidad infantil es atribuible a la desnutrición. Una alimentación deficiente en energía y baja en proteínas de calidad y

micronutrientes dificulta el crecimiento de los niños en edad escolar, los hace vulnerables a la enfermedad, atrofia su capacidad de aprendizaje y reduce su esperanza de vida.

**La plaga de la obesidad**, con sus consiguientes riesgos para la salud, se está propagando del mundo desarrollado a las economías en desarrollo y afecta a los niños que no pueden resistir a la atracción de la comida basura y una vida sedentaria frente a la televisión o la computadora.

## Enfoques

### **¿De qué manera pueden contribuir los huertos escolares a satisfacer las necesidades expuestas?**

Cada vez hay más experiencia de enfoques viables, económicos y sostenibles para satisfacer estas necesidades humanas fundamentales, en las que los huertos escolares pueden desempeñar una importante función.

**Soluciones relativas a la alimentación.** Una mejor alimentación significa, entre otras cosas, el consumo de más frutas, hortalizas y legumbres, mayor variedad (sobre todo en el período de carestía), alimentación complementaria enriquecida para los lactantes y los niños pequeños, sal yodada y agua potable. Nada de esto queda fuera de las posibilidades de la mayor parte de las familias. Las soluciones relativas a los alimentos naturales son poco costosas, crean hábitos alimenticios a largo plazo, ponen el control de la alimentación en manos del consumidor, mejoran la economía local y fomentan la agricultura. Todas ellas se pueden manifestar y practicar en huertos escolares y tendrán un efecto real en la alimentación siempre que las actividades hortícolas se fortalezcan mediante la educación nutricional y se lleven a cabo con el objetivo de lograr una alimentación sana.

**Modelos de huertos familiares y alimentación familiar.** Varios proyectos de huertos escolares han conseguido inducir el establecimiento de huertos familiares semejantes y una buena alimentación de la familia. Algunos de los secretos del éxito consisten en respetar los conocimientos locales, suministrar productos familiares, proponer pequeños cambios aceptables y poner de manifiesto una vinculación clara con la salud y las preferencias alimenticias de los niños.

**Almuerzos escolares.** Si bien el huerto no permite alimentar a toda la escuela, puede influir, aportando a las raciones básicas de cereales, legumbres y aceite frutas y hortalizas esenciales para preservar la salud, y a veces aves de corral, carne o pescado. Si la escuela es un modelo para los huertos familiares y las comidas en el hogar, la alimentación saludable puede ir más allá del horario escolar y durante las vacaciones. El potencial educativo es primordial: los alumnos, las familias, los cocineros, el personal docente y la comunidad deben establecer la conexión entre el cultivo de alimentos y la buena alimentación, y en los huertos escolares se debe poner de manifiesto esta conexión.

**La combinación de educación nutricional y horticultura tiene un efecto demostrado en la alimentación.**

## Medio ambiente

Se ha puesto de manifiesto que las actividades hortícolas mejoran la actitud de los niños hacia el medio ambiente natural, en particular cuando se utilizan enfoques orgánicos que generan un conocimiento práctico del medio ambiente y sus ecosistemas.

**El huerto se ha de considerar sólo como una parte del conjunto del “proyecto de ecología escolar”.**

Esto incluye senderos, terrenos escabrosos, parcelas con malas hierbas, abastecimiento de agua, estanques, plantación ecológica de flores decorativas, setos vivos, césped, arboledas, árboles de sombra y otras actividades recreativas. En el plan de estudios básico hay que mejorar las respuestas prácticas al medio ambiente natural, con materias como biología y ecología, tomando el huerto como laboratorio y lugar de exposición.

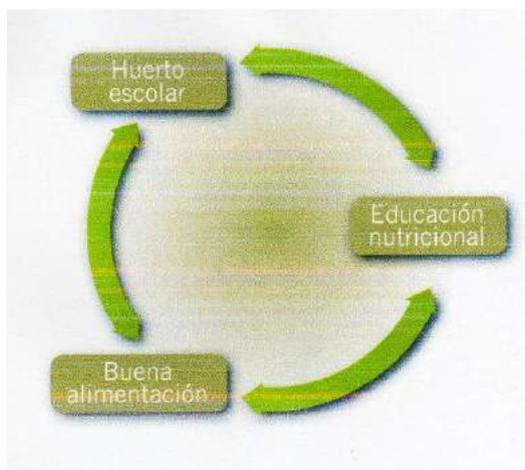
**Una oportunidad perdida de aprender,** es un proyecto importante se consiguió producir en el huerto familiar alimentos ricos en micronutrientes e incorporarlos a los almuerzos escolares. En la evaluación del proyecto se comprobó que los niños estaban comiendo mejor, pero que ni ellos ni sus padres eran conscientes de esto. ¿Qué se perdió aquí?

**Técnicas de subsistencia,** en las sociedades agrícolas, esta capacidad se renueva y amplía mediante la práctica de la horticultura y la cría de pequeños animales. Los alumnos de más edad se pueden encargar de la elaboración y comercialización de alimentos, adquiriendo así importantes conocimientos empresariales. Se están volviendo a examinar y evaluar técnicas domésticas como la conservación de alimentos, la planificación de los almuerzos, la preparación de alimentos preservando los nutrientes, la higiene de los alimentos y el cocinado con ahorro de energía, a fin de crear una base útil para trabajos relacionados con la alimentación (por ejemplo, servicios de suministro de comidas por contrata), así como para una buena vida familiar.

**Educación,** tanto las historias de éxitos como los fracasos ponen de manifiesto la importancia fundamental de la educación para corregir la ignorancia, las actitudes equivocadas, las prácticas inadecuadas y las lagunas en los conocimientos técnicos. Por ejemplo, es evidente que en los entornos urbanos tanto ricos como pobres se está perdiendo la experiencia directa de la producción de alimentos. También ocurre que la mayoría de las personas (incluso las que tienen formación) simplemente no reconocen la conexión entre una buena alimentación y una buena salud. Muchas convicciones sociales equivocadas acerca del valor de los alimentos influyen en las prácticas cotidianas.

**Horticultura y educación nutricional,** una combinación afortunada. Las investigaciones parecen indicar que hay una sinergia importante entre horticultura y educación nutricional.

- Hay pruebas cada vez más fehacientes de que la producción de alimentos por sí sola tiene escasas repercusiones en las prácticas alimentarias, a menos que esté respaldada por una educación nutricional. En cambio, la combinación de educación nutricional y horticultura tiene un efecto demostrado en la alimentación.
- De la misma manera se ha demostrado con frecuencia que la educación nutricional que se concentra únicamente en el conocimiento raramente se traslada a la práctica. Por otra parte, la experiencia de la horticultura directa puede aumentar la preferencia de los niños por las hortalizas y está demostrado que lleva a un cambio de comportamiento



**Figura 30.** Enfoque del nuevo huerto escolar

### **El nuevo huerto escolar**

Está surgiendo un nuevo modelo de huerto escolar que responde más ampliamente a las necesidades de hoy. Está orientado a la alfabetización ecológica, los medios de subsistencia, la mejora de la alimentación, la educación nutricional y la preparación para la vida activa, concede prioridad a la educación práctica, integra varias materias y su influencia se extiende a la totalidad de la escuela, la familia y la comunidad.

### **El aprendizaje en primer lugar**

El primer reto consiste en establecer el programa de aprendizaje.

La mayor parte de los huertos existentes tienen objetivos educativos y no educativos, y las escuelas no desearán renunciar a los beneficios materiales de los ingresos, los alimentos, la mejora de la alimentación y el bienestar ambiental. Muchos de éstos son también esenciales para los objetivos educativos, puesto que los niños no pueden aprender a cultivar alimentos si no lo hacen realmente.

### **Los huertos son el lugar apropiado, a veces el único, para aprender la manera de:**

- cultivar alimentos con éxito;
- respetar el medio ambiente en la práctica directa (por ejemplo, conservación del agua, sustitución de árboles);
- reconocer la relación entre la horticultura y una nutrición adecuada y aprender a cultivar productos alimenticios saludables;
- valorar las hortalizas, frutas y legumbres frescas, incluidas las autóctonas;
- almacenar y conservar los alimentos y prepararlos de manera inocua;
- comprender las vinculaciones entre alimentación y salud;
- aplicar los conceptos de buena alimentación y vida sana a las propias prácticas;
- resistir a la comida basura;
- comercializar y vender alimentos;
- explicar y demostrar a otros el aprendizaje y los conocimientos propios.



**Figura 31.** Materias básicas para el huerto escolar

Este programa de aprendizaje básico es común a las comunidades tanto ricas como pobres, a las que une la preocupación compartida por la agricultura, el medio ambiente, la salud y los medios de subsistencia. Esto ayuda a crear actividades conjuntas fructíferas e intercambiar experiencias e ideas.

### **¿Cómo se puede vincular este plan de estudios basado en el huerto con el plan de estudios general?**

- El componente central son las prácticas hortícolas básicas del ciclo de crecimiento. Si en el plan de estudios figura la Agricultura, ésta guiará el programa. En todos los puntos se puede recurrir a la Ciencia para ilustrar estas prácticas e investigarlas de manera experimental.
- Las prácticas hortícolas deben responder a preocupaciones ambientales y, por consiguiente, estarán documentadas y orientadas en todos los puntos por Estudios ambientales.
- Si la horticultura ha de tener efectos reales a largo plazo en la alimentación de los niños, las necesidades nutricionales deben proporcionar el fundamento global de las actividades hortícolas y regir las decisiones acerca de lo que se ha de plantar y lo que se ha de hacer con la producción. En la esfera educativa, las actividades hortícolas se deben enmarcar, motivar, explicar y ampliar en el ámbito de la Educación nutricional y sanitaria.
- Si los alumnos se encargan de la comercialización y venta de la producción del huerto, los Estudios empresariales también adquirirán importancia en las decisiones acerca de lo que se ha de cultivar y la manera de gestionar la producción.

## Capítulo 3

### Diseño y construcción de dos prototipos de invernaderos andinos

#### 3.1. Ubicación del proyecto y características climáticas

El proyecto se ha desarrollado en las instalaciones del Centro de Capacitación para el desarrollo (CECADE) Qosqo Yachay Wasi ([www.cuscosolar.org](http://www.cuscosolar.org)), ubicado en el distrito de Yaurisque (30 km al SO de la ciudad del Cusco), provincia de Paruro, departamento Cusco, cuyas coordenadas geográficas son:

Altitud: 3 330 msnm, Longitud: 71° 51' 6,59" O , Latitud: 13° 39' 37,24" S

Los principales parámetros meteorológicos se han registrado con una estación marca Davis, Weatherlink, y procesados mediante data logger & software for Vantage Pro2, cuyos promedios se presentan en la Tabla 13.

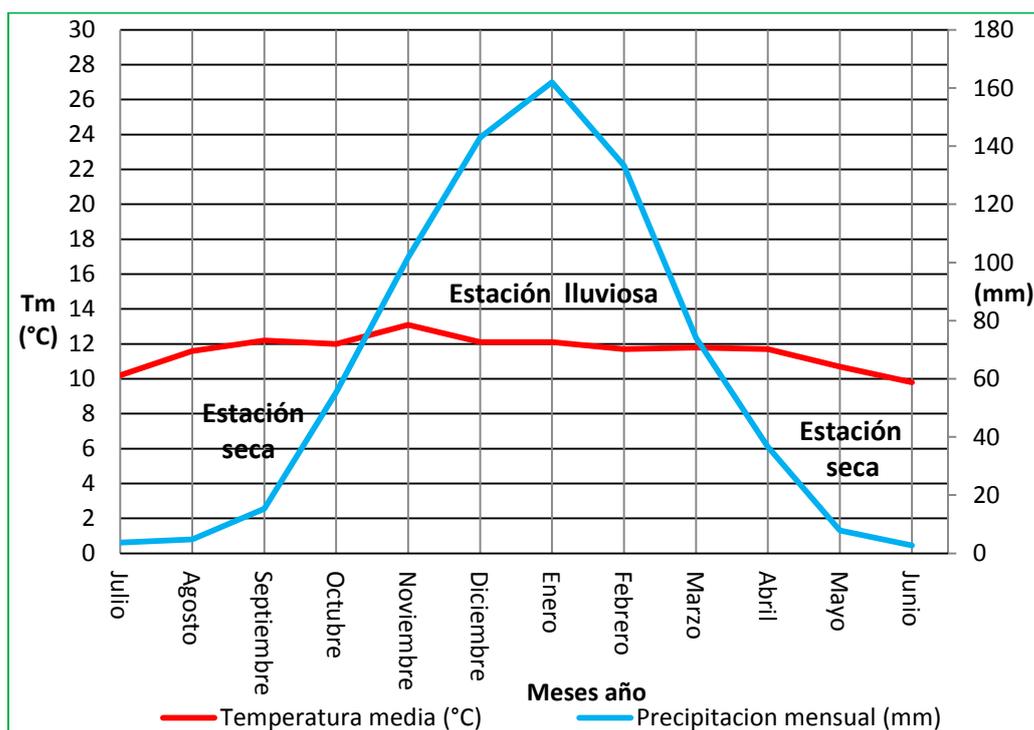
**Tabla 13.** Valores promedios diarios mensuales de temperaturas máximas, medias, mínimas, precipitación, velocidad y dirección de viento, humedad relativa y energía solar (promedio 7 años, 2007-2014)

MES	T <sub>máx</sub> (°C)	T <sub>mín</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	Precipitación (mm)	Velocidad viento (m/s)	Dirección viento	HR (%)	Energía solar * kW.h/m <sup>2</sup> .día
Enero	18.0	7.8	12.1	162.0	0.6	SW	68	4.9
Febrero	18.0	7.4	11.7	133.3	0.6	SW	69	5.2
Marzo	18.3	7.4	11.8	74.1	0.6	SW	70	5.2
Abril	18.9	6.3	11.7	36.6	0.7	SW	68	5.2
Mayo	19.7	4.0	10.7	7.9	0.7	SW	61	5
Junio	18.5	3.0	9.8	2.7	0.7	SW	58	4.5
Julio	19.1	3.0	10.2	3.7	1.0	SW	57	4.8
Agosto	20.7	4.1	11.6	4.8	0.8	SW	55	5.1
Setiembre	20.3	5.6	12.2	15.3	0.9	SW	55	5.4
Octubre	19.3	6.7	12.0	55.3	0.7	SW	55	5.8

MES	T <sub>máx</sub> (°C)	T <sub>mín</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	Precipitación (mm)	Velocidad viento (m/s)	Dirección viento	HR (%)	Energía solar * kW.h/m <sup>2</sup> .día
Noviembre	20.7	7.2	13.1	101.7	0.70	SW	56	5.9
Diciembre	18.6	7.3	12.1	143.0	0.70	SW	62	5.7
<b>Promedio</b>	<b>19.2</b>	<b>5.8</b>	<b>11.6</b>	<b>Total 740.4</b>	<b>0.73</b>	<b>SW</b>	<b>61</b>	<b>5.2</b>

Fuente: Estación meteorológica CECADÉ (2007-2014)

En base a los datos de la Tabla 13, se ha graficado el siguiente diagrama climático para el Cusco.



**Figura 32.** Diagrama climático, distrito de Yaurisque, Paruro, Cusco

De la tabla 13 y figura 32 correspondientes, se deduce que en las zonas andinas, existen dos épocas marcadamente diferenciadas: la estación lluviosa coincidente con el verano (noviembre a marzo), durante este periodo se desarrollan las actividades agrícolas. La otra época es la estación seca, coincidente con el invierno (mayo, junio, julio y agosto), se caracteriza esencialmente por una fuerte insolación diurna, cielos despejados, humedad relativa baja (61 %) y temperaturas mínimas ambientales que en muchas zonas alto andinas alcanzan temperaturas por debajo de 0 °C, produciéndose en forma continua heladas y esporádicamente nevadas, imposibilitando cualquier tipo de cultivo en condiciones naturales.

### 3.2. Aspectos técnicos del estudio

Los principales factores que limitan e influyen en el desarrollo y cultivo de plantas hortícolas y otras especies, sobre todo en la época de secas (invierno) en zonas andinas y alto andinas del Cusco son:

- a. En la época invernal (seca) se produce una alta insolación diurna, cielos despejados y transparentes, produciendo en las noches considerables pérdidas radiativas y convectivas (vientos fríos), las plantas alcanzan la temperatura mínima letal, produciendo su muerte, haciendo imposible el cultivo de especies hortícolas en dicho período. La baja humedad relativa ambiente, determina que las hojas de las plantas no puedan ejercer sus funciones reguladoras (respiración, evapotranspiración) para protegerse de las bajas temperaturas.
- b. El viento frío, al favorecer los fenómenos de evaporación del suelo de cultivo, provocan un enfriamiento del mismo, alcanzando profundidades por debajo de los 10 cm, eliminándose uno de los aportes más significativos de calor del sistema radicular.
- c. El mercado nacional de polietileno térmico estabilizado de baja densidad para invernaderos, no está desarrollado, no existe una demanda ni oferta tecnológica de proyectos masivos o intensivos de producción en invernaderos, no existe un directorio de fábricas nacionales que ofrezcan al mercado insumos para el desarrollo de la plasticultura ni mucho menos diferentes tipos de PE, tampoco se conocen los procedimientos de normalización, la mayoría de los proyectos desarrollados y en desarrollo emplean plásticos importados de Europa, Alemania, España, de países vecinos como Chile, Bolivia, Brasil y Colombia. Sumado a ello no existe un desarrollo tecnológico nacional y local para la producción en invernaderos, semillas y otros insumos, que garanticen un desarrollo sostenible de la plasticultura, en armonía con la naturaleza y el medio; no hay estudios de los impactos ambientales del uso de plásticos, abonos, fitosanitarios empleados en las diferentes labores agrícolas, por ello se deben realizar estudios previos de sostenibilidad del proyecto, buscando un uso racional del recurso agua, pues sin este recurso no es posible desarrollar las labores agrícolas intensas en la producción hortícola en invernaderos.
- d. La selección de una adecuada cubierta transparente de plástico para construir un invernadero y crear un microclima en su interior, debe considerar además de una larga vida útil, fácil recolección y reutilización al final de dicho periodo; una buena iluminación (transmisividad ó transmitancia), para que ingrese al recinto cerrado la mayor cantidad de radiación y garantizar el desarrollo normal de las funciones fotosintéticas de las plantas. Otra propiedad importante es que sean térmicos, con una débil emisividad (opacos a radiación térmica infrarroja larga) y evitar que dicha radiación emitida por el suelo, las paredes y las plantas durante la noche, salgan al exterior del recinto. Así mismo estos plásticos deberán ser estabilizados para inhibir la acción de la radiación ultravioleta que deteriora el plástico y reduzca su vida útil. Al estar el aire confinado en el recinto del invernadero y prácticamente saturado, disminuye la evaporación del suelo, con lo cual y debido a su inercia térmica, hace que la energía ganada durante el día se conserve, en consecuencia las fluctuaciones de temperatura durante el ciclo día-noche, serán mucho menores que las correspondientes al suelo exterior. Una buena estanqueidad del invernadero (puertas, ventanas herméticas), mejorar este proceso y disminuyen las pérdidas por renovación del aire.
- e. Es importante conocer el recurso solar, el movimiento aparente del sol, en especial en la época de secas (invierno), donde el sol migra hacia el norte, alcanzando en el solsticio de invierno (22 de junio) la más baja altitud ( $53^\circ$  al medio día), por lo que deberán tomarse en cuenta la orientación y forma del invernadero y protecciones contra la

acción mecánica del viento que causa roturas e incidiendo sobre el coeficiente global de pérdidas por conducción convección  $K_{cc}$ , así como en el número de renovaciones del volumen de aire del invernadero. Las estructuras que soportan el techo y paredes laterales deben seleccionarse de tal forma que no bloqueen el paso de la radiación solar.

- f. La colocación de pantallas antirradiativas por la noche (arpilleras, telas, plásticos), durante el período invernal, reducen las pérdidas por conducción-convección y por radiación, pues dicha pantalla limita los intercambios de calor entre el interior y exterior, mejorando y manteniendo la inercia térmica en el interior del invernadero.

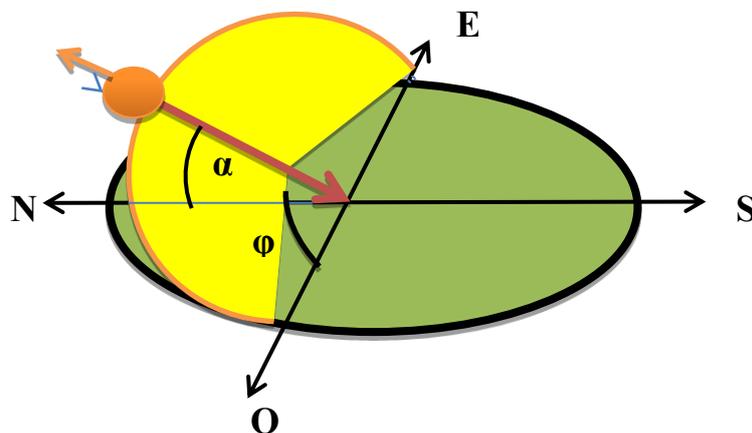
### 3.3. Diseño del modelo experimental para evaluación de invernaderos andinos

#### 3.3.1. Estudios de recurso solar y trayectorias del sol

En la tabla 13, se presentaron datos de las principales variables meteorológicas, registradas por la estación CECADE (Distrito de Yaurisque), con pequeñas variaciones respecto a datos registrados por otras estaciones del Cusco. La columna relacionada a la radiación solar ha sido completada en base a los criterios señalados en la sección 1.3.4. Disponibilidad de datos de radiación en el Cusco, Tabla 4.

El movimiento y la posición del sol lo largo del año en una determinada localidad es un instrumento muy valioso para ubicar la posición del sol en cualquier época y hora del año. Se construyen en función de la latitud, longitud, declinación, ecuación del tiempo, duración del día, hora de entrada y salida del sol, altitud, azimut, entre otras.

La posición del sol está definido por dos ángulos: la altitud solar  $\alpha$  y el azimut  $\varphi$



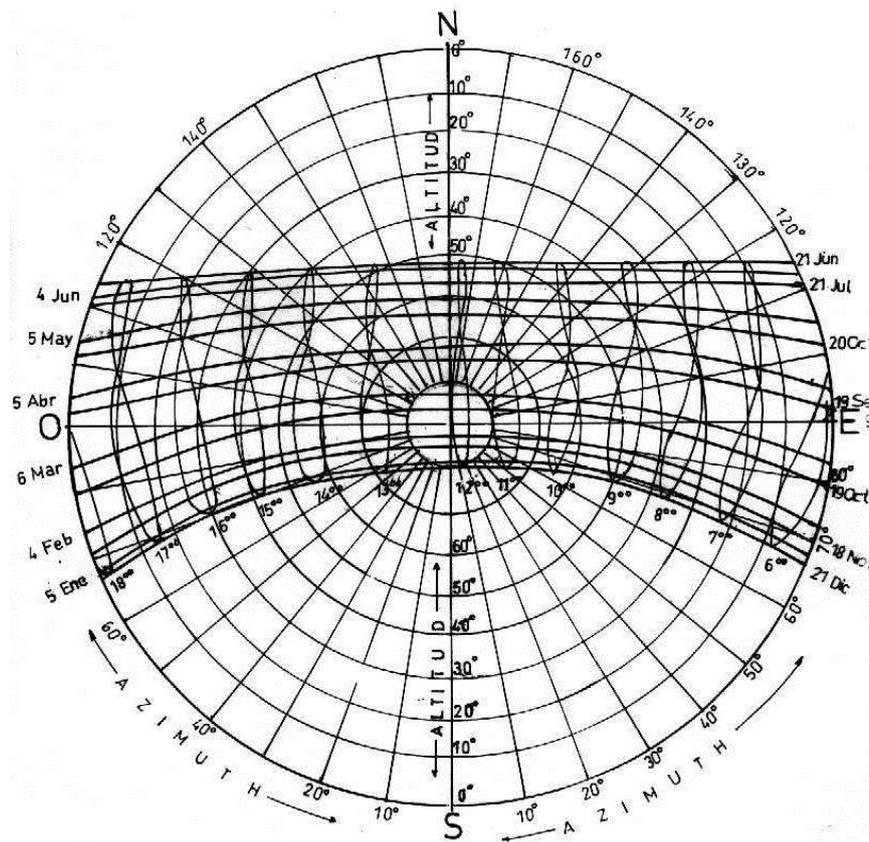
**Figura 33.** Trayectoria del sol para el día más desfavorable del año,  $\alpha$  = ángulo altitud ( $0^\circ$  - $90^\circ$ ),  $\varphi$  = ángulo de azimut ( $-180^\circ$ ,  $+180^\circ$ )

**Diagrama polar:** Sistema de coordenadas, donde la posición de un punto está determinada por la distancia al centro y por el ángulo polar. En este diagrama la distancia desde el centro, mide la altitud solar, el círculo exterior en dicho diagrama de posición del sol representa el horizonte, es decir  $\alpha=0$ . El centro se identifica con la vertical encima de la localidad de observación. El ángulo de azimut del sol es idéntico con el ángulo polar en el

diagrama posición del sol, medido desde el S al este en las mañanas y hacia el oeste pasado el mediodía, Figura 34Figura 33.

### Trayectorias del sol: Cusco

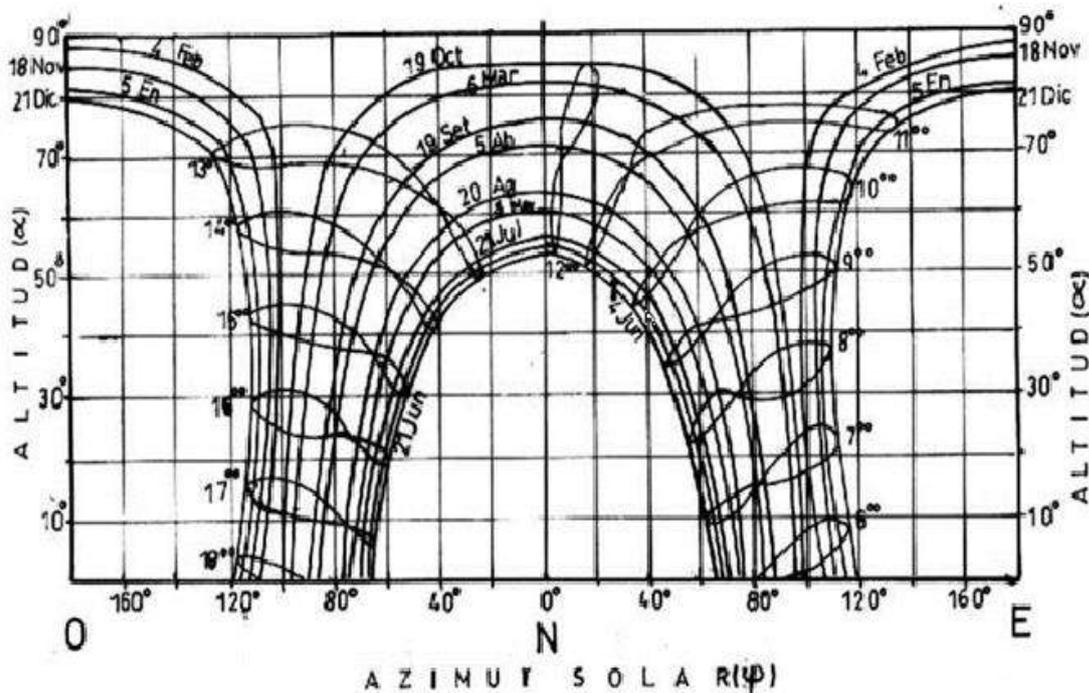
13° 31' Latitud Sur, 71°58' Longitud Oeste, Meridiano Estándar 75° 00' Oeste



**Figura 34.** Diagrama polar de trayectorias del sol para el Cusco  
Fuente: Zanabria P. (2003)

**Diagrama cartesiano:** Sistema de coordenadas, donde el eje horizontal representa el ángulo de azimut ( $\varphi$ ), medido respecto del N, hacia el E en horas de la mañana, y al O después del mediodía. En el eje vertical la altitud solar ( $\alpha$ ), este mapa es de suma utilidad para determinar las sombras de edificaciones si se conoce la ubicación de su azimut y altitud. Figura 35.

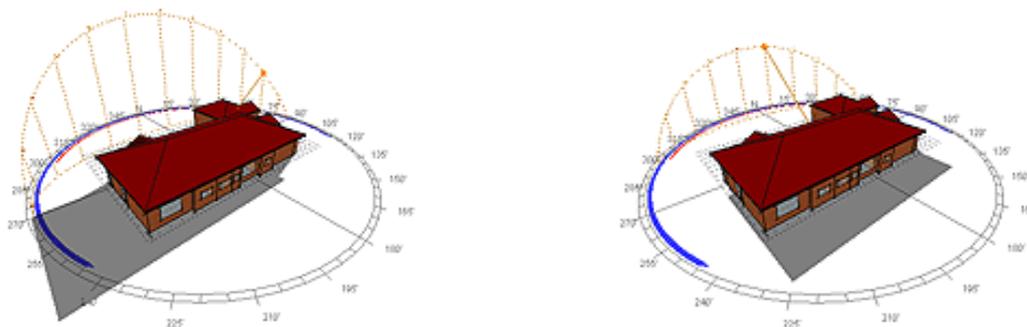
**Diagrama cartesiano. Trayectorias del sol: Cusco**  
**13° 31' S., 71°58'0, O**



**Figura 35.** Diagrama cartesiano de trayectorias del sol para el Cusco  
 Fuente: Zanabria, P. (2003)

Las Figura 34 y Figura 35, presentan dos instrumentos muy importantes de análisis, por un lado el diagrama polar de trayectorias del sol para el Cusco, calculadas para los 13° 31' latitud Sur (S), 71° 58' longitud Oeste (O), meridiano estándar 75° 00' O, en éste se observa que desde el inicio de la primavera hasta finalizado el verano, el sol pasa por el cenit, garantizando además de una buena iluminación, la mayor transmisividad en el invernadero. En el equinoccio de otoño el 21 de marzo, hasta iniciada la primavera (equinoccio de primavera 22 de septiembre), el sol migra hacia el norte, alcanzando la mínima altitud de su trayectoria en el solsticio de invierno (21 de junio,  $\alpha \approx 53^\circ$ ), en consecuencia los sistemas solares: termas, sistemas fotovoltaicos, cocinas, etc. deben orientarse hacia el norte con una inclinación  $\geq$  latitud del lugar, para garantizar la mayor captación de la radiación solar entre las 10:00 h a 14:00 h. Éstos diagramas, serán empleados para evaluar la posición más adecuada de un invernadero para los meses de secas (época de frío). El otro diagrama cartesiano será empleado para el cálculo de sombras.

En la web, existen programas de animaciones para poder observar y calcular la posición del sol, sombras que producen los diferentes obstáculos a lo largo del año.



**Figura 36.** Descripción de sombras para una vivienda a lo largo de un día y año

Fuente: <http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/SunApprox.html>.

### 3.3.2. Estudio de la utilización de cubiertas

Por el limitado mercado local y nacional sobre proveedores de plásticos (PE), para los fines experimentales y disponibilidad en los meses de evaluación, se ha considerado un solo tipo de cobertura de color amarillo (polietileno térmico estabilizado) de 200  $\mu\text{m}$  de espesor, 8 m de ancho (4 planchas de 2 m cada una, térmicamente soldados), producidas por RIEGOMAX SAC, Jr. Alicante 273, Of, 303, San Luis, Lima, [www.riegomax.com](http://www.riegomax.com). Por esta razón la variable tipo de cubierta no ha sido desarrollada.

En las instalaciones donde se realizaron los ensayos, existen dos invernaderos de 160 y 240  $\text{m}^2$  tipo capilla a dos aguas, orientación N-S, cubiertos por el PE de color amarillo, con estructura de palos, sin ninguna protección contra el enfriamiento nocturno, que servirán como prototipos de comparación en las evaluaciones.



**Figura 37a:** PE peruano de baja densidad    **Figura 37b:** Invernaderos N-S

Existen otras empresas peruanas que importan plásticos de países vecinos: Chile, Bolivia (AGROBOL), Colombia y Europa.

Los plásticos biodegradables, aún no son conocidos en el medio. Su empleo en proyectos específicos requerirá un estudio económico previo y un proceso de importaciones desde las fábricas (americanas o europeas) que lo producen.

### 3.3.3. Estudio de la orientación y forma de los invernaderos

Para evaluar la influencia de la orientación y forma de los invernaderos, se han construido 4 micro invernaderos, dos en forma de capilla a dos aguas (1m de ancho, 1,20 m de cumbre, 25° pendiente aproximadamente) y dos de forma curva (estructura de fierro, semicircular de radio de 0,60 m), estos micro invernaderos se han cubierto con PE de baja densidad color amarillo y con PE de color transparente (español) de baja densidad de 200  $\mu\text{m}$  de espesor, (se tomarán medidas referenciales para comparar los dos tipos de cubierta), véase Figura 38.



**Figura 38.** Micro invernaderos curvo (semicircular) y tipo capilla a dos aguas  
Fuente: Elaboración propia

En cada uno de ellos se ha medido la transmisividad :

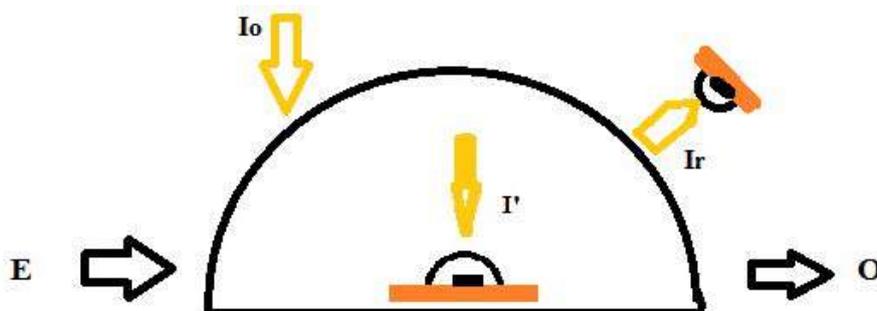
$I_0$  = Irradiancia exterior al invernadero ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$I'$  = Irradiancia transmitida en el interior del invernadero ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$I_r$  = Irradiancia reflejada por la superficie exterior del invernadero ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

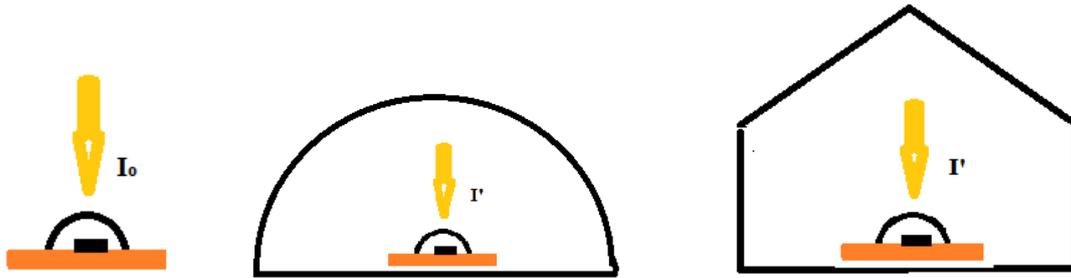
La ubicación del solarímetro se muestra en la Figura 39.

La orientación está referida al eje geométrico principal: Este-Oeste (E-O), Norte-Sur (N-S)



**Figura 39.** Orientación eje geométrico Norte –Sur (N-S)  
Referencial: Este-Oeste (E-O)

La irradiancia se ha medido con un solarímetro HAENNI solar 130, en  $W/m^2$  y la irradiación o (energía solar) con el mismo instrumento en,  $kW.h/m^2$ .



**Figura 40.** Ubicación del solarímetro en los micro invernaderos.

La transmisividad ( $\tau$ ), se calcula relacionado:

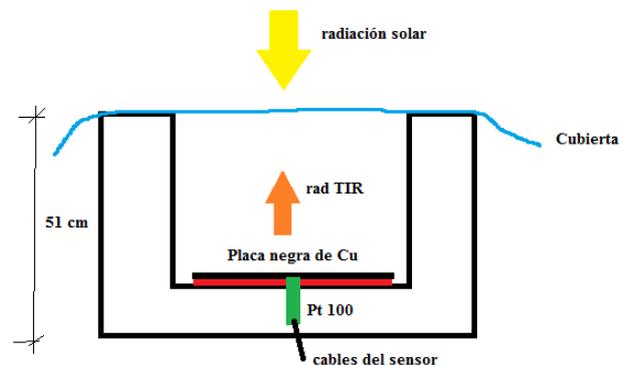
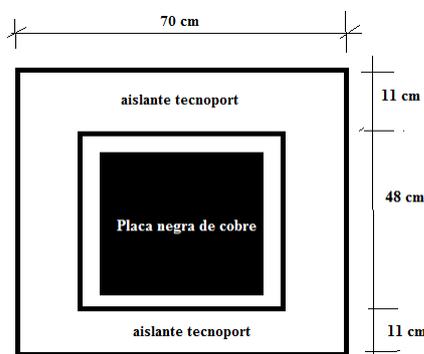
$$\tau = I' / I_0 \quad \text{ec. 17}$$

La reflectancia( $r$ ), se calcula:

$$r = I_r / I_0$$

### 3.3.4. Estudio de la utilización de pantallas antirradiativas

El objetivo principal de los materiales que se emplearán como pantallas antirradiativas, es evitar el enfriamiento nocturno del invernadero sobre todo en la época invernal, durante el día se recogerán para que ingrese al interior del invernadero la mayor cantidad de radiación solar, eventualmente podrán emplearse para el sombreado diurno. Para estudiar el efecto de las diferentes cubierta y materiales empleados como pantallas térmicas, que cortan la radiación térmica infrarroja larga (rad TIR) emitida por una superficie caliente, se ha construido una caja térmica cuyas paredes laterales y base son de polietileno expandido (tecnoport), dejando la parte superior abierta donde se coloca la cubierta transparente o la pantalla antirradiativa, tal como se indica en las Figura 41a y b. En el fondo de la caja se ha colocado una placa de cobre (40 cm x 40 cm), pintada de negro mate, por debajo de dicha placa se ha adosado íntimamente un sensor de temperatura constituida por una resistencia Pt-100 (platino 100), acondicionada en un pequeño cilindro macizo de cobre (la curva de calibración se adjunta en el Anexo A.1).



**Figura 41a.** Dimensiones caja térmica

**Figura 41b.** Ubicación del sensor Pt 100 y cubierta

Este dispositivo simula de manera simplificada el comportamiento de un invernadero frente a los intercambios energéticos radiativos, entre el suelo y plantas que se calientan durante el día y el medio exterior durante los períodos nocturnos del invierno. Debemos indicar que el clima en el interior de un invernadero es mucho más complejo y se requieren realizar balances energéticos más riguroso.

La finalidad de emplear la caja térmica es la observar durante el período de radiación nocturna, la evolución de temperatura de la placa negra de cobre, frente a las diferentes cubiertas: arpillera y tela de tocuyo de entramado grueso, PE de baja densidad de color amarillo (nacional) y transparente (español), que se colocan sobre ella, los resultados de esta evaluación permite identificar si los materiales ensayados se pueden emplear para evitar el enfriamiento nocturno del invernadero. Las mediciones se realizaron a partir de las 16:00 h del día anterior, hasta las 06:00 h del día posterior.



**Figura 42.** Caja térmica y medida de la temperatura de placa

### 3.3.5. Análisis del balance térmico de invernaderos

En la sección 1.5, se presentan los principales términos del balance energético de un invernadero, todos están expresados en función de  $\Delta T$ = salto térmico, diferencia de temperatura a mantener en el interior del invernadero (temperatura óptima del cultivo) y la del exterior del invernadero (media de mínimas del mes más frío).

**Tabla 14.** Valores medios de las temperaturas mínimas del mes más frío (julio)

<b>Año</b>	<b>T<sub>mín</sub></b> <b>(°C)</b>	<b>T<sub>máx</sub></b> <b>(°C)</b>	<b>v</b> <b>(m/s)</b>	<b>Dirección</b> <b>viento</b>
2014	1,8	22,8	0,3	SSW
2013	0,3	17,3	0,5	SSW
2012	1,4	22,4	0,6	SSW
2011	-0,2	20,4	0,8	SW
2010	-0,2	21,2	0,8	SW
2009	0,9	20,8	0,9	SW
2008	0,3	21,0	0,7	SW
<b>Promedio</b>	<b>0,6</b>	<b>20,62</b>	<b>0,7</b>	<b>SW</b>

Fuente: Estación meteorológica del CECADE

Así por ejemplo para el tomate la temperatura óptima nocturna, Tabla 1:

$$T_{i, \text{ óptima}} = 14,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{mím, ext(promedio)}} = 0,6; \text{ el salto térmico } \Delta T = T_i - T_e = 13,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Este valor será empleado para calcular los diferentes términos del balance térmico de un invernadero, que permita luego evaluar la necesidad de calefacción o refrigeración de un invernadero.

### 3.4. Instrumental empleado en las diferentes medidas y evaluaciones experimentales

a. Estación meteorológica marca Davis, Weatherlink, Data Logger, para Vantage Pro2.

b. Medición de radiación solar :

Solarímetro HAENNI Solar 130, con rangos para medir:

- Irradiancia I ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- Irradiación (energía solar) ( $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ )

Piranómetro-radiómetro Kipp&Zoonen CM11-871667

c. Medidores de temperatura y humedad:

- Termo resistencia Pt-100 ( $- 220 - 500 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\pm 0,10 \text{ } \Omega$ ,  $\pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- Termómetros de Hg ( $-10$  a  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- Termómetro de alcohol ( $-10$  a  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- Geotermómetros de Hg, de 5 y 10 cm ( $- 10$  a  $50^\circ\text{C}$ ,  $\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- Termo-higrómetro ( $\pm 1 \%$ ,  $\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



**Figura 43** a. Estación Davis b. Solarímetro y radiómetro c. Termómetros

### 3.5. Estudios previos de sostenibilidad del proyecto y evaluación del impacto ambiental

El concepto de **desarrollo sostenible** debe estar presente en todas las fases de vida de un proyecto de producción intensiva a mayor y menor escala de un invernadero: empleo de materiales, construcción, explotación, uso de insumos agropecuarios (abonos, fitosanitarios), uso de recursos naturales: agua, suelos, vegetación, residuos, tratamientos y

eliminación de residuos, etc. Por tanto, el desarrollo tecnológico actual debe adaptarse a las exigencias del medio, procurando no romper el frágil equilibrio de los ecosistemas naturales y, de esta forma, garantizar las necesidades de las generaciones futuras. Una gran mayoría de los países del mundo y en particular el Perú han desarrollado leyes, normas, reglamentos que sean capaces de identificar, prever, corregir y comunicar las posibles repercusiones ambientales de las actividades desarrolladas en un proyecto de producción de hortalizas y otros en invernaderos andinos.

En conclusión, dicho estudio deberá identificar, describir y valorar de manera apropiada, y en función de las particularidades de cada caso concreto, los efectos notables previsibles que la realización del proyecto produciría sobre los distintos aspectos ambientales.

En el segundo capítulo se ha descrito entre otros aspectos, los problemas de contaminación ambiental en actividades productivas relacionadas a la plasticultura, en muchas regiones del mundo en particular España, conocerlos y evaluarlos nos permitirán evitar los graves atentados al medio ambiente relacionados a la contaminación de tierras de cultivo, impacto paisajístico, contaminación atmosférica, de los suelos, aguas subterráneas, producción de residuos agrícolas entre otros. En el Capítulo 5, se desarrollará con detalle estos contenidos.

### **3.6. Diseño y construcción de dos prototipos de invernadero andino**

En base al estudio de las referencias del capítulo 2 y de los puntos: 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5, se propone la construcción de dos prototipos de invernaderos andinos tomando en consideración los siguientes criterios:

1. Emplear materiales rústicos de las zonas donde se construirán los invernaderos, sostenibles, reusables para la construcción de las estructuras del invernadero.
2. Forma y orientación
3. Material de cubierta (disponible en el mercado local o nacional)
4. Pantallas antirradiativas disponibles en los mercados locales.

#### **3.6.1. Invernadero de pared de adobe y techo curvo (tipo I)**

En el diseño y construcción de los dos prototipos, se consideran materiales que se encuentran en la zona: palos, adobes, piedras y otros que pueden adquirirse en cualquier mercado local, a excepción del PE, los diseños son fácilmente replicables y son de auto construcción y fácil mantenimiento.

**Área:** 3,80 m x 6,20 m = 24 m<sup>2</sup> (las dimensiones se dan en función del ancho del plástico disponible en el mercado)

**Forma:** Techo curvo (semielíptico)

**Orientación:** Eje principal E-O

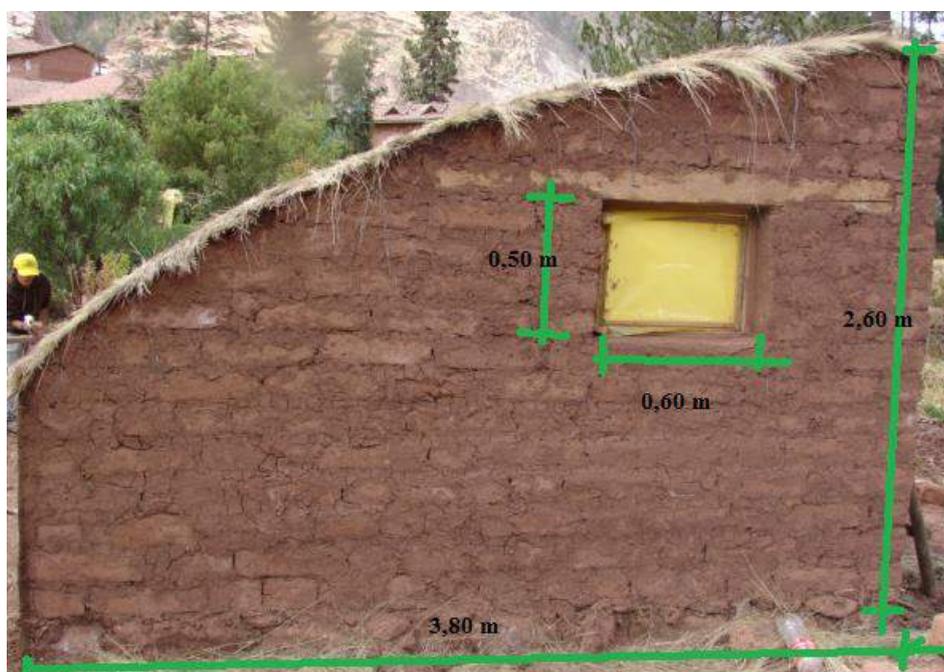
**Pantalla antirradiativa:** removible, manta de arpillera (entramado grueso, en venta en cualquier mercado local)

**Estructura de paredes:** pared de adobe sur hasta la cumbre, paredes E, O en forma semi elíptica, pared N hasta 1 m de altura (adobes de tierra+paja, de 0,40 m x 0,20m x 0,12 m).

**Estructura del techo:** estructura de soporte del plástico, fierro corrugado de ½” y enmallado con alambre galvanizado N° 14.

**Cubierta:** Polietileno térmico estabilizado de baja densidad (200  $\mu\text{m}$ ) (disponible en el mercado nacional, de color amarillo, de 8 m de ancho) . El plástico se fija con tirantes laterales de soguilla y enterrado en suelo.

**Ventilación y acceso:** Puerta en lado E, con ventana móvil (0,80 m x 0,80 m) ventana fija en lado O (0,60 m x 0,50 m).



**Figura 44.** Invernadero tipo I, paredes de adobe con techo curvo (pared O), detalle de ventana



**Figura 45.** Puerta en pared E



**Figura 46.** Detalle de fijación de plástico



**Figura 47.** Invernadero tipo I, estructura techo, cubierta de P.E. 200 µm, pantalla externa antirradiativa de arpillera

### 3.6.2. Invernadero de palo, con techo a dos aguas y murete perimetral de adobe

(tipo II)

**Área:**  $6\text{ m} \times 8\text{ m} = 48\text{ m}^2$

**Forma:** techo tipo capilla a dos aguas

**Orientación:** eje principal E-O

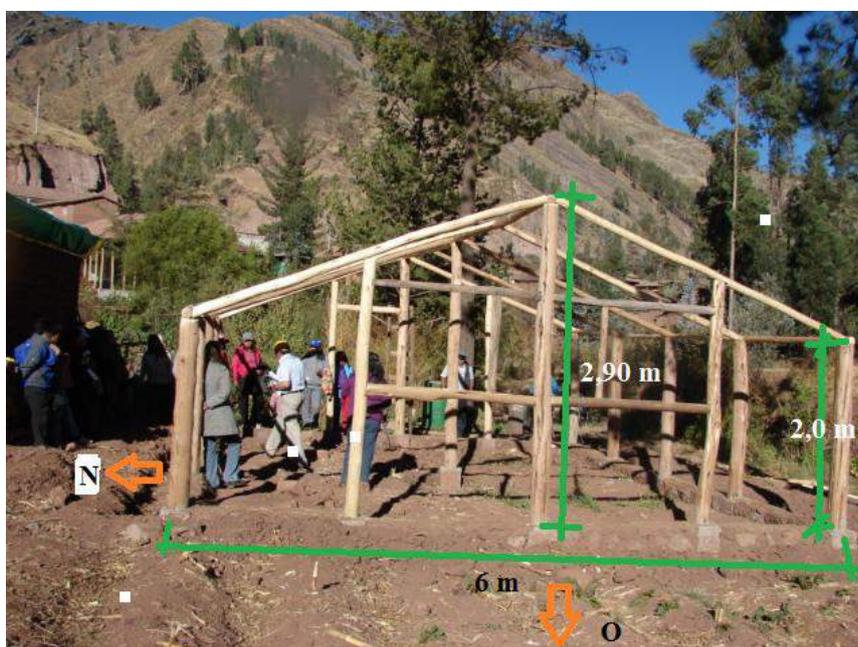
**Pantalla antirradiativa:** en el interior sobre el cultivo, pantalla removible de tela de tocuyo americano (disponible en los mercados locales)

**Estructura de paredes:** palo rollizo de eucalipto, con murete perimetral de adobe de 1 m de altura.

**Estructura del techo:** estructura de soporte del plástico, palo de eucalipto labrado y enmallado con alambre galvanizado N° 14.

**Cubierta:** polietileno térmico estabilizado de baja densidad ( $200\ \mu\text{m}$ ) (disponible en el mercado nacional, de color amarillo). Se fija con cintillas de madera y clavo, se fija el plástico enterrándolo en el suelo.

**Ventilación y acceso:** puerta en lado E ( $2\text{ m} \times 1\text{ m}$ ), 2 ventanas lado O ( $0,80\text{ m} \times 0,80\text{ m}$ )



**Figura 48.** Invernadero tipo II (estructura de palos, eje principal E-O), figura con pared O, estructura de palos, confinamiento de ventanas



**Figura 49.** Estructura techo (enmallado)



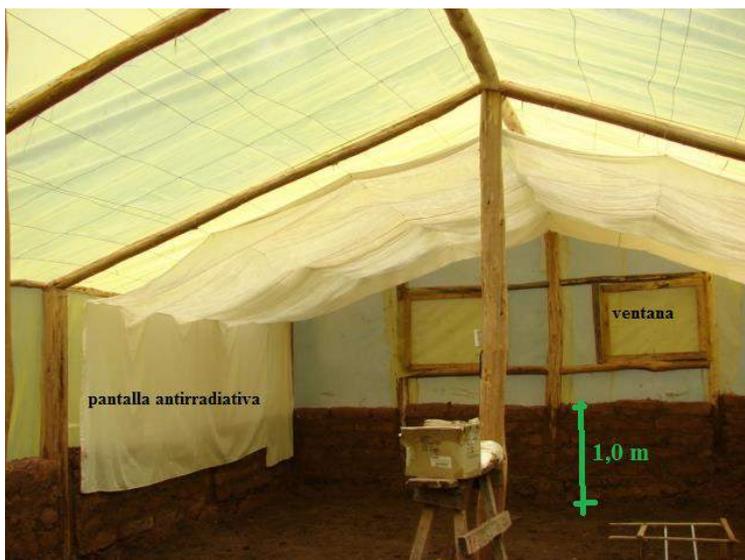
**Figura 50.** Detalle ventanas y murete



**Figura 51.** Pared lateral S, fijación de Plástico (enterrado en suelo)



**Figura 52.** Puerta con ventana móvil en pared E



**Figura 53.** Interior del invernadero, murete de adobe, ventanas y pantalla removible antirradiativa de tela

En el Anexo 3, se ha elaborado un manual de construcción de un invernadero de 100 m<sup>2</sup>, tipo II, donde están detallados los diferentes pasos constructivos, así como las recomendaciones para su manejo y mantenimiento.



## **Capítulo 4**

### **Evaluación experimental y discusión de resultados**

#### **4.1. Introducción**

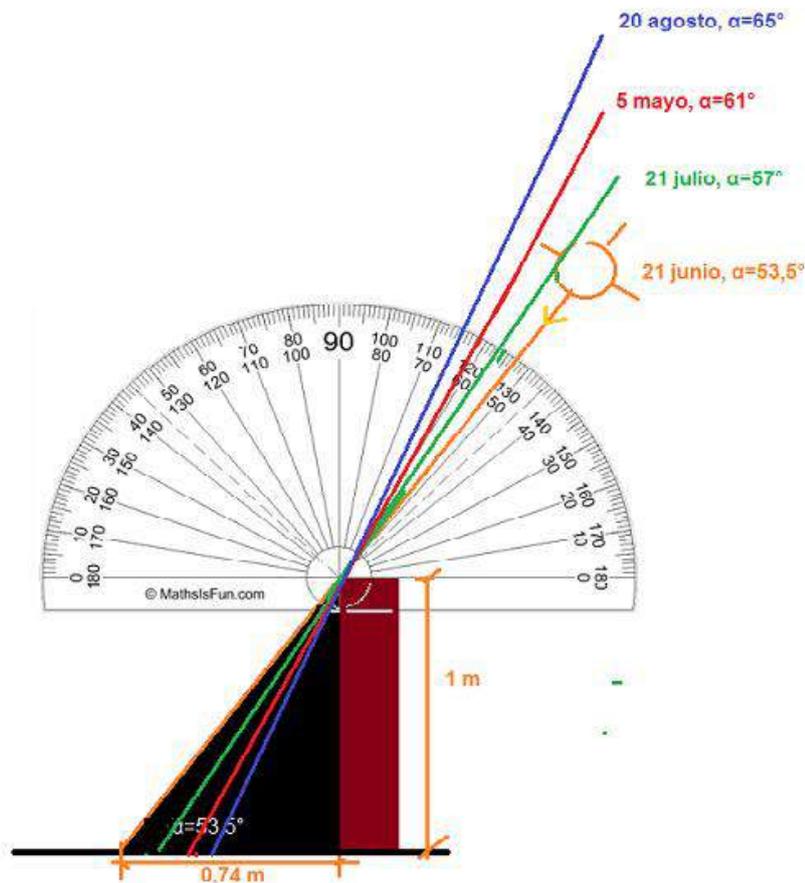
Los resultados y discusiones presentados en el presente capítulo, muestran las mediciones experimentales, realizadas en la estación seca (mayo hasta agosto aproximadamente) de los años 2013 y 2014, coincidente con el invierno en las zonas alto andinas, donde las temperaturas descienden por debajo de los cero grados, limitando la producción agrícola en condiciones naturales, pues las plantas alcanzan la temperatura mínima letal y mueren. Situación similar se produce con las poblaciones que viven en dicha zona, el frío provoca una serie de enfermedades bronco pulmonares afectando especialmente a los niños y ancianos, anualmente en esta época mueren decenas de niños afectados fundamentalmente por la neumonía, entre otras causas por la precariedad de sus viviendas y falta de confort térmico, son construidas sin ningún criterio técnico, las pérdidas de calor en el período nocturno son grandes. El sol radiante durante los días invernales puede ser aprovechado para calentar las viviendas y guardar dicho calor para la noche, elevando algunos grados la temperatura interior, los invernaderos pueden ayudar a mejorar el confort en dichas viviendas, por lo que los resultados que a continuación se presentan son aplicables para la bioclimatización de viviendas.

#### **4.2. El recurso solar y trayectorias del sol**

Los niveles de radiación solar aprovechable, en las zonas alto andinas, tal como se describe en el acápite 1.3.4. (Disponibilidad de datos de radiación), son elevados, sobre todo en las zonas 1,2, 3, de la región Cusco, con valores medios diarios anuales que oscilan entre 5,2 a 6,0 kW.h/m<sup>2</sup>.

El sol describe diferentes trayectorias según la estacionalidad, en todos los casos sale del Este y se oculta en el Oeste. En la figura 32, la trayectoria del sol en la época de frío (solsticio de invierno, 21 de junio), es la curva más externa hacia el norte, donde el sol sale aproximadamente a las 6:30 h y se oculta pasadas las 17:00 h, en el lugar de estudio CECADE (Distrito de Yaurisque), es un valle estrecho con montañas a ambos lados, el sol sale aproximadamente a las 08:30 y se oculta pasadas las 16:00 h.

El ángulo de altitud ( $\alpha$ ) al medio día del 21 de junio es de  $53,5^\circ$ . La figura 52, muestra la sombra que produce un muro de 1 m de altura mirando al norte, es igual a 0,74 m, al elevarse la altura del muro, también aumenta la sombra producida. En la misma figura se muestran los valores de la altitud al medio día de las trayectorias del sol para el 21 de julio, 5 de mayo y 20 de agosto respectivamente, la sombra que produce el muro se va reduciendo hasta cero metros, cuando el sol alcanza el mediodía del 19 de setiembre (equinoccio de primavera), con una altitud de  $84^\circ$  aproximadamente, el sol está casi en el zenit.

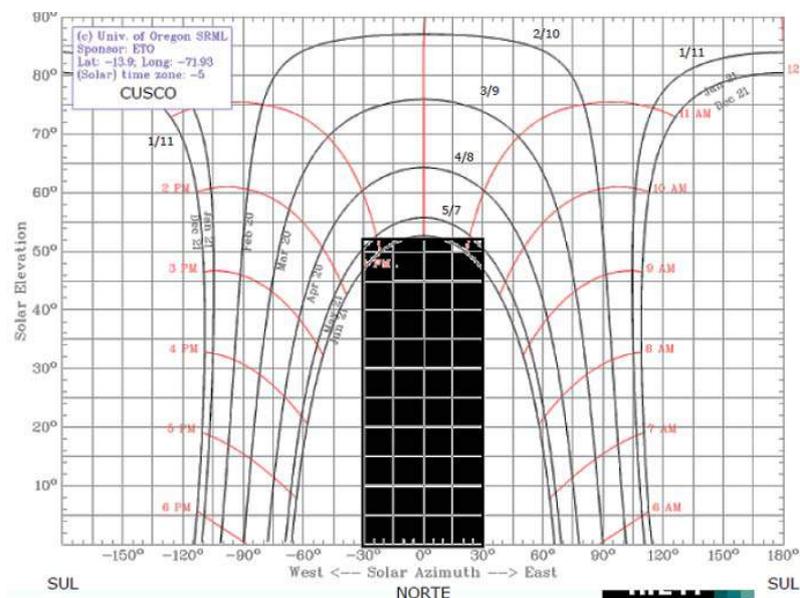


**Figura 54.** Sombra que produce un muro de 1 m de altura mirando al N, al medio día del 21 de junio, muestra la altitud del sol el 21 julio, 5 mayo y 20 agosto respectivamente

Fuente: Elaboración propia

Durante el invierno de las zonas alto andinas del Cusco, la pared que mira al N siempre estará iluminada por los rayos solares, por consiguiente en una edificación (invernadero), cuya orientación sea E-O, las paredes N recibirán el mayor número de horas de sol, así mismo ofrece una masa térmica que se calienta, absorbiendo el calor diurno y guardándolo para el período nocturno, donde juega un papel importante en los intercambios de calor con el medio ambiente, manteniendo un micro clima en el interior de la edificación. Como principio básico, los invernaderos deben situarse en lugares donde se garantice el mayor número de horas de sol, entre las 09:00 y 16:00 h, evitando las sombras producidas por obstáculos; edificaciones, árboles, etc.

Si realizamos un análisis de una estructura, ubicada entre  $-30^\circ$  y  $+30^\circ$  azimuth, altitud  $\alpha = 53.5^\circ$ , como en la figura 53, dicha estructura obstruye el sol durante las trayectorias del invierno, junio, julio; se pierden aproximadamente 2,5 h diarias entre las 10:30 h y las 13:00 h, mientras que en el mes de julio se pierde aproximadamente una hora de sol por día.



**Figura 55.** Diagrama de sombras para una edificación con  $\alpha=53,5^\circ$ ,  
 $\varphi=-30^\circ, +30^\circ$

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Evaluación del tipo de cubierta

No se ha realizado una evaluación comparativa empleando dos o más tipos de cubiertas de polietileno para invernadero, por no encontrarse con facilidad en el mercado local y nacional. Esta variable es de mucha importancia y debe ser considerada en estudios posteriores. Sin embargo por las observaciones realizadas a través de múltiples aplicaciones con plásticos nacionales como extranjeros, la vida útil de estos materiales es, en promedio 2 años, el deterioro por efecto de la radiación UV, empieza por lo general en las zonas de contacto con la madera o fierro, sistemas de sujeción entre otras causas. Para minimizar estos efectos, antes de la colocación del plástico se debe recubrir los fierros y la madera de apoyo con una pintura anticorrosiva de color claro (blanco) para reflejar la radiación incidente, limar y quitar todas las asperezas y zonas puntiagudas. Otro factor de deterioro es el viento, que produce una acción mecánica sobre el plástico, batiéndolo cuando el plástico no está bien sujetado en el techo y paredes laterales, el viento al ingresar por debajo ejerce una fuerza ascensional hacia arriba, rasgando el plástico. Por ello se recomienda fijar adecuadamente el plástico y colocar un enmallado externo sobre el plástico que evite estas oscilaciones mecánicas. Los fabricantes por lo general no publican la ficha técnica del plástico que indique la vida útil, estabilizadores, efectos térmicos, resistencia mecánica, entre otras variables muy útiles en las aplicaciones. Otro aspecto desconocido en el Perú es la normalización de plásticos utilizados en la agricultura. En la siguiente figura se muestra el deterioro de los plásticos en un invernadero.

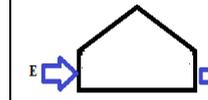
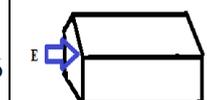


**Figura 56.** Deterioro del plástico en las uniones y contacto con la madera  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Evaluación de la orientación y forma de los invernaderos

La Tabla 15, muestra los resultados de las medidas y cálculos de la transmisividad ( $\tau = I'/I_0$ ) y la reflectividad ( $\rho = I_r/I_0$ ), para cuatro tipos de micro-invernaderos, donde se ha variado la forma y orientación. Sólo se presentan los resultados con un solo tipo de cubierta (color amarillo).

**Tabla 15.** Valores de la transmisividad  $\tau$  y la reflectividad  $\rho$ , para cuatro tipos de micro invernaderos

	22 al 27/07/2013  Eje mayor N-S		22 al 27/07/2013  E-O		12 al 21/07/2013  Eje mayor N-S		12 al 21/07/2013  E-O	
	I-a		I-b		II-a		II-b	
Hora	$\tau$ (%)	$\rho$ (%)	$\tau$ (%)	$\rho$ (%)	$\tau$ (%)	$\rho$ (%)	$\tau$ (%)	$\rho$ (%)
08:00	52	29	61	32	56	44	60	32
09:00	55	30	50	33	45	36	58	29
10:00	76	28	73	30	46	35	53	26
11:00	75	33	60	23	52	29	65	23
12:00	70	24	59	26	42	39	62	22
13:00	65	27	58	29	75	35	70	24
14:00	55	25	54	30	51	23	58	23
15:00	76	36	69	31	71	38	67	37
16:00	69	35	58	51	53	23	56	31
17:00	67	37	63	34	58	58	60	39
<b>Promedio</b>	<b>66</b>	<b>30</b>	<b>61</b>	<b>32</b>	<b>55</b>	<b>36</b>	<b>61</b>	<b>29</b>

Fuente: Elaboración propia

Las medidas se han realizado durante el mes de julio del 2013. Analizando estos resultados:

**Por la forma:** la forma curva (semicircular) presenta una mayor transmisividad y una menor reflectividad, comparada a las formas rectas tipo capilla, pues el ángulo de

incidencia sobre dichas cubiertas es aproximadamente perpendicular entre las 10 y las 16 h. La forma curva I-a orientación N-S, presenta un 66 % de transmisividad (30 % reflectividad), mientras que las formas curva I-b (E-O) y la forma tipo capilla II-b (E-O) presentan ambas un 61 % de transmisividad, 32 % y 29 % de reflectividad respectivamente, comparada a la forma tipo capilla II-a (N-S) con un 55 % de transmisividad y 36 % de reflectividad.

Para el tipo curvo I-a, por cada  $1\ 000\ \text{W/m}^2$  ingresan al interior el 66 %, es decir  $660\ \text{W/m}^2$ , y se reflejan  $300\ \text{W/m}^2$ ; son absorbidos por la cubierta  $40\ \text{W/m}^2$ . En consecuencia estos tres parámetros ópticos están relacionados por:

$$\rho + \alpha + \tau = 1, \text{ donde } \rho=0,30, \alpha=0,04 \text{ y } \tau=0,66$$

En cuanto a la orientación del invernadero, para el período invernal, las formas curvas I-a (N-S), I-b (E-O) y forma tipo capilla II-b (E-O), son las que mejor se comportan en los procesos de transmisividad de la radiación solar.

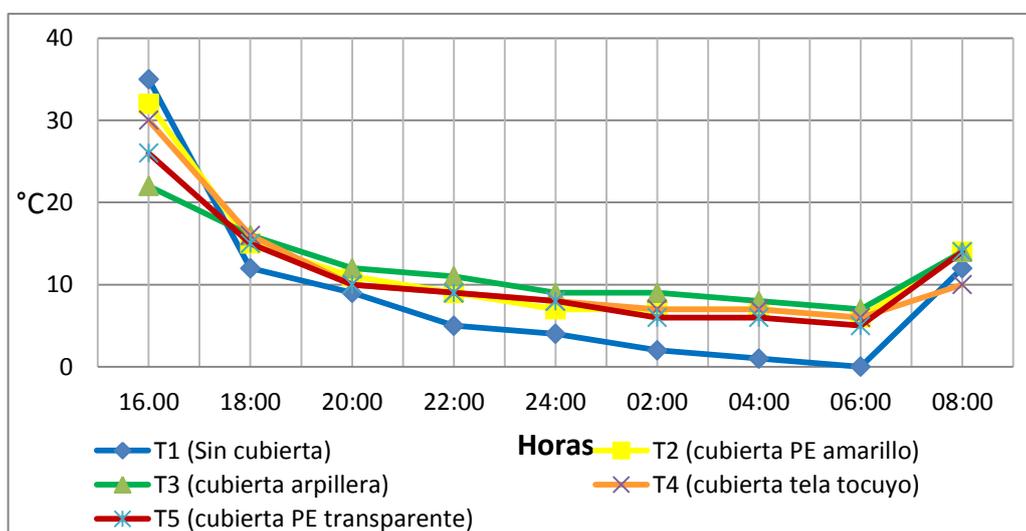
Cuando se cambia de cubierta al PE español (transparente), los valores de transmisividad, reflectividad no difieren en  $\pm 5\%$ , comparados a los resultados de la tabla 14..

#### 4.5. Evaluación del empleo de pantallas antirradiativas

Se han empleado como se indicó en la sección (3.3.4), diferentes materiales como pantallas antirradiativas:

- a. Polietileno de baja densidad ( $200\ \mu\text{m}$ ), color amarillo ( $T_2$ )
- b. Arpillera ( $T_3$ )
- c. Tela de tocuyo americano ( $T_4$ ).
- d. Polietileno de baja densidad ( $200\ \mu\text{m}$ ), transparente ( $T_5$ )

Para comparar éstos parámetros, se ha medido la evolución de temperaturas sin pantalla antirradiativa ( $T_1$ ). La figura 55, muestra la evolución de temperaturas de la superficie negra caliente en el interior de la caja, cuando se cubre la caja con diferentes materiales.



**Figura 57.** Caja térmica, pantallas antirradiativas (datos tomados en junio, julio 2013)

En el período comprendido entre las 16:00 h y las 08:00 h del día siguiente, se observa que las cubiertas de PE, tela y arpillera, tienen el mismo comportamiento, cortan la radiación térmica infrarroja larga emitida por la placa, por ejemplo para las 06:00 h,  $T_1 = 0\text{ }^\circ\text{C}$ , a la misma hora empleando las diferentes pantallas antirradiativas,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  están  $5\text{ }^\circ\text{C}$  por encima de  $T_1$ , los cuatro materiales arpillera, tela, seguida de los dos tipos de PE cortan la radiación térmica infrarroja emitida por la placa caliente, es decir tienen un comportamiento térmico, ésta es una buena ganancia de temperatura que ayudará al invernadero a mantener la temperatura interior del invernadero 5 o más grados mayor que la temperatura mínima exterior, evitando que las plantas alcancen la temperatura mínima letal.

#### 4.6. Evaluación del balance térmico de invernaderos

La evaluación del balance energético de un invernadero, permite analizar su comportamiento térmico, que asegure las condiciones óptimas para el desarrollo y producción de las plantas en su interior, así mismo en base a este balance puede determinarse la aportación energética necesaria para alcanzar las condiciones ideales dentro del invernadero.

En la sección 1.5, la ecuación 6, presenta una fórmula simplificada de dicho balance, habiéndose calculado los diferentes términos para tres tipos de invernaderos. Para efectos comparativos, el prototipo con techo tipo capilla E-O (tipo II), cubierto con PE amarillo, sin muro perimetral y sin pantalla antirradiativa, se ha considerado como invernadero tipo A, mientras que el mismo prototipo con murete de adobe perimetral y con pantalla antirradiativa es el tipo II, el tipo I es de techo curvo, orientación E-O con paredes E, O y S de adobe. Se han tomado algunos valores de constantes, de las tablas presentadas en dicha sección. Los resultados de dichos cálculos se presentan en Tabla 16.

Coefficiente global de pérdidas de calor por conducción, convección:  $K_{cc} = 3,445\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , número de renovaciones por hora :  $R = 0,5\text{ h}^{-1}$

Para evaluar las pérdidas por conducción a través del suelo ( $Q_s$ ), se consideran: coeficiente de conductividad térmica del suelo semi húmedo:  $K_s = 1,5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ,  $p = 1,20\text{ m}$ ,  $\Delta t = T_i - T_{s,10\text{cm}}$ , con  $T_i = 14,5\text{ }^\circ\text{C}$  (temperatura óptima nocturna dentro del invernadero),  $T_{s,10\text{cm}} = 7,5$ ; temperatura del suelo a 10 cm en el interior de los invernaderos tipo A y tipo II, mientras que para el tipo I,  $T_{s,10\text{cm}} = 12,0\text{ }^\circ\text{C}$ , calculando el salto térmico, resulta:  $\Delta t = T_i - T_{s,10\text{cm}} = 7\text{ }^\circ\text{C}$  para A y II y  $\Delta t = T_i - T_{s,10\text{cm}} = 2,5\text{ }^\circ\text{C}$  para el tipo I.

Pérdidas por radiación:  $T_e = 0,6\text{ }^\circ\text{C}$  (exterior),  $T_{\text{cielo}} = 0,0055 T_e^{1,5} = 0\text{ }^\circ\text{C} = 273\text{ K}$ , así mismo se ha considerado que la transmisividad de la radiación térmica infrarroja (TIR) para las pantallas térmicas tela y arpillera (materiales cuya materia prima está compuesta de poliéster y polipropileno), es aproximadamente  $\tau = 0,25$  (ver Tabla 10), es decir sólo el 25% de la TIR emitida por el suelo, llega al exterior.

**Tabla 16.** Balance térmico de 3 tipos de invernaderos

Tipo invernadero	Forma y orientación	$\Delta T$ (°C)	$R_{1-2}$ (W/m <sup>2</sup> )	$Q_{cc}$ (W/m <sup>2</sup> )	$Q_{ren}$ (W/m <sup>2</sup> )	$Q_s$ (W/m <sup>2</sup> )	$Q_t$ (W/m <sup>2</sup> )
<b>A:</b> Techo tipo capilla, estructura palos, cubierta PE baja densidad (200µm). Sin murete adobe, sin pantalla antirradiativa Área base: 48 m <sup>2</sup>	 2 aguas (capilla) E-O	13,9	58,0	111	6	9	176,5 (100%)
<b>I :</b> Paredes de adobe (Pared Sur adobe hasta techo) Estructura techo, fierro corrugado Cubierta PE baja densidad (200 µm). Pantalla antirradiativa: arpillera Área base: 24 m <sup>2</sup>	 Techo curvo (semi-elíptico), E-O	13,9	$\tau =$ 0,25 para TIR  14,5	51,5	5	3	79,0 (57% Reduc.)
<b>II.</b> Estructura palos Cubierta PE baja densidad (200 µm). Murete de adobe perimetral de 1 m , con pantalla antirradiativa: tela tocuyo Área base: 48 m <sup>2</sup>	 2 aguas (capilla) E-O	13,9	$\tau =$ 0,25 para TIR  14,5	83	6	9	112,6 (39% Reduc.)

Fuente: Elaboración propia

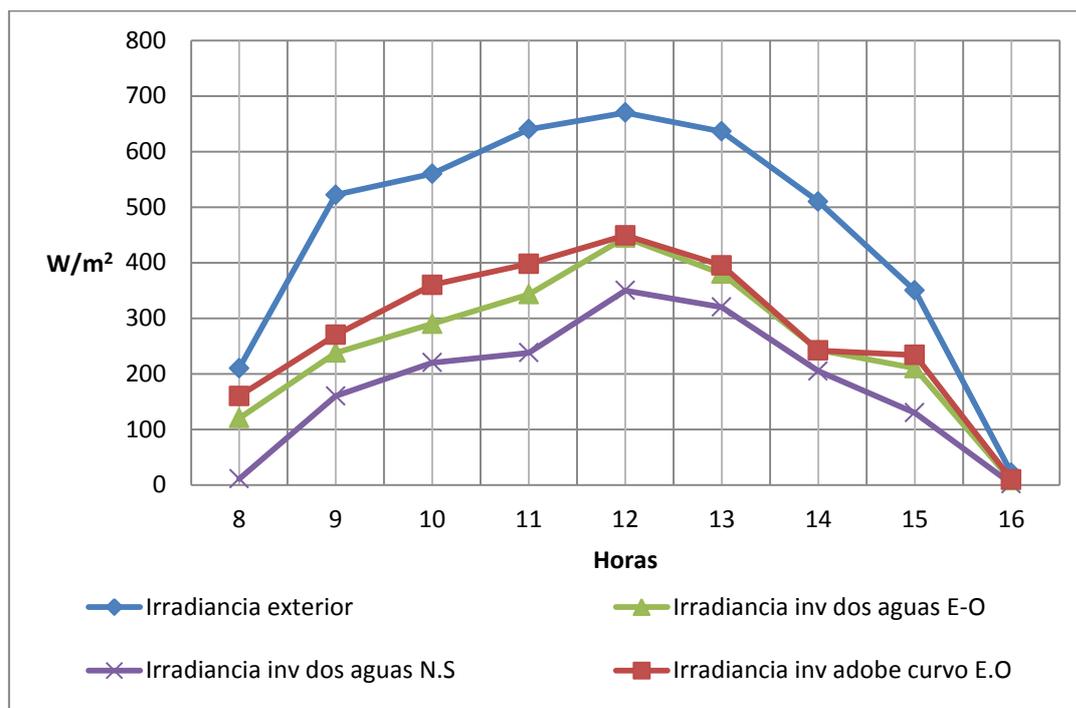
Del cuadro anterior, se deduce que los efectos del muro de adobe en los invernaderos tipo I (techo curvo) y Tipo II (techo tipo capilla), así como la colocación de la pantalla antirradiativa de arpillera y tela, reducen las pérdidas en un 57 % en el tipo I y en un 39 % en el tipo II, comparadas a las pérdidas totales del tipo A sin ninguna modificación. El factor más importante es  $Q_{cc}$ , depende fundamentalmente del área de confinamiento del invernadero, velocidad del viento, la estanqueidad y hermeticidad de puertas, ventanas, que se mejoran con las innovaciones introducidas en los tipos I y II respectivamente.

#### 4.7. Análisis y discusión de los parámetros meteorológicos del interior y exterior de los invernaderos

##### 4.7.1. Medida de la irradiancia en el interior y exterior de tres tipos de invernaderos

La Figura 58, presenta la irradiancia medida para el 20 de junio (solsticio de invierno) en el exterior (línea azul) e interior de tres tipos de invernaderos, forma curva tipo I (línea roja), tipo II capilla a dos aguas (línea verde), comparados a un tercer invernadero de estructura de palos rollizo, techo tipo capilla a dos aguas, orientación N-S (línea morada) y cubierta de PE amarillo del mismo tipo (contigua a los otros dos). La transmisividad promedio para el tipo I es 60 %, para el tipo II 53 % y para el tercer prototipo 34 %, estas diferencias

significativas se deben a la forma del techo y orientación de los invernaderos. Este resultado corrobora los obtenidos en la sección 4.4.



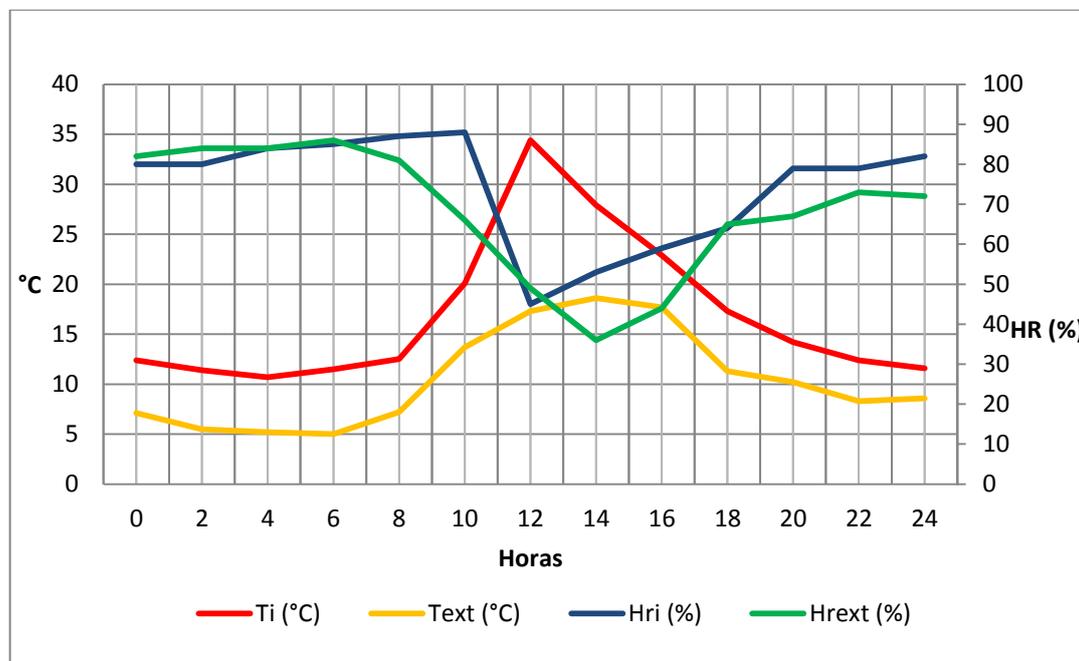
**Figura 58.** Irradiancia ( $W/m^2$ ), exterior e interior de 3 tipos de invernaderos (junio 2014)

#### 4.7.2. Evolución de temperaturas, humedad relativa y temperatura del suelo en el interior y exterior de un invernadero

Se han medido en el invernadero de techo curvo tipo I, con plantas en su interior, durante el mes de mayo del 2014, las temperaturas y humedades relativas en el interior y exterior del invernadero, la tendencia de estas curvas son típicas para cualquier tipo de invernadero.

En la Figura 59, la temperatura mínima exterior  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se produce a las 06:00 h, con una humedad relativa del 85 %, a esa misma hora la temperatura y humedad relativa interiores son respectivamente:  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  y 86 %. La temperatura interior es superior a la exterior, porque las plantas y el suelo almacenaron calor el día anterior, atenuando el descenso de la temperatura en el interior.

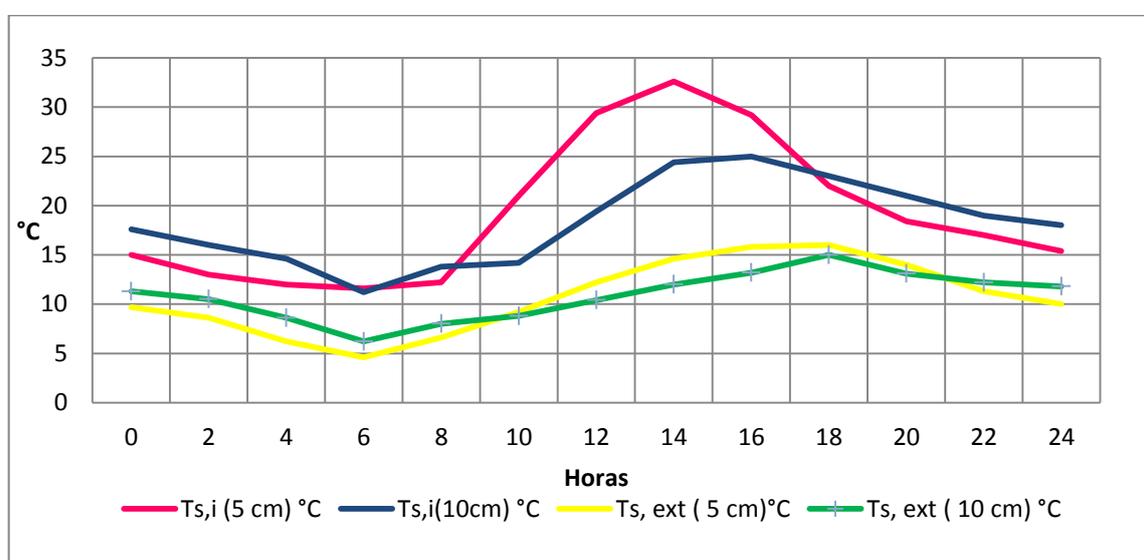
La temperatura máxima exterior se produce a las 14:00 h, con un valor de  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa del 38 %, mientras que en el interior se mide  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  a las 12:00 h, con una humedad relativa del 48 %. Las ganancias de energía en el invernadero son mayores que las pérdidas, produciéndose la máxima temperatura y la menor humedad relativa.



**Figura 59.** Temperatura y humedad relativa en el interior y exterior de un invernadero (mayo 2014)

En un invernadero, durante el día, el sol calienta el suelo y las plantas, siendo estos dos elementos los principales factores en el intercambio energético durante el período nocturno invernal, de esta forma se amortigua el descenso de la temperatura del aire, manteniéndose las condiciones adecuadas para el desarrollo y crecimiento de las plantas en el interior.

En la Figura 60, en el exterior no se aprecian variaciones extremas en la temperatura del suelo a 5 cm, como a 10 cm, el aire frío nocturno al pasar a ras del suelo, lo enfría hasta una profundidad de 10 cm. En el interior la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad es más estable, que a los 5 cm, los intercambios energéticos entre suelo y aire se producen a dicha profundidad.



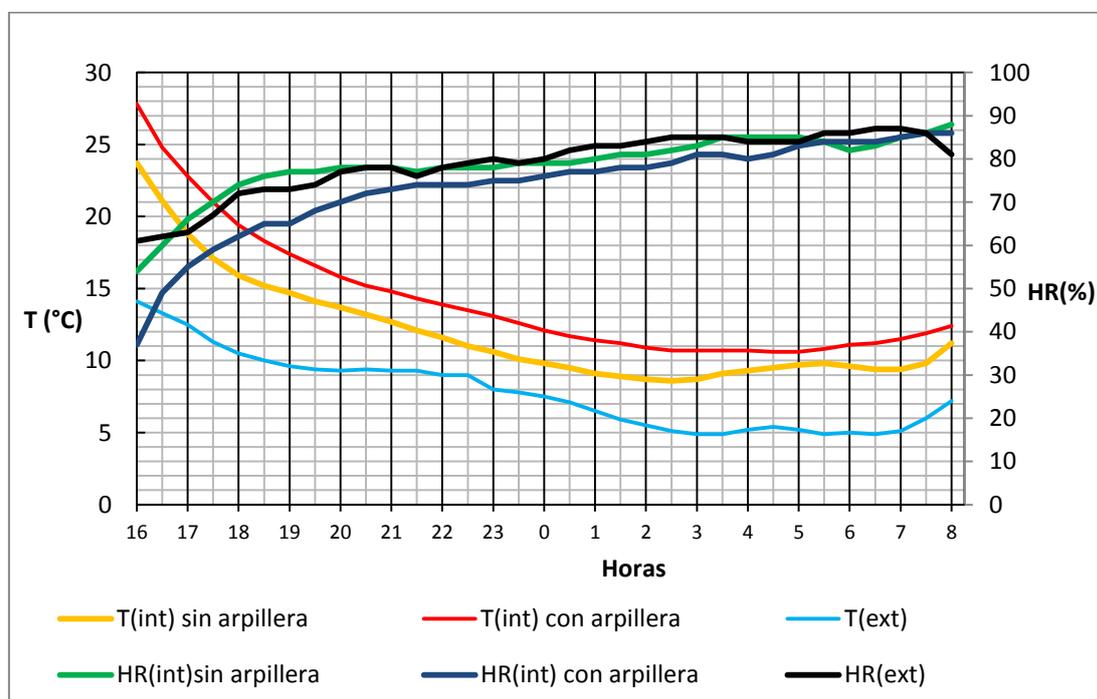
**Figura 60.** Evolución de temperaturas del suelo, interior y exterior de un invernadero N-S a dos aguas

### 4.7.3. Evolución de temperaturas, humedad relativa, sin y con pantalla térmica

Se ha medido la evolución de temperaturas, humedades relativas para el período nocturno, entre las 16:00 h y las 08:00 h, durante el mes de junio del 2014, en los dos prototipos: tipo I (techo curvo), tipo II (techo tipo capilla), con tomates y pimientos en plena producción, para ver la influencia de la orientación, forma, murete perimetral de adobe y pantallas antirradiativas de arpillera y tela de tocuyo.

#### 4.7.3.1. Invernadero tipo I (techo curvo)

La Figura 61, nos muestra el efecto del muro de adobe en la pared sur (mirando al N) y la pantalla antirradiativa de arpillera, entre las 05:00 y 07:00 horas (mínima temperatura exterior de 5 °C), en el interior se alcanza aproximadamente 10 °C sin pantalla y 12 °C, con pantalla, el incremento de temperatura en el primer caso es 5 °C, mientras que con pantalla 7 °C, con respecto a la temperatura exterior. La humedad relativa se mantiene uniforme en los tres casos y evoluciona sin mayores variaciones. Es de destacar que el muro de adobe construido en la pared S, mirando al N, juega un papel importante en la climatización del invernadero, pues su gran masa constituye en un apropiado acumulador de calor, alcanzándose una diferencia de 7 °C con la exterior.

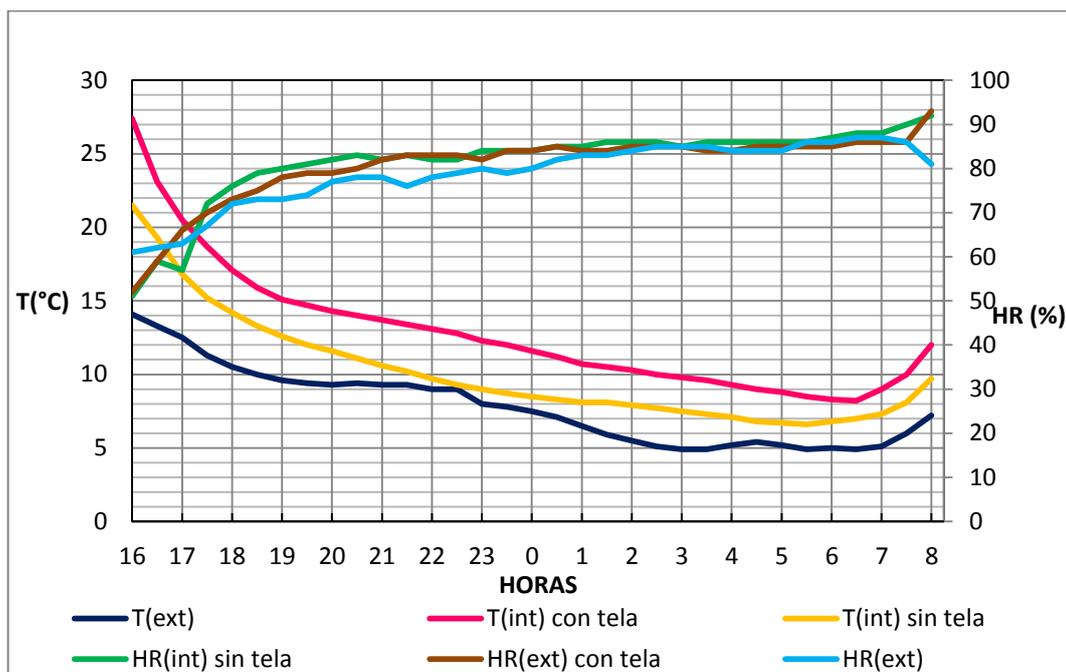


**Figura 61.** Temperatura, humedad relativa: interior y exterior de invernadero tipo I (techo curvo), con y sin pantalla (junio 2014)

#### 4.7.3.2. Invernadero tipo II (techo a dos aguas)

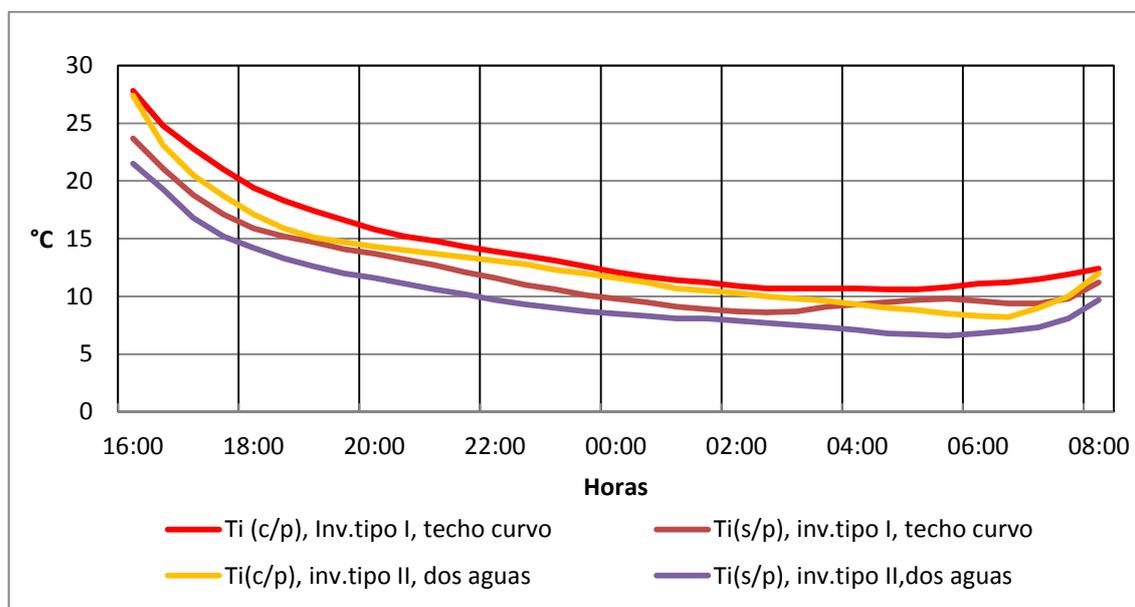
La Figura 62, nos muestra dichas medidas, el efecto del murete perimetral de adobe y pantalla antirradiativa de tela tocuyo, se observa entre las 05:00 y 07:00 horas (mínima temperatura exterior de 5 °C), en el interior se alcanza 7 °C sin pantalla y 8 °C con

pantalla, el incremento de temperatura en el primer caso es 2 °C, mientras que con pantalla 3 °C. La humedad relativa se mantiene uniforme en los tres casos sin mayores variaciones.



**Figura 62.** Temperatura, humedad relativa: interior y exterior de invernadero tipo II (techo dos aguas), con y sin cubierta de tela (junio 2014)

Finalmente la Figura 63, muestra la evolución comparativa de las temperaturas en el interior de los invernaderos tipo I y II con pantalla antirradiativa (c/p) y sin pantalla antirradiativa (s/p). Se observa que el tipo I (c/p) mantiene sus temperaturas por encima de los 2 °C con relación al tipo II (c/p), ratificando la influencia del muro de adobe, forma curva, orientación y pantalla antirradiativa.



**Figura 63.** Evolución comparativa, temperaturas interior de invernaderos: tipo I (techo curvo) y tipo II (techo dos aguas) con y sin pantalla térmica

#### 4.8. Evaluación económica

Para que un invernadero sea verdaderamente sostenible, debe ser técnicamente eficiente, satisfacer las necesidades del usuario en cuanto a producción de hortalizas, plantas medicinales, flores u cualquier otro producto que se cultive, así mismo debe ser rentable.

Para la evaluación económica de un invernadero, tomamos como referencia el libro “Teoría y práctica de secado solar”. Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).- 1991, en colaboración con la GTZ Alemana y las universidades nacionales: San Antonio Abad del Cusco, Jorge Basadre Grohman de Tacna, Agraria La Molina, entre otras. En dicho libro se desarrolla una metodología para evaluar la rentabilidad del secado solar, que puede adecuarse para realizar una evaluación económica de un invernadero, fundamental para garantizar la sostenibilidad de un programa masivo de difusión de dicha tecnología.

Un método muy usado para evaluar la rentabilidad de un invernadero es el método de las anualidades. La idea central de éste método es tener en cuenta que todo ingreso o gasto tiene en el momento presente “hoy” un “valor actual”, diferente del que corresponde en el momento de su realización. Por ejemplo si la tasa de interés es de 10% anual, recibir S/.1000 dentro de un año, corresponde a recibir ahora S/.909 y ponerlos en el banco a la misma tasa de interés, pues:  $S/. 1000 \times (1 + 0,10)^{-1} = S/. 909$ .

Igualmente, recibir los mismos S/.1000 dentro de t años, corresponde a recibir ahora :

$$S/. 1000 \times (1 + 0,10)^{-t}$$

En el método de las anualidades, se transforman los gastos de inversión inicial en pagos anuales (anualidades,  $A_n$ ) constantes. Una relación apropiada para el cálculo de  $A_n$  es la siguiente:

$$A_n = (CC + CO) + Y_0/T + (Y_0) FR(i,T) \quad \text{ec. 18}$$

- $Y_0$  = Costos de instalación (inversión inicial), considera materiales, mano de obra.
- $CC$  = Costos corrientes anuales (costos de mantenimiento de la infraestructura construida; reposiciones, reparaciones)
- $CO$  = Costos de operación (costos relacionados a la producción: semillas, abonos, mano de obra, entre otros).
- $i$  = tasa de descuento anual referencial, para efectos de nuestros cálculos tomamos 10%
- $T$  = vida útil del invernadero, para la aplicación 5 años
- $FR$  = Factor de recuperación,  $FR(i,T) = 0,263$  (Tabla 6.1: Factor de recuperación FR, “Teoría y práctica de secado solar”. CER UNI, 1991).

Para evaluar la relación costo-beneficio, se compara las anualidades con los beneficios anuales obtenidos por el invernadero, si éstos son mayores, entonces la tecnología es rentable, comparado a lo que se hubiera obtenido por ahorrar la anualidad en un banco.

**Tabla 17.** Costos de instalación (inversión) de invernaderos tipo I y II

TIPO	I (curvo) A = 24 m <sup>2</sup>			II ( tipo capilla, 2 aguas) A= 48 m <sup>2</sup>	
	Plástico PE	kg	8		22
S/.			144		396
palos de eucalipto	S/.		0		620
Adobes	N°	1100		500	
	S/.0,50 c/u		550		250
Arena	S/.		0		45
Cemento	N° bolsas	0		2	
	S/.		0		50
Piedra	cubos	2		3	
	S/.		60		90
Fierro	N°	4 de ½”		0	0
	S/.		100		0
Tela tocuyo	S/.		0		90
Arpillera	S/.		60		0
Paja	S/.	1/3 paja	20		0
Listones de madera	N°	4		8	
	S/.		60		80
Alambre galvanizado	kg	3		6	
			18		36
Clavos	kg			6	
	S/.		0		36
Mano de obra	S/. 40xd	3 op.x5 d	600	3 op. x 6 d	720
<b>Total</b>			<b>S/. 1612</b>		<b>S/. 2413</b>
<b>Costo por m<sup>2</sup></b>			<b>S/. 67</b>		<b>S/. 50</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18.** Cálculo de anualidades para los invernaderos tipo I y II

TIPO DE INVERNADERO	Y <sub>0</sub> (S/.)	(CC) S/.	(CO) (S/.)	An S/.	S/./m <sup>2</sup>
I (curvo)	1612	80	1100	<b>1926</b>	<b>80</b>
II (capilla)	2413	80	1100	<b>2298</b>	<b>48</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19.** Cálculo de beneficios derivados del uso del invernadero

TIPO DE INVERN.	Área m <sup>2</sup>	Productos sembrados, productividad anual						Beneficio anual productos y asociados S/.			Gran total anual S/.
		tomate orgánico		pimiento orgánico		lechuga orgánica (asociado)		tomate	pimiento	lechuga	
		kg/m <sup>2</sup>	S./kg	kg/m <sup>2</sup>	S./kg	Nº/m <sup>2</sup>	S./m <sup>2</sup>				
I	24	-	-	9	10	10	20	-	2160	480	<b>2640</b>
II	48	10	5	-	-	10	20	2400	-	960	<b>3360</b>

Fuente: Elaboración propia

Los espacios dejados en blanco no corresponden, pues en el tipo I se ha sembrado pimientos, asociado con lechugas; mientras que el tipo II, tomates y lechugas

Beneficio anual por m<sup>2</sup>: S/. 2 640: 24 = S/.110 para el tipo I y S/. 3 360: 48 = S/. 70 para el tipo II.

#### Observaciones

1. Los cálculos realizados en las tablas 17, 18 y 19, son efectuados sobre valores referenciales y globales. La inversión inicial efectuada y anualizada debe compararse con el cuadro de beneficios.
2. Se ha considerado para ambos tipos de invernaderos una vida útil de 5 años, para toda la estructura, sin embargo en el tipo I, la estructura de adobe y techo de fierro corrugado, podría alcanzar bajo condiciones apropiados una vida útil de hasta 15 años. En cuanto a la cobertura de plástico existente en el mercado nacional, se estima una vida útil de 2 a 3 años, después debe ser reemplazado. El deterioro del plástico como se dijo, empieza por lo general por las uniones y superficies de contacto con la madera, el resto puede reutilizarse. La gestión de los plásticos se analizará con más detalle en el Capítulo 5.
3. Es posible reducir los costos de inversión y operación, si el productor o beneficiario aporta literalmente algunos materiales de la zona: piedras, palos, abonos, etc.
4. Los beneficios anuales, en ambos casos, es mayor a las anualidades. Esto es posible, cuando el productor implemente un sistema productivo de alto rendimiento y calidad (semillas, suelo, abonos, agua y manejo), producción orgánica y ecológica, debiendo identificarse productos que tengan un precio y demanda preferencial. La rentabilidad anual por m<sup>2</sup> (diferencia entre los beneficios anuales /m<sup>2</sup> y las anualidades /m<sup>2</sup>), son de S/. 30 para el tipo I y de S/. 22 para el tipo II.
5. El productor tiene que ser consciente que a los dos o tres años debe tener un capital para poder renovar el plástico, o buscar en el mercado plásticos de garantizada vida útil mayor a los 3 años.
6. No se han cuantificado otros beneficios: nutricionales para la familia, en particular los niños, la posibilidad de sacar dos o más cosechas anuales, emplear el aire caliente del invernadero para calefaccionar una vivienda contigua, etc.

#### 4.9. Propuesta de inserción de invernaderos en el proceso educativo rural

En la sección 2.5, se presenta “Nueva política de huertos escolares” que desde el 2010, la FAO promueve y difunde, además de la nutrición y educación infantiles, se introducen nuevos enfoques relacionados al cambio climático, medio ambiente y seguridad alimentaria.

Los huertos escolares son áreas cultivadas que se encuentran alrededor o cerca de las escuelas primarias o secundarias, que pueden emplearse fundamentalmente con fines didácticos, al mismo tiempo para producir alimentos y generar algunos ingresos para la escuela.

Un invernadero por su naturaleza compleja, es un aporte significativo a la huerta escolar sobre todo en instituciones educativas alto andinas, donde en el invierno (mayo hasta agosto), las temperaturas bajas y heladas no permiten producir hortalizas en condiciones normales, mientras que en el invernadero si es posible, además porque constituye un interesante laboratorio, donde los maestros y alumnos pueden mejorar su aprendizaje “aprender haciendo” incentivando el desarrollo de sus habilidades, destrezas e innovación, desarrollando pequeños proyectos de investigación. Se abre para el binomio maestro-alumno, un abanico de posibilidades de interacción entre el medio ambiente y el desarrollo del niño. Entre otros campos de estudio, destacan los siguientes temas a trabajar:

1. Tecnología de los invernaderos en el mundo, en el Perú y en la región, la plasticultura.
2. Efecto invernadero. Cambio climático. Desarrollo sostenible.
3. Cambios físicos en un invernadero: energía, temperatura, intercambios de calor de día y noche, mediciones de temperatura del aire, suelo y análisis de datos experimentales.
4. La agricultura orgánica, ecológica y sostenible.
5. Uso racional y sostenible del suelo, agua.
6. El agua, técnica de riego.
7. La producción sostenible dentro del invernadero: preparación del suelo, selección de semillas, almacigueras, manejo de los cultivos, labores culturales, control integral de plagas y enfermedades.
8. Gestión ambiental: contaminación, reutilización de plásticos de invernaderos, eliminación de residuos sólidos, contaminación de suelos, agua, eliminación y tratamiento de la basura.
9. El aporte nutricional de las hortalizas y mejora de la salud del niño y del adolescente, aporte al comedor escolar.
10. Organización de grupos para el trabajo en equipo: maestros, padres de familia y alumnos.

Para implementar estos contenidos temáticos, es necesario la elaboración de una propuesta educativa, tecnológica, económica y social, gestionada y aprobada por las autoridades que eventualmente financiaran el proyecto: autoridades regionales, educativas entre otras, de esta manera se institucionalizaran las diferentes actividades que mejoraran el proceso de aprendizaje enseñanza, insertando contenidos con objetivos y actividades claras y reales en los contenidos curriculares de las IE donde se promueva y participe del proyecto.

### **Programa regional de difusión y construcción de invernaderos andinos en I.E. rurales del Cusco**

#### **Objetivo general:**

Insertar en el proceso educativo de las I.E. rurales de nivel primario y secundario de zonas alto andinas de la región Cusco, la tecnología de producción sostenible de hortalizas bajo condiciones de invernadero, para mejorar las competencias, habilidades, destrezas y la nutrición de los alumnos.

### **Objetivos específicos**

1. Construir un invernadero andino en cada institución educativa rural alto andina, empleando materiales de la zona.
2. 2. Capacitar a los diferentes agentes involucrados: maestros, padres de familia, alumnos, técnicos de los gobiernos regionales y municipales, en la gestión y producción sostenible de hortalizas bajo condiciones de invernadero.
3. 3. Capacitar a los maestros y técnicos involucrados en el proyecto, en la elaboración de material didáctico: contenidos, experimentos, investigación, definiendo objetivos reales y bien sustentados e insertarlos como actividades en el plan de estudios ordinario o como actividades complementarias de cumplimiento obligatorio.
4. Organizar e implementar un plan de gestión del invernadero que involucre aspectos: administrativos, organizativos, financieros y productivos.
5. Enseñar a los niños la manera de obtener diversos alimentos: hortalizas, frutas, legumbres, contribuyendo a fomentar una buena alimentación rica en micronutrientes, en la escuela como en su hogar.
6. Fomentar la capacidad empresarial en el ámbito de la horticultura comercial, desarrollando el conocimiento sobre la economía de la producción hortícola dependientes de la agricultura.

### **Actividades**

1. Definir a las organizaciones promotoras con capacidad para implementar las actividades propuestas en el presente plan de actividades.
2. Definir los prototipos de invernaderos andinos, técnicamente eficientes, con viabilidad económica y social, para ser transferidos y construidos en cada institución educativa rural participante del proyecto.
3. Definir el área geográfica del proyecto, identificando las I.E. rurales comprometidas con la implementación de la tecnología, así mismo implementar y comprometer una red de instituciones idóneas de presencia permanente en las zonas del proyecto: comités de gestión de cada I.E., UGEL provincial o distrital, municipalidades (área educativa y productiva), ONGs, a quienes se les transferirá la tecnología y la instalación de unidades piloto demostrativas.
4. Buscar fuentes de financiamiento en el gobierno regional, local, sector educativo u otras, para financiar el programa de transferencia tecnológica, capacitación, evaluación y seguimiento. Definir los mecanismos, convenios contratos con los beneficiarios del programa.
5. Elaborar folletos de autoconstrucción y divulgación de la tecnología: manuales con instrucciones de construcción, operación, mantenimiento y producción sostenible, empleando racionalmente los recursos de la zona.
6. Constitución de un banco de materiales y herramientas básicas para la construcción y producción del invernadero: polietileno de baja densidad y larga duración, alambres, fierros, clavos, serruchos, martillos, alicates, etc. También un banco de insumos para la producción: semillas de calidad, abonos, fitosanitarios, orgánicos, sistemas de riego, entre otros.
7. Organización de cursos talleres, dirigidos a los maestros, padres de familia, comités de gestión, funcionarios de las UGELs, técnicos de los municipios, para capacitarlos en las técnicas constructivas, manejo sostenible del invernadero, así mismo para la elaboración del material didáctico específico para los distintos niveles y grados educativos
8. Capacitar a los comités de gestión del invernadero para que acompañen durante todo el proceso: gestión, organización, construcción, producción, gestión ambiental.

9. Organizar talleres de capacitación dirigido a las madres de familia, cocineras de los comedores escolares de las I.E. participantes en la elaboración y preparación de dietas alimenticias usando productos andinos y aquellos producidos en el invernadero.
10. Evaluación y seguimiento de los diferentes objetivos propuestos en el proyecto.

**Organización del proyecto:**

**Instituciones promotoras:**

Universidad San Antonio Abad del Cusco, Gobierno Regional del Cusco, UGELs, Municipios, CECADE.

**Institución ejecutora: 1º Fase :** (2 años) Centro de Capacitación para el desarrollo (CECADE) Qosqo Yachay Wasi.

**2º Fase:** Tiempo ilimitado, Comités de gestión del invernadero

**Actividades de las instituciones promotoras**

- Desarrollar, difundir y transferir masivamente, paquetes tecnológicos de ER, eficientes, de bajo costo, a sectores de pobreza y extrema pobreza del país, promover su inclusión social y económica, mejorar su calidad de vida y desterrar la pobreza.
- Desarrollar un modelo de gestión para cada región geográfica, para identificar a las familias (potenciales usuarios), definir los sistemas de financiamiento, operación, mantenimiento y seguimiento.
- Implementar centros demostrativos y de capacitación del empleo de las tecnologías transferidas, para garantizar su adopción y sostenibilidad, bajo la política “**aprender haciendo**”.
- Desarrollar una demanda tecnológica para el uso sostenible de los principales insumos para el proyecto: plásticos de larga duración, semillas, riego tecnificado, abonos orgánicos, entre otros.



## **Capítulo 5**

### **Gestión ambiental de invernaderos para la producción de hortalizas en zonas alto andinas**

#### **5.1. Impacto ambiental de la plasticultura**

La agricultura de invernadero, al igual que otras actividades económicas, no solo opera sobre un medio físico y territorial concreto, sino que su actividad empieza y termina en la naturaleza. El proceso se inicia con el empleo de recursos naturales y termina generando residuos, con la consiguiente incidencia medio ambiental, al utilizar el medio como sumidero.

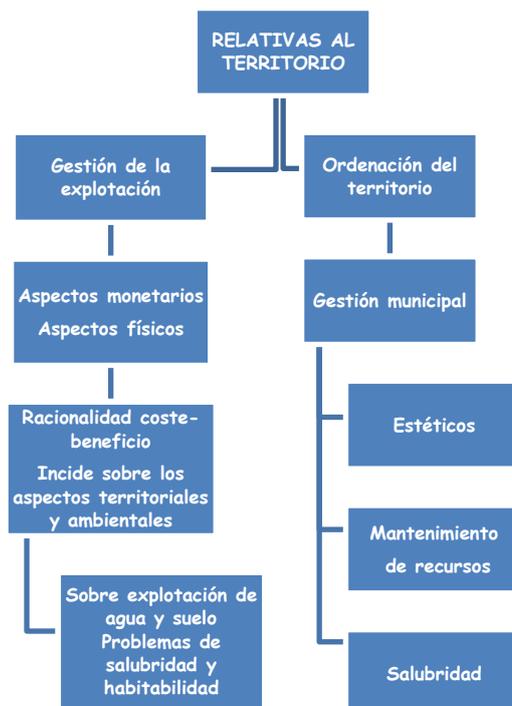
##### **5.1.1. Aspectos territoriales**

###### **a. Gestión de la explotación**

El agricultor o empresario desarrolla esta actividad pensando en el costo beneficio y sus actividades inciden sobre aspectos territoriales y ambientales, así por ejemplo al sureste español, donde se encuentra la mayor concentración de invernaderos de Europa, se caracteriza por la sobreexplotación de los recursos hídricos y del suelo que ocasiona una serie de problemas ambientales: control de plagas y enfermedades en los cultivos, salubridad y habitabilidad (Díaz et al., 2001).

###### **b. Ordenación del territorio**

Además de los aspectos estéticos, se debe contemplar los factores que inciden negativamente sobre los recursos: contaminación y agotamiento de los suelos y el agua.



**Figura 64.** Efectos ambientales del sistema de cultivo bajo invernadero  
Fuente: Díaz et al., 2001

### 5.1.2. Aspectos relativos al sistema de producción

Además del suelo y sustratos (naturales o artificiales) se deben considerar:

#### c. Fitosanitarios

Los de origen vegetal y mineral no presentan problemas de contaminación. Los compuestos orgánicos de síntesis son los de mayor riesgo, debido a su persistencia, metabolitos y toxicidad, por ejemplo: productos órgano halogenados, organofosforados, son arrastrados o filtrados hasta los acuíferos, ríos y lagos, la persistencia del producto o sus metabolitos en el suelo pueden alterar la micro fauna.

#### d. Fertilizantes

Su uso intensivo y descontrolado puede provocar la salinización del suelo y la contaminación de las aguas por iones nitrogenados y fosfatados. Los nitratos y nitritos diluidos en la solución del suelo, son absorbidos por los complejos coloidales arcillo-húmicos constituyendo una reserva de nitrógeno. Cuando aumentan los aportes de este elemento, sobrepasando la capacidad de retención del suelo y de asimilación tanto de los microorganismos como de la cubierta vegetal, los iones nitrogenados son lavados del suelo mediante el agua aportada por el riego, arrastrándolos hasta los cursos superficiales y subterráneos del agua, al igual que los fosfatos arrastrados al agua.

#### e. Agua

Es el principal recurso para los cultivos en invernadero, su gestión es de prioridad en la producción bajo invernadero, sobre todo introduciendo técnicas para un manejo eficiente y racional.

#### f. Otros residuos:

A los residuos sólidos dejados por los sustratos, hay que añadir los del cultivo y los de los plásticos de cobertura de invernaderos, así como de los envases de fertilizantes, fitosanitarios y otros productos usados en la producción. El invernadero genera un microclima diferente al del exterior, pues se reduce la radiación, el viento; existe un déficit de presión de vapor y reducción de la evaporación, sin embargo es evidente que el invernadero mejora en gran porcentaje el rendimiento del agua es el principal recurso para los cultivos en invernadero, su gestión es de prioridad en la producción bajo invernadero, sobre todo introduciendo técnicas para un manejo eficiente y racional.

### 5.2. Gestión de un invernadero

Hoy en día, es de vital importancia poner cualquier actividad económica al servicio del desarrollo sostenible, en general, y de la protección del medio ambiente, en particular. La producción de hortalizas de alta calidad, factor clave para la competitividad en los mercados, se concibe hoy día en sentido amplio de modo que, además de aportar valor nutritivo, garantía de salubridad, etc., hayan sido producidos con el mínimo impacto ambiental. Esto implica un racional uso de los recursos naturales y la reducción de los residuos generados.

#### Control climático y control integrado

Los factores climáticos influyen directamente sobre el desarrollo de las plagas y enfermedades de los cultivos, por lo que un control climático adecuado puede ayudar a reducir el desarrollo de plagas y enfermedades. Evitar la condensación de agua sobre los tejidos vegetales impide la proliferación de *Botrytis*. La humidificación del ambiente, para elevar la humedad relativa, contribuye a luchar contra el oídio y dificulta el desarrollo de ácaros y trips (Castilla, 2007).

Por otra parte, las mejores condiciones térmicas, la ausencia de lluvias que laven el producto y el filtrado de rayos UV en algunos plásticos contribuyen a incrementar la eficacia de los tratamientos aunque también pueden aumentar los riesgos de fitotoxicidad.

Las alteraciones de la radiación solar dentro del invernadero pueden influir en el desarrollo de las enfermedades, no sólo por afectar a la composición espectral de la radiación que altera la formación de esporas de hongos, sino también por la reducción de luz que implica una mayor sensibilidad a otras enfermedades, especialmente en cultivos muy densos. En invernaderos, las temperaturas suelen ser más elevadas que en el exterior, limitando el desarrollo de algunas enfermedades (*Cladosporium*, *Peronospora*) o favoreciendo la expansión de otras (*Pythium*, *Phytophthora*, *Alternaria*, ...); las enfermedades del suelo, en general, son favorecidas por las temperaturas altas (Louvet, 1984, citado por Castilla, 2007).

Para controlar y reducir el exceso de humedad ambiental se debe introducir nuevas técnicas como el riego por goteo, acolchado del suelo, entre otras.

El control integrado constituye una manera distinta de entender el control de plagas y

enfermedades, que descarta el exterminio de las poblaciones, tolerando la presencia de plagas y enfermedades a nivel bajo que no cause pérdidas económicas, y anteponiendo otros tipos de control (biológico, cultural, genético,...) al control químico, el cual sólo se emplea como última alternativa. Ello permite una notable reducción de la intensidad de los tratamientos fitosanitarios. El control integrado se basa en la fijación de los “umbrales económicos de daño” de plagas y enfermedades de cada cultivo, que definen la densidad de población de una plaga por encima de la cual se producen pérdidas económicas.

Entre las prácticas culturales de mayor interés en control integrado cabe destacar la elección de una semilla sana, la calidad del sustrato, la densidad de las plantas, el tipo de poda y entutorado, las prácticas de manejo de suelo, especialmente la solarización.

### Manejo y control de residuos

En general, el cultivo en invernadero genera residuos de tipo interno, usuales en cualquier actividad agrícola, que afectan al suelo y al agua, y residuos de tipo externo, como son los plásticos, los restos vegetales y otros (residuos de sustratos, alambres, postes, envases (Castilla, 2007), etc. En la Figura 65, se muestra un diagrama de los efectos ambientales en un invernadero.

Aunque los restos vegetales no eran considerados tradicionalmente como residuos, la gran concentración de restos vegetales en áreas de alta densidad de invernaderos obligó a considerarlos como residuos.



**Figura 65.** Efectos ambientales del sistema de cultivo bajo invernadero

Fuente: Díaz et al., (2001)

Los sistemas hortícolas de invernaderos tienen un gran efecto multiplicador en el sistema económico de su entorno, sin embargo estos sistemas generan también diversas externalidades negativas de naturaleza principalmente ambiental, que constituyen la base de sus aspectos más negativos, por ello es recomendable hacer un estudio detallado para identificar y cuantificar las externalidades ambientales de estos sistemas, lo que permitiría

conocer su valor económico total y profundizar el conocimiento de su productividad social. Para ello la gran mayoría de los estados donde se desarrollan estas actividades, incluido el Perú han promulgado leyes y normas ambientales, para evaluar los impactos ambientales generados por estas actividades económicas. La correcta evaluación del impacto ambiental del cultivo en invernadero necesita de métodos que integren aspectos desde una perspectiva global.

Uno de los métodos más extendidos con este fin, en diversos sectores de la actividad económica, es el análisis del ciclo de vida, ACV, conocido como LCA, «Life Cycle Assessment», en la literatura inglesa (Antón, 2003, citado por Castilla, 2007).

El ACV es una metodología que permite evaluar los daños ambientales atribuibles a un producto o actividad a lo largo de su ciclo de vida, desde sus orígenes como materia prima hasta su final como residuo, también considera la incidencia ambiental de la fabricación de la estructura del invernadero o impacto del invernadero desechado).

La Unión Europea publicó en la norma ISO-14040 la metodología del ACV que, además de definir su objetivo y alcance, abarca la elaboración de un inventario de entradas y salida, el análisis del impacto asociado con sus entradas y salidas y la interpretación de los resultados. El ACV es, en suma, un eco-balance que cuantifica el impacto ambiental, desglosando en categorías como: demanda energética, uso del agua, uso de la tierra, cambio climático, agotamiento de la capa de ozono,.. (Schnitzler, 2003, Antón, 2003, citados por Castilla, 2007). Sin embargo según los expertos son muy escasos estos estudios tanto en la Comunidad Europea como en España. En el Perú estos métodos de EIA son aún desconocidos.

### 5.3. El medio ambiente y el desarrollo sostenible

En la asignatura: Evaluación del Impacto Ambiental de la Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, FUNIBER, se encuentran claramente explicados los siguientes conceptos:

El medio ambiente es el entorno vital, es decir, el conjunto de factores físico-naturales, estéticos, culturales, sociales y económicos que interaccionan entre sí, con el individuo y con la comunidad en que vive, determinando su forma, carácter, comportamiento y supervivencia.

El concepto de medio ambiente implica directa e íntimamente al hombre, ya que no sólo se refiere a aquello que rodea a éste en el ámbito espacial, sino que además incluye el factor tiempo, es decir, el uso que de ese espacio hace la humanidad referido a la herencia cultural e histórica.

Si se tiene en cuenta la influencia del hombre, podemos entender el medio ambiente en base a tres subsistemas: como receptor de efluentes y de residuos, como fuente de recursos naturales y como soporte de actividades.

- Como **receptor de efluentes** (emisiones, vertidos y residuos no deseados), se tendrá en cuenta la capacidad de asimilación del medio (capacidad de dispersión atmosférica, de auto depuración del agua, de filtrado del suelo, etc.), de modo que la emisión de

efluentes de una actividad deberá realizarse siempre por debajo de la capacidad de asimilación del medio ambiente.

- Como **fuentes de recursos naturales**, el medio ambiente es el que abastece al hombre de las materias primas y energía que necesita para su desarrollo sobre la Tierra. Por otra parte, tan sólo una parte de estos recursos son renovables, por lo que no se puede considerar al planeta como una fuente ilimitada de recursos.

**Los recursos naturales renovables deberían utilizarse por debajo de su tasa de renovación, es decir, siguiendo un ritmo asimilable por el medio ambiente.**

Los recursos naturales no renovables pueden ser:

- Consumibles por el hombre (petróleo, minerales, gas, etc.): deben utilizarse a un **ritmo de consumo** asumible por el medio ambiente.
- No consumibles por el hombre (patrimonio artístico, paisaje): deben gestionarse con una **intensidad de uso** asumible y coherente. Se establecerá como intensidad de uso umbral aquella por encima de la cual el recurso empieza a perder su calidad ambiental.
- Como **soporte de actividades**: el medio ambiente posee la capacidad de acoger las diferentes actividades que se desarrollan en su seno.

Las bases de un buen Sistema de Gestión Ambiental (SGA) deben partir de la integración ambiental de las actividades que se desarrollan en el medio ambiente, por lo que habrá que seguir las siguientes líneas de actuación:

- La emisión de efluentes por una actividad no será superior a la capacidad de asimilación del medio ambiente.
- Situar los proyectos o actividades en territorios, ecosistemas o sistemas socio-culturales con una alta capacidad de acogida de dichos proyectos.

Todo este apartado se podría resumir en una frase de Gómez Orea (1994): "*[...] tan negativa puede ser una actividad, por los impactos que produzca al medio ambiente, como porque se haya proyectado desvinculando las aptitudes y actitudes, sociales y naturales de su entorno*"(FUNIBER 2010, Evaluación de Impacto Ambiental).

### **El desarrollo sostenible**

El desarrollo sostenible se ha definido como aquél que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades.

“El desarrollo es más que un número, el desarrollo es el proceso de expansión de las libertades reales que disfrutaban los individuos”, “No lo que la gente pueda tener, sino lo que ella pueda hacer y ser en un ambiente de creciente libertad que les permita rescatar las capacidades y derechos de los individuos y la sociedad” cuyo pionero fue el economista indio Amartya Sen, Premio Nobel de la Economía (1998). En este contexto, la sostenibilidad de una innovación tecnológica, se promueve cuando es adoptada por el

usuario, porque le trae beneficios y satisface parte de sus necesidades y lo integrará dentro de sus actividades de subsistencia y generación de ingresos, le interesa capacitarse en la construcción, manejo y producción en un ambiente de libertad y respeto a la naturaleza.

El desarrollo sostenible presenta las siguientes características principales:

- **Promueve el desarrollo económico y mantiene la calidad de vida:** La educación, capacitación permanente y conocimiento de la tecnología adoptada, le garantizará al usuario producir productos ecológicos (orgánicos) de alta calidad que satisfaga las necesidades de su propia familia y de muchos sectores de la sociedad comprometidas con la ecología y el medio ambiente, en consecuencia recibirá un mejor precio por sus productos, y le ayudaran a mejorar su calidad de vida.
- **Desarrolla la cohesión social, permitiendo el acceso continuo a los recursos naturales:** El fortalecimiento de las organizaciones de base, comunidades campesinas, clubes de madres, clubes de jóvenes, alumnos de la instituciones educativas, en temas de uso racional, equilibrado y respeto de los recursos naturales, fortalecerá la sociedad, sus gobiernos locales y regionales, desarrollándose una cohesión social para proponer políticas de mitigación del cambio climático y conservación de la biodiversidad.
- **Protección ambiental, impide que los daños al medio ambiente perduren.** Cuando la sociedad en su conjunto ha desarrollado un nivel de educación, concientización y comprensión, que la naturaleza y el medio ambiente contribuyen al bienestar y cohesión de la familia y la sociedad, por lo beneficios que reciben, entonces habremos desarrollado una conciencia ambiental de protección, y cualquier actividad económica o social que ponga en peligro el medio ambiente, será obligada a plantear sistemas de mitigación de los impactos ambientales, impidiendo de esta forma a que los daños ambientales perduren.

#### 5.4. Herramientas de gestión ambiental

Las herramientas de gestión ambiental son instrumentos sistemáticos para mejorar la gestión de la información y de la toma de decisiones, con el propósito general de mejorar el comportamiento ambiental de proyectos, empresas, productos y servicios.

Se define como gestión ambiental el conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente, basándose en una coordinada información multidisciplinar y en la participación ciudadana.

En todo proceso de toma de decisión basado en el desarrollo sostenible, intervienen los métodos para recoger datos, procesarlos y obtener la información (elementos técnicos de gestión); unos métodos operacionales tangibles que soportan los conceptos (herramientas de gestión analíticas y procedí mentales) y, finalmente, el concepto, es decir, la idea de cómo alcanzar el desarrollo sostenible. Dado que las decisiones deben sustentarse por decisiones ambientales y de mercado, es imprescindible considerar los aspectos sociales, tecnológicos y económicos.

Las herramientas de gestión ambiental pueden ir enfocadas hacia procesos o bien hacia productos, tal y como se muestra en la Tabla 20.

**Tabla 20.** Herramientas de gestión ambiental

	<b>Procesos</b>
<b>Pronóstico (examen de lo nuevo)</b>	Evaluación de Impacto Ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta de pronóstico, es decir, de lo que no existe, en la fase de proyecto, mientras que la Auditoria Ambiental es una herramienta de diagnóstico, de lo que existe en la realidad, en la fase de explotación y cierre de la actividad.

Para un gestor medioambiental, la EIA es una herramienta clave, ya que éste será el medio de saber qué consecuencias va a tener una actividad sobre el medio ambiente. Al realizarse antes de que se produzca la actividad, se evitan posibles daños futuros y, por consiguiente, hipotéticas multas y costes derivados de las reparaciones ambientales.

### **5.5. Marco jurídico y conceptual de la evaluación de impacto ambiental en el Perú**

El Perú es un país privilegiado por su gran biodiversidad e interculturalidad, distribuida a lo largo y ancho de la costa, sierra y selva. Entre otros recursos, el bosque amazónico es la gran reserva mundial de la biodiversidad, tiene una importante contribución a la reducción de las emisiones de carbono y purificar la atmósfera, emitiendo considerables volúmenes de oxígeno a la atmósfera; es el pulmón de la tierra, sin embargo la incontrolada explotación de sus recursos: mineros, gas, biomasa, ponen en riesgo su frágil equilibrio.

La producción intensiva de hortalizas en invernadero, en cualquier región del país, además de los componentes nutrición, educación, investigación, es una actividad económica, porque se desarrolla sobre un medio físico, la naturaleza; pudiendo alterarse temporal o definitivamente, por la generación de residuos que pueden afectar su equilibrio.

El estado ha dictado una serie de Leyes, Decretos Supremos, reglamentos y otras normas legales cuyo fin es la de preservar y proteger la naturaleza, el uso racional y sostenible de sus recursos. Para desarrollar un proyecto de producción de hortalizas en invernaderos en zonas alto andinas del Cusco, es obligatorio, el cumplimiento de este marco jurídico.

A continuación realizaremos una breve descripción del marco normativo vigente en el Perú, en primera instancia lo relacionado a La Ley General del Ambiente y la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto ambiental (SEIA), y luego la normativa ambiental del Ministerio de Agricultura.

#### **5.5.1. Ministerio del Ambiente**

La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, señala que el Estado, a través de sus órganos y entidades, tiene la función de diseñar y aplicar las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones necesarias para garantizar el ejercicio efectivo así como el

cumplimiento de los derechos, obligaciones y responsabilidades de carácter ambiental. En concordancia con la Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada, Decreto Legislativo N° 757, el Estado Peruano está en la obligación de acotar, de manera explícita, las competencias, funciones y atribuciones ambientales de los Ministerios, los organismos públicos, los órganos reguladores y los órganos de fiscalización, en relación a aquellas actividades y materias señaladas en las normas legales. En ese sentido, la gestión ambiental desde los sectores debe encuadrarse en las incidencias que el desempeño de las empresas y de la ciudadanía tienen en los ecosistemas a partir del diseño, mantenimiento y operación de proyectos de inversión o en el desarrollo de actividades económicas asociadas, por ejemplo, a los recursos naturales no renovables. Los principios contenidos en la Ley General del Ambiente (a saber, Principio de Sostenibilidad, de Prevención, Precautorio, de Internalización de Costos, de Responsabilidad Ambiental, de Equidad y de Gobernanza Ambiental) constituyen referencias necesarias para la armonización de las políticas, instituciones, normas, procedimientos, herramientas e información; lo que permitirá una mejor articulación de esfuerzos en la toma de decisiones, en el manejo de conflictos y en la construcción de consensos en materia de hidrocarburos, gas natural, electricidad, biocombustibles, recursos geotérmicos, minería metalúrgica y minería no metálica; pesquería, turismo, telecomunicaciones, transportes, industrias, agricultura, educación, salud, defensa, desastres y emergencias (Compendio de la Legislación Ambiental Peruana, MINAM, 2011).

- A. Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), publicada el 13 de octubre del 2005.** Algunos aspectos importantes se resumen a continuación:

## **TITULO I POLITICA NACIONAL DEL AMBIENTE Y GESTIÓN AMBIENTAL**

### **CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES**

#### **Artículo 1°.- Del objetivo**

La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

#### **Artículo 3°.- Del rol del Estado en materia ambiental**

El Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidos en la presente

### **CAPÍTULO 3 GESTIÓN AMBIENTAL**

#### **Artículo 13°.- Del concepto**

**13.1** La gestión ambiental es un proceso permanente y continuo, constituido por el

conjunto estructurado de principios, normas técnicas, procesos y actividades, orientado a administrar los intereses, expectativas y recursos relacionados con los objetivos de la política ambiental y alcanzar así, una mejor calidad de vida y el desarrollo integral de la población, el desarrollo de las actividades económicas y la conservación del patrimonio ambiental y natural del país.

**13.2** La gestión ambiental se rige por los principios establecidos en la presente Ley y en las leyes y otras normas sobre la materia.

#### **Artículo 14°.- Del Sistema Nacional de Gestión Ambiental**

**14.1** El Sistema Nacional de Gestión Ambiental tiene a su cargo la integración funcional y territorial de la política, normas e instrumentos de gestión, así como las funciones públicas y relaciones de coordinación de las instituciones del Estado y de la sociedad civil, en materia ambiental.

**14.2** El Sistema Nacional de Gestión Ambiental se constituye sobre la base de las instituciones estatales, órganos y oficinas de los distintos ministerios, organismos públicos descentralizados e instituciones públicas a nivel nacional, regional y local que ejercen competencias y funciones sobre el ambiente y los recursos naturales; así como por los Sistemas Regionales y Locales de Gestión Ambiental, contando con la participación del sector privado y la sociedad civil.

**14.3** La Autoridad Ambiental Nacional es el ente rector del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

#### **Artículo 24.- Del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental**

**24.1** Toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras actividades, así como las políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo, está sujeta, de acuerdo a ley, al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental - SEIA, el cual es administrado por la Autoridad Ambiental Nacional. La ley y su reglamento Sistema Peruano de Información Jurídica Ministerio de Justicia desarrollan los componentes del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

**B. Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (Ley N° 28245)  
(promulgada el 4 de junio del 2004).**

**TÍTULO PRELIMINAR**

**Artículo 1°.- Del objeto de la Ley**

La presente Ley tiene por objeto asegurar el más eficaz cumplimiento de los objetivos ambientales de las entidades públicas; fortalecer los mecanismos de transectorialidad en la gestión ambiental, el rol que le corresponde al Consejo Nacional del Ambiente - CONAM, y a las entidades sectoriales, regionales y locales en el ejercicio de sus atribuciones ambientales a fin de garantizar que cumplan con sus funciones y de asegurar que se evite en el ejercicio de ellas superposiciones, omisiones, duplicidad, vacíos o conflictos.

**TÍTULO V**

**EJERCICIO REGIONAL Y LOCAL DE FUNCIONES AMBIENTALES**

**Artículo 22°.- Del ejercicio regional de funciones ambientales**

**22.1** Los Gobiernos Regionales ejercen sus funciones ambientales sobre la base de sus Leyes correspondientes, en concordancia con las políticas, normas y planes nacionales y sectoriales, en el marco de los principios de la gestión ambiental contenidos en el artículo 5 de la presente Ley.

**22.2** Los Gobiernos Regionales deben implementar el sistema regional de gestión ambiental, en coordinación con las Comisiones Ambientales Regionales y el CONAM, sobre la base de los órganos que desempeñan diversas funciones ambientales en el Gobierno Regional.

**Artículo 23°.- De las Comisiones Ambientales Regionales**

Las Comisiones Ambientales Regionales, CAR, son las instancias de gestión ambiental, de carácter multisectorial, encargadas de coordinar y concertar la política ambiental regional. Promueven el diálogo y el acuerdo entre los sectores público y privado. El Consejo Directivo del CONAM aprueba la creación de la Comisión Ambiental Regional, su ámbito, funciones y composición.

**Artículo 24°.- Del ejercicio local de funciones ambientales**

**24.1** Los Gobiernos Locales ejercen sus funciones ambientales sobre la base de sus leyes correspondientes, en concordancia con las políticas, normas y planes nacionales, sectoriales y regionales, en el marco de los principios de la gestión ambiental contenidos en el artículo 5 de la presente Ley.

**24.2** Los Gobiernos Locales deben implementar el sistema local de gestión ambiental, sobre la base de los órganos que desempeñan diversas funciones ambientales que atraviesan el Gobierno Local y con la participación de la sociedad civil.

**Artículo 25°.- De las Comisiones Ambientales Municipales**

**25.1** Las Comisiones Ambientales Municipales son las instancias de gestión ambiental, encargadas de coordinar y concertar la política ambiental municipal. Promueven el diálogo y el acuerdo entre los sectores público y privado. Articulan sus políticas ambientales con las Comisiones Ambientales Regionales y el CONAM.

**25.2** Mediante ordenanza municipal se aprueba la creación de la Comisión Ambiental Municipal, su ámbito, funciones y composición.

### **Artículo 26°.- De la aprobación de los instrumentos de gestión**

**26.1** La aprobación de los instrumentos de gestión ambiental provincial y distrital debe contar con opinión favorable de las Comisiones Ambientales Municipales, sin perjuicio de la intervención de las instituciones públicas y privadas, y órganos de base representativos de la sociedad civil.

**26.2** Los instrumentos de gestión ambiental distrital deben guardar estricta concordancia con los aprobados para el ámbito nacional, regional y provincial.

### **Artículo 27°.- De los mecanismos de participación ciudadana**

Las Comisiones Ambientales Municipales promoverán diversos mecanismos de participación de la sociedad civil en la gestión ambiental, tales como:

- a) La información, a través de, entre otros mecanismos, sesiones públicas de consejo, cabildos, cabildos zonales y audiencias públicas, con participación de los órganos sociales de base;
- b) La planificación, a través de, entre otros mecanismos, mesas de concertación, consejos de desarrollo, mesas de lideresas, consejos juveniles y comités interdistritales;
- c) La gestión de proyectos, a través de, entre otros mecanismos, organizaciones ambientales, comités de promoción económica, comités de productores, asociaciones culturales, comités de salud, comités de educación y gestión del hábitat y obras; y,
- d) La vigilancia, a través de, entre otros mecanismos, monitoreo de la calidad ambiental, intervención de asociaciones de contribuyentes, usuarios y consumidores y de las rondas urbanas y/o campesinas, según sea el caso.

C. Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto ambiental (SEIA, Ley 27446), aprobada el 23 de abril del 2001, modificada mediante Decreto Legislativo N° 1078 en junio del 2008.

## **CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES**

### **Artículo 1°.- Objeto de la ley**

La presente Ley tiene por finalidad:

- a) La creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA), como un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión.
- b) El establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas, y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de proyectos de inversión.
- c) El establecimiento de los mecanismos que aseguren la participación ciudadana en el proceso de evaluación de impacto ambiental.

**Artículo 2°.- Del ámbito de la Ley:** Quedan comprendidos en el ámbito de aplicación de la presente Ley, las políticas, planes y programas de nivel nacional, regional y local que pueden originar implicaciones ambientales significativas; así como los proyectos de inversión pública, privada o de capital mixto, que impliquen actividades, construcciones,

obras, y otras actividades comerciales y de servicios que puedan causar impacto ambientales negativos significativos.

El Reglamento señalará los proyectos y actividades comerciales y de servicios que se sujetarán a la presente disposición.

### **Artículo 3°.- Obligatoriedad de la certificación ambiental**

No podrá iniciarse la ejecución de proyectos ni actividades de servicios y comercio referidos al Art. 2° y ninguna autoridad nacional, sectorial, regional o local podrá aprobarla, autorizarla, permitir las, concederlas o habilitarlas si no cuentan previamente con la certificación ambiental contenida en la Resolución expedida por la respectiva autoridad competente.

El reglamento de aplicación de dicha Ley se aprueba mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, el 25 de septiembre del 2009.

### **Artículo 11°.- Instrumentos de Gestión Ambiental del SEIA**

Los instrumentos de gestión ambiental o estudios ambientales de aplicación del SEIA son:

- a) Declaración de Impacto ambiental-DIA (categoría I)
- b) Estudios de Impacto ambiental Semi detallado-EIA-sd (Categoría II).
- c) Evaluación ambiental estratégica-EAE

### **Artículo 36°.- Clasificación de los proyectos de inversión**

Los proyectos públicos o privados que están sujetos al SEIA, deben ser clasificados por las autoridades competentes, de acuerdo a lo señalado en el Art. 8 de la Ley, en una de las siguientes categorías:

**Categoría I: Declaración de Impacto ambiental (DIA):** Estudio ambiental mediante el cual se evalúan los proyectos de inversión respecto de los cuales se prevé la generación de impactos ambientales negativos leves.

**Categoría II: Estudios de Impacto ambiental semi detallado (EIA-sd):** Estudio ambiental mediante el cual se evalúan los proyectos de inversión respecto de los cuales se prevé la generación de impactos ambientales negativos moderados.

**Categoría III: Estudio de Impacto ambiental detallado (EIA-d):** Estudio mediante el cual se evalúan los proyectos de inversión respecto de los cuales se prevé la generación de impactos ambientales negativos significativos.

“Mediante Resolución Ministerial N° 157 - 2011 – MINAM, aprueban primera actualización del listado de inclusión de los proyectos de inversión sujetos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. En esta actualización se considera en el sector Agricultura (Ministerio de Agricultura) la producción y/o Transformación de Productos Agrícolas, entre otras”: (texto del autor de la tesis)

1. Construcciones rurales y vías de acceso vinculadas a las tierras de uso agrario.
2. Proyectos de cultivos agrícolas orientados a la producción de bio combustibles.
3. Cultivos agrícolas desarrollados en forma intensiva.

“Las Municipalidades Provinciales son las autoridades competentes, conforme al Art. 18° de la Ley del SEIA, respecto a los proyectos señalados a continuación” (texto del autor de la tesis)

1. Depósitos, almacenes, instalaciones de embalaje, embolsado y similares, no comprendidos en las competencias sectoriales –nacionales o regionales.
2. Proyectos sociales, productivos y de construcción a nivel local, de acuerdo con la normatividad vigente.

“El listado de las actividades comerciales y de servicios de nivel municipal que deben ingresar al SEIA adicionales a lo señalado, será aprobado por cada Municipalidad Provincial, mediante Ordenanza Municipal, con opinión previa favorable del MINAM” (Art. 7°, literal d) del Reglamento del SEIA).

“En concordancia con la Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada, Decreto Legislativo N° 757, el Estado Peruano está en la obligación de acotar, de manera explícita, las competencias, funciones y atribuciones ambientales de los Ministerios, los organismos públicos, los órganos reguladores y los órganos de fiscalización, en relación a aquellas actividades y materias señaladas en las normas legales. En ese sentido, la gestión ambiental desde el Ministerio de Agricultura se desarrolla considerando el marco legal expuesto y las normas, políticas complementarias que el Sector Agrario recomiende y publique”.

### **5.5.2. Ministerio de Agricultura**

Mediante Decreto Supremo N° 019-2012-AG, se aprueba el Reglamento de Gestión ambiental del Sector Agrario, que tiene como base legal, la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), Ley N° 28245 Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

## **DECRETO SUPREMO N° 019-2012-AG**

### **EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA**

#### **CONSIDERANDO** (“entre otras consideraciones”)

Que, el primer párrafo del artículo 50° del Decreto Legislativo N° 757, Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada, modificado por la Novena Disposición complementaria de la Ley N° 26734, establece que las autoridades sectoriales competentes para conocer sobre los asuntos relacionados con la aplicación de las disposiciones del Código del Medio ambiente y los Recursos Naturales, son los Ministerios o los organismos fiscalizadores, según sea el caso, de los sectores correspondientes a las actividades que desarrollan las empresas.

Que, de acuerdo a lo dispuesto por el artículo 9° del Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, aprobado mediante Decreto Supremo N° 008-2005-PCM, la competencia del Estado en materia ambiental tiene carácter compartido y es ejercida por las autoridades del Gobierno Nacional, Regional y por las Municipalidades, en el marco de sus competencias establecidas en la Constitución Política

del Perú y en sus respectivas leyes orgánicas y leyes específicas de organización y funciones;

Que, en el caso de los Ministerios y de sus organismos públicos adscritos, el Artículo 10° del Reglamento de la Ley N° 28245, establece que estos, entre otros, son responsables de la regulación ambiental de las actividades productivas, de comercio, de servicios que se encuentren dentro de sus ámbitos de competencia, debiendo complementarse con las competencias de los gobiernos regionales y los gobiernos locales, así como de la Autoridad Nacional de Salud; siendo que la regulación ambiental a cargo del Gobierno Nacional incluye entre otros el establecimiento de la política y la normatividad específica, la fiscalización, el control y la imposición de sanciones por el incumplimiento de la normatividad ambiental;

Que, en el caso específico del Sector Agrario, el artículo 63° del Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Ministerio de Agricultura, aprobado mediante Decreto Supremo N° 031-2008-AG, establece que la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios, es el órgano de línea encargado de ejecutar los objetivos y disposiciones del Sistema Nacional de Gestión Ambiental en el ámbito de competencia del sector. Asimismo, en el literal h) del artículo 64° del referido Reglamento, dispone que es función de la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios, proponer las normas y manuales de funciones y procedimientos en el ámbito de su competencia.

## **REGLAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR AGRARIO TÍTULO I**

### **DISPOSICIONES GENERALES**

#### **Artículo 3°.- Lineamientos de Política Ambiental del Sector Agrario**

Sin perjuicio de los lineamientos de la Política Nacional del Ambiente, de la Política Agraria y los contenidos en normas especiales, constituyen lineamientos de la Política Ambiental del Sector Agrario los siguientes:

**3.1** Promover el desarrollo sostenible de las actividades agrarias del país mejorando la competitividad del Sector Agrario, mediante tecnologías y procesos de producción limpia, medidas de prevención, control, mitigación, recuperación, rehabilitación o compensación de ambientes degradados, así como de las relacionadas a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica, incluyendo la agro biodiversidad, en el ámbito de su competencia.

**3.2** Promover y desarrollar acciones para contribuir al ordenamiento territorial sustentado en la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE), considerando la zonificación agroecológica, el ordenamiento forestal, la gestión y manejo integrado de las cuencas y las tierras según su capacidad de uso mayor, entre otros.

**3.3** Contribuir al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables para convertirlo en un activo importante para el desarrollo sostenible de la población rural, promoviendo la optimización y equitativa distribución de los beneficios, la minimización de conflictos intersectoriales, el uso de la biotecnología y el acceso a mercados.

**3.4** Consolidar, en su calidad de Órgano Rector del Sector Agrario, su rol articulador respecto a la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables bajo su competencia, considerando el fortalecimiento y descentralización de su gestión ambiental.

**3.5** Permitir con la implementación de la gestión ambiental, la rentabilidad y la competitividad del agro, con bajos costos de producción, productos de calidad, mercados agrarios fortalecidos y desarrollados con organizaciones agrarias modernas y eficientes, contribuyendo a la reducción de la pobreza y extrema pobreza, el mejoramiento de las condiciones de vida en las áreas rurales, incorporando a los pequeños agricultores y de auto-subsistencia en el mercado interno y de agro exportación.

**3.6** Fomentar, difundir y facilitar la adopción voluntaria de políticas, prácticas y mecanismos de responsabilidad social de las empresas de las actividades de competencia del Sector Agrario.

## **TÍTULO II**

### **DE LAS COMPETENCIAS EN LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR AGRARIO**

#### **Artículo 5º.- La Autoridad Ambiental Competente**

**5.1** El Ministerio de Agricultura, a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAAA), es la autoridad ambiental competente responsable de la gestión ambiental y de dirigir el proceso de evaluación ambiental de proyectos o actividades de competencia del Sector Agrario y, aquellos relacionados con el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables en el ámbito de su competencia y en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental; así como ejecutar, directamente o través de terceros, el monitoreo, vigilancia, seguimiento y auditoría ambiental de proyectos y actividades bajo la competencia del Sector Agrario.

## **TÍTULO III**

### **INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

#### **Artículo 9º.- Instrumentos de gestión ambiental**

Son mecanismos orientadores para la ejecución y cumplimiento de la Política Nacional del Ambiente y de la Política Agraria con el objetivo de prevenir, controlar y mitigar los impactos que los proyectos de inversión y las actividades vinculadas al Sector Agrario, puedan ocasionar en el ambiente, asegurando la protección y uso sostenible de los recursos naturales renovables bajo su competencia. En ese sentido, los titulares y/o proponentes de proyectos de inversión y actividades bajo competencia del Sector Agrario se encuentran obligados a presentar, cuando corresponda, los instrumentos de gestión ambiental, siguientes:

**9.1** Evaluación Ambiental Estratégica (EAE): Para las políticas, planes y programas públicos del sector agrario y en concordancia con el Reglamento de la Ley SEIA y otras normas complementarias.

**9.2 Evaluación del Impacto Ambiental:** Para la clasificación de proyectos de inversión, según corresponda, de acuerdo a los impactos ambientales negativos significativos que el proyecto pueda causar sobre el ambiente y/o a los recursos naturales renovables (agua, suelo, flora y fauna), las cuales pueden tener una de las siguientes categorías:

Categoría I: Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

Categoría II: Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado (EIA-sd).

Categoría III: Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d).

**9.3 Informe de Gestión Ambiental (IGA):** Para proyectos de inversión no comprendidos en el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, es decir aquellos que no se encuentren en el listado en el Anexo II del reglamento de la Ley del SEIA y sus actualizaciones.

**9.4 Declaración Ambiental para Actividades en Curso (DAAC) o Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA):** Para actividades en curso, de acuerdo a la escala de la actividad y al impacto negativo que pueda estar causando sobre el ambiente o los recursos naturales renovables (agua, suelo, flora y fauna).

**9.5 Plan de cierre y/o abandono:** Para proyectos de inversión y/o actividades, de tal forma que al cierre de su funcionamiento garantice que no subsistan impactos ambientales negativos.

## **CAPITULO II**

### **EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL**

#### **Artículo 14°.- Criterios para la evaluación del impacto ambiental**

**14.1** El desarrollo de las actividades bajo competencia del Sector Agrario, deben considerar desde un inicio los potenciales impactos que se puedan generar en el ambiente.

**14.3** Para la elaboración del instrumento de gestión ambiental correspondiente, el titular debe tener en cuenta los potenciales impactos ambientales negativos, conforme se menciona a continuación, sin carácter limitativo, sobre:

- a) La salud o seguridad de las personas.
- b) La calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que puedan producir el ruido y vibración, residuos sólidos y líquidos, efluentes, emisiones gaseosas, radiaciones, y de partículas.
- c) Los recursos naturales, especialmente las aguas y el bosque, el suelo, la flora, la fauna, hábitat y el paisaje.
- d) Las áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento.
- e) Lugares con valor arqueológico, histórico, arquitectónico y monumentos nacionales.
- f) Los ecosistemas, bellezas escénicas y lugares con valor turístico.
- g) Los sistemas y estilos de vida de las comunidades campesinas, nativas y pueblos indígenas.
- h) Los espacios urbanos.
- i) Taludes y laderas.
- j) La infraestructura de servicios básicos.

### SUBCAPÍTULO III

#### DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN Y TÉRMINOS DE REFERENCIA

##### **Artículo 17°.- Procedimiento para la clasificación del proyecto en el marco del SEIA.**

**17.1** Presentación de la solicitud de Clasificación, adjuntando la Evaluación Ambiental Preliminar-EVAP, la misma que deberá estar acompañado con los requisitos establecidos en el Texto Único de Procedimientos Administrativos, TUPA del Ministerio de Agricultura.

**17.2** Si el proyecto se clasifica como Categoría I, la DGAAA aprobará la EVAP como una DIA mediante una Resolución Directoral, la misma que incluirá la clasificación y la aprobación de ser el caso. Dicha Resolución estará sustentada en un Informe Técnico y/o Legal.

**17.3** Si el proyecto se clasifica como Categoría II o III, según corresponda, se emitirá la Resolución Directoral de Clasificación correspondiente.

Términos de Referencia será de un (01) año, a partir de su notificación.

##### **Artículo 22°.- Elaboración del DIA, EIA-sd y EIA-d**

Las Declaraciones de Impacto Ambiental deben ser elaborados por consultoras ambientales individuales o colectivas debidamente registradas y habilitadas en el Registro de Consultoras Ambientales que actualmente conduce la DGAAA, en tanto el MINAM apruebe el registro de empresas autorizadas para elaborar estudios ambientales.

### SUBCAPÍTULO IV

#### DE LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (DIA)

##### **Artículo 23°.- De la Declaración de Impacto Ambiental (DIA)**

Las actividades comprendidas en el ámbito de competencias del Sector Agrario están sujetas a la previa aprobación de una DIA:

**23.1** Siempre que el proyecto de inversión generará impactos ambientales negativos leves.

**23.2.** En los casos de ampliación, modificación o diversificación, que no impliquen impactos ambientales negativos moderados o significativos, de la certificación ambiental.

##### **Artículo 24°.- Contenido Básico de la DIA**

En concordancia con las normas del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y sin perjuicio de las normas, guías técnicas y protocolos específicos que apruebe el Ministerio de Agricultura, para la elaboración de las DIA de las actividades bajo competencia del Sector Agrario, sin carácter limitativo éstos deberán contener los siguientes aspectos:

- Antecedentes.
- Resumen ejecutivo.
- Marco legal e institucional.
- Línea Base, aspectos del medio físico, biótico, social, cultural y económico.
- Descripción del Proyecto.
- Identificación, evaluación y valoración de los posibles impactos ambientales.

- Medidas de prevención, mitigación y corrección.
- Plan de Seguimiento y Control.
- Plan de Contingencias.
- Plan de Cierre o abandono.
- Participación Ciudadana.
- Cronograma de Ejecución.
- Presupuesto de Implementación.
- Conclusiones y Recomendaciones.
- Anexos.

## **SUBCAPÍTULO VI**

### **DE LA CERTIFICACIÓN AMBIENTAL**

#### **Artículo 34°.- Certificación Ambiental**

**34.1** La Resolución que aprueba el estudio ambiental constituye la Certificación Ambiental, la cual obliga al titular a cumplir con todos los compromisos para prevenir, controlar, mitigar, rehabilitar, compensar y manejar los posibles impactos ambientales identificados en el estudio ambiental aprobado. La resolución será emitida por la DGAAA. Asimismo, luego de la emisión de la Resolución Directoral respectiva, se emitirá un Certificado, conforme al formato del Anexo I que forma parte del presente Reglamento.

**34.2** El incumplimiento de obligaciones asumidas en el estudio ambiental estará sujeto a sanciones administrativas pudiendo ser causal de cancelación de la Certificación Ambiental.

#### **Artículo 36°.- La vigencia de la Certificación Ambiental**

**36.1** Dentro de los treinta (30) días hábiles posteriores al inicio de las obras para la ejecución del proyecto y/o actividad, el titular deberá comunicar el hecho a la DGAAA.

**36.4** En un plazo no mayor de treinta (30) días hábiles posteriores al inicio del proyecto, el titular del mismo deberá informar a la DGAAA el inicio de sus actividades.

## **DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA**

### **CAPÍTULO I**

#### **DEL DERECHO A LA INFORMACIÓN AMBIENTAL**

#### **Artículo 51°.- Garantía al derecho a la información**

El Ministerio de Agricultura, a través de la DGAAA, promueve un proceso de toma de decisiones informado para la gestión ambiental en el Sector Agrario. Con este objeto, garantiza el derecho de toda persona a ser informado en forma clara, veraz y oportuna sobre las decisiones en materia ambiental que puedan afectar el estado del ambiente y los recursos naturales, así como a acceder a la información pública de carácter ambiental de su competencia, que se encuentre en sus archivos, en concordancia con lo dispuesto en el artículo anterior y las demás normas pertinentes.

#### **Artículo 52°.- Acceso a documentos**

Toda persona tiene derecho a acceder a la información

## CAPÍTULO II

### PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN LOS PROCESOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y ADECUACIÓN AMBIENTAL

#### **Artículo 53°.- Los mecanismos de participación ciudadana**

Los procesos de evaluación de impacto ambiental y adecuación ambiental incluyen la participación ciudadana a través de instancias formales y no formales, de acuerdo a lo establecido en la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, en las etapas de elaboración, revisión, evaluación, aprobación y seguimiento, así como en la de modificación, para ese efecto los titulares deberán presentar su Plan de Participación Ciudadana, teniendo en cuenta el reglamento de participación ciudadana para el Sector Agrario, que será aprobado mediante Decreto Supremo.

## TITULO V

### OTROS INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL

#### CAPITULO I

#### PLAN DE CIERRE Y PLAN DE ABANDONO

#### **Artículo 55°.- Plan de cierre o abandono de proyectos de inversión sectoriales**

**55.1** En concordancia con el artículo 31° del reglamento de la Ley del SEIA, la DGAAA requerirá a los titulares de proyectos de inversión de competencia del Sector Agrario, la presentación de un plan al cierre o abandono de sus operaciones.

**55.2** Las medidas a incluirse en el Plan de cierre o abandono formarán parte del estudio ambiental correspondiente, pudiendo ser aprobados adicionalmente de forma detallada en el caso de cese y/o cierre no previstos en el estudio ambiental o en otro instrumento de gestión.

**55.3** Para tal efecto y en tanto el MINAM no establezca disposiciones que regulen los planes de cierre o abandono, se aplicará lo regulado en el presente reglamento.

#### **Artículo 57°.- Contenido del plan de cierre**

**57.1** El Plan de cierre de proyectos de inversión de competencia del Sector Agrario, deberán describir las medidas de rehabilitación, control para las etapas de operación, cierre y post-cierre, costo y plazo de las acciones contenidas en el plan.

**57.2** Los compromisos de inversión ambiental se garantizan a fin de cubrir los costos de las medidas de rehabilitación, para lo cual el titular del proyecto deberá constituir garantía a favor de la autoridad ambiental competente para el cumplimiento del plan de cierre, en base al monto estimado que apruebe ésta, y a las normas específicas que se dicten para tal efecto.

**57.3** La garantía deberá tener el respaldo de una entidad financiera supervisada por la Superintendencia de Banca y Seguros.

**57.4** La garantía no podrá ser liberada hasta que la autoridad ambiental competente, de conformidad a la ejecución del plan de cierre y al cumplimiento de las metas ambientales.

#### **Artículo 58°.- Plan de Abandono**

**58.1** El titular del proyecto que haya tomado la decisión de interrumpir sus actividades, deberá comunicarlo por escrito a la autoridad ambiental competente. Dentro de cuarenta y cinco (45) días calendarios siguientes deberá presentar ante la DGAAA, un plan de

abandono que deberá ser coherente con las acciones descritas en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, debiéndose tener en cuenta lo siguiente:

**58.1.1.** Considerar el uso futuro previsible que se le dará al área, las condiciones geográficas actuales y las condiciones originales del ecosistema, las acciones de descontaminación, restauración, reforestación, retiro de instalaciones y otras que sean necesarias para abandonar el área, así como el cronograma de ejecución.

**58.1.2.** La verificación del cumplimiento del plan de abandono a lo largo de su ejecución y la verificación del logro de los objetivos, será efectuada por la DGAAA, constituyendo su incumplimiento, una infracción al presente reglamento.

**58.1.3.** El titular del proyecto evaluará y realizará el procedimiento de transferencia del área del proyecto en abandono con la finalidad de garantizar su sostenibilidad.

**58.1.4** El titular del proyecto deberá constituir la garantía a favor de la autoridad ambiental competente para el cumplimiento de los compromisos contraídos en el Plan de abandono. El monto será estimado de acuerdo a las normas específicas que se dicten para tal efecto.

### **5.5.3. Normas complementarias vinculantes**

Para completar la formulación del documento de gestión ambiental de un proyecto en el Sector Agrario, se deben tomar en consideración las siguientes normas complementarias:

- D. Gestión de residuos sólidos
- E. Manejo integrado sobre el control de plagas
- F. Producción orgánica o ecológica
- G. Calidad ambiental para agua

## **D. Ley General de Residuos Sólidos y su reglamento**

### **Artículo 3°.- Principios de la gestión**

Los principios para la gestión de residuos sólidos agropecuarios y agroindustriales, se encuentran establecidos en la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente y la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y el Decreto Legislativo N° 1065, que modifica la Ley N° 27314.

## **TITULO II**

### **DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS Y AGROINDUSTRIALES**

#### **Artículo 4°.- Origen de los residuos**

El presente reglamento norma la gestión de los residuos, cuyo origen sea de actividades agropecuarias y agroindustriales, de competencia del sector Agricultura, establecidas en el Anexo II, del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM.

#### **Artículo 5°.- Residuos sólidos agropecuarios.**

Los residuos agropecuarios, son aquellos que provienen de las actividades agrícolas, forestales, ganadería y centros de faenamiento de animales.

#### **Artículo 6°.- Residuos sólidos agroindustriales.**

Los residuos agroindustriales, son aquellos generados en procesos de transformación de productos agrícolas.

### **TITULO III DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS Y AGROINDUSTRIALES**

#### **CAPITULO II DE LOS PLANES DE MANEJO Y DECLARACIONES DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS Y AGROINDUSTRIALES**

##### **Artículo 8°.- Plan de manejo de residuos**

El plan de manejo de residuos, deberá formar parte del plan de manejo ambiental contenido en el Estudio Ambiental correspondiente.

El plan de manejo incluirá los procedimientos técnicos y administrativos necesarios para lograr una adecuada gestión de los residuos agropecuarios y agroindustriales.

##### **Artículo 10°.- Declaración de manejo de residuos sólidos**

Los generadores de residuos deberán cumplir con la presentación de la declaración de manejo de residuos sólidos, según los plazos y procedimientos establecidos en el Art. 37° del Decreto Legislativo N° 1065, que modifica la Ley General de Residuos Sólidos, y el Art. 115° del Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.

#### **CAPÍTULO III DEL ALMACENAMIENTO Y PROHIBICIÓN DE ABANDONO DE RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS Y AGROINDUSTRIALES**

##### **Artículo 11°.- Almacenamiento inicial de residuos**

El proceso de almacenamiento inicial de residuos, se realizará en la misma área donde se realiza el proyecto, teniendo en cuenta el lugar o áreas donde los residuos se generan; una vez acumulado, y de acuerdo a su plan de manejo el generador podrá disponer el traslado según corresponda.

##### **Artículo 12°.- Prohibición de abandono de residuos en lugares no autorizados**

Está prohibido el uso de los espacios públicos (vías, parques, entre otros), así como áreas arqueológicas, áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento, playas, cuerpos de agua y fajas marginales de ríos así como otros bienes de uso público para el abandono de residuos, cuya trasgresión será materia de sanción por parte de la autoridad municipal competente.

##### **Artículo 13°.- Almacenamiento de residuos**

El almacenamiento de los residuos, se efectuará en recipientes apropiados de acuerdo al tipo de residuo y la cantidad generada, para lo cual el recipiente deberá tener una capacidad y diseño específico, que facilite su manejo, además debe estar dotado de los medios de seguridad correspondientes.

#### **CAPÍTULO IV DEL RECOJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

##### **Artículo 14°.- Servicio de recojo de residuos**

El proceso de recojo de los residuos, tiene por finalidad prevenir la contaminación del suelo, aire, agua y biota en el lugar en que se desarrolla la actividad, y estará sujeto a:

**1.** Presentación por parte del generador de los residuos del Plan de Manejo de Residuos a la autoridad competente y llenar los formatos del Anexo 1 del Reglamento de la Ley N° 27314.

2. El generador de residuos deberá acreditar en base a la Declaración de Manejo de Residuos Sólidos, según formato del Anexo 1, del Reglamento de la Ley N° 27314, el transporte de sus residuos a través de una entidad autorizada por la autoridad competente. Siendo presentado esta documentación ante la autoridad ambiental del sector agrario y otras de su competencia.

**Artículo 15°.- Ubicación y visibilidad de contenedores y vehículos**

Se tendrá en consideración lo siguiente:

1. Los contenedores y vehículos se ubicarán de preferencia en el interior del área del proyecto o del área de recojo en zonas de fácil acceso y visibilidad.
2. El recojo de residuos con características del ámbito municipal y no municipal se realizará en el horario autorizado por la municipalidad respectiva.
3. El generador de los residuos asumirá la responsabilidad de colocar señales de advertencia para evitar accidentes.

**Artículo 16°.- Uso de envases para recolección de residuos.**

Se utilizarán envases de material resistente y hermético para la recolección de los residuos. Estos se dispondrán en el interior del área del proyecto, su retiro podrá estar a cargo de vehículos autorizados por la autoridad competente.

## **CAPÍTULO V DEL REAPROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS Y AGROINDUSTRIALES**

**Artículo 17°.- Objetivo de la minimización de residuos**

La minimización de los residuos, se inicia en el diseño del proyecto con el objetivo central de reducir la generación de residuos en cada etapa o fase del proceso productivo, fomentando la segregación, reciclaje y aprovechamiento de residuos, habilitándolos mediante un tratamiento, para darle un nuevo uso. La minimización de residuos presta especial atención a evitar el uso de insumos que en su composición contienen elementos peligrosos según indicado en el Anexo 4 del Reglamento de la Ley N° 27314.

**Artículo 18°.- Acciones de minimización de residuos**

El generador de los residuos, aplicará estrategias de minimización, valorización o de reaprovechamiento de residuos, con el fin de reducir el volumen y peligrosidad, estas acciones forman parte del Plan de Manejo de Residuos tal como se indica en el Artículo 9°.

**Artículo 19°.- Segregación de residuos**

La segregación de los residuos tiene por objeto facilitar su reaprovechamiento o comercialización mediante separación sanitaria de los elementos o componentes de los residuos generados en la actividad agropecuaria y agroindustrial, y fomentar el ahorro en el uso de recursos naturales, para tal efecto, se realizarán los procesos de segregación en el sitio del proyecto o actividad, la fuente de generación, o en la instalación designada para su tratamiento.

La segregación podría ser efectuada por segregadores agrupados en una entidad organizada capacitada y debidamente registrada y autorizada por la municipalidad o por una Empresa Prestadora de Servicios (EPS-RS), en tanto ésta sea una operadora autorizada o una Empresa Comercializadora de Residuos Sólidos (EC-RS).

**Artículo 20°.- Comercialización de residuos.**

El generador podrá comercializar estos residuos a través de Empresas Comercializadoras de Residuos Sólidos (EC-RS) registradas en la DIGESA y autorizadas por la municipalidad correspondiente o personas naturales o jurídicas generadoras que los reutilicen en sus procesos.

## **CAPÍTULO VI DEL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

**Artículo 21°.- Tratamiento de residuos sólidos**

En aquellos otros residuos que no sean de origen orgánico, deben ser tratados según lo estipulado en la Sección III, del Capítulo III, del Título III de la Ley General de Residuos Sólidos, según corresponda.

**Artículo 22°.- Tratamiento de residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos, que se generen tanto en las actividades agropecuarias y agroindustriales de competencia del sector agricultura, deben de recibir tratamiento con la finalidad de reducir o neutralizar las sustancias peligrosas que contienen, recuperar materia o sustancias valorizables, facilitar su uso como fuente de energía, favorecer la disposición del rechazo y en general, mejorar la gestión del proceso de valorización.

## **CAPÍTULO VII PAUTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

**Artículo 23°.- Gestión de los residuos agrícolas**

**23.1** Los restos vegetales de cultivos o cosecha, pueden ser reaprovechados mediante aplicación directa en la superficie del suelo para incrementar el nivel de fertilidad, favorecer la estructura y textura del suelo y con el tiempo incrementar la infiltración del agua, reducir la erosión hídrica y eólica. El compostaje es una opción de valorización para los residuos agrícolas donde estos restos vegetales se usan como estructurantes de aporte de carbono, para el buen funcionamiento del proceso de compostaje, también puede usarse como biocombustibles.

Está prohibido, realizar la práctica de la quema de dichos residuos vegetales.

**23.2** Los envases usados de plaguicidas químicos agrícolas deben ser almacenados en lugares especiales destinados para este fin. Aquellos envases tipo botella o bidones deberán ser previamente lavados como mínimo tres veces consecutivas para luego ser inutilizados. La disposición final de los envases vacíos es responsabilidad de la empresa comercializadora y/o fabricante, quienes deben realizar planes de acción para reducir y eliminar los volúmenes de dichos residuos en el campo, para lo cual deberán capacitar y/o sensibilizar al usuario final. Está prohibido disponer de dichos envases en ríos, fuentes de agua, canales de regadío, así como en otros lugares no autorizados. El incumplimiento de la presente disposición constituye una infracción y estará sujeto a sanción administrativa penal u otra que hubiere lugar.

**Artículo 26°.- Gestión de los Residuos Agroindustriales de Competencia del Sector Agricultura**

Los residuos de frutas y hortalizas que se producen ya sea en el almacenaje, conservación y transformación, no elaborable o consumible, pueden ser comercializados, por empresas comercializadoras debidamente registradas ante la Autoridad de Salud, o a otro generador, donde el residuo sea directamente reaprovechado en su proceso productivo.

Las principales opciones de valorización, son de alimentación de animal o compostaje. Las estructuras de madera deterioradas que servían para transportar los grupos de caja de frutas o verduras, deben de ser reciclados como madera o en su defecto, debe disponerse mediante un gestor de residuos autorizados.

Los lodos de las depuradoras que sirven para tratar los efluentes de las agroindustrias pueden ser utilizados para el compostaje o realizar la deposición en un vertedero autorizado o tratarse vía la incineración.

## TITULO IV

### DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

**Artículo 33°.- Disposición final de residuos**

Los Residuos no reaprovechables que resulten luego de realizado el proceso de segregación, reciclaje, selección y clasificación para efectos de reutilización, serán transportados a un relleno sanitario o un relleno de seguridad, debidamente autorizada por la DIGESA para su disposición final sanitaria y ambientalmente adecuada.

**E. Ley sobre el Manejo Integrado sobre el Control de Plagas (Ley N° 26744), publicada el 18 de enero de 1997.**

**Artículo 1°.-** El objetivo de la presente Ley es promover el Manejo Integrado para el Control de Plagas en la agricultura nacional, tomando como referencia básica los aspectos ecológicos de las medidas de control y fundamentalmente la preservación de la vida y las personas.

La promoción del control ecológico, en el marco del Manejo Integrado para el Control de Plagas, estará dirigida al fortalecimiento de las capacidades de los agricultores, a través de las actividades que llevarán a cabo las Instituciones Públicas y Privadas especializadas en esta materia. El control genético se realizará con las debidas medidas de seguridad sobre las posibles variaciones genéticas.

**Artículo 4°.-** Restrínjase el uso a casos estrictamente necesarios, determinados en el reglamento de la presente Ley, los productos agroquímicos elaborados en base a los ingredientes activos que contengan: Lindano, Parathion Etilico y Parathion Metílico.

**Artículo 5°.-** Prohíbese el uso, fabricación e importación de todos los productos agroquímicos a los que se refiere el artículo anterior y los demás registrados, que para el inicio del año 2000 no cuenten con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) aprobado por autoridad competente. A los infractores de esta ley se les aplicará las penas establecidas en

el artículo 288° del Código Penal o en lo dispuesto en el Título XIII, Delitos contra la Ecología del Código Penal según el caso, sin perjuicio de las sanciones administrativas correspondientes.

**F. Ley de promoción de la producción orgánica o ecológica (Ley N° 29196), aprobada el 24 de enero del 2008.**

**Artículo 1°.- Objeto de la Ley**

La presente Ley tiene por finalidad promover el desarrollo sostenible y competitivo de la producción orgánica o ecológica en el Perú.

**Artículo 2°.- Objetivos específicos**

Son objetivos específicos de la presente Ley:

- a) Fomentar y promover la producción orgánica para contribuir con la superación de la pobreza, la seguridad alimentaria y la conservación de los ecosistemas y de la diversidad biológica.
- b) Desarrollar e impulsar la producción orgánica como una de las alternativas de desarrollo económico y social del país, coadyuvando a la mejora de la calidad de vida de los productores y consumidores, y a la superación de la pobreza.
- c) Definir las funciones y competencias de las instituciones encargadas de la promoción y fiscalización de la producción orgánica.
- d) Fortalecer el Sistema Nacional de Fiscalización y Control de la Producción Orgánica para garantizar la condición de los productos orgánicos en el mercado interno y externo.

**G. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, aprobada el 30 de julio del 2008.**

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 Y el Decreto Legislativo N° 1013; DECRETA:

**Artículo 1°.-** Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. En el Anexo I: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua.

**Categoría 1:** Población y recreacional. **Categoría 3:** Riego de vegetales y bebidas de animales. Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto. Ref. D.S. N° 002-2008-MINAM.

## **5.6. Clasificación de un proyecto de producción de hortalizas en invernaderos alto andinos**

Para que un proyecto productivo de hortalizas en invernaderos andinos, se implemente en instituciones educativas de la Provincia de Paruro (con población rural mayoritaria), previamente se deberá elaborar un documento de Evaluación Ambiental Preliminar-EVAP, y ser presentado ante la autoridad competente del Sector Agrario (DGAAA), a fin de que sea clasificado, evaluado y aprobado para contar con la Certificación Ambiental que autoriza su implementación y ejecución.

El autor del presente trabajo ha revisado la información disponible, para identificar y conocer experiencias sobre instrumentos de gestión ambiental en el campo de la plasticultura sin resultados positivos.

Para elaborar un instrumento de gestión ambiental en este campo, debemos considerar el marco normativo peruano, los criterios para la evaluación del impacto y protección ambiental, señalados la Ley General del Ambiente, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y su reglamento (SEIA), el reglamento de Gestión Ambiental del Sector Agrario y normas adicionales: Gestión de residuos sólidos, Manejo integrado sobre el control de plagas, Producción orgánica o ecológica, Calidad ambiental para agua; siendo el Ministerio de Agricultura, a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAAA). A continuación realizaremos un breve análisis de este marco jurídico.

La Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) en el Artículo 1°, establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, proteger el ambiente y mejorar la calidad de vida de la población. En el Capítulo 3, Gestión Ambiental, Artículo 24°, 24,1.- Del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), señala que toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras actividades, así como políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo, está sujeta de acuerdo a la Ley, al SEIA.

La Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (Ley N° 28245), fortalece los mecanismos de transectorialidad en la gestión ambiental, el rol que le corresponde al Consejo Nacional del Ambiente (CONAM, ahora MINAM) como Autoridad Ambiental Nacional, así mismo norma el ejercicio regional y local de funciones ambientales, a través de los Gobiernos Regionales (Comisiones Ambientales Regionales) en estrecha coordinación con el CONAM, así mismo el papel de los gobiernos locales (Comisiones Municipales Ambientales) y participación de la sociedad civil. En el Título VI, Sistema Nacional de Información, en sus Artículos del 29° al 35°, se establece las obligaciones de las instituciones públicas a nivel nacional, regional y local de administrar la información ambiental, el acceso de toda persona a solicitar y recibir información sobre el estado de la gestión del ambiente y de los recursos naturales, así mismo de las obligaciones de las entidades de la administración pública en materia ambiental y los procedimientos a seguir. En el Título VII, Educación ambiental, Artículo 36°.-De la Política Nacional de Educación Ambiental, establece que el Ministerio de Educación, en coordinación con el CONAM, elabora la política Nacional de Educación Ambiental, en su objetivo h) Desarrollar Programas de Educación Ambiental-PEAs, como base y sustento para la adaptación e incorporación de materias y conceptos ambientales en forma transversal, en los programas educativos de los diferentes niveles.

La Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA, Ley 27446), crea el SEIA, como sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión. En su Artículo 2°.- Del ámbito de la Ley, están comprendidos las políticas, planes y programas a nivel nacional, regional y local que pueden originar implicancias ambientales, que impliquen actividades, construcciones, obras y otras actividades comerciales y de servicios que puedan causar impactos ambientales negativos significativos. En el Artículo 3°.- No podrá iniciarse la ejecución de proyectos ni actividades de servicios y comercio y ninguna autoridad nacional, regional o local podrá autorizarla, permitir las, concederlas o habilitarlas si no cuentan previamente con la certificación ambiental otorgada por la autoridad competente.

La Categorización de proyectos de acuerdo al riesgo ambiental, los criterios de protección ambiental, y los procedimientos y contenidos de los instrumentos de gestión ambiental, está señalado en la presente Ley y su reglamento.

El Artículo 36°.- Clasificación de los proyectos de inversión, señala que las autoridades competentes, deben clasificar los proyectos en tres categorías, en función del grado de impacto ambiental generados. Mediante RM N° 157-2011-MINAM, se aprueba la primera actualización del listado de inclusión de los proyectos sujetos al SEIA, en cuanto al sector agricultura, la producción y/o transformación de productos agrícolas, entre otras.

Con este marco jurídico y mediante DS N° 019-2012-AG, se aprueba el reglamento de Gestión Ambiental del Sector Agrario, considerando la novena disposición complementaria de la Ley N° 26734, que otorga competencia al Ministerio de Agricultura para conocer los asuntos relacionados a la Ley General del Ambiente, Ley del SEIA y disposiciones complementarias, dentro del ámbito de su competencia.

En el Título I. Disposiciones generales, Artículo 3°.- Lineamientos de política ambiental en el Sector Agrario, 3.1.- Promover el desarrollo sostenible de las actividades agrarias del país mejorando la competitividad del sector agrario, mediante tecnologías y procesos de producción limpia, medidas de prevención, control, mitigación, recuperación, rehabilitación o compensación de ambientes degradados, así como de las relacionadas a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica, incluyendo la agro biodiversidad, en el ámbito de su competencia.

En el Título II. De las competencias en la Gestión Ambiental del Sector Agrario, Artículo 5°, señala que la Autoridad Competente del Ministerio de Agricultura, es la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAAA), responsable de la gestión ambiental y de dirigir el proceso de evaluación ambiental de proyectos o actividades de competencia del Sector Agrario y, aquellos relacionados con el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables en el ámbito de su competencia y en el marco del SEIA. En el Título III, Artículo 9°.-Instrumentos de Gestión Ambiental, establece los mecanismos orientados para la ejecución y cumplimiento de la Política nacional del Ambiente, Política Agraria, y la obligatoriedad de los titulares y/o proponentes de proyectos de inversión y actividades bajo competencia del Sector Agrario a presentar, cuando corresponda los instrumentos de gestión siguientes:

**9.2. Evaluación de Impacto Ambiental:** Para la clasificación de los proyectos, según la magnitud de los impactos ambientales negativos, que el proyecto pueda causar sobre el ambiente y/o los recursos naturales renovables (agua, suelo, flora y fauna), en las siguientes categorías:

Categoría I: Declaración de Impacto Ambiental (DIA), impactos ambientales leves

Categoría II: Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado (EIA-sd).

Categoría III: Estudios de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d).

Así mismo en el Capítulo II, Evaluación de Impacto Ambiental, se establecen los criterios para la evaluación del Impacto Ambiental (Artículo 14°), así mismo en el Sub Capítulo II, Artículo 17°, se establece el procedimiento para la clasificación del proyecto en el marco del SEIA. En este reglamento están definidos los contenidos mínimos de la elaboración de documentos de Impacto Ambiental en las tres categorías, la certificación ambiental, entre otros. Otros aspectos de importancia están considerados en la garantía al derecho de la información y los mecanismos de la participación ciudadana en los procesos de EIA. En su parte final se señalan otros instrumentos de Gestión Ambiental, como el plan de cierre y plan de abandono, que garantizarán la recuperación, rehabilitación de las áreas empleadas en el proyecto productivo.

El autor del presente trabajo, con la finalidad de completar el estudio de los diferentes aspectos tecnológicos, económicos y sociales abordados, propone desarrollar el Proyecto: Programa de difusión y construcción de invernaderos andinos en I.E. rurales de la provincia de Paruro, Cusco, proyecto que debe merecer la categoría I: Declaración de Impacto Ambiental (DIA), por las siguientes consideraciones:

- a. El proyecto sustenta un estudio sistemático de la plasticultura en zonas alto andinas del Cusco, considerando aspectos tecnológicos sobre: estructuras, cubiertas, comportamiento térmico y protecciones adicionales para evitar el enfriamiento nocturno en invernaderos, manual de construcción, entre otros aspectos muy útiles en los procesos de transferencia de tecnología y difusión. Estudios de ahorro de energía, rentabilidad económica y una evaluación de impacto ambiental, que garantizan la sostenibilidad del proyecto y se enmarcan en los lineamientos de política ambiental del Sector Agrario y del marco jurídico del Perú.
- b. La tecnología propuesta: invernadero andino para producción de hortalizas, emplea en su estructura materiales de la zona: adobes, palos de eucalipto, o fierro corrugado (en instituciones educativas ubicadas en la región Suni, donde hay escases de palos). La cubierta de plástico presenta el componente más crítico por su tiempo de vida útil y deterioro, pero en base a un adecuado plan de manejo, seguimiento, educación y considerando que el proyecto propone la instalación de pequeños invernaderos de 50 m<sup>2</sup> en cada institución educativa, los residuos que se generan pueden manejarse adecuadamente para minimizar los impactos al medio ambiente.
- c. El manejo y producción de los invernaderos se sustentan en el marco jurídico vigente en cuanto al manejo de residuos sólidos, manejo integrado sobre control de plagas, producción orgánica y calidad ambiental del agua, donde los promotores del proyecto deben desarrollar programas permanentes de seguimiento, control y educación a los usuarios del invernadero.
- d. El invernadero construido como parte del huerto escolar, responden a la nueva política de huertos escolares promovida por la FAO, la preocupación por el medio ambiente, la seguridad alimentaria, la promoción de una buena alimentación, la mejora de las

técnicas de subsistencia y la sensibilización sobre el medio ambiente. El invernadero permite al alumno conocer una nueva tecnología de producción de alimentos bajo condiciones controladas, aprender a cultivar para mejorar la alimentación escolar y familiar, así mismo a mejorar y reforzar el aprendizaje de los niños, porque la experiencia práctica y experimentación permanente, la creatividad e innovación pueden reforzar este proceso.

- e. La DIA a ser elaborada, sentará las bases para estudios posteriores en el ámbito de la plasticultura, sobre todo cuando se clasifiquen los proyectos en la categorías II y III, que corresponden a proyectos masivos (polígonos industriales de invernaderos) que requieren la evaluación de los impactos ambientales de acuerdo a las normatividad vigente, pues los impactos ambientales negativos que se generen serán significativos, como los producidos en otras partes del mundo comentados en el presente trabajo.

### **Categoría I**

En esta categoría se pueden clasificar invernaderos familiares, comunales, escolares comprendidos entre los 50 m<sup>2</sup> hasta los 10 000 m<sup>2</sup> (sugerencia del autor), donde se debe elaborar una **Declaración de Impacto ambiental (DIA)**, estudio ambiental mediante el cual se evalúa el proyecto, toda vez que se prevé la generación de impactos ambientales negativos leves. Este documento deberá difundirse e incluirse dentro de los programas de capacitación a los usuarios y gestión de los invernaderos, para prever los posibles impactos ambientales y proponer medidas correctivas.

A continuación desarrollaremos un ensayo para proponer las bases para una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) para un proyecto de instalación de invernaderos andinos en instituciones educativas, primarias y secundarias de la provincia de Paruro.

## **5.7. Contenido básico de la evaluación preliminar de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Categoría I**

### **I. Datos generales del titular y de la entidad autorizada para la elaboración de la evaluación preliminar**

Del contenido básico señalado en el reglamento del Ministerio de Agricultura y considerando los señalado en los anexos VI, VII y siguientes del Reglamento de la Ley del SEIA, se elaborará una propuesta de la DIA para el proyecto propuesto.

#### **I.1. Nombre del proponente (persona natural o jurídica) y su razón social.**

CECADE Qosqo Yachay Wasi

Número de Registro Único de Contribuyentes (RUC): 20527639167

Domicilio legal: Urb. COVIDUC

Calle y Número: H-16

Distrito: San Sebastián

Provincia: Cusco

Departamento: Cusco

Telefono: 984 271160

Fax:

Correo electrónico: [cecade@cuscosolar.org](mailto:cecade@cuscosolar.org)

**I.2. Titular o representante legal**

Nombre completo: Pedro Fortunato Zanabria Pacheco

Documento de identidad N°: 23915432

Domicilio: Urb. COVIDUC H-16, San Sebastián, Cusco

Teléfono: 084.271160

Correo electrónico: pzanabria@gmail.com

En caso de ser él representante legal, deberá acreditarse mediante documentos legalizados.

**I.3 Entidad autorizada para la elaboración de la Evaluación Preliminar****I.3.1 Persona natural**

Nombres y Apellidos: Pedro F. Zanabria Pacheco

RUC: 10239154323

Número de Registro en MINAM: a gestionarse

Profesión: Físico, Gestión Ambiental

Domicilio: Urb. COVIDUC H-16, San Sebastián, Cusco

Teléfono: 084 271160

Correo electrónico: [pzanabria@gmail.com](mailto:pzanabria@gmail.com)

**I.3.2. Persona Jurídica:** Razón social. RUC. Número de Registro en MINAM.

Profesionales, Domicilio. Teléfono. Correo electrónico (no corresponde)

**II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO****II.1. Datos generales del proyecto.**

**Nombre del proyecto:** Programa de difusión y construcción de invernaderos andinos en I.E. rurales de la provincia de Paruro, Cusco.

**Tipo de proyecto a realizar:** nuevo (si)

**Monto estimado de la inversión:** S/.298 200

**Zonificación** (según uso de suelo) distrital o provincial: Los invernaderos serán ubicados en los terrenos de la I.E. destinadas a labores agrícolas.

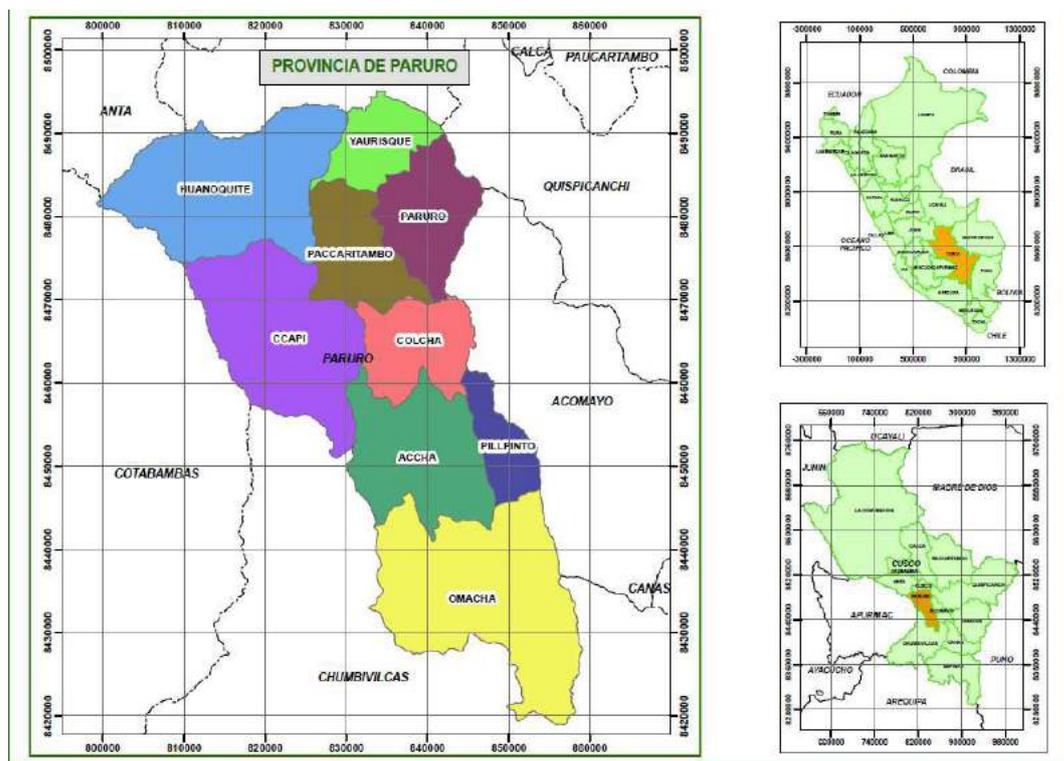
**Superficie total y cubierta:** En cada I.E. se construirá un invernadero de 50 m<sup>2</sup>, que hacen un total de 5 600 m<sup>2</sup> (0,56 Ha), los invernaderos serán empleados como material didáctico y producción de hortalizas para el comedor escolar. (la inversión cubrirá la construcción, producción, capacitación, seguimiento, etc.).

**Tiempo de vida útil del proyecto:** 1ra fase 2 años, 2da fase 3 años

**Situación legal del predio:** Propiedad de cada I.E.

**Anexar**

- Copia de habilitación/es correspondiente/s y documentación que acredite la zonificación y la inscripción en Registro Público.
- Croquis de ubicación del predio a escala 1: 5000
- Planos con diseño de la infraestructura a instalar y/o existente (en caso de solicitar ampliación).
- Planos de edificaciones existentes



**Figura 66.** Mapa político de la provincia de Paruro

## II.2. Características del proyecto

Es un proyecto productivo, tecnológico y educativo, su construcción y producción será empleada como material didáctico, elaborándose contenidos que serán insertados en las asignaturas de ciencia y ambiente, así mismo proveerá hortalizas frescas de alto valor vitamínico para el comedor escolar.

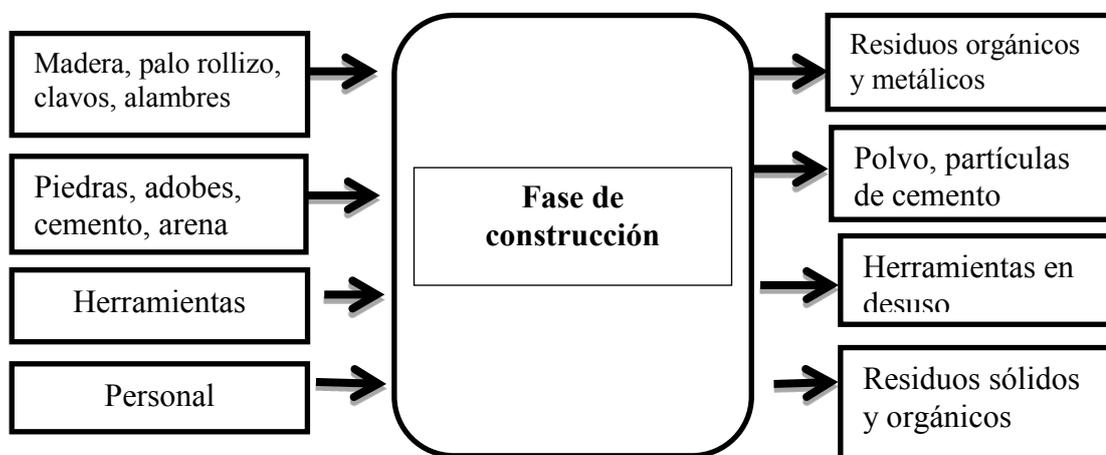
### Etapas de planificación

- Elaboración de la propuesta tecnológica: diseño de dos prototipos de invernaderos andinos, manuales de construcción, producción y capacitación a los maestros constructores.
- Elaboración de la propuesta educativa y suscripción de convenio con la UGEL Paruro: contenidos teóricos, programa de investigación, prácticas experimentales, plan de negocios, propuesta educativa sobre nutrición y seguridad alimentaria.
- Suscripción de contratos con los directores de las instituciones educativas, asociaciones de padres de familia y habilitación de un terreno de 100 m<sup>2</sup> como mínimo para la construcción del proyecto (desbroce, nivelación del terreno).
- Elaboración de adobes, preparación y habilitación de palos de eucalipto, cemento y agregados para las zapatas de los parantes.
- Adquisición de materiales: PE térmico estabilizado de larga duración, alambres, clavos, listonería, fierro corrugado, adquisición de semillas, fitosanitarios orgánicos, abonos y herramientas para las labores agrícolas y constructivas.
- Revisión del marco jurídico vigente y solicitud de clasificación, autorizaciones correspondientes a uso y calidad de agua, residuos agrícolas, entre otros.
- Planificación de la producción orgánica de hortalizas en el invernadero, definición de los tipos de hortalizas a sembrarse, semillas, almacigueras, siembras directas, trasplantes, labores culturales, control fitosanitario, asociaciones de cultivos entre otros.

### Etapa de construcción

- El proceso constructivo de los invernaderos es relativamente simple, no requiere la utilización de maquinaria, sólo herramientas artesanales: picos, palas, barretas, cordel, nivel, alicates, carretilla, azuelas, martillos, formones, badilejos, etc.
- Los palos deben quedar libres de la corteza, y tratados si no se cuenta con concreto (se quema y carboniza la parte superficial de la región a enterrar). Si hay acceso al concreto, las zapatas deberán rellenarse sobrepasando entre 15 a 20 cm por encima del suelo, para aislar el palo de la humedad.
- Luego de colocado el plástico, se construirá internamente el murete de adobe perimetral y se colocará la pantalla térmica antirradiativa.
- El tiempo de construcción de cada invernadero será de tres días empleándose un operario y tres obreros.
- Durante este proceso constructivo no se generan ruidos, ni emisiones, sólo se generan residuos orgánicos (cortezas de los palos, perfilamiento y nivelación de palos), que son empleados en las cocinas mejoradas a leña La mezcla de concreto para las zapatas se realizará sobre un plástico resistente (emplear PE reciclado), para evitar la contaminación del suelo y agua con las partículas y polvo del cemento. La contaminación visual es imperceptible y puede minimizarse apropiadamente.

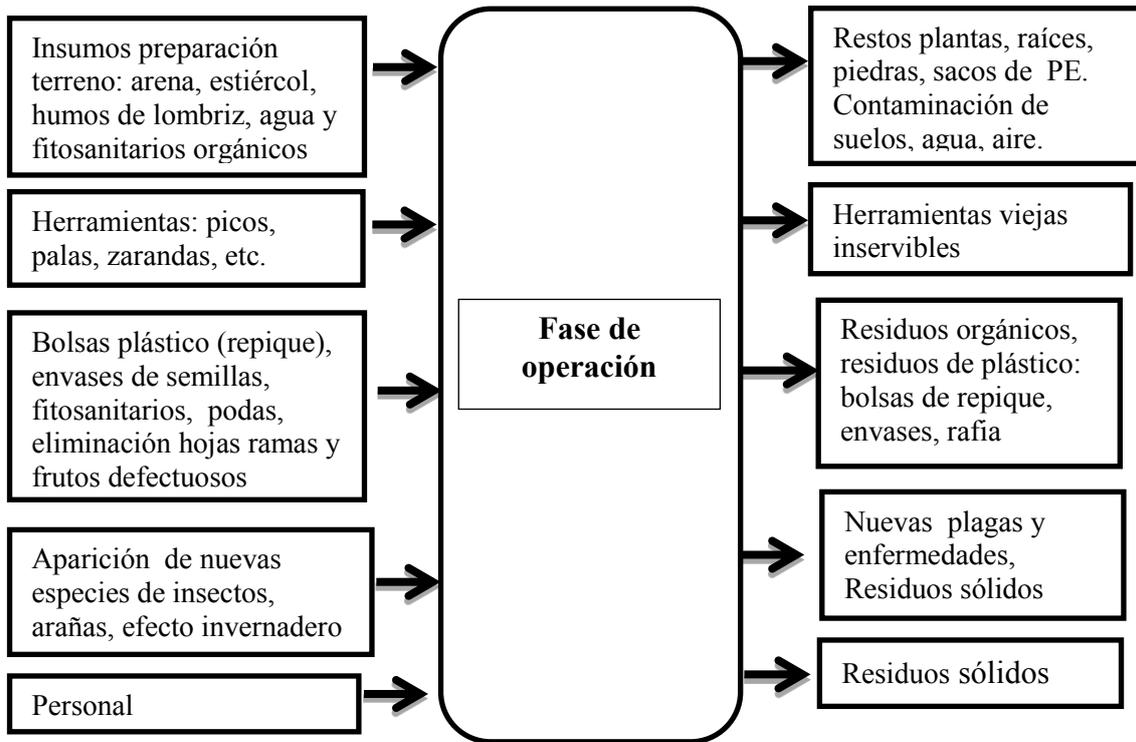
En la figura 65, muestra un diagrama de flujo en la etapa constructiva



**Figura 67.** Diagrama de flujo en la etapa constructiva  
Fuente: Elaboración propia

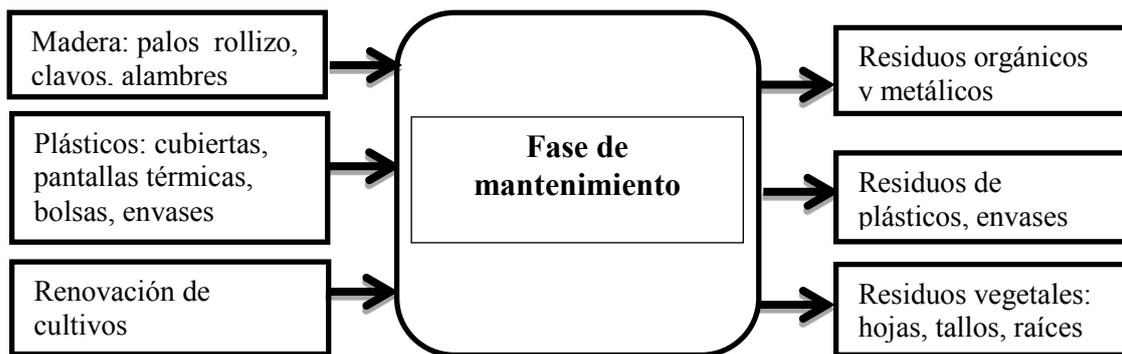
### Etapa de operación

- Preparación del terreno: mejorar el terreno de cultivo, empleando zaranda de  $\frac{3}{4}$ ", para eliminar raíces, piedras, agregar arena de río y abono de base (compost, estiércol de ovino bien hecho). Desinfección del suelo.
- Construcción y preparación de las almacigueras: humus de lombriz, arena.
- Bolsas de polietileno repicado de plantitas.
- Control fitosanitario: fungicidas, acaricidas, plaguicidas de naturaleza orgánica.
- Residuos generados: piedras, raíces, bolsas de repicado, bolsas y recipientes de insumos fitosanitarios, envases de semillas, restos de frutos contaminados y deformes, restos de hojas, ramas y plantas (podas, enfermedades y nueva plantación)



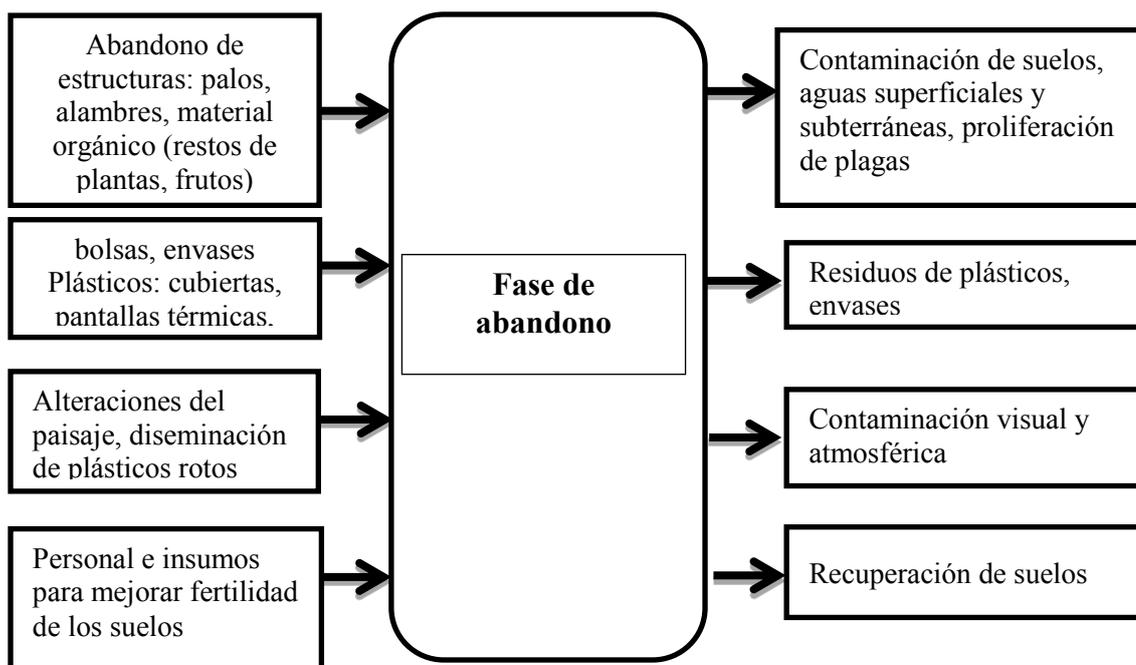
**Figura 68.** Diagrama de flujo en la etapa de operación  
Fuente: Elaboración propia

### Etapa de mantenimiento



**Figura 69.** Diagrama de flujo en la etapa mantenimiento  
Fuente: Elaboración propia

### Etapa de abandono o cierre



**Figura 70.** Diagrama de flujo en la etapa de abandono

Fuente: Elaboración propia

#### II.2.1 Infraestructura de servicios

Los lotes de terreno asignados por las I.E. en su mayoría cuentan con agua potable y acequia para las aguas de riego. Este recurso debe cumplir con las normas de calidad de agua a nivel nacional. También cuentan con sistemas de alcantarillado, red eléctrica. No existen sistemas de captación de aguas pluviales

#### II.2.2 Vías de acceso

El 90 % de las I.E. cuenta con una carretera (trocha carrozable y afirmada) en regular estado de conservación.

#### II.2.3 Materias primas e insumos:

El invernadero por sus características climáticas, presenta un ambiente propicio para la producción de una gran variedad de hortalizas muy importantes en la nutrición de los niños de las instituciones educativas donde se construyan los invernaderos, por los aportes vitamínicos, fibras y otros nutrientes que lo ayudarán a fortalecer su cerebro e inteligencia.

A continuación presentamos un resumen de diferentes tipos de hortalizas que pueden producirse en invernaderos.

**Tabla 21.** Productos hortícolas aprovechables por sus:

<b>Raíces y/o tubérculo</b>	<b>Bulbos</b>	<b>Tallos</b>	<b>Hojas</b>	<b>Inflorescencias</b>	<b>Frutos</b>
nabos rábanos zanahorias remolacha camotes apios	cebollas ajos puerros	espárragos apios	coles repollos col china lechugas escarolas espinacas acelgas apio hinojo perejil berros	alcachofa coliflor brócoli alcaparra	tomate pimiento berenjena pepino calabacines calabaza zapallo habas arvejas uvas fresas fresones sandías piñas enanas pepino dulce limones

Fuente: Maroto, J. (1995)

El cuadro anterior muestra que la gran mayoría de las hortalizas son muy sensibles a contaminarse, dependen fundamentalmente de la calidad del suelo, agua y el manejo. Si se contaminan pueden producir daños en la salud (muchas de ellas son consumidas crudas). Para tener productos sanos, frescos y nutrientes, debemos velar por la calidad de las semillas, suelo, clima interior, agua y manejo sostenible.

En la etapa de planificación, operación y mantenimiento, es necesario conocer las características más importantes de cada producto: tiempo de vida fisiológica desde la siembra hasta la cosecha, material vegetal (semillas), exigencias del clima y suelo, fertilización del suelo, siembra (directa o vía almaciguera), labores de cultivo (aclareos, deshierbes, podas, aporques, riegos, entutorados, injertos, fitohormonas), cosecha. Cada producto tiene sus propias características en cuanto a exigencia de nutrientes en el suelo, calidad de agua de riego, control fitosanitario.

Con la finalidad de tener un panorama más amplio sobre la parte productiva y sin entrar en detalles especializados de la propia agronomía de los productos, vamos a señalar los aspectos más generales en las principales fases del cultivo y que deben ser consideradas obligatoriamente en un estudio de impacto ambiental, sobre todo cuando se emplean insumos químicos en una agricultura intensiva (polígonos industriales), para satisfacer las exigencias de un mercado competitivo de crecimiento y demanda. En el caso de una producción artesanal, casi familiar como el proyecto de invernaderos escolares, se capacitará e incentivará una producción orgánica (cero productos químicos). La experiencia ha demostrado que a través de una capacitación básica y un permanente seguimiento, es posible producir hortalizas sanas y nutritivas para satisfacer la demanda del comedor escolar y los excedentes pueden emplearse para incentivar el aprendizaje de los negocios.

- i. Insumos utilizados en la preparación del terreno:** dependiendo del tipo de producto, se introducen diferentes insumos químicos u orgánicos (Maroto, 1995):
- Desinfección química del terreno: insecticidas
  - Análisis del suelo y fertilización típica con N, P, K, Ca, Mg, B, junto a estos fertilizantes se introduce como abono de fondo, estiércol bien descompuesto.

**Impactos ambientales:** El uso intensivo de los productos arriba señalados son los lixiviados, es decir el agua de riego que no aprovecha la planta, sino que vuelve a la tierra, éste agua está cargada de los componentes químicos de los fertilizantes y los componentes que se producen en las reacciones químicas con los componentes del suelo y llegan a las capas más profundas contaminando el acuífero, o llegan a manantiales o riachuelos usados para consumo humano.

- ii. Insumos para combatir plagas y enfermedades:** Cada hortaliza tiene una tipo especial de plaga y enfermedad que lo ataca en diferentes épocas de su desarrollo, en una agricultura intensiva se emplean productos químicos para combatirlos, a continuación presentamos una clasificación de estas enfermedades (Maroto, 1995):
- a. Plagas producidas por insectos: del suelo, rosquillas, gusanos, caracoles, babosas. Del follaje, pulgones, trips, moscas, babosas, masticadores-rosquillas, minadores de hojas, orugas. Plagas producidas por ácaros: arañas, y nemátodos.
  - b. Enfermedades criptogámicas:
    - Tipo “Mildiu”: Mildiu, Septoriosi, Alternaria, Antracnosis, etc.
    - Tipo “Fusarium”: Fusarium o marchitez, Vertilosis, Rizoctonia
    - Tipo “Oidio”: oidio (ceniza)
    - Botrytis, Roya, Pythium.
  - c. Bacterias: Xanthomonas vesicatoria.
  - d. Virus: Mosaico del tabaco, virus del pepino
  - e. Accidentes y fisiopatías: heladas, temperatura, humedad, escarchamiento, carencias de boro, manganeso, molibdeno, entre otras.

En el mercado existen una variedad de productos fitosanitarios (productos químicos), insecticidas, fungicidas, para combatir estos ataques y se aplican a las diferentes partes de la planta afectada; raíces, tallos, hojas, frutos, etc., tienen un poder residual que son retenidas por las hortalizas y al ser consumidos por hombre le causan serios problemas de salud.

En las secciones 5.1.2., 5.2, se analizan en primer término los aspectos relativos al sistema de producción: fertilización, fitosanitarios, agua y en general los residuos, así como la gestión de un invernadero, donde se describe las nuevas tendencias en cuanto a control integrado de plagas y enfermedades, refrendado por la Ley sobre el Manejo Integrado y el Control de Plagas, que restringe el empleo de agroquímicos que contengan ingredientes activos nocivos para la salud, y la obligatoriedad de contar con una EIA para los productos que se introduzcan como fitosanitarios comerciales. El mercado de productos orgánicos está en crecimiento y también se mejoran los controles de calidad. Como consecuencia, en muchas instalaciones de invernaderos de producción intensiva se emplea el control integrado que se basa en la fijación de los “umbrales económicos del daño” de plagas y enfermedades de cada cultivo, tolerando la presencia de plagas y enfermedades. Y como último recurso deben emplearse los fitosanitarios.

Los invernaderos serán manejados por niños de edad escolar de 7 a 16 años, así mismo los productos serán consumidos por ellos, en consecuencia desde el inicio se debe descartar drásticamente el empleo de cualquier tipo de fitosanitarios o producto químico, por lo que será de responsabilidad del Comité de Gestión velar por su cumplimiento, además estos temas deben ser considerados en el plan de seguimiento y control.

**Tabla 22.** Tipos de recursos naturales

Recurso natural	Cantidad (día/semana/mes/año)	Unidad de medida
Agua	depende del cultivo y extensión	L
Humus de lombriz	4 kg/año/planta (solanáceas)	kg
Estiércol	10 kg/año/m <sup>2</sup>	kg
Arena de río, tierra vegetal	4 kg/año/planta	kg
Arboles de eucalipto	10 árboles/año	N°

Fuente: Elaboración propia

### Materia prima

La Ley de promoción de la producción orgánica o ecológica (Ley N° 29196), promueve el desarrollo sostenible y competitivo de la producción orgánica o ecológica en el Perú. La agricultura orgánica no emplea productos químicos, los abonos y diferentes insumos empleados para el control de plagas y enfermedades son de naturaleza orgánica, no contaminantes, se basan fundamentalmente en el manejo racional y sostenible del suelo, agua, aire. El manejo integrado de plagas y enfermedades garantizan la calidad de los productos y no dejan rastras de productos tóxicos para el ser humano, no contaminan el suelo y el agua.

Un producto orgánico empleado fundamentalmente para prevenir y reforzar el control integral de cierto tipo de plagas y enfermedades en el invernadero, es el azufre en cantidades mínimas y controladas. Por su ligera toxicidad se deben tomar las medidas de protección necesarias para evitar intoxicaciones por su mal uso. En el presente proyecto no se recomienda el uso de ningún insumo químico, ni el azufre por tratarse de un sistema productivo que será manejado por un tutor y los alumnos de nivel primario y secundario.

**Tabla 23.** Insumos usados y toxicidad

Producto químico	Nombre comercial	CAS #	Cantidad mensual kg, t, L, m <sup>3</sup>	Criterio de peligrosidad				
				Inflamable	Corrosivo	Reactivo	Explosivo	Tóxico
Azufre	Azufre	7704-34-9	1 kg/ha	no	no	no	no	A

A: ligeramente tóxico

En caso de emplear dicho producto se recomienda usarlo en el momento del repique y trasplante al suelo definitivo. Los envases con contenido de dicho producto, deben ser guardados en cajas especialmente acondicionadas con candado y lejos de los alimentos y alcance de los niños.

### **II.2.4 Procesos**

No se requiere realizar ningún proceso durante la etapa de producción de las hortalizas, por lo general se cosechan y son directamente destinadas para el consumo humano. Los excedentes pueden secarse en secadores solares, transformarse en mermeladas, pastas y otros productos, con conservantes naturales.

### **II.2.5 Productos elaborados**

El objetivo del proyecto es mejorar la nutrición de los escolares, introduciendo hortalizas frescas en las diferentes dietas que se preparan en el comedor: ensaladas, sopas, segundos y otros.

### **II.2.6 Servicios**

Para el desarrollo del proyecto se requerirá:

#### **Agua**

El volumen de agua empleado en el riego, depende del tipo de hortaliza, de la técnica de riego y del volumen de agua disponible. En la mayoría de las I.E. se puede contar con una red de agua potable, otras tienen conexiones a un canal de regadío o directamente desde un río. En forma obligatoria y durante la fase de producción de hortalizas en invernadero, deben realizarse análisis sobre la calidad de agua, y cumplir con los estándares nacionales de calidad ambiental del agua de riego (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM), para ello el Comité de Gestión del invernadero deberán vigilar permanentemente que el agua de riego esté limpia sin contaminantes de basura doméstica, agua de desagües (coliformes), para evitar que las hortalizas se contaminen y produzcan daños a la salud..

#### **Electricidad**

No se requiere instalación de electricidad en los invernaderos, salvo cuando se desea experimentar con fuentes de luz nocturna para mejorar y desarrollar algunas funciones específicas de las plantas. La mayoría de la I.E. cuenta con una red de distribución de electricidad.

### **II.2.7 Personal**

En la fase de construcción, se requiere 4 personas/3días/invernadero. Se planificará la formación de maestros constructores debidamente equipados por distrito y comunidades donde se ubican las I.E.

En la fase de operación, mantenimiento, se requiere la participación permanente de un tutor (personal técnico) en cada invernadero, que coordinará y planificará la participación de los niños de la escuela o colegio.

**Tabla 24.** Personal involucrado

Actividad	Personal/invernadero	Total personal 112 invernaderos	Condición
Construcción	4	448	eventual
Operación y mantenimiento	1	112	permanente
Capacitación y seguimiento		5	permanente
Administración		3	permanente
	<b>TOTAL</b>	<b>568</b>	

Fuente: Elaboración propia

En total la cantidad de personal que trabajará en el proyecto es de 568 personas, 120 personas en forma permanente, en el horario normal de trabajo. Los feriados y domingos y durante el periodo de vacaciones, se necesita el apoyo del personal de limpieza, guardianía o padres de familia, para atender las diferentes labores del invernadero.

El proyecto deberá tener una sede institucional, desde donde se planificarán y coordinarán las diferentes actividades programadas en cada fase, trabajarán a tiempo completo las 3 personas de administración, que incluye al jefe del proyecto. El equipo de capacitación se desplazará a cada distrito donde se implementarán los programas de capacitación. Los responsables de la operación y mantenimiento serán técnicos de la zona debidamente seleccionados o profesores de la I.E.

El personal eventual tendrá una permanencia de 6 meses en el proyecto, tiempo estimado para la instalación de los 112 invernaderos. El resto del personal permanecerá en el proyecto durante los dos primeros años de la primera fase del proyecto.

### II.2.8 Efluentes y/o residuos líquidos

El proyecto no generará residuos líquidos domésticos ni residuos líquidos industriales, sin embargo deberá cuidarse de que el agua de riego no afecte ninguna fuente superficial de agua o se filtre hasta la napa freática y pueda contaminar posibles fuentes subterráneas de agua para consumo humano.

Debe ser materia de capacitación y concientización a los miembros de la comunidad educativa y población, que el uso intensivo e indiscriminado de productos químicos y orgánicos, empleados como abonos, señalados líneas arriba producen lixiviados, es decir el agua de riego que no aprovecha la planta, sino que vuelve a la tierra, está cargada de los componentes químicos de los fertilizantes, componentes que se producen en las reacciones químicas en el interior del suelo, excedentes del control fitosanitarios, aumentan la carga contaminante de los lixiviados y arrastrados a las capas más profundas, contaminando el acuífero, o llegan a manantiales o riachuelos usados para consumo humano.

### II.2.9 Residuos sólidos

Los principales residuos que se generan en un invernadero son:

- a. Residuos vegetales: tallos, raíces. Frutos, hojas, mala hierba etc. Por ejemplo en el cultivo de tomate y pimiento (los que más generan residuos orgánicos), se puede estimar que por cada m<sup>2</sup>, se producen aproximadamente 4 kg/año de tallos, hojas, podas, frutos malogrados. (fuente propia). En la gran mayoría de casos son

- abandonados en un relleno clandestino, o cerca del invernadero, otros son quemados, con consecuencias impactantes en la atmósfera y la salud.
- b. Plásticos: PE de las cubiertas, túneles, acolchados, rafias para entutorar y amarrar matas, tuberías de riego, bolsas y sacos de polietileno (repique, abonos), botellas, envases de fitosanitarios, mantas de sombreado, antirradiativas. Su quema incontrolada producen impactos ambientales a la atmósfera y salud.
  - c. Sustratos: tierra contaminada con hongos.
  - d. Madera y cartones: palos de las estructuras de los invernaderos, palos de entutorado, ejes de bobinas de los plásticos de cubierta, cajas de cartón y madera.
  - e. Metales: alambres las estructuras del techo, fierros de construcción y otros de invernaderos abandonados.
  - f. Residuos líquidos: aguas de retorno de riego contaminado con abonos, abandonadas en el campo sin tratamiento, cuando llegan a acuífero lo contaminan, como consecuencia se vuelven aguas no aptas para el consumo humano.

#### **II.2.10 Manejo de sustancias peligrosas**

No se permitirá el empleo de sustancia peligrosa y si el caso lo amerita, se empleará el azufre, que será manejado sólo por el tutor-técnico, aplicando en zonas de menor contacto con las manos de los alumnos, tomando las debidas precauciones de protección.

#### **II.2.11 Emisiones atmosféricas.**

Cuando se queman los restos vegetales, plásticos viejos, en forma descontrolada se producen emisiones atmosféricas de gases contaminantes y CO<sub>2</sub>. Estas prácticas deben evitarse, se sugieren el reciclado, reusar, compost, enterrado, entre otras.

#### **II.2.12 Generación de ruido**

No se generan ruidos de ninguna clase.

#### **II.2.13 Generación de vibraciones**

No se generará vibraciones en ninguna de las fases del proyecto.

#### **II.2.14 Generación de radiaciones**

No se generaran radiaciones en los procesos y subprocesos del proyecto.

#### **II.2.15 Otros tipos de residuos.**

No se prevé la generación de otro tipo de residuos diferentes a los señalados.

### **III. Aspectos del medio físico, biótico, social, cultural y económico**

El Gobierno Regional del Cusco, a través de su Gerencia Regional de Planeamiento Presupuesto y Acondicionamiento Territorial, ha elaborado el estudio: “Proyecto fortalecimiento del desarrollo de capacidades en ordenamiento territorial de la Región Cusco, caracterización socioeconómica de la provincia de Paruro”. Los datos más significativos a resaltar son:

#### **Información de la provincia de Paruro**

##### **Ubicación**

La Provincia de Paruro con su capital del mismo nombre, Paruro, es una de las 13 provincias del departamento de Cusco, su capital provincial se encuentra a 64 km del Cusco. Geográficamente está ubicada entre las coordenadas:

- Latitud Sur: 13° 37' 24" y 14° 17' 00"
- Longitud Oeste: 71° 40' 43" a 72° 14' 00"
- Altitud mínima: 2 800 msnm, Altitud máxima: 5 775 msnm
- Superficie: 1 984,42 km<sup>2</sup>
- Densidad poblacional: 17,18 hab/km<sup>2</sup>

Geográficamente se encuentra ubicada en zona frígida, abarcando zonas alto andinas y valles inter andinos, la capital de la provincia se encuentra a una altitud de 3 043 msnm.

#### **Límites Políticos:**

- Por el Norte: con la provincia de Anta y con la provincia de Cusco.
- Por el sur con la provincia de Chumbivilcas.
- Por el Este con la provincia de Quispicanchi, Acomayo y Chumbivilcas.
- Por el Oeste con la provincia de Cotabambas del departamento de Apurímac.

#### **Climatología**

En la provincia de Paruro, se presentan al menos tres pisos ecológicos, de las 8 regiones naturales del Perú (Pulgar, 1985):

**QUECHUA** (2 300 – 3 500 msnm), región de clima templado, piso de valle interandino. La temperatura media anual fluctúa entre 11 y 16 °C; las máximas entre 19 °C y 29 °C y las mínimas entre 4 y 7 °C, la humedad relativa del 60 %, precipitaciones en la época del verano de 740 mm, con una radiación solar diaria promedio de 5,5 kW.h/m<sup>2</sup> (datos referenciales de la Tabla 13. Cultivos posibles con riego: maíz, trigo, garbanzos, frijol, frutales y algunas hortalizas de tallo corto, y cultivos en seco. La mayoría de los distritos están ubicados en este piso ecológico, tres de ellos al pie del río Apurímac (Pillpinto, Colcha y Ccapi), los demás ubicados a las orillas de pequeños riachuelos de cauce regular todo el año. Todavía se conservan bosques naturales de chachacomo, queuña, quishuar, lambran, entre otros, donde subsiste una gran biodiversidad vegetal y animal: una variedad de insectos, aves y pequeños pájaros que se alimentan de semillas, frutos, etc., mamíferos: cuy, ovinos, caprinos, vacas, burros, caballos, dentro de las especies cinegéticas: el cuy silvestre, ratones, ratas, zorros, zorrinos, venados, osos, pumas. El paisaje natural bellísimo y salvaje, conformado por valles inter andinos, flanqueados por cadena de montañas con altas pendientes, en la época de lluvias una alfombra verde multicolor las cubren. Los mejores suelos son aquellos de piso de valle por lo general con riego. Los ríos generan un hábitat adecuado para el desarrollo y producción de truchas.

**SUNI** (3 500 - 4 000 msnm), región fría; la temperatura media anual fluctúa entre 7 y 10 °C, las máximas entre 18 a 25 °C, temperatura mínimas entre 2 a -10 °C, humedad relativa 60 %, radiación solar diaria hasta 6,5 kW.h/m<sup>2</sup> (datos referenciales, Estación Occoruro, Paruro 4 200 msnm y Tabla 13). Piso intermedio con cultivos posibles: papas, habas, oca, olluco, mashua, quinua, cañihua, tarwi, etc., en el invierno se producen por lo menos 90 días de heladas. Esta es una zona de pastoreo de ovinos, caprinos y llamas, por los abundantes pastos, existen muchos manantiales que dan origen a los pequeños riachuelos que discurren hacia el valle. Zona de tierras de seco, el paisaje es muy colorido en la época de lluvias y seco en la época de secas (invierno) por las heladas frecuentes. Este paisaje lo conforman las montañas elevadas bien escarpadas, donde habitan especies cinegéticas: venado, perdiz, zorros, pumas.

**PUNA** (4 000 - 4 800 msnm), región helada, piso de altura, cultivos posibles : papa amarga, cebada, pastizales, forman mesetas cubiertas de paja o icchu, que le da un colorido espectacular, en algunos distritos existen pequeñas lagunas, algunas permanentes, otras se activan sólo en el periodo lluviosos, manteniendo una variedad de aves migratorias (patos, parihuanas, etc.), así mismo son el hábitat de algunas algas muy cotizadas como la **murmunta "cushuru" y "nostoc"**, cuyo nombre científico es *nostoc commune* ó caviar andino, las zetas o “callampas”. En esta zona habita también el cóndor, en algunas festividades de los pueblos como es el caso de la provincia capital Paruro, se organizan corridas de toros con cóndor, causando casi su extinción.

#### **División política y población:**

Esta provincia se encuentra dividida en 09 distritos: Paruro (capital), Accha, Ccapi, Colcha (2 800 msnm), Huanoquite, Omacha (3 910 msnm), Paccarectambo, Pillpinto y Yaurisque, cada una de ellas con sus respectivas comunidades campesinas, centros poblados rurales, entre caseríos, anexos y unidades agropecuarias. De acuerdo al Censo del 2007 y su proyección al 2012 presenta una población de 31 404 habitantes, que representan el 2,42 % con respecto a la población regional, teniendo una densidad poblacional de 17,18 de ocupación del territorio. La población masculina de 2,47 % con respecto a la población masculina regional y de 2,37 % en relación a la población femenina, encontrándose concentrado la mayor cantidad de personas en el distrito de Omacha. La poblacional de la zona urbana es de 10 734 habitantes y 20 670 viven en la zona rural.

La siguiente tabla presenta la altitud de los diferentes distritos que conforman la provincia de Paruro y su localización de acuerdo a la clasificación de Javier Pulgar.

**Tabla 25.** Distritos de la provincia de Paruro, altitud y piso ecológico

N°	Ditrito	Altitud (msnm)	Región natural (J.Pulgar)
1	Paruro	3068	Quechua
2	Accha	3591	Suni
3	Ccapi	3196	Quechua
4	Colcha	2800	Quechua
5	Huanoquite	3391	Quechua
6	Omacha	3910	Suni
7	Paccarectambo	3581	Suni
8	Pillpinto	2866	Quechua
9	Yaurisque	3330	Quechua

Fuente: INEI 2012, Directorio Nacional de Municipalidades

La Provincia de Paruro está considerada dentro del estrato de “extrema pobreza” del mapa de pobreza realizado por FONCODES. De los nueve distritos que se encuentran en la provincia 08 se encuentran en el quintil uno el cual es de extrema pobreza estos distritos son considerados como “bolsones de pobreza” y solo el distrito capital Paruro se halla en el quintil dos, en la actualidad, por un alto grado de deterioro de sus condiciones de vida relacionadas en su mayoría con el deterioro del medio ambiente, los sectores sociales más vulnerables y en situación de alto riesgo son los niños en situación de desnutrición, las mujeres y los adultos mayores en situación de pobreza y marginación.

Los altos índices de pobreza principalmente en sus zonas rurales donde la carencia de servicios, el índice de analfabetismo, las tasas de desnutrición y por ende el índice de desarrollo es menos próximo a 1, esto es bastante notable. Según el INEI para el año 2007, la población rural de la provincia de Paruro muestra indicadores como la carencia de agua a nivel provinciales del 21,9 % de la población, mientras a nivel regional es de 31 %, de igual manera lo referido al servicio de desagüe la provincia presenta el 61,2% y a nivel regional es de 30 % de la población rural, mientras que la carencia de energía eléctrica es del 54,4 % a nivel provincial y a nivel regional es de 34 %, el porcentaje de mujeres analfabetas es de 41 % a nivel regional mientras a nivel provincial es de 26,5 %, de igual manera la tasa de desnutrición de niños entre 6 – 9 años en la región es de 34 % frente a una tasa provincial de 44 %, razones que muestran a esta provincia.

Un indicador importante es el acceso al agua, muestra la disponibilidad de los servicios de agua, en ella se puede observar que la cobertura de red pública dentro de la vivienda a nivel de la provincia es de 14,66 % indicador demasiado bajo frente al 65,46 % de la población que viene consumiendo agua del río, acequia, manantial o similares y además podemos observar que el 14,32 % de la población se abastece de consumo de agua fuera de su vivienda; teniendo que compartir este servicio con el vecino el 1,57 %, esta situación nos muestra a las claras deficiencia en la prestación de este servicio. Causa principal por la que se agudiza las enfermedades de EDAS en la zona especialmente a los niños menores.

La provincia de Paruro presenta a nivel general una carencia de 30 % en lo que respecta al servicio de agua destacando con el 56,4 % el distrito de Omacha, que presenta un mayor nivel de desabastecimiento de agua potable dentro de la vivienda, esta necesidad va acompañada con la carencia de desagüe del 67,3 %, mientras que el total provincial es de 61,2 % de la población no cuenta con ese servicio de desagüe, mientras la población sin servicio de electricidad asciende en el mismo distrito a 98,8 % y a nivel provincial a 54,4 %, el analfabetismo se ve reflejado en un 41,1 % constituido básicamente por el sector femenino a nivel provincial, cifra superior de la regional, mostrando un índice de desnutrición de 44 % superando en un 10% al promedio regional y muy por encima del promedio nacional, indicadores que desde ya lo sitúan en extrema pobreza y pobreza a esta provincia, siendo los distritos que necesitan más la atención Omacha, Huanquite, Yaurisque, Ccapi y Colcha, lugares en los cuales destaca las necesidades y carencias básicas así como sobresale el índice de desnutrición, sin dejar de lado el resto de distritos.

### **Educación**

La provincia de Paruro cuenta con 152 instituciones educativas entre las que se encuentran las de nivel inicial, primaria y secundaria de menores, cuenta también con 1 Instituto Tecnológico en el distrito de Paruro, capital de provincia.

Con relación al tipo de gestión, encontramos que 151 instituciones educativas son de gestión pública siendo el 99,34 % del total de instituciones de la provincia, el 0,66 % es de gestión privada. Siendo el Instituto Superior Tecnológico de carácter privado, ubicado en la capital Paruro.

Las instituciones educativas de la provincia en su mayoría se encuentran en la zona urbana presentando gran concentración en la capital, debido a su fácil acceso y concentración de actividades.

La tabla 26, muestra el número de instituciones educativas según nivel y números de alumnos.

**Tabla 26.** Instituciones educativas en cada distrito y nivel

Distrito	NIVEL INICIAL			NIVEL PRIMARIA			NIVEL SECUNDARIA		
	Total alumnos	Urbana	Rural	Total alumnos	Urbana	Rural	Total alumnos	Urbana	Rural
Paruro	50	1	1	461	3	7	406	2	0
Accha	122	1	2	710	1	5	487	1	0
Ccapi	129	1	5	753	1	11	331	1	1
Colcha	0	2	0	158	4	2	43	1	0
Huanoquite	196	1	9	974	1	19	420	1	2
Omacha	191	5	3	1433	4	14	706	2	3
Paccaretambo	30	1	2	243	1	10	200	1	0
Pillpinto	29	2	0	197	3	1	122	1	1
Yaurisque	72	1	2	260	1	6	377	1	1
<b>TOTAL PROVINCIAL</b>	<b>819</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>5189</b>	<b>19</b>	<b>75</b>	<b>3092</b>	<b>11</b>	<b>8</b>

Fuente: Dirección Regional de Educación, oficina de Estadística, 2011.

Además, se observa, que la población escolar total de la provincia al 2011 se distribuye de la siguiente manera: 39 I.E, corresponden al nivel inicial, 94 al nivel primario, 18 en el nivel secundario y 01 I.E. que corresponde al Instituto Superior Tecnológico.

El sistema educativo en la provincia de Paruro, se muestra bastante diferenciado y diverso en lo que respecta a los niveles educativos, es así como para el año 2011 a nivel provincial existe 9 154 estudiantes matriculados en las diversas modalidades y 519 docentes en las diversas especialidades; siendo el distrito de Omacha el que concentra mayor cantidad de estudiantes 2 330 atendidos por 107 docentes en las diversas modalidades seguido de los distritos de Huanoquite con 1 590 con 109 docentes de las diversas especialidades y Accha con 1 319 alumnos y 66 docentes. Siendo los distritos con menos población estudiantil Paccaretambo, Pillpinto y Colcha cuya población estudiantil se encuentra por debajo de 500 alumnos y hasta 33 docentes muchos de los cuales vienen realizando la educación poli docente (un profesor para varias aulas o grados), situación que muestra la necesidad de mayor cantidad de docentes para lograr una adecuada atención a los estudiantes.

De las 151 instituciones educativas de gestión pública, 95 se ubican en la región Quechua (2 300 – 3 500 msnm) y 56 en la región Suni (3 500 – 4 000 msnm). Todas las instituciones educativas presentan características climáticas que facilitarían la construcción de invernaderos, para optimizar la producción orgánica de hortalizas, de acuerdo a la propuesta tecnológica desarrollada. El proyecto a ejecutarse abarcará sólo a las instituciones públicas educativas de nivel primario (94) y nivel secundario (18).

### **Educación ambiental**

La instalación de un invernadero andino para la producción de hortalizas en las instituciones Educativas de la provincia de Paruro, como parte del huerto escolar, constituirá un aporte en la mejora del proceso de aprendizaje enseñanza de los niños que interactúan con este sistema productivo dinámico, fortaleciendo su conciencia ambiental, así como su participación activa en la producción de hortalizas que mejorarán su nutrición y salud. Es pertinente destacar los alcances de la Ley Marco del Sistema Nacional de

Gestión Ambiental (Ley N° 28245), Título VII, Educación Ambiental, Artículo 36.- De la Política Nacional de Educación Ambiental.

#### **IV. Plan de participación ciudadana**

El titular deberá elaborar el “Plan de participación ciudadana”, tomando en consideración las disposiciones establecidas en las normas sectoriales y el Título IV del D. S. N° 002-2009-MINAM, según corresponda y lo establecido en los artículos 53° y 54° del reglamento de gestión del Sector Agrario.

El proyecto propuesto: Programa de difusión y construcción de invernaderos andinos en I.E. rurales de la provincia de Paruro, Cusco, alcanzará sus objetivos, en la medida en que participe activamente la comunidad educativa: maestros, alumnos, personal administrativo, las asociaciones de padres de familia (APAFAS), desde la elaboración, implementación, producción, mantenimiento y seguimiento del proyecto.

La participación responsable de la ciudadanía garantizará el cumplimiento de las actividades orientadas a la conservación del ambiente, seguimiento, control y monitoreo ambiental, incluyendo las denuncias por infracciones a la legislación ambiental o por amenazas o violación a los derechos ambientales y la vigilancia ciudadana. Para ello el proyecto organizará programas de capacitación, divulgación de los resultados dirigido a la sociedad civil en su conjunto, donde además de los temas ambientales relacionados al proyecto se difundirán la normativa ambiental vigente, los niveles de toma de decisiones de los gobiernos locales, regionales y del MINAM.

Entre otras, las actividades de participación ciudadana del proyecto, promovidas por los responsables del proyecto, son:

1. Organización de la sociedad civil: profesores, alumnos, padres de familia, en torno al comité de gestión del invernadero, para participar activamente desde el inicio: planificación, construcción, producción, mantenimiento, cierre del proyecto, así mismo recibir capacitación permanente y participar responsablemente en la gestión ambiental del proyecto.
2. Capacitación permanente de la sociedad civil, en cada fase del proyecto:
  - a. Aspectos tecnológicos: construcción, manejo y producción, mantenimiento del invernadero.
  - b. Aspectos sociales y económicos: mejora de la nutrición de las familias campesinas, valor nutritivo de las hortalizas, valor agregado de las hortalizas orgánicas y rentabilidad de la producción en invernadero.
  - c. Aspectos medio ambientales: Marco legal y jurídico de las leyes medio ambientales en el Perú, los derechos y deberes durante el proceso de participación responsable en la gestión ambiental de los proyectos donde su entorno físico, biótico, social, cultural y económico, están comprometidos y requieren su participación activa en diferentes niveles de toma de decisiones, fundamentalmente en la consulta previa, cuando se considere afectado por el proyecto. Seguimiento, control y monitoreo ambiental. incluyendo las denuncias por infracciones.
3. El proyecto informará a la sociedad civil sobre los estudios de impacto ambiental (DIA), del manejo de los recursos naturales, en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

## V. Descripción de los posibles impactos ambientales

**Tabla 27.** Impactos (alteraciones) y medidas correctoras en un proyecto de producción en invernaderos

<b>I. Fase de construcción</b>	
<b>Impactos (alteraciones)</b>	<b>Medidas correctoras</b>
<b>Cambio de uso de tierras</b> dedicadas a productos alimenticios tradicionales: maíz, trigo, etc.	Evaluar la rentabilidad del invernadero, identificar productos más rentables. Ubicar los invernaderos en tierras marginales de poco uso.
<b>Alteraciones del paisaje</b>	Construcciones simétricas bien ordenadas, cortinas y vallas vegetales. Construcción de caminos y vías de acceso.
<b>II. Fase de producción</b>	
<b>Aparición de nuevas especies de insectos, proliferación de plagas y enfermedades</b> como consecuencia del efecto invernadero.	Control biológico y manual, empleo de repelentes naturales y caseros (preparados vegetales en forma de purín fermentado, infusiones, extractos, macerados, jabón, ceniza) empleando plantas aromáticas medicinales. Captura de insectos y arañas en trampas con insumos naturales. Control climático y control integrado de plagas y enfermedades (control biológico, cultural y ecológico). Asociación de cultivos, introduciendo plantas repelentes (desprendan olor fuerte dentro del invernadero). Cerrar las ventanas con malla mosquetero y controlar el ingreso al invernadero.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27.** “Impactos (alteraciones) y medidas correctoras en un proyecto de producción en invernaderos (continuación)”

<p><b>Contaminación de las tierras de cultivo,</b> empleo de fertilizantes y fitosanitarios de naturaleza orgánica. Salinización de tierra, costra caliza.</p>	<p>Desinfección natural de suelos (solarización o vapor de agua). Desarrollo de la agricultura orgánica, compost, humos de lombriz, mejoramiento anual de suelos (renovar tierra de cultivo, incorporando abonos, tierra de cultivo exterior), rotaciones y asociaciones de cultivos, producción de semillas adaptadas al medio.</p>
<p><b>Contaminación de aguas subterráneas,</b> ríos y manantiales colindantes (agua arrastra los abonos orgánicos aumentando la cantidad de nitratos y nitritos que eventualmente pueden llegar a los acuíferos, contaminándolos.</p>	<p>Análisis de la calidad de agua de riego de acuerdo a los estándares nacionales. El invernadero debe ubicarse lo más cerca de la fuente de agua (limpia y de calidad), programación eficiente de los riegos (darle lo que requiere en cada fase de su crecimiento), riego tecnificado (goteo). Realizar seguimiento sobre calidad y destino de aguas excedentes del riego.</p>
<p><b>Residuos orgánicos:</b> tallos, ramas, hojas, hierbas malas, frutos defectuosos, plantas y ramas enfermas: cuando se pudren son focos de infección y propagación de plagas, si se incineran producen daños a la atmósfera y la salud, emiten gases peligrosos.</p>	<p>Selección de ramas, hojas, plantas y frutos sanos para la alimentación de conejos, cuyes. Las hojas, ramas y frutos enfermos enterrarlos en pozos de compostaría debidamente acondicionados. Secado de los tallos y emplearlos como combustible en cocinas mejoradas a leña.</p>
<p><b>Contaminación con restos de metales:</b> alambres de estructura, fierro corrugado, herramientas viejas, etc.</p>	<p>Deben recogerse y almacenarse en lugares adecuados y reusados en construcciones posteriores.</p>
<p><b>Contaminación con residuos químicos:</b> Está descartado el empleo de abonos y fitosanitarios químicos tóxicos para combatir las plagas y enfermedades</p>	<p>Con un manejo ecológico del invernadero y preparación de fitosanitarios orgánicos, se controlan las plagas y enfermedades.</p>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27.** “Impactos (alteraciones) y medidas correctoras en un proyecto de producción en invernaderos (continuación)”

<p><b>Plásticos:</b> cuando acaban su vida útil, se quiebran y son arrastrados por el viento creando un desagradable impacto visual. Las bolsas de repicado, sacos de fertilizantes, envases de fitosanitarios contaminan el suelo, el aire, las aguas. Las cuerdas de rafia para amarrar, mantas de sombreo, pantallas antirradiativas, generan contaminación.</p>	<p>En ningún caso deben quemarse los plásticos inservibles, para evitar la contaminación atmosférica. Reciclado, reutilizado, recogida manual, enterrarlos en vertederos bien sellados. Los envases que contenían fitosanitarios deben ser recogidos y almacenados en bolsas o contenedores bien sellados, para devolverlos a los expendedores o a lugares donde puedan desinfectarse y reusarse los envases. Generar una demanda de productos plásticos bio degradables: cubiertas, túneles, acolchados, envases, bolsas, etc. Que pueden incorporarse en el suelo. Implementar y desarrollar campañas permanentes de educación y concientización sobre el empleo de los plásticos en general, y restos de los plásticos de invernadero y su deposición final o cambio a la cultura del papel o bolsas de tela.</p>
<p><b>III. Fase de abandono</b></p>	
<p>Abandono de estructuras, plásticos totalmente degradados, material orgánicos. Contaminación de suelos, ríos, manantiales y alteraciones del paisaje</p>	<p>Cuando no existen posibilidades de continuar con el proyecto, se debe planificar la desinstalación de los invernaderos y sus sistemas productivos: estructuras, alambres, plásticos, envases y todos los insumos usados, para devolver al ambiente las áreas cubiertas por PE y emplearlas en otras actividades productivas.</p>
<p>Sistematización de las experiencias desarrolladas:</p>	<p>Evaluación de los impactos producidos a lo largo del proyecto, sobre todo aquellos impactos de duración permanente y formas de mitigar y recuperar las condiciones iniciales.</p>

Fuente: Elaboración propia.

## V. Plan de seguimiento y control

El plan de seguimiento, vigilancia ambiental y control del proyecto, dará cumplimiento a las medidas correctoras o protectoras y, a su vez, corregir cualquier desviación que surja con respecto a la idea inicial propuesta.

Este programa permite obtener datos para comprobar la magnitud de ciertos impactos difíciles de predecir, no contemplados en el Estudio de Declaración de Impacto Ambiental (DIA), entonces deberán adoptarse medidas correctoras. Así mismo la información recopilada permitirá mejorar los EIA futuros. El responsable del proyecto de invernadero local, detectará cualquier anomalía en el desarrollo del proyecto que altere las actividades programadas, cuando aparezcan impactos no previstos, así mismo detectará cualquier anomalía en el mal uso de algunos insumos empleados en la producción, e informará al jefe del proyecto. Se vigilará permanente el cumplimiento de las medidas correctoras en las distintas fases del proyecto:

- a.** Adecuada planificación y control de buenas y sustentables prácticas agrícolas: agricultura orgánica, cero productos químicos. Mantener activos los nutrientes del suelo del invernadero, incorporando anualmente tierra fresca de cultivo, abonos orgánicos, tierra vegetal, arena de río, empleando métodos de solarización, vapor de agua para eliminar posibles ataques de insectos, gusanos, arañas en los almácigos, repiques. Es importante que el comité de gestión participe en todas las etapas del proyecto y se dé importancia a los programas de capacitación a los niños, padres de familia y ciudadanía involucrados en el proyecto.
- b.** Empleo de insumos naturales para el control de plagas y enfermedades.
- c.** Monitoreo del agua para mantener su calidad y pureza, exenta de contaminantes biológicos y químicos. Los canales de conducción de agua desde la fuente, hasta el invernadero deben entubarse, colocar una conexión a la red local o trasladar el agua en mangueras desde la fuente, para evitar su contaminación. Introducción de sistemas de riego tecnificado. El proyecto debe considerar un presupuesto para realizar por lo menos dos análisis, al inicio y al final de la campaña.
- d.** Al inicio de la campaña deberá habilitarse pozos de compostaría en un área aparente (lejos de las áreas deportivas y del alcance de los niños), donde serán depositados y tratados los residuos orgánicos, apenas sean eliminados: podas de hojas, ramas, raíces, frutos deformes, no deberá eliminarse alrededor del invernadero ni dentro de él (deberán emplearse bolsas adecuadas para el transporte hacia la zona de compostaría).
- e.** Velar porque las hortalizas producidas sean empleadas en mejorar la dieta de los alumnos en el comedor escolar, cosechando productos maduros, sanos, y frescos, vigilando su manipuleo en condiciones higiénicas, se debe emplear agua potable y limpia para su limpieza y consumo.
- f.** El Comité de Gestión del invernadero, deberá evaluar la posibilidad de construir en un área debidamente acondicionada y protegida de la intromisión de personas y animales, un pequeño relleno sanitario, sólo para uso de los restos plásticos de las cubiertas, envases, botellas, producidos en la gestión del invernadero. Este relleno debe servir como un módulo de educación para los niños de la escuela y miembros de la comunidad. Si no se cuenta con esta infraestructura, se deben trasladar los restos hasta un centro poblado que tenga sistemas apropiados de recogida y tratamiento (en lo posible debe practicarse el reciclado y reuso). Realizar gestiones ante el Municipio Distrital para que apoye la recogida de los residuos plásticos y los deposite en el relleno municipal.

- g. Tomar las medidas necesarias para que el ingreso al invernadero sea restringido, evitar la presencia de animales domésticos, roedores, pájaros, afín de evitar la contaminación de los productos.
- h. Se deben cumplir las medidas correctivas propuestas en la fase de abandono y fin del proyecto.

**Duración:** El programa de vigilancia ambiental tendrá una duración igual al tiempo que dure el proyecto, es decir hasta que se den las condiciones para abandonar el proyecto y posterior restauración de los terrenos empleados.

### **Personal responsable**

La persona responsable de la vigilancia ambiental será el responsable técnico del Comité de Gestión del invernadero escolar, quien informará a las personas involucradas: profesores, alumnos y padres de familia del seguimiento, reflejando el grado de cumplimiento.

### **VII. Plan de contingencias.**

Las actividades desarrolladas en las diferentes fases del proyecto, no presentan riesgos que originen impactos graves y permanentes, sin embargo deben elaborarse planes de contingencia para resolver contingencias como:

- Contaminación grave de la fuente de agua empleada para el riego del invernadero.
- Desastre natural que deteriore permanentemente el invernadero: sismo, inundación, vientos fuertes, incendio, etc. Ataque incontrolable de plagas y enfermedades, que no podrán ser controladas empleando insumos naturales, deberá evaluarse las diferentes opciones: eliminar el cultivo, curar los diferentes medios contaminados con métodos naturales, control químico (no recomendado).
- Organizar y gestionar un fondo intangible para superar y mitigar la contingencia.
- Gestionar y mantener un fondo permanente para superar las contingencias que se presenten y garantizar la sostenibilidad del proyecto.

### **VIII. Plan de cierre o abandono**

En el Art. 55°, plan de cierre o abandono de proyectos de inversión sectoriales, del reglamento de gestión ambiental del Sector Agrario, establece las normas a seguir dentro de este plan.

Eliminación de escombros: estructuras, alambres, fierros, piedras, residuos vegetales y todos los restos del proyecto.

1. Rehabilitación y recuperación del suelo para darle otros usos.
2. Sistematización de las experiencias y presentación de un informe final.

## IX. Cronograma de ejecución

**Tabla 28.** Resumen y cronograma del programa de vigilancia

<b>Elemento</b>	<b>Indicador</b>	<b>Vigilancia</b>	<b>Tiempo ejecución</b>
<b>Suelo</b>	Pérdida de fertilidad Contaminación	Agricultura orgánica Uso de insumos orgánicos	Permanente Permanente
<b>Agua</b>	Mala calidad, Contaminación Producción de efluentes	Eliminar focos contaminantes Sistemas de drenaje	Permanente
<b>Residuos vegetales</b>	Basura acumulada	Uso de composteras	Permanente
<b>Residuos plásticos</b>	Paisaje contaminado	Relleno	Permanente
<b>Cierre del proyecto</b>	Abandono de materiales	Limpiar y rehabilitar suelo y paisaje	Cierre proyecto

Fuente: Elaboración propia

**XI. Presupuesto de implementación.** Se deberá entregar el presupuesto establecido para la implementación del plan de seguimiento y control y su ejecución deberá estar acorde con el cronograma de ejecución.

### 5.8. Conclusiones de la DIA

Realizando una evaluación de las fortalezas del proyecto, traducidas en beneficios para la comunidad educativa y la población, así como la implementación de un excelente laboratorio donde los alumnos aprenderán, investigarán, aplicarán y participarán de un proceso sostenible de producción de hortalizas en invernaderos alto andinos, los beneficios nutricionales y económicos para el comité gestor, adicionalmente los impactos producidos sobre el medio ambiente son leves que pueden revertirse en un proceso de cierre, con las medidas correctoras propuestas, el proyecto debe merecer la Certificación Ambiental emitida por la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAAA), en este caso la autoridad competente.

## Conclusiones

1. En zonas alto andinas del Cusco, comprendidas entre los  $11^{\circ} 07'48''$  y  $15^{\circ}29'39''$  LS, altitudes comprendidas entre los 2 500 a 5 000 msnm, con temperaturas mínimas invernales que descienden bajo cero, las formas curvas de invernaderos: semicirculares, semi elípticos, etc., presentan mejores condiciones de transmisividad de la radiación solar, alcanzando 66 % y 30 % de reflectividad. En consecuencia, por cada  $1\ 000\ \text{W/m}^2$  de irradiancia, ingresan al interior del invernadero  $660\ \text{W/m}^2$ , son reflejadas  $300\ \text{W/m}^2$ , absorbidas por la cubierta  $40\ \text{W/m}^2$ ; comparadas a las formas tipo capilla a dos aguas, presentan una transmisividad del 55 % y 36 % de reflectividad. De esta forma se garantiza un adecuado proceso fotosintético de las plantas al interior.

La orientación del invernadero es importante en la época invernal con heladas frecuentes, siendo la orientación E-O (principal eje geométrico), la que mejor se comporta en los invernaderos curvos y tipo capilla con un 61 % de transmisividad, comparado a la orientación N-S con un 55 %.

Un caso particular interesante, se observa en un invernadero curvo con orientación N-S, a lo largo del año; en horas de la mañana y tarde, las superficies curvas E y O, reciben gran cantidad de energía solar, mejorando la inercia térmica del invernadero.

2. El polietileno (PE) térmico estabilizado y los materiales empleados como pantallas antirradiativas: arpillera, tela de tocuyo americano, son opacos a la radiación térmica infrarroja larga (2 000 a 26 000 nm), los resultados de la evaluación tomando como referencia una caja térmica, muestran que la temperatura en el interior de la caja, cubierta con diferentes tipos de pantallas, se mantiene en todos los casos,  $5\ ^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura mínima exterior.
3. El uso simultáneo de una cubierta de polietileno térmico estabilizado, pantallas antirradiativas de arpillera de entramado grueso y un muro de adobe en la pared sur (mirando al N) en un invernadero de techo curvo, mejoran la temperatura en el interior del invernadero alcanzando hasta  $7\ ^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura mínima exterior ( $5\ ^{\circ}\text{C}$ ). Un invernadero de estructura de palos, orientación E-O, tipo capilla, el efecto del murete de adobe perimetral, la pantalla antirradiativa de tela producen una mejora de la temperatura en el interior del invernadero de aproximadamente  $3\ ^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura mínima exterior.

4. Del balance térmico calculado para tres tipos de invernadero, se concluye que el invernadero de techo curvo (pared de adobe, pantalla de arpillera), las pérdidas de calor totales son de  $79 \text{ W/m}^2$ , dichos elementos reducen las pérdidas en un 57 %. Un invernadero de estructura de palos, techo tipo capilla, murete de adobe y pantalla de tela, las pérdidas totales son de  $112,5 \text{ W/m}^2$  (39 % de reducción de pérdidas), comparando estos resultados al balance sobre un invernadero de estructura de palos sin ninguna modificación, las pérdidas alcanzan  $184,0 \text{ W/m}^2$  (valor referencial del total de pérdidas igual al 100 %, respecto del cual se han efectuado los cálculos para los invernaderos tipo I y II, respectivamente).
5. La evaluación económica de los distintos tipos de invernaderos, muestra que la inversión total (construcción, operación y mantenimiento) anualizados por  $\text{m}^2$ , para el invernadero de techo curvo y paredes de adobe, es de S/. 80, mientras que para el invernadero de palos (techo tipo capilla) con murete de adobe es de S/.48. Los beneficios anuales derivados de la venta de productos son de S/. 110,20 / $\text{m}^2$  para el primer caso y S/. 70 / $\text{m}^2$  para el segundo tipo. Comparando estos resultados, la rentabilidad anual para el primer caso es: S/. 30,20 / $\text{m}^2$  y de S/. 22 / $\text{m}^2$  para el segundo.
6. Dentro de los instrumentos de gestión ambiental del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, la Declaración de Impacto Ambiental (DIA, categoría I- impactos negativos leves), elaborada al inicio del proyecto, permite identificar los posibles impactos ambientales producidos en cada una de las fases del proyecto, donde la participación ciudadana y la vigilancia garantizarán que cuando el proyecto finalice, el medio ambiente donde se desarrolló el proyecto, recupere las condiciones iniciales antes del proyecto.
7. Las zonas andinas del Cusco, presentan niveles altos aprovechables de la energía solar. Los valores medios diarios de irradiación, van desde los  $5,1 \text{ kW.h/m}^2$  hasta los  $6 \text{ kW.h/m}^2$ , haciendo viables muchas aplicaciones solares: conversión fotovoltaica, conversión foto térmica, cocinas solares, secadores y fundamentalmente invernaderos para hortalizas. Adicionalmente el conocimiento de las principales variables meteorológicas, determinan el balance térmico del invernadero y el clima en su interior, haciendo sustentables dichas aplicaciones desde el punto de vista tecnológico, social y económico.
8. Un programa de difusión de invernaderos, requiere de una serie de estrategias: generar una demanda y oferta de uso de plásticos e insumos para invernaderos, que dinamice el mercado, y obtener una variedad de tipos de polietileno térmico estabilizado de larga duración, sistemas de riego tecnificado, pantallas antirradiativas, semillas, entre otros. Paralelamente desarrollar programas permanentes de capacitación a los usuarios, maestros constructores; elaborar manuales de construcción, operación, mantenimiento y producción de hortalizas en invernaderos alto andinos. El manual de construcción desarrollado en el presente trabajo, trae instrucciones precisas sobre dimensionamiento, ilustraciones gráficas y fotografías que el interesado requiere conocer, para tener éxito en la sostenibilidad del proyecto.

9. Los resultados obtenidos en la elaboración del DIA, para el proyecto de difusión y construcción de 112 invernaderos andinos en I.E. rurales de la provincia de Paruro, Cusco, identifican impactos ambientales leves producidos sobre el medio ambiente en las diferentes fases del proyecto, que pueden revertirse con las diferentes medidas consideradas, en consecuencia es un proyecto viable y debe merecer la certificación ambiental por parte de la autoridad competente.



## Bibliografía

**Atlas de energía solar del Perú** (2003). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Ministerio de Energía y Minas, Dirección general de investigación y asuntos ambientales, Proyecto Per/98/g31: Electrificación rural a base de energía fotovoltaica en el Perú. : <http://dger.minem.gob.pe/atlassolar/>

**Castilla, N.** (2009). Claves de la moderna plasticultura. XVIII Congreso Internacional de los plásticos en Almería. España.  
[http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhg288/16\\_23.pdf](http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhg288/16_23.pdf)

**Castilla, N.** (2007). Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo. Segunda edición, Ediciones Mundi Prensa-Madrid.

**Collares-Pereira.** (1996). Radiación solar, Ingeniería del secado solar CYTED-D, Subprograma VI: Nuevas Fuentes y conservación de la energía.

**Díaz, T., Espí, E., Fontecha, A., Jiménez, J., López J y Salmerón, A.** (2001). Los Filmes plásticos en la producción agrícola. Ediciones REPSOL YPF. Mundi Prensa-España.

**FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). Nueva política de huertos escolares.  
<http://www.fao.org/red-icean/temas/la-escuela/huertos-escolares/es/>

**Florián, P.** (1978). Características climáticas de los invernaderos de plástico. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura. Madrid.

**FUNIBER.** (2010). Evaluación del Impacto Ambiental. Asignatura de Especialización Post Grado, Auditorías Ambientales.

**Grossi, H.** (2001). Medición de la radiación solar en la superficie de la tierra. Instrumental y errores asociados. III Jornadas Iberoamericanas sobre energías renovables y Solarimetría. Santa Cruz. Bolivia.

**Grupo ecologista Mediterráneo.** (1998). Residuos agrícolas. Propuesta para reducción y gestión de los residuos agrícolas en el poniente Almeriense. España.  
[http://www.gem.es/descargas/residuos\\_agricolas/residuos\\_agricolas.html](http://www.gem.es/descargas/residuos_agricolas/residuos_agricolas.html)

**Horn, M., Mayo, E., Espinoza R.** (1991). Teoría y práctica del secado solar. Proyecto de Cooperación internacional peruano alemana: GTZ, UNI, Universidades nacional del Cusco, Tacna, La Agraria, Huaraz. Lima, Perú.

**Iqbal, M.** (1983). An Introduction to solar radiation. Ed. Academic Press.

**Maroto, J.** (1995). Horticultura herbácea especial. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

**Matallana, A., Marfa, O.** (1980). Los invernaderos y la crisis energética. Instituto de Investigaciones Agrarias - Madrid.

**Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2013).**

<http://comercioexteriormas.blogspot.com/2013/09/comite-de-flores-de-adex-organiza.html>

**Ministerio del Ambiente.** (2011). Compendio de la Legislación Ambiental Peruana. Editado por la Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente. Primera edición.

[http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio\\_06-legislacion\\_ambiental\\_sectorial\\_2.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio_06-legislacion_ambiental_sectorial_2.pdf)

**Ministerio del Ambiente.** (2001, 2008 y 2009). Ley N° 27446 del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. Decreto Legislativo N° 1078 Modificatoria de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Ley N° 27446. <http://www.minam.gob.pe>

**Pulgar, J.** (1985). Regiones naturales del Perú. Lima.

**Región Cusco.** (2013). Proyecto fortalecimiento del desarrollo de capacidades en ordenamiento territorial de la región Cusco, caracterización socioeconómica de la provincia de Paruro, Cusco.

**Sequeiros, E.** (1998). Almacigueras y producción de hortalizas: *Lycopersicon sculentum* W. (tomate), *Capsicum annuum* L. (pimiento) y *Solanum melongena* L. (berenjena), bajo condiciones de invernadero. Tesis para optar al Título de Biólogo en la Facultad de Ciencias Biológicas, UNSAAC, Cusco.

**Thekaekara, P.** (1973). Solar energy outside the earth's atmosphere.

**Torres, E.** (1986). Agro Meteorología. Ed. Diana. México.

**Valera, D., Molina, F. y Álvarez, A.** (2008). Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos, publicación redactada por de la Universidad de Almería con la colaboración del Departamento de Biomasa del CENER para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

**Zanabria, P.** (2003). Radiación solar en el Cusco, Memorias del X Simposio Peruano de Energía Solar, Cusco.

**Páginas web consultadas:**

<http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/SunApprox.html>.

<http://susdesign.com/sunangle/>

<http://www.cs.ucla.edu/~simonw/sunpos/>

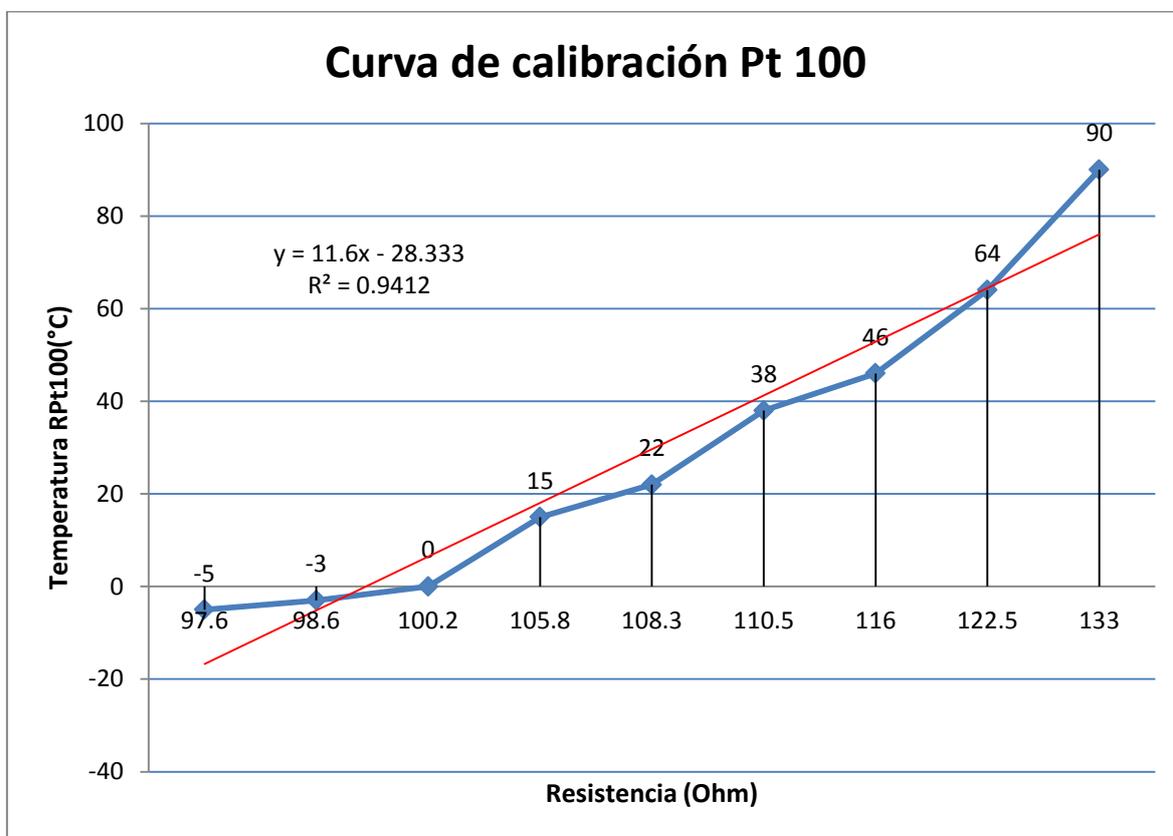
<http://www.mimeteo.com/blog/tiempo-y-clima/estaciones>



## **Anexos**



### Anexo 1 : Curva de calibración



Fuente: Elaboración propia

### Anexo 2

#### Conductividad térmica de algunos materiales de cubierta $\lambda_c$

Material	$\lambda_c$ (W/m.K)
Polietileno de baja densidad (PEbd)	0,45
Copolímero etileno y acetato de vinilo (EVA)	0,45
Polietileno de alta densidad(PE)	0,33
Polipropileno	0,17 – 0,22
Vidrio celular	0,054 – 0,067
Policarbonato ondulado (PC)	0,19
Polimetacrilato (PMMA)	0,19
Policloruro de vinilo (PVC)	0,16
Vidrio	0,76

Fuente: Valera, Molina y Álvarez, (2008). Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos.

## Anexo 3

### Invernaderos para hortalizas en zonas alto andinas

#### Manual de construcción

#### I. Generalidades

##### 1. ¿Qué es un invernadero?

Un invernadero es una construcción especial cuya estructura es de palos, hierro, adobes; las paredes y techo se cubren con una material transparente (vidrio, policarbonato o plástico), estos materiales dejan pasar la luz del sol y calientan el suelo, las plantas y el aire del interior, guardando este calor para la noche. La cubierta no deja salir el calor hacia el exterior, creándose en el interior del invernadero un **MICRO CLIMA = EFECTO INVERNADERO**, que permite el cultivo de hortalizas y otros productos en cualquier época del año.

##### 2. Ventajas de los invernaderos

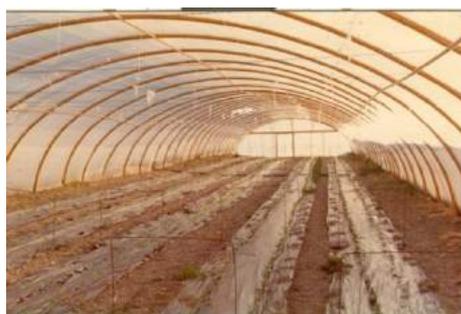
- a. Protegen los cultivos contra las heladas, nieve, exceso de lluvia.
- b. Podemos producir hortalizas en cualquier época del año, que en condiciones normales no es posible, por ejemplo: tomates, pimientos, berenjenas, coles, brócolis, fresas, uvas, etc.
- c. Se pueden obtener hasta dos cosechas por año, asociando cultivos podemos diversificar nuestra producción.
- d. Podemos calefaccionar nuestras viviendas con el aire caliente que producen, acondicionándolo pegado a una de las paredes de la vivienda.
- e. Si empleamos una agricultura ecológica, nuestros productos tendrán un mejor valor agregado, precio justo.
- f. El invernadero en el huerto escolar, es un laboratorio, podemos investigar, desarrollar una variedad de proyectos, proporcionar verduras frescas al comedor escolar, vender algunos excedentes.

##### 3. ¿Qué materiales se emplean para la estructura?

**Soporte:** madera (listones, palos rollizos)  
 hierro corrugado, columnas de concreto  
 muros de adobe

**Techo:** vigas de madera (listones, palos rollizo) con enmallado de alambre galvanizado.  
 hierro liso o corrugado

**Importante:** “Las estructuras, sobre las cuales se coloca el plástico, deben pintarse con una pintura clara para evitar un sobre calentamiento que acelera el deterioro del plástico”.



#### 4. Cobertura

Un material ideal para la cobertura de los invernaderos, es aquel que reúne las siguientes características:

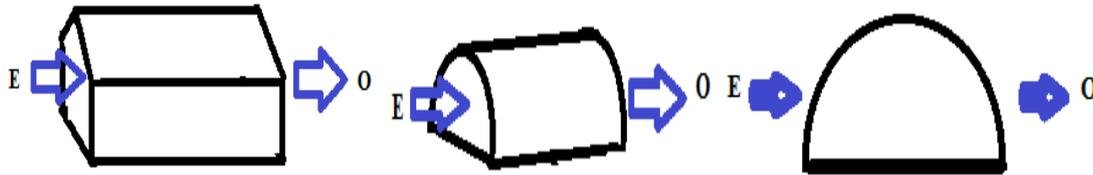
- a. Durante el día, buena transmisividad (dejar pasar toda la radiación solar) para calentar el interior del invernadero (efecto invernadero), de noche opaco a la radiación que emiten el suelo y plantas hacia el exterior, evitando que el calor salga al exterior.
- b. Debe ser estabilizado, es decir tener protección o inhibidores contra la radiación ultra violeta, y evitar su rápido deterioro.
- c. Debe tener una vida útil de por lo menos tres años.

El plástico más usado en el mundo y en el Perú es el polietileno (PE) térmico estabilizado de baja densidad, por lo general de un espesor de 200 micras (0,2 mm). En el Cusco, existen dos o tres empresas importadoras de materiales plásticos, donde se puede encontrar pequeñas cantidades de polietileno térmico estabilizado, en caso de requerir volúmenes más grandes de este material se puede importar de empresas de países vecinos: Bolivia, Chile, Colombia, entre otras, o en su defecto de puede solicitar a empresas nacionales con sede en Lima, para que puedan importar o proceder a la fabricación del volumen requerido. En cualquiera de los casos se deberá solicitar la ficha técnica del producto: ancho, espesor, vida útil, características ópticas, térmicas y mecánicas entre otras características.

#### 5. Ubicación, orientación y forma del invernadero

- Los invernaderos en lo posible deben ubicarse en terrenos nivelados, fértiles, ricos en materia orgánica, con buen drenaje y con riego permanente.
- Deben protegerse de la intromisión de todo tipo de animales, de los vientos fuertes, no orientar la puerta o ventanas en dirección de los vientos. Debe ubicarse lejos de árboles, edificios que dan sombra.

- Para una buena iluminación, y alcanzar temperaturas mínimas que permita producir hortalizas en la época de frío, la orientación E-O es la más recomendable, sin embargo una orientación N-S, presenta ventajas el resto del año.
- La disposición de los cultivos en el invernadero debe ser tal que no sombreen unos a otros y que las plantas reciban la mayor cantidad de sol.



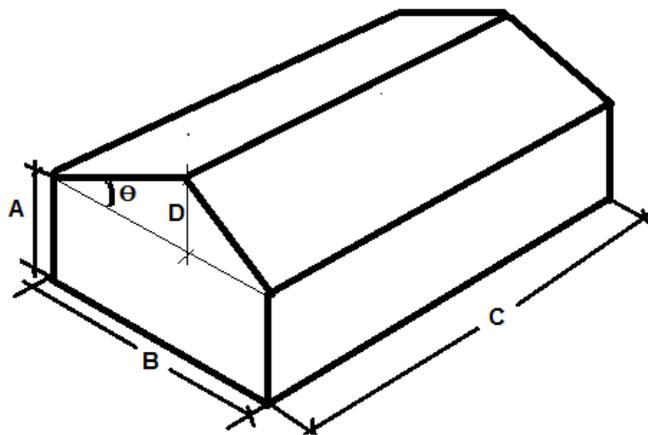
Las formas curvas (semicirculares, semi elípticas) son las más recomendables porque mejoran la transmisividad (el pase de la luz al interior), requieren estructuras metálicas y un sistema de cierre hermético de la cobertura. Las formas tipo capilla a una o dos aguas son más sencillas de construir y presentan ventajas para el sellado hermético del plástico.

### 6. Dimensiones del invernadero

Las dimensiones del invernadero vienen impuestas por el clima, el terreno, acceso al agua, los materiales empleados en la construcción y sobre todo del tipo y características del plástico a emplearse.

La altura más baja (laterales) del invernadero, debe permitir realizar las labores culturales con comodidad y que las plantas alcancen un buen desarrollo.

#### Dimensiones recomendadas para un invernadero tipo capilla a dos aguas:



#### Medidas aproximadas:

Área (m <sup>2</sup> )	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	Θ (°)
50	2	6	8	0,90	17
100	2	8	13	1,20	17
200	2	8	25	1,20	17
300	2	8	35	1,20	17

#### Nota: C se elige en función del ancho del plástico

Los invernaderos más grandes requieren conocer otros aspectos tecnológicos sobre estructuras, ventilación. (consultar a un especialista en invernaderos).

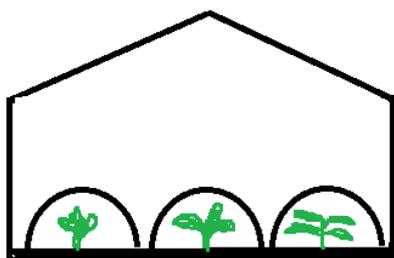
## 7. Ventilación

- La ventilación del invernadero se realiza por puertas y ventanas (ubicadas en los frentis, o paredes laterales, a 1m de altura por encima del suelo. Invernaderos más grandes emplean ventilación cenital (techo).
- Durante el día el invernadero se calienta hasta por encima de la temperatura máxima de la planta, para evitar este máximo, se mantienen las ventanas abiertas. Durante la noche se cierran puertas y ventanas para mantener el calor, en este periodo las plantas respiran, toman el oxígeno del aire y eliminan  $\text{CO}_2$ , elevándose su concentración. La humedad relativa aumenta, en muchas ocasiones hasta alcanzar la saturación (100 %). Al día siguiente debe ventilarse el invernadero para renovar el aire.
- Se recomienda que la superficie que ocupan las ventanas sea de un 5 a 20 % de la superficie del suelo.



## 8. Formas de reducir el enfriamiento nocturno

- Cierre hermético de puertas y ventanas (invernadero hermético, evita las pérdidas de calor por renovación de aire).
- Protección de cultivos con túneles de plástico, acolchado, estos sistemas aumentan la temperatura en el interior y suelo entre 2 a 4 °C.



Túneles en el interior



Acolchado de suelos

- Doble capa de plástico o tela sobre el cultivo (se eleva entre 2 a 4°C la temperatura del suelo y aire interior), la tela también puede usarse para producir sombra sobre las plantas en las horas de mayor insolación.
- Una forma sencilla es construyendo un murete de adobe (0,50 a 1,0 m de alto), en el perímetro del invernadero y colocando una pantalla antirradiativa de tela de trama gruesa (tocuyo) o arpillera sobre el cultivo, puede emplearse un tejido de mimbre de caña por fuera de la cubierta, se consigue elevar la temperatura entre 2 a 5 °C, y garantiza la producción de hortalizas en la época invernal.



**Arpillera exterior sobre el PE**



**Tela tocuyo encima cultivo**

- Construir en la cara sur que mira al norte un muro de adobe, sobre el cuál se apoya la estructura del techo, este muro juega un papel muy importante en el invierno de las zonas alto andinas, pues sobre él cae el sol entre las 09 a 15 h, es un buen acumulador de calor que atempera el invernadero en el periodo nocturno.



## II. Construcción y montaje de un invernadero andino de 100 m<sup>2</sup> de área

### Estructura

Parantes y techo de eucalipto rollizo, enmallado de techo con alambre galvanizado, cubierta de plástico PE térmico estabilizado de 200  $\mu$ m, murete de adobe perimetral, en el interior debajo del plástico pantalla antirradiativa de tela de tocuyo, para sombreado diurno y reducción del enfriamiento nocturno. Ventanas en frontis y una puerta de ingreso con ventana movable.

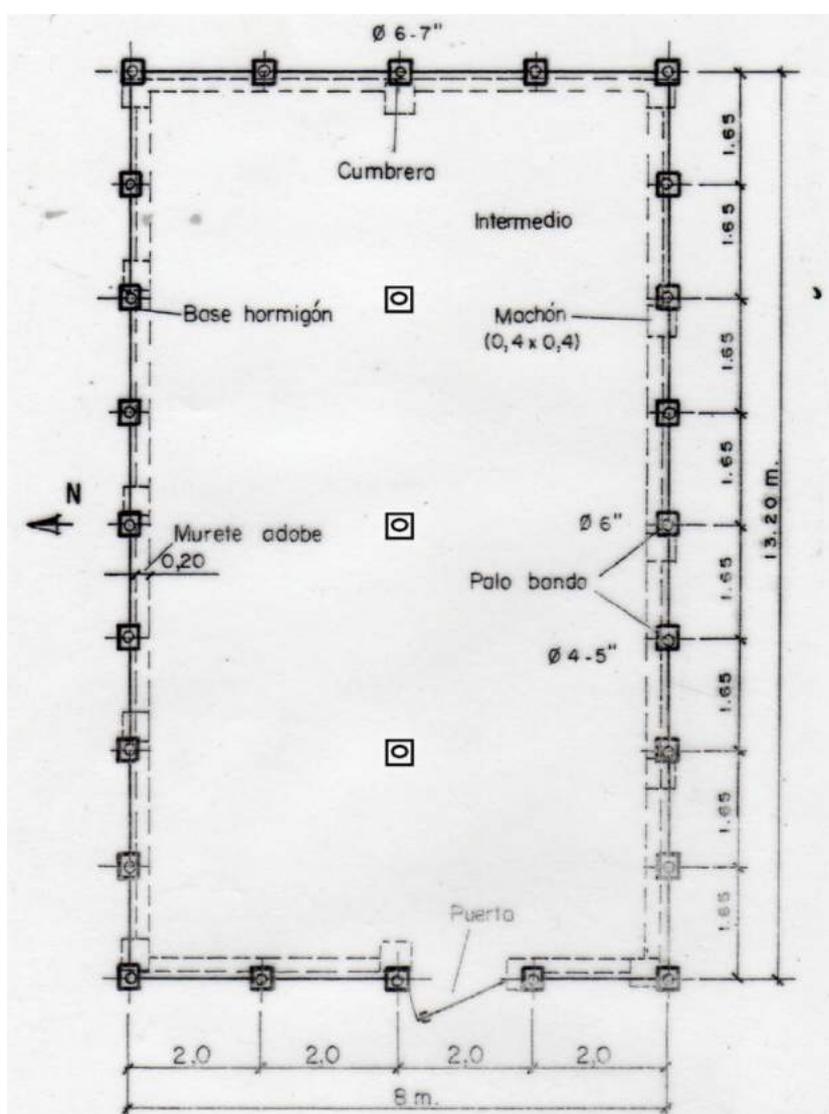
### 1. Materiales

- **250 m<sup>2</sup> de plástico:** PE térmico estabilizado (transparente) o 72 m lineales de 0,2 mm de espesor; 3,5 m de ancho o 36 m lineales de 0,2 mm de espesor y 7 m de ancho.

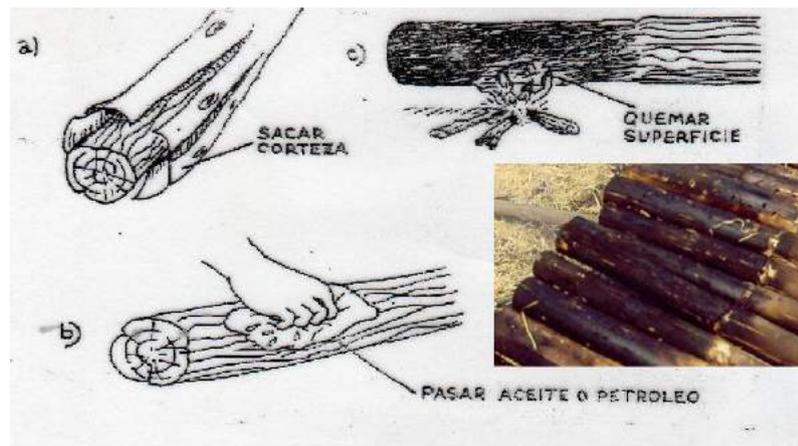
**Nota importante:** antes de diseñar el invernadero se debe evaluar él o los tipos de plásticos en el mercado, su provisión permanente con las mismas características iniciales, que garantizan su reemplazo en los plazos establecidos.

- 1 200 unidades: adobes de 0,40 x 0,20 x 0,15 m, para murete perimetral
- 6 m<sup>3</sup> piedra: cimentación del murete de adobe
- 1,5 m<sup>3</sup> hormigón: construcción de zapatas en las bases de los parantes
- 5 palos de eucalipto de 4,20 m x 6-7" diámetro (cumblera central y pasantes)
- 10 palos de eucalipto de 2,6 m x 5-6" diámetro (bandas, laterales y pasantes)
- 08 palos de eucalipto de 2,60 m x 4-5" diámetro (intermedio, pasantes y banda)
- 04 palos de eucalipto de 3,30 m x 6" (intermedio frontis)

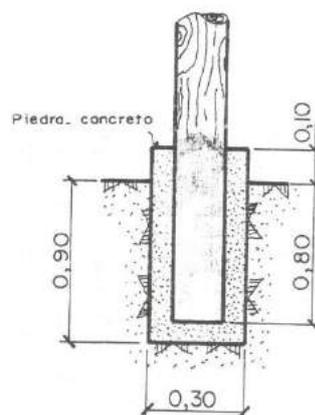
- 10 palos eucalipto de 4,20 x 3-4" (vigas de techo)
  - 16 palos de eucalipto de 3,60 m x 3-4" (viga banda y viga cumbrera)
  - 08 kg de alambre galvanizado N° 14 (enmallados y deslizamiento pantalla tela)
  - clavos de: 6" (2 kg), 5" (3 kg), 4" (2 kg), 3" (2 kg), 2,5" (2 kg)
  - 08 listones de 2"x3" x 3 m (construcción de ventanas y puerta)
  - tela tocuyo americano: 12,60 m ancho x 25 m largo
  - ojales (pasar alambre que desliza tela)
  - 08 palos de eucalipto de 2,60 m x 4-5" diámetro (intermedio, pasantes y banda)
  - 04 palos de eucalipto de 3,30 m x 6" (intermedio frontis)
2. **Herramientas:** picos, barreta, palas, badilejo, carretilla, combas, cordel, serruchos, azuelas, formones, nivel de manguera.
3. **Plano de planta (marcar sobre el terreno)**



4. **Tratamiento de palos.** Cuando se entierra el palo directamente dentro del suelo, hay que dar el tratamiento de la siguiente figura:



5. **Excavación de huecos, colocación de palos.** Si se cuenta con concreto, se sugiere colocar los palos dentro del concreto.



Se pueden pre fabricar bases de hormigón, dejando un agujero del diámetro del palo, para colocarlo y fijarlo dentro del suelo:

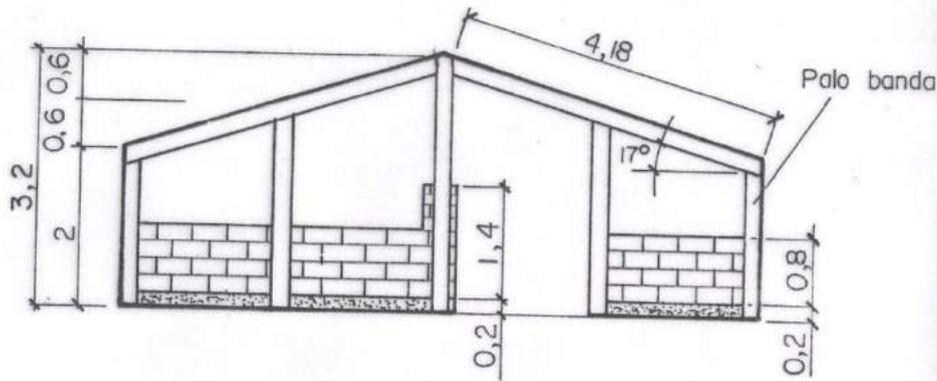


**Notas:**

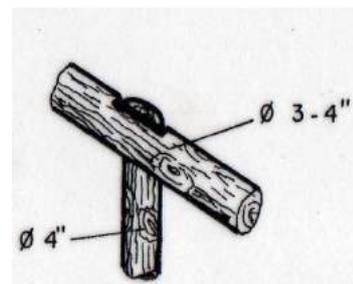
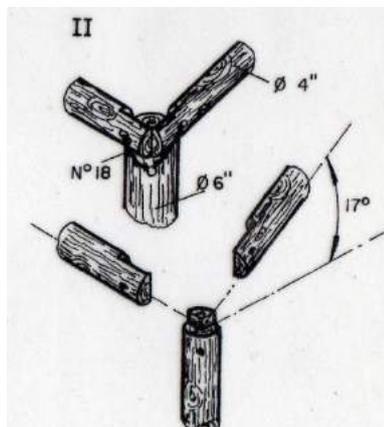
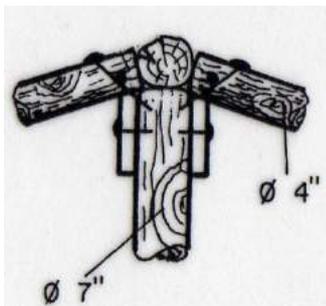
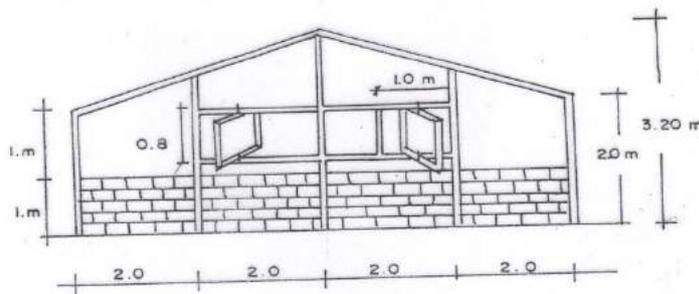
- Pueden eliminarse los parantes centrales y reemplazarlos con tijerales que van de banda a banda.
- Para mejora la difusión de la luz, se sugiere blanquear el murete interior. Así mismo las superficies en contacto con el plástico.

**8. Detalles constructivos**

Frontis delantero, puerta de ingreso



VENTANAS DE VENTILACION EN FRONTIS POSTERIOR.

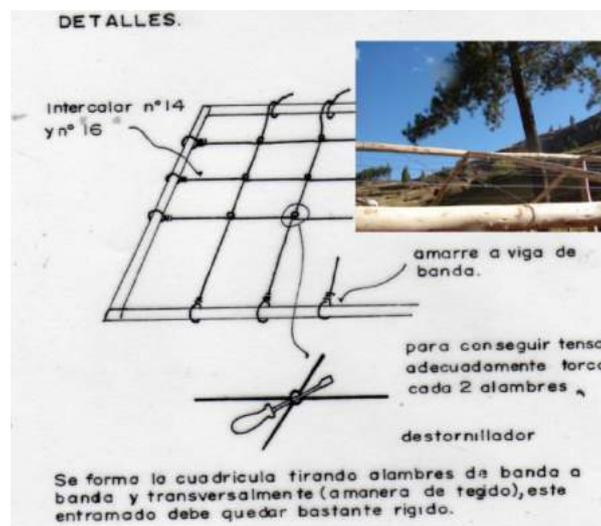
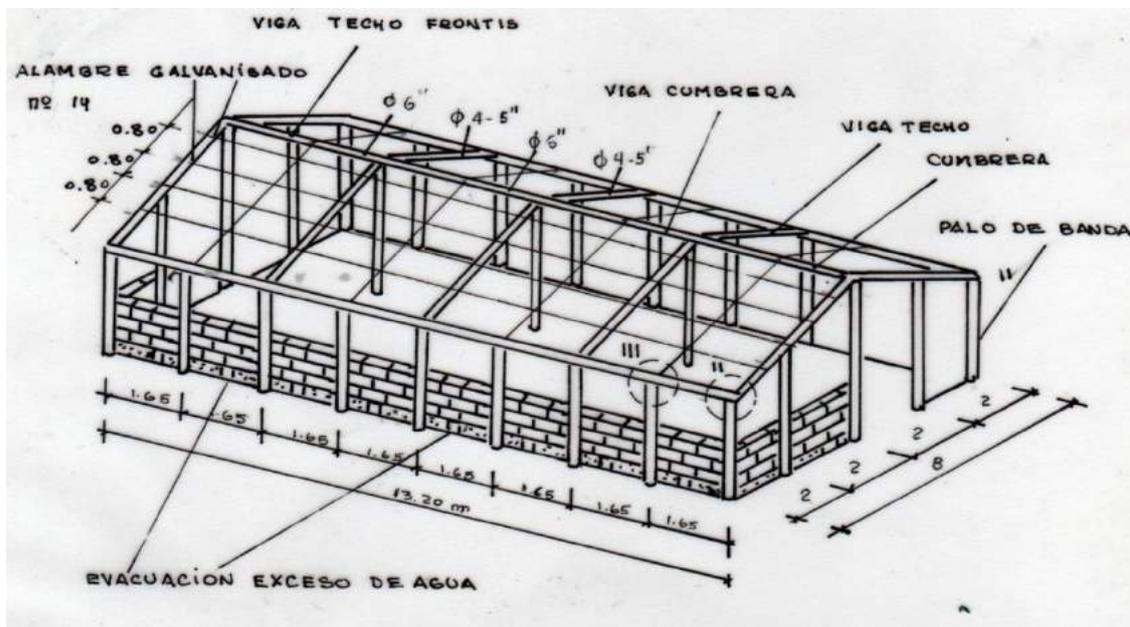


Empalmes de palos en cumbrera, bandas –laterales



Invernadero andino listo para colocación de enmallado y plástico

9. Colocación de enmallado de alambre galvanizado en techo

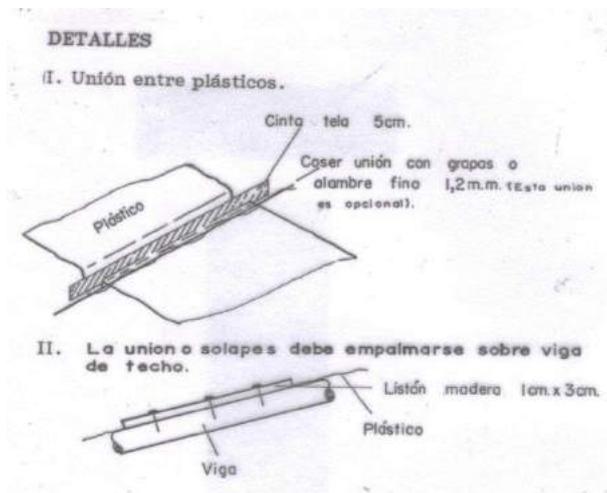


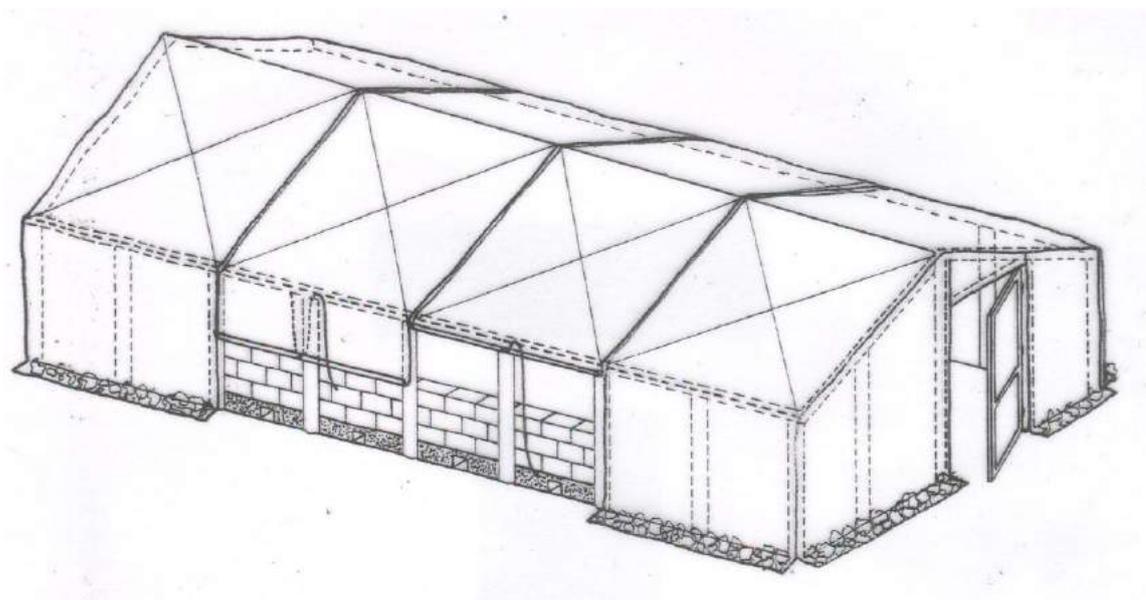
## 10. Colocación del plástico:

- Antes de colocar el plástico, debe limarse las superficies rugosas de los palos, filos, protuberancias, a fin de evitar desgarros o roturas del plástico.
- El plástico debe colocarse por paños, de banda a banda, pasando por la viga de cumbrera. Es recomendable hacer este trabajo en pleno sol, para estirarlo adecuadamente.



- Para fijar el plástico sobre el techo del invernadero tipo capilla, se realizará según detalle II y si se trata de un invernadero con techo curvo de hierro, se puede unir los paños de plástico, según detalle I, de esa forma tendremos una sola lámina (toldera) que cubra todo el largo del invernadero.





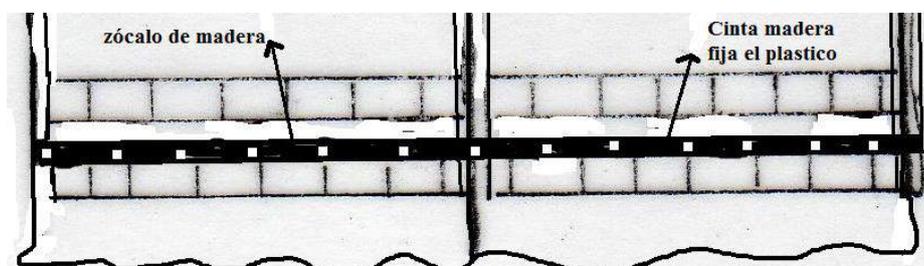
Luego de colocado el plástico sobre el invernadero, pueden abrirse ventanas laterales si es necesario (cuando la ventilación no es buena). Por la parte externa y sobre el techo de plástico se puede tejer en forma cruzada un enmallado de alambre para que el viento no lo levante.



Techo curvo con paredes de adobe



Fijación del plástico con soguilla bien tensada

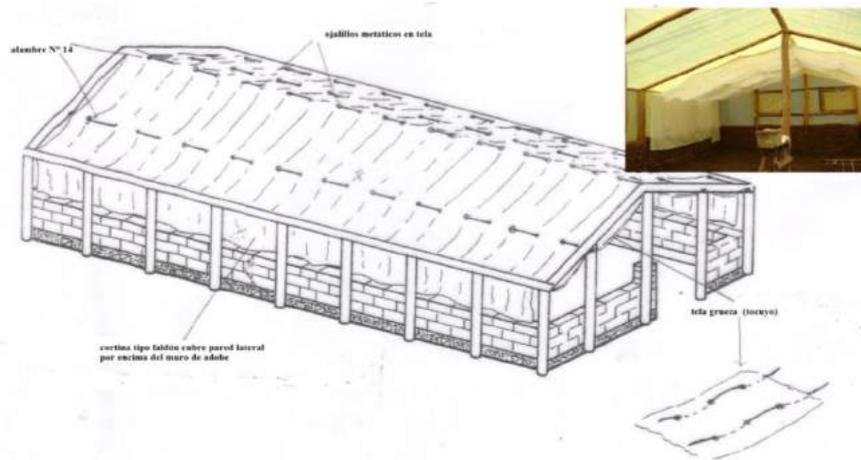


El plástico puede sujetarse sobre zócalo de madera empotrado en muro de adobe o sobre la estructura de palos (entre dos parantes de banda),



### 11. Colocación de pantalla antirradiativa (tela de tocuyo ó arpillera)

Para mejorar la temperatura en el interior del invernadero, sobre todo en la época de frío y heladas (abril hasta agosto) además del muro de adobe, se debe colocar una pantalla tipo tumbadillo por debajo del plástico y por encima del cultivo. La sujeción de la manta se hace con alambres que pasan a través de ojales colocados sobre ella y tensados en la estructura del invernadero.



Puede colocarse una manta de arpillera de entramado grueso por encima del plástico, otra opción es colocar de la misma forma una manta de estera flexible, de esta forma se evita el enfriamiento nocturno.



En la estación fría, al atardecer de cada día, se debe proteger el cultivo con la pantalla térmica y recogerla a primeras horas del día siguiente.

## 12. Recomendaciones

- a. Al concluir con la construcción del invernadero, deben familiarizarse con su manejo: ventilación y renovación de aire, temperatura, humedad, etc.
- b. Paralelamente a la construcción del invernadero, debes capacitarse adecuadamente para desarrollar una agricultura ecológica, orgánica, planificando cada una de las fases del cultivo: preparación del terreno, semillas, preparación de almácigueras, fisiología del cultivo, siembra, labores culturales, enfermedades, control ecológico de plagas y enfermedades, etc.
- c. Se deben conocer las temperaturas máximas y mínimas a las que podemos someter un cultivo, sobre todo en la época más fría, para tomar las medidas necesarias (sistema de calefacción, pantallas térmicas) y evitar que los cultivos alcancen estos límites, de lo contrario, las plantas mueren.
- d. La asociación, rotación de cultivos es recomendable, por ejemplo: productos de tallo alto y prolongada vida fisiológica con productos de tallo corto y corta vida.
- e. El invernadero siempre tiene que producir, nunca sin plantas, pues tenemos que sacarle el máximo provecho durante su vida útil, antes que envejezca.
- f. El conocimiento y manejo del invernadero, las condiciones meteorológicas internas y externas durante el proceso productivo (temperaturas mínimas, máximas, humedad relativa, etc.), son de suma importancia para lograr un manejo integral y sostenible. Estas variables cambian según la estación, y deberán manejarse de acuerdo al desarrollo vegetativo de las plantas. Finalmente tener presente que la luz (radiación visible) es una variable de gran importancia en el desarrollo de las plantas.