

**UNIVERSIDAD PARA EL DESARROLLO ANDINO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS**



**TESIS**

**RESPUESTA FISIOLÓGICA DE DOS VARIEDADES DE  
PAPAS NATIVAS (*Solanum tuberosum sp. andígena*) DE  
HUANCAVELICA “YANA MANWA” Y “YURAQ  
GASPAR” FRENTE A ESTRÉS TÉRMICO**

**PRESENTADO POR**

**MORALES CURI, Synthia**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**LIRCAY - ANGARAES – HUANCAVELICA -PERU**

**2017**

UNIVERSIDAD PARA EL DESARROLLO ANDINO  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS

RESPUESTA FISIOLÓGICA DE DOS VARIETADES DE PAPAS NATIVAS  
(*Solanum tuberosum sp. andigena*) DE HUANCVELICA "YANA MANWA"  
Y "YURAQ GASPAR" FRENTE A ESTRÉS TÉRMICO

TESIS

PRESENTADA A LA DIRECCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE  
CIENCIAS AGRARIAS COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR EL  
TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO


APROBADO POR:

PRESIDENTE:  \_\_\_\_\_

Dr. Edgar Amador Espinoza Montesinos

JURADO :  \_\_\_\_\_

Mg. Sc. Carlos Hernán Portales Ceballos

JURADO :  \_\_\_\_\_

Mg. Karla Inés Zúñiga Chambilla

ASESOR :  \_\_\_\_\_

M. Sc. Demetrio Factor López Portilla

## DEDICATORIA

Primero a Dios por iluminar mi vida y darme salud para seguir adelante.

A mis padres Cesario Morales y Teresa Curí por su amor, su apoyo incondicional y por ser la luz de mis ojos.

A mis hermanos quienes me brindaron su apoyo en todo momento y a mis queridos sobrinos que son mi inspiración para ser mejor cada día.

A Nilton Enrique por darme su amor, paciencia y apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTO

- Mi profundo agradecimiento a la universidad para el desarrollo andino y a la escuela profesional de ciencias agrarias, a los ingenieros por el conocimiento recibido.
- Agradezco al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad - Innóvate Perú de acuerdo al Contrato 120-FINCyT-IA-2013, por haber financiado la realización de la presente tesis.
- Mi profundo agradecimiento a mi asesor, M. Sc. LÓPEZ PORTILLA, Demetrio Factor, mi Co asesor Ph. D. MERINO MÉNDEZ, Carlos por las recomendaciones brindadas durante el desarrollo de la tesis. A Lic. Diana Martínez por su preocupación y apoyo constante durante la redacción de mi tesis.
- A los señores jurados por haberme brindado su apoyo en el análisis estadístico.
- A mi familia por el cariño y el apoyo que me brindaron durante toda mi vida, por estar a mi lado en momentos difíciles, gracias.
- A todos mis amigos y compañeros de la universidad.

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en el invernadero de la UDEA, donde se cultivaron dos variedades de papa nativa “Yuraq Gaspar” (variedad susceptible) y “Yana Manwa” (variedad tolerante), en masetas a partir de esquejes enraizados, cuando las plantas alcanzaron una altura de 40 cm, en laboratorio se introdujo las macetas en una congeladora para ser sometidas a bajas temperaturas ( $-8^{\circ}\text{C}$ ).

Ambos recintos están ubicados. En el campus universitario de la Universidad para el Desarrollo Andino, situado en el distrito de Lircay, provincia de Angaraes, Región Huancavelica.

El objetivo de la presente investigación fue determinar las características fisiológicas de ambas variedades de papa “Yuraq Gaspar” (susceptible) y “Yana Manwa” (tolerante) al ser sometidas al estrés por bajas temperaturas.

Aproximadamente a los tres meses las plantas fueron sometidas a un estrés por bajas temperaturas y con un equipo analizador de gases CI-340 Handheld Photosynthesis System se tomó en cada variedad un total de 100 lecturas con y sin estrés.

Cada lectura correspondió una lectura de tres folíolos reunidos. Estas lecturas sirvieron para determinar la de fotosíntesis, tasa de transpiración y conductancia estomáticas.

Los datos fueron analizados por la prueba de “t” a un nivel de significación del 05 por ciento.

Los resultados mostraron que Yana Manwa presentó menor variación en los parámetros evaluados tras la exposición al estrés térmico en comparación a Yuraq Gaspar, la variedad Yana Manwa la conductancia estomática fue similar antes y después del estrés, a diferencia

del comportamiento de la variedad Yuraq Gaspar, en la que disminuyó significativamente después del estrés.

La mayor tasa de fotosíntesis se presentó en la variedad susceptible (en ambos tiempos), sin embargo, tras el estrés fue la variedad tolerante la que sufrió un menor porcentaje de reducción (46.1%) en la tasa fotosintética en comparación con la variedad susceptible (54%)

En cuanto a la tasa de transpiración, luego de la exposición al estrés térmico, la variedad tolerante (Yana Manwa) mostró valores constantes.

En conclusión, las bajas temperaturas afectaron el comportamiento fisiológico en ambas variedades. Sin embargo, la variedad tolerante mostró menor variación a estos cambios, activando posiblemente mecanismos de resistencia ante el daño total de la planta.

**Palabras claves:** tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración, conductancia estomática, estrés térmico.

## RESUMEN EN QUECHUA CHINTI

Kay maskariyqa UDEApa poqochinanpim ruwakurqa. Iskay rikchaq papam wiñachinapi tarpusqa karqa, sapiyoq muhumanta, chaymi soqta wiñachinapi karqa Yuraq Gaspar ancha imapapas imananan eqoyaq, chaymanta soqtañataq yana manwa ancha qaqay qaqay mana imapapas imananan. Chay wiñanakunam qasachiqman winasqa karqa (-8°C) ancha chiripi.

Chay iskayninmi Anti Poqorinanpaq Yachay Wasip kitinpi kachkan, chaymi Lirkay kiti, Anqaray pacha, Wanka Willka suyupi

Kay maskariyqa imaynas chay papakuna kanman ancha chiripi huknipi karqa Yuraq Gaspar imapapas imananan hukninñataq yana manwa ancha qari qari mana imapapas imananan, imaynam ancha chiriman chuqasqa kasqanman hina.

Yaqa kimsa killayoc kachkaptinmi ancha chiriman churasqa karqa chay CI-340 paskaririq puyusqa Handheld Photosynthesis System sutichasqa, chaypim ñawinchana karqa 100 kutikama wañunayaqkunata ichataq mana wañunayaqkunatapas.

Sapa ñawinchaymi tinkurqa kimsa foliolos kama. Kay ñawinchaymi karqa hayka fotosíntesistaq kanman yachanapaq, hayka humpaytaq hayka harkaqa rapikunapi kanman sapa kaqlapi.

Chay llapa ima orqosqam kayqa paskarisqa chay atipachi “t” chayan chanin 05 pachakaman.

Tupuynin humpayninpawan rapikunapa harka qaran kay Yuraq Gaspar mana imapapas imanapanpam pisirun anchata; yana manwa mana imapapas imanapanpañataq mirarqon anchata ancha chikiman qasaman churasqa kasqan rayku.

## ABSTRACT

This research was carried out in the greenhouse of the UDEA, where two varieties of native potato "Yuraq Gaspar" (susceptible variety) and "Yana Manwa" (tolerant variety) were grown in masts from rooted cuttings, when plants Reached a height of 40 cm, in laboratory the pots were introduced in a freezer to be subjected to low temperatures (-8 ° C). Both enclosures are located. In the university campus of the University for the Andean Development, located in the district of Lircay, province of Angaraes, Region Huancavelica. The objective of the present investigation was to determine the physiological characteristics of both "Yuraq Gaspar" (susceptible) and "Yana Manwa" (tolerant) potato strains when subjected to low temperature stress. At approximately three months the plants were subjected to low temperature stress and with a CI-340 Handheld Photosynthesis System, a total of 100 readings with and without stress were taken in each variety. Each reading corresponded to a reading of three foliolos gathered. These readings were used to determine the photosynthesis, transpiration rate and stomatal conductance. Data were analyzed by the "t" test at a significance level of 5 percent. The results showed that Yana Manwa presented lower variation in the parameters evaluated after exposure to thermal stress compared to Yuraq Gaspar, the Yana Manwa variety, stomatal conductance was similar before and after stress, unlike the behavior of the variety Yuraq Gaspar, In which it decreased significantly after stress. The highest rate of photosynthesis was present in the susceptible variety (in both times); however, after stress, the tolerant variety

suffered the lowest percentage reduction (46.1%) in the photosynthetic rate compared to the susceptible variety (54%) Regarding the transpiration rate, after exposure to thermal stress, the tolerant variety (Yana Manwa) showed constant values. In conclusion, the low temperatures affected the physiological behavior in both varieties. However, the tolerant variety showed less variation to these changes, possibly activating mechanisms of resistance to the total damage of the plant.

**Keywords:** photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance, thermal stress.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO .....	4
RESUMEN .....	5
RESUMEN EN QUECHUA CHINTI.....	7
ABSTRACT .....	9
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I.....	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1. Descripción de la situación del problema .....	19
1.2. Limitación de la investigación.....	21
CAPÍTULO II.....	22
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	22
2.2. BASES TEÓRICAS .....	23
2.2.1. Cultivo de papa nativa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	23
2.2.2. Taxonomía.....	26
2.2.3. Fases fenológicas del cultivo de papa .....	27
2.2.4. Características morfológicas .....	28
2.2.5. Manejo del cultivo.....	30
2.2.6. Condiciones agroclimáticas.....	31
2.2.7. Preparación y desinfección de la semilla .....	37
2.2.8. Labores agronómicas y culturales .....	38
2.2.9. Manejo integrado del cultivo de la papa .....	44
2.2.10. Principales plagas y enfermedades.....	45
2.2.11. Cosecha .....	55
2.2.12. Madurez.....	55
2.2.13. Estrés .....	56

	12
2.2.14. Tipos de estrés.....	56
2.2.15 Las heladas .....	58
2.2.16. Las heladas en los tubérculos .....	58
2.2.17. Efectos de las heladas en los cultivos.....	59
2.2.18. Efecto de las bajas temperaturas en la fotosíntesis. ....	61
2.2.19. Efecto de las bajas temperaturas en la tasa de transpiración.....	62
2.2.20. Efecto de las bajas temperaturas en la conductancia estomática. ....	63
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	64
2.3.1. La fotosíntesis: .....	64
2.3.2. Transpiración.....	65
2.3.3. Conductancia estomática.....	66
2.4. HIPÓTESIS .....	68
2.5. VARIABLES .....	68
CAPÍTULO III .....	69
3. METODOLOGÍA.....	69
3.1. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	69
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	69
3.3.1. Ubicación de la tesis.....	69
3.3.2. Propagación de material biológico.....	70
3.3.3. Estrés térmico.....	70
3.3.4. Prueba de “t” de Student. ....	71
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	72
3.4.1. Medición de variables .....	72
3.4.2. Fórmulas para el cálculo de las variables de estudio .....	73
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	74
CAPÍTULO IV .....	76
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	76
4.1.1. TASA DE FOTOSINTESIS.....	76
4.1.2. TASA DE TRANSPIRACIÓN .....	80

4.1.3. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA.....	82
CONCLUSIONES .....	87
RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA .....	90
ANEXOS .....	94
FOTOGRAFÍAS.....	106

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.tasa de fotosíntesis de Yuraq Gaspar (variedad susceptible). Sin estrés y con estrés (-8°C): .....	79
Figura 2: tasa de fotosíntesis de Yana manwa (variedad tolerante). Sin estrés y con estrés (-8°C).	79
Figura 3: tasa transpiración de Yuraq Gaspar (variedad susceptible). sin estrés y con estrés (-8°C)	81
Figura 4: tasa transpiración de Yana manwa (variedad tolerante).sin estrés y con estrés (-8°C) .....	82
Figura 5: conductancia estomática de Yuraq Gaspar (variedad susceptible).sin estrés y con estrés (-8°C) .....	84
Figura 6: conductancia estomática de Yana manwa (variedad tolerante). Sin estrés y con estrés (-8°C) .....	84

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Superficie Sembrada Nacional (Ha).....	23
Tabla 2: Resumen de los resultados de los factores en estudio: tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración y conductancia estomática. ....	85
Tabla 3: promedios y significación estadística de las características fisiológicas de las variedades de papa Yuraq Gaspar (susceptible) y Yana Manwa (tolerante) sin estrés y con estrés térmico a bajas temperaturas. ....	86

## INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos alimenticios más importantes a nivel mundial, ocupa el cuarto lugar en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz (FAO, 2004) La papa se cultiva en los Andes desde hace más de 7.000 años, según investigaciones confirmadas recientemente, el origen de la papa, especie *Solanum tuberosum*, se centra en la parte norte del lago Titicaca, sur del Perú (SPOONER, et al ., 2005)

El cultivo de papa es afectado por un sin número de limitantes de origen biótico y de origen abiótico, las cuales en los últimos años se han hecho más evidentes por efectos del llamado cambio climático (Franco, 2002). Uno de los principales problemas de origen abiótico, son las heladas, que, dependiendo de su intensidad, duración y la fase fenológica en que se encuentra el cultivo puede provocar grandes daños en la agricultura (SENAMHI,2011).

Las heladas en el Perú, por lo general se registran en zonas con mayor altitud y se presentan mayormente entre los meses de abril y septiembre (SENAMHI, FAO, 2010) Las regiones del país son afectadas por las bajas temperaturas que alcanzan niveles de hasta 0°C acompañadas de episodios de granizadas y nevadas, aunque en la sierra sur del país los descensos de temperaturas se presentan con lluvia y vientos (SENAMHI, FAO. 2010)

Actualmente, se ejecutan varias prácticas agronómicas, con el fin de reducir estos efectos, por ejemplo: selección del lugar a cultivar (las pendientes evitan el efecto de las heladas), selección de especies, fechas de siembra, manejo de la fertilización, manejo de la humedad del suelo, uso de calefactores, ventiladores y aspersores (Martínez et al., 2007). Ante este panorama, los programas de mejoramiento genético de papa se presentan como posibles alternativas para generar variedades con resistencia a bajas temperaturas, capaces de adaptarse a los cambios del clima y a la vez que sean altamente productivas (Gabriel et al., 2009).

Hay al menos unas 15 especies diploides resistentes en los Andes que toleran las bajas temperaturas de  $-5^{\circ}\text{C}$  hasta  $-7^{\circ}\text{C}$  por 2 a 3 horas y que se pueden cruzar con las especies cultivadas como (*S. phureja*). Mientras que, Ochoa (2001) ha evidenciado la existencia de valiosas fuentes de resistencia a heladas en variedades cultivadas de *S. andigena*, *S. stenotomum*, *S. ajanhuiri*, *S. curtilobum* y *S. juzepczukii*. (Estrada 2000)

En la región Huancavelica se estima que existen más de 600 variedades de papa nativas cultivadas, de las cuales sólo 150 variedades se encuentran registradas, así como lo indica el catálogo de variedades de papa nativa de la región Huancavelica. (CIP, FEDECCH 2006)

Las papas nativas presentan características muy peculiares de forma, color y sabor debido a su diversidad genética, Esto ha permitido la revalorización y conservación genética de las papas nativas, siendo una excelente alternativa para los bancos de germoplasma (Bonierbale, 2002).

Dada la importancia de las heladas y de los efectos negativos que provocan en la producción de papa, se consideró necesario evaluar la respuesta a bajas temperaturas en variedades de papas nativas, bajo condiciones controladas, en las instalaciones de la Universidad para el Desarrollo Andino (Lircay-Huancavelica). Específicamente se buscó evaluar la respuesta fisiológica de dos plantas de papas nativas (tolerante y susceptible), analizando la tasa fotosintética, conductancia estomática y tasa de transpiración.

## CAPÍTULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción de la situación del problema

El cambio climático es un fenómeno complejo que representa uno de los grandes retos del siglo XX. Se puede definir como la variación global del clima de la tierra. Estos cambios se producen a diversas escalas sobre los parámetros climatológicos, tales como la precipitación, nubosidad, etc (MINAM, 2010).

La falta de seguridad alimentaria es una de las consecuencias del cambio climático, el cual se ve agravada en el Perú, por la escasez de suelo con aptitud agrícola, limitando el crecimiento y desarrollo de los cultivos reduciendo el rendimiento promedio. (MINAM, 2010). A consecuencia del cambio climático se observa las altas y bajas temperaturas que afectan los cultivos en general en las zonas rurales. El efecto de las bajas temperaturas conocidas como heladas son los más notables (MINAM, 2010) (SENAMHI, FAO, 2010). Generalmente, las heladas se presentan durante la madrugada entre las 2 y 4 de la mañana, es ahí donde las heladas pueden causar un efecto en el cultivo, produciendo hasta la muerte del mismo (SENAMHI, FAO, 2010).

El crecimiento y desarrollo de las plantas está estrechamente relacionados al medio ambiente. La radiación solar es un factor que

influye directamente en la fotosíntesis, al igual que el agua, minerales, CO<sub>2</sub>, y temperatura. A su vez, todos estos factores afectan el crecimiento, el transporte de nutrientes, la respiración, la transpiración y los procesos que están involucrados en la producción vegetal (Ortiz, 2006).

Los productores de papas nativas de Huancavelica vienen redoblando esfuerzos para mejorar los niveles de producción del tubérculo con distintas variedades. Como se sabe la superficie sembrada de papa en la región de Huancavelica, entre los meses de Agosto a Enero (2011-2012), es alrededor de 24,194 hectáreas siendo el 9.6% del total nacional y teniendo un pequeño decrecimiento de 0.1% con respecto a la campaña anterior. La producción al año 2011 fue de 271.4 mil toneladas, con un crecimiento de 59.1% con respecto al año 2010. Según estadísticas del Ministerio de Agricultura el rendimiento promedio actual es de 11,873 kg/ha, cifra muy inferior al promedio nacional que es aproximado de 16,184 kg/ha. Por ello se está promoviendo el consumo de papas nativas y buenas prácticas para incrementar su productividad (M.A, DGCA 2012).

## 1.2. Limitación de la investigación

**Obtención de las semillas:** Este fue la primera limitante, ya que era necesario contar con un especialista que certifique la identidad de las semillas de papas nativas con las que se inició el proyecto.

**Recursos bibliográficos:** El acceso a la información fue difícil, debido a que no existen muchos estudios relacionados al estrés de bajas temperaturas en papas nativas, sin embargo, el estrés hídrico (o sequía) reporta similares comportamientos a nivel fisiológico.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Se sabe que las heladas son un fenómeno natural, de difícil manejo cuando el cultivo está en pleno crecimiento, sin embargo, se ha investigado cuales son los efectos que causan en el rendimiento del cultivo de papa distintas intensidades de las heladas de acuerdo a los diferentes estados fenológicos. (Fairlier, et.al.,1995)

Perera y col.1995 mencionan que las bajas temperaturas produce efectos a diversos niveles del aparato fotosintético, promoviendo así el cierre estomático del cultivo, lo cual puede provenir del déficit hídrico por aumento de la concentración intercelular del CO<sub>2</sub> debido a la disminución de la tasa de asimilación y por los efectos directos de las bajas temperaturas en los estomas, en algunas ocasiones puede resultar difícil discriminar este tipo de estrés, sin embargo algunos fenómenos observados en el cultivo sometidos a las heladas parece ser un proceso exclusivo del tipo de estrés, un buen ejemplo es la fotoinactivación del fotosistema fenómeno que no se observa en condiciones de estrés hídrico. En plantas sensibles puede afectar severamente todos los componentes del aparato fotosintético incluyendo el transporte electrónico tilacoidal, el ciclo reducido del carbono y el control de la conductancia estomática (Allen y Ort. 2001).

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Cultivo de papa nativa (*Solanum tuberosum*)

La papa (*Solanum tuberosum.*), es una planta originaria de América, por lo que es posible encontrarla a través de gran parte del territorio donde la mayoría de los campesinos han tenido algún contacto con ella.

La adaptabilidad de la papa a diversas condiciones de temperatura fotoperiodismo, suelos entre otros y de producir desde los 80 o 90 días en adelante, han hecho que se estudie fuera de América y que hoy aparezca junto al trigo y maíz con mayor productividad (Spooner et al., 2005).

Actualmente, la subespecie *Solanum tuberosum.* Se cultiva en más de 130 países y en el año 2013 cubrió una superficie de 26.463 hectáreas a nivel Huancavelica. Así lo indica la tabla 1 (MINAGRI, 2013).

*Tabla 1: Superficie Sembrada Nacional (Ha)*

<b>Región</b>	<b>2011-2012</b>	<b>2012-2013</b>	<b>Var %</b>	<b>Part. %</b>
Puno	55,042	56,465	2.6%	17.4%
Huánuco	37,998	40,569	6.8%	12.5%
Cusco	34,666	35,567	2.6%	11.0%
Cajamarca	27,934	29,273	4.8%	9.0%
<b>Huancavelica</b>	<b>26,997</b>	<b>26,463</b>	<b>-2.0%</b>	<b>8.2%</b>
Junín	23,380	23,078	-1.3%	7.1%
Ayacucho	21,483	21,784	1.4%	6.7%

Pasco	8,781	9,136	4.0%	2.8%
Resto del país	28,767	26,470	-8.0%	8.2%
Total	319,574	323,705	1.3%	100%

Fuente:(MINAGRI, DGCA .2013)

Existen otras especies cultivadas: *S.goniocalyx*, *S. stenotomum*, *S. chaucha*, *S. phureja*, *S.curtilobum*, *S. juzepczukii* y *S. ajanhuiri*, que también son de origen andino. Representan diferentes hibridaciones con parientes silvestres o cultivados a lo largo de la evolución de la papa, en compleja relación con el hombre andino (CIP y FEDECH, 2006).

El departamento de Huancavelica se ubica en el centro sur de los Andes peruanos, fue un centro de temprana diversificación de la papa, aunque no existen documentos antiguos que se refieran específicamente al desarrollo del cultivo de la papa en Huancavelica. Sin embargo, los restos de papa encontrados en la cueva Tres Ventanas, en el valle de Chilca y en La Centinela (Ungent, 1988) textos antiguos (Taylor, 2003) y estudios lingüísticos de (Ballón Aguirre, 2002) evidencian la presencia muy temprana de este cultivo en la sierra central del Perú.

Durante milenios, el actual departamento de Huancavelica fue habitado por diferentes grupos humanos o etnias: Chavín (1200 - 500 AC), Wari (800 - 1200 DC), reinos locales como los Tayacajas, Anqaras, Astos, Chancas, Choclocochas,

Laramarcas y otros (1200 - 1470 DC), e Incas (1470 - 1536 DC). Pocas décadas después de la conquista española, Huancavelica, la capital del departamento, tuvo gran auge debido a la explotación del mercurio, que se producía en abundancia en la mina. (CIP y FEDECCH, 2006). En el Perú existen actualmente 8 especies de papa reconocidas por el centro internacional de la papa (CIP y FEDECCH, 2006). En este sentido, la región Huancavelica es privilegiada porque posee 7 de estas especies y un total aproximado de 600 variedades que presentan respuestas diferentes a las heladas; existen variedades muy tolerantes y muy susceptibles (CIP Y FEDECCH, 2006).

Las papas tolerantes a las heladas generalmente poseen un sabor amargo característico por el alto contenido de glicoalcaloide que lo hacen incomedibles, lo cual limita su valor comercial en fresco; por ello deben someterse los tubérculos al procesamiento para la elaboración del chuño. (Cárdenas, 1977). Sin embargo, en la región Huancavelica existe una rara variedad sin amargor que posee alta resistencia a heladas, se trata de Puka Puqya (*Solanum tuberosum sp. andigena*), (CIP Y FEDECCH, 2006).

### 2.2.2. Taxonomía

Las especies cultivadas de la papa están clasificadas dentro de la siguiente posición taxonómica según el Sistema de Huamán y Spooner (2002),

<b>Reino</b>	:	Plantae
<b>División</b>	:	Magnolophita.
<b>Clase</b>	:	Magnoliopsida.
<b>Subclase</b>	:	Asteridae.
<b>Orden</b>	:	Solanales
<b>Familia</b>	:	Solanáceas.
<b>Género</b>	:	Solanun
<b>Subgénero</b>	:	Pachistemonun
<b>Sección</b>	:	Petota.
<b>Subsección</b>	:	Potatoe
<b>Especies:</b>		8 especies cultivadas.

### 2.2.3. Fases fenológicas del cultivo de papa

La fase fenológica es el período durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas. También puede entenderse como el tiempo de una manifestación biológica. Una etapa fenológica está delimitada por dos fases fenológicas sucesivas. Dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos, que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado evento meteorológico, de manera que las oscilaciones en los valores de este evento se reflejan en el rendimiento del cultivo; estos periodos críticos se presentan generalmente poco antes o después de las fases, durante dos o tres semanas. El comienzo y fin de las fases y etapas sirven como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de las plantas.

**Emergencia:** Aparecen las primeras hojas sobre la superficie del suelo.

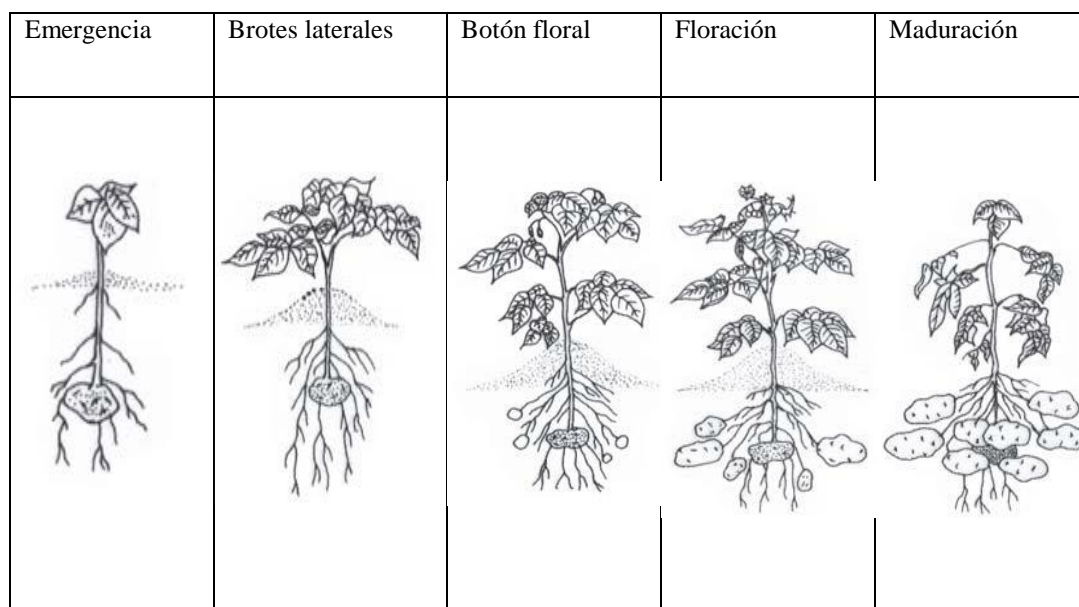
**Brotos laterales:** Los brotes que surgen desde el tallo principal son aéreos y subterráneos. Los primeros dan lugar a la formación del follaje de la planta y los segundos a rizomas, donde posteriormente engrosarán en la porción distal para la formación de tubérculos.

**Botón floral:** Aparecen los primeros botones florales.

**Floración:** Se abren las primeras flores.

**Maduración:** fase que se caracteriza por el cambio de color de la hoja (amarillento) o pérdida en su totalidad de hoja. Se puede comprobar que la papa está madura, al frotar con las yemas de los dedos y no pierde su cáscara. (SENAMHI, 2011)

*Figura 1. Fenología del cultivo de papa*

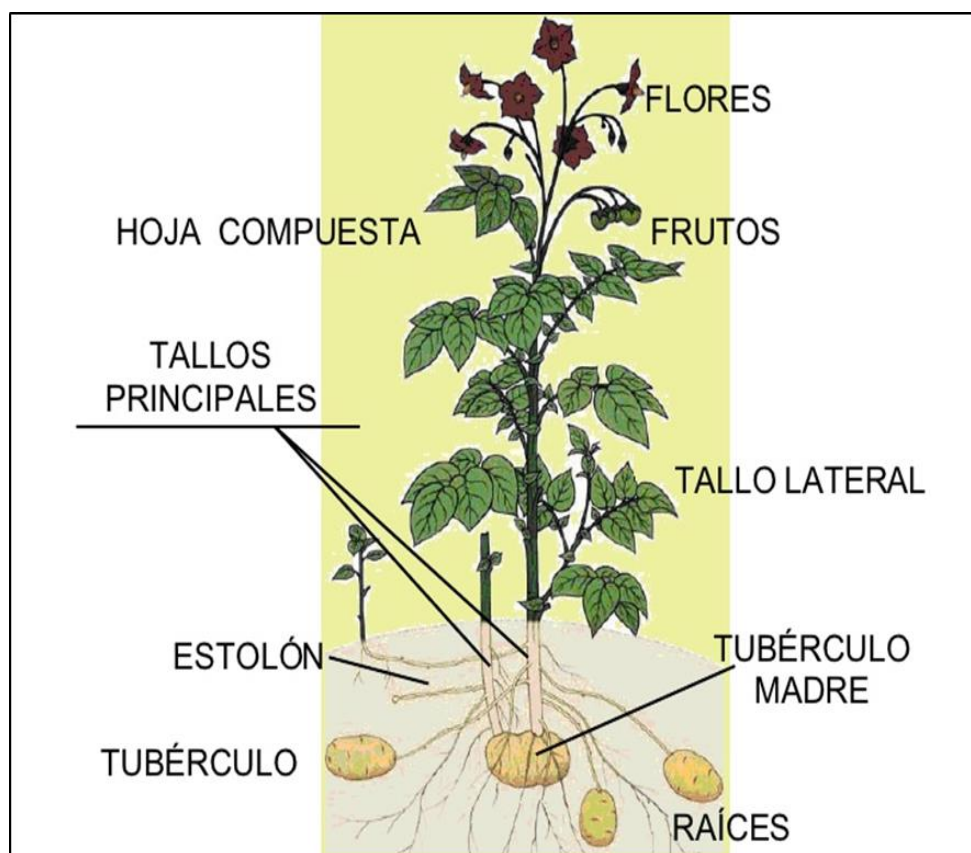


Fuente: SENAMHI 2011

#### 2.2.4. Características morfológicas

- a) **Las raíces.** Son fibrosas, muy ramificadas, finas y largas.
- b) **El tallo.** Es grueso, fuerte al principio erguido y con el tiempo se extiende al suelo, puede alcanzar una altura 60 y 1m, esto depende de la variedad. Presenta un color verde pardo debido a los pigmentos antocianicos asociados a la clorofila. Los rizomas son tallos subterráneos con raíz advenediza que producen unos hinchamientos ovals o redondeados denominados tubérculos.

- c) **Los tubérculos.** Son los órganos comestibles de la papa. Están formados por tejidos parenquimatosos, donde se acumulan las reservas de almidón. En las axilares de los tubérculos se sitúan las yemas de crecimientos llamados “ojos” dispuestas en espiral sobre la superficie del tubérculo y de las cuales se puede originar un tallo.
- d) **Las hojas.** Son compuestas y con folíolos primarios e intercalares. La nerviación de los folíolos es reticulada.
- e) **Las inflorescencias.** Están situadas en la extremidad del tallo y sostenidas por un escapo floral. Es una planta autógama, siendo su andro esterilidad muy frecuente, a causa del aborto de los estambres o del polen según las condiciones climáticas.
- f) **Las flores.** Tienen la corola gamopétala rotada y de acuerdo a la variedad pueden ser color blanco, rosado o violeta.
- g) **Los frutos.** Son bayas redondeadas de color verde con un diámetro de 1 a 3cm, que se tornan amarillos al madurar (Gonez, 2000).

**FIGURA 2: Morfología del cultivo de papa**

Fuente: Centro Internacional de la Papa (CIP, 2013).

## 2.2.5. Manejo del cultivo

### 2.2.5.1. Preparación del terreno

Se requiere una adecuada preparación de la tierra para asegurar una buena producción y facilitar la cosecha. Esta consta de arado, rastra, y surcado.

Esta práctica varía de acuerdo a la clase de terreno que se tiene, la forma topográfica, y el cultivo anterior que se ha tenido, requiere

de una adecuada preparación que se consigue con el arado profundo que es de 25 a 30 cm.(Andrade,1991).

El surcado depende de la variedad y la pendiente del terreno. Las variedades nativas requieren de surcos más anchos por su hábito de tuberización un tanto de la planta.

## **2.2.6. Condiciones agroclimáticas**

### **2.2.6.1. Clima**

La papa se cultiva en más de 150 países, en clima templado, subtropical y tropical. Es esencialmente un “cultivo de clima templado”, para cuya producción la temperatura representa el límite principal: las temperaturas inferiores a 10° C y superiores a 30° C inhiben decididamente el desarrollo del tubérculo, mientras que la mejor producción ocurre donde la temperatura diaria se mantiene en promedio de 18° a 20° C.

Por ese motivo la papa se siembra a principios de la primavera en las zonas templadas y a fines del invierno en las regiones más cálidas, y en los lugares de clima tropical caliente se cultiva durante los meses más frescos del año. En algunas tierras altas subtropicales, las temperaturas benignas y la elevada radiación solar permiten a los agricultores cultivar la papa todo el año, y cosechar los tubérculos a los 90 días de

haberlos sembrado (en climas más fríos, como en el norte de Europa, pueden ser necesarios hasta 150 días)

La papa es una planta que tiene una gran capacidad de adaptación y crece bien sin que el suelo ni las condiciones de cultivo sean ideales. Sin embargo, también es víctima de una serie de plagas y enfermedades. Para prevenir la acumulación de patógenos en el suelo los agricultores evitan cultivar papas en las mismas tierras todos los años. En cambio, rotan los cultivos en ciclos de tres o más años, alternando por ejemplo con maíz, frijoles, habas, arvejas y alfalfa. Se evita producir otros cultivos vulnerables a los mismos patógenos de la papa como el tomate a fin de interrumpir el ciclo de desarrollo de las plagas. Las condiciones de cultivo varían de una variedad a otra, pero por lo general prefiere suelos ricos en materia orgánica, sueltos y francos arenosos. A continuación, se brindan precisiones sobre las necesidades o requerimientos del cultivo de papa. (MINAGRI, 2013).

#### **2.2.6.2. Fotoperiodo**

Con respecto a la respuesta de la longitud del día o fotoperiodo, la misma depende de la subespecie y variedad considerada. La subespecie *tuberosum* requiere para desarrollar su área foliar de fotoperiodo largo (más de 14 horas de luz) y en su proceso de tuberización (formación y

engrosamiento de los tubérculos), de fotoperiodo corto (menor de 14 horas de luz).

Bajo condiciones de día corto (latitudes cercanas a la línea ecuatorial) las plantas de tuberosum muestran una tuberización temprana, los estolones son cortos y el follaje permanece reducido. Bajo condiciones de día largo (sobre 25° de latitud norte o sur) ocurre lo contrario.

La subespecie indígena, por el contrario, tuberiza adecuadamente bajo condiciones de día corto y al ser llevada a condiciones de fotoperiodo largo el periodo de crecimiento se alarga excesivamente, florece profusamente, pero no tuberiza o lo hace escasamente, es decir, produce tubérculos pequeños. (MINAGRI, 2013.)

#### **2.2.6.3. Luz**

La intercepción de luz por el cultivo depende de la intensidad lumínica, de la arquitectura del follaje (planófila o erectófila), de la edad de las hojas y del porcentaje de suelo cubierto por el follaje. El proceso fotosintético se efectúa cuando los rayos de sol incidan sobre la totalidad de las hojas verdes y no sobre el suelo desnudo. La asimilación bruta de la papa en un día luminoso pleno (50.000 lux) a 18-20 °C es de 1,92 g CO<sub>2</sub> por

m<sup>2</sup> de área foliar por hora, con una concentración de 0.03 % de CO<sub>2</sub>

Esto equivale a un rendimiento neto potencial de 1.23 gr de materia seca. Hojas más viejas fotosintetizan menos que las muy jóvenes. En los cultivos con baja densidad de plantación (menos de 35,000 plantas/ha) no se produce competencia entre plantas, pero parte de la luz se pierde porque no toda el área de suelo está cubierta de follaje. Ello estimula a una mayor producción por planta y a un mayor tamaño de sus tubérculos, pero el rendimiento por unidad de superficie será inferior a aquel que presenta una densidad superior. (MINAGRI, 2013).

#### **2.2.6.4. Temperatura**

El tubérculo en latencia, inicia su brotación y emergencia en forma lenta a 5 °C y se maximiza a los 14-16 °C.

Esto es importante al considerar la época de plantación ya que esta se debe iniciar cuando la temperatura del suelo haya alcanzado por lo menos 7-8 °C. La respuesta fotoquímica a la temperatura tiene estrecha relación con la intensidad lumínica. Así, cuando esta última es alta (sobre 50.000 lux) la fotosíntesis neta se optimiza en altas temperaturas.

Se debe evitar sembrar este cultivo en zonas muy expuestas al viento, principalmente a las brisas, las cuales, además de su efecto desecante, provocan heridas en el follaje y poco crecimiento de las plantas.

Velocidades del viento mayores a 20 m/seg son críticas. (MINAGRI, 2013).

#### **2.2.6.5. Suelo**

Los suelos pesados con arcilla y limo, son menos adecuados para este cultivo. Las papas pueden crecer casi en todos los tipos de suelos, salvo donde son muy salinos o alcalinos. Los suelos que ofrecen menos resistencia al desarrollo de los tubérculos, son los más convenientes, y los suelos franco arcillosos o franco arenosos con alto contenido de materia orgánica, con buen drenaje y ventilación, son los mejores. Se considera ideal un pH de 5,2 a 7.5 en el suelo y con una profundidad entre 25 y 30 cm.

El cultivo de papa requiere una buena preparación del suelo. Donde se pueda mecanizar, es necesario rastrillar el suelo hasta eliminar todas las raíces de la maleza hasta una profundidad de por lo menos 40 cm. Por lo general es necesario arar dos veces, pasar la rastra en forma cruzada y si es necesario aplicar el rodillo o desmenuzador, para que el

suelo adquiera la condición adecuada: suave, bien drenado y bien ventilado. En algunos casos, se puede usar el tablón o nivelador. (MINAGRI, 2013).

#### **2.2.6.6. Agua**

Un cultivo de papa de 120 a 150 días consume de 500 a 700 mm de agua por planta por campaña y la producción se reduce si se agota más del 50 % del total del agua disponible en el suelo durante el período de crecimiento.

Las variedades modernas de papa son sensibles a la falta de agua en el suelo y necesitan riegos frecuentes.

El exceso de agua en el suelo, provoca una falta de oxígeno, un desarrollo pobre de las raíces, la pudrición de los tubérculos recién formados, máximo si se siembran y tapan estando húmedos.

La papa puede cultivarse tanto bajo condiciones de lluvia natural, como bajo riego, pero un exceso de la humedad ambiental alta favorece el desarrollo de la enfermedad conocida como tizón tardío. La etapa más crítica en que la deficiencia de humedad en el suelo perjudica el cultivo, es al inicio de la formación de tubérculos hasta el final de la tuberización.

La excesiva variación de la humedad del suelo afecta la calidad de los tubérculos. Además, después de una sequía prolongada, el agua puede causar un segundo crecimiento de las plantas y presencia de “corazón vacío”.

Los métodos más comunes de riego para la papa utilizan sistemas de surcos o aspersión. La irrigación de surcos es relativamente poco eficaz en el uso del agua, y es conveniente cuando hay un suministro abundante de la misma. Donde hay escasez de agua es preferible la irrigación por aspersión o por goteo, sobre todo en suelos con poca capacidad de retención.

El cultivo de la papa bajo condiciones de riego a gravedad consume entre 12,000 y 14,000 m<sup>3</sup> en los valles costeros. (MINAGRI, 2013).

### **2.2.7. Preparación y desinfección de la semilla**

El tubérculo destinado a la siembra debe estar con brotes, es recomendable que el tubérculo contenga muchos brotes cortos y vigorosos. Las semillas deben estar libre de patógenos (Lindao, 1991).

#### **2.2.7.1. Siembra**

La siembra generalmente se realiza por surcos, colocando el tubérculo dentro del surco a una distancia previamente establecida, tapar los brotes con una capa

de tierra para evitar que se quemem. El tape es un albor que puede realizarse con azadón (Andrade, 1991).

#### **2.2.7.2. Distanciamiento**

Distanciamiento entre surcos: 100 cm época de lluvia

Distanciamiento entre semillas: 35 a 40 cm en ambos casos.

Profundidad de siembra: 15 a 20 cm. (Diaconía, 2011).

#### **2.2.7.3. Abonamiento**

Son importantes porque mejoran las características del suelo, crean condiciones para el desarrollo de microorganismos benéficos, favorecen el crecimiento de raíces y contribuyen en la retención del agua y nutrientes.

Los abonos deben utilizarse una vez descompuestos y, si fuera posible emplearlos una vez descompuesto en forma de compost.

#### **2.2.8. Labores agronómicas y culturales**

Atención oportuna al cultivo cuando la planta lo requiere todo depende de las evaluaciones constantes en el campo y las condiciones ambientales de la zona.

➤ Controles fitosanitarios para insectos y enfermedades.

- Nutrición vegetal.
- Incorporación de ácido húmico al 100% emergencia.
- Riegos.
- Deshierbo.
- Aporques.
- Evaluación de post cosecha.
- Corte de follaje.
- Cosecha.
- Empaque de papa comercial en chacra, clasificación por categorías para mercado y otros.
- La secuencia de labores culturales o agronómicas en el cultivo de la papa.

#### **2.2.8.1. Cultivo y deshierbo**

Es la actividad de remoción del suelo alrededor de la planta para aflojar costras endurecidas, con la finalidad de eliminar malezas especialmente alrededor de la planta (en la línea de siembra) o para corregir un probable mal tapado de las semillas.

Es necesaria la eliminación de las malezas en estadios tempranos para evitar la competencia con las plantas por nutrientes y otros factores que influyan en su crecimiento, las malezas se eliminan manualmente durante el cultivo. (UNALM, AGROBANCO, 2011).

### **2.2.8.2. Aporque**

Es el traslado de tierra al cuello de las plantas de papa. En muchos lugares de la sierra se denomina segundo cultivo. El aporque eleva la altura de los camellones, profundiza el surco de riego y aísla las raíces, estolones y tubérculos de las plagas que proceden del exterior.

**1. Oportunidad del aporque:** Se realiza cuando las plantas alcanzan entre 25 y 30 cm de altura. La oportunidad del aporque es muy dependiente de las condiciones de lluvia (muchas veces debe aprovecharse un periodo de “escampe” en el que hay ausencia de lluvia y el suelo se encuentra con humedad apropiada).

**2. Objetivos del aporque:** Los objetivos del aporque son principalmente de carácter sanitario porque se procura alcanzar los siguientes resultados:

- Aislar los tubérculos del daño de “gusaneras” (gorgojo de los andes, polillas, gusanos de tierra, etc.)
- Aislar los tubérculos para reducir el daño de ranca que se traslada desde el follaje.

- Aislar los tubérculos de los excesos de agua de lluvia.
- Aislar los tubérculos del daño de pudriciones causadas por bacterias.
- Cubrir de tierra los tubérculos para reducir el verde amiento.
- Cubrir con tierra la segunda mitad de la dosis de fertilización nitrogenada.
- Reducir la densidad de malezas.

El aporque debe ser más cuidadoso o debe hacerse doble aporque cuando las condiciones son muy favorables sobre todo a la ranca y a la incidencia de gorgojo de los andes.

No es deseable realizar el aporque cuando el suelo está muy húmedo porque se compacta o produce terrones; tampoco es recomendable aporcar cuando las plantas tienen más de 35 cm porque se produce daños (heridas) a las plantas y a la zona subterránea que se convierten en vías de ingreso de enfermedades. (UNALM, AGROBANCO, 2011).

### 2.2.8.3. Fertilización

Son las fuentes sintéticas de nutrientes. Los fertilizantes de mayor importancia por mayor requerimiento son el Nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) conocidos como NPK.

Los fertilizantes son simples cuando aportan un solo elemento o nutriente y compuestos cuando aportan más de un nutriente.

- El Nitrógeno es necesario para el buen desarrollo de la planta.
- El Fósforo es necesario para el buen desarrollo de raíces.
- El Potasio es necesario para una buena calidad de los tubérculos.

Una buena producción de papa requiere el uso combinado de abonos y fertilizantes.

Las características de fertilidad de los suelos determinan la dosis de fertilización NPK. Las dosis más empleadas en el cultivo de papa varían dentro de rangos que se muestran:

Rangos de dosis NPK recomendados

- Nitrógeno (180 – 200 kg / ha)

➤ Fósforo (140 – 200 kg / ha)

➤ Potasio (120 – 160 kg / ha)

La oportunidad de aplicación de los abonos y fertilizantes ya mencionados, acuerdo con este y con el objetivo de mejorar la eficiencia de su uso, se hacen las siguientes recomendaciones:

➤ Las fuentes orgánicas pueden aplicarse en cobertura total antes de la aradura.

➤ Los fertilizantes fosfatados y potásicos pueden aplicarse antes de la aradura cuando se hace fertilización de mantenimiento.

➤ Los fertilizantes nitrogenados por ser de rápida solubilidad se recomiendan aplicarse en forma fraccionada (un tercio o la mitad a la siembra y los dos tercios y la segunda mitad en el aporque).

➤ Debe evitarse el contacto directo de los fertilizantes con las semillas para evitar el “quemado” o daño a los brotes de la semilla.

(UNALM, AGROBANCO, 2011.)

## **2.2.9. Manejo integrado del cultivo de la papa**

### **2.2.9.1. Riegos**

El trabajo de aplicación de agua al cultivo de papa (riego) es de mucha importancia porque el rendimiento del cultivo esta directa y positivamente relacionado con la cantidad total de agua aplicada por campaña. Es decir, si se dispone de buen drenaje y es posible controlar las enfermedades causadas por hongos y bacterias, “a más agua, mayor rendimiento”.

La planta de papa es muy sensible tanto a la falta (déficit) como al exceso de agua. El exceso puede ser contra restado de diferentes formas, pero las pérdidas que causa la deficiencia de agua son más comunes y notorias.

En el sistema de producción en secano, los cultivos de papa de mejor rendimiento son aquellos que reciben por lo menos 600 mm de precipitación (lluvia). Si en una zona de producción la cantidad de lluvia es menor a la cifra indicada, es necesario utilizar una variedad precoz o agotar cualquier posibilidad para mejorar la infraestructura de riego.

Los riegos deben ser ligeros y frecuentes antes que distanciados y pesados.

La cantidad de agua requerida por el cultivo está en función de las condiciones que se muestran en el cuadro 03, pero, en

general, es mayor a medida que crece la planta y es más indispensable durante el periodo de tuberización. (UNALM, AGROBANCO, 2011).

## **2.2.10. Principales plagas y enfermedades**

### **2.2.10.1. Plagas del cultivo de papa**

#### **a) Gusano blanco de la papa o gorgojo de los andes**

Agente causal: *Premnotrypes spp.*

#### **b) Daños**

**Hojas:** Daños en forma de media luna producido por adultos de gorgojo.

**Tubérculos:** Larvas producen galerías profundas, al salir producen agujeros circulares característicos

#### **c) Condiciones favorables para la plaga**

Campos infestados y rara vez en semilla infestada.

#### **d) Fase de cultivo que afecta**

Desde la emergencia hasta la cosecha.

#### **e) Infestación**

Migración desde campos infestados y rara vez en semilla.

#### f) Manejo

Eliminación de tubérculos infestados a la cosecha, eliminación de rastrojos del cultivo anterior y malezas, araduras profundas, uso de semilla sana, uso de variedad precoz, siembras tempranas, barreras de plástico y barreras vivas, zanjas en el contorno del terreno, rotación de cultivos, evitar monocultivo de papa, uso adecuado de insecticidas, uso de plantas trampas, uso de trampas de refugio, aporques altos, colección de gorgojos adultos, cosecha oportuna, uso de mantas en la cosecha, selección de tubérculos y control biológico. (CIP, FAO, 2011).

#### g) Polilla de la papa

**Agente causal:** *Phthorimaea operculella*,  
*Symmetrichema tangolias* y *Tecia solanivora*

##### • Daños

**Hojas:** Minado de hojas (solo *P. operculella*).

**Tallos:** Larvas ingresan por axilas causando la caída de hojas, barrenan tallos.

**Tubérculos:** Larvas hacen galerías irregulares.

##### • Condiciones favorables para la plaga

Campos infestados, semilla infestada, climas cálidos y secos.

Temperaturas mayores de 20°C favorecen el desarrollo del insecto.

- **Fase de cultivo que afecta**

Desde la semilla, desarrollo vegetativo hasta cosecha inclusive almacén.

- **Infestación**

A través de semillas infestadas

- **Manejo**

Eliminación de rastrojos del cultivo anterior y malezas, araduras profundas, uso de semilla sana, profundidad adecuada de sembrado (no superficial), aporques altos y oportunos, uso de insecticidas, uso de trampas con feromonas, cosecha oportuna y selección de tubérculos, uso de plantas repelentes, báculo virus y talco Bt (si existe en el mercado local) y almacenamiento a luz difusa. (CIP, FAO, 2011).

## h) TRIPS

**Agente causal:** *Frankliniella spp.*

- **Daños**

Las hojas presentan manchas plateadas. En ataques severos ocasionan el secado y muerte de las plantas. Presencia del insecto en el envés de las hojas succionando la savia de las plantas. Los trips pueden transmitir el virus Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV).

- **Condiciones favorables para la plaga**

Climas cálidos y secos especialmente en ausencia de lluvias, presencia de malezas y hospedantes alternos infestados con trips. Campos de papa aledaños infestados.

- **Fase de cultivo que afecta**

Desarrollo vegetativo.

- **Infestación**

Proviene de campos de papa aledaños infestados.

- **Manejo**

Uso de semilla libre de virus, eliminación de rastrojos, plantas voluntarias y malezas,

eliminación de plantas con síntomas de virus, época de siembra adecuada para no coincidir con las épocas de mayor cantidad de trips, uso adecuado de insecticidas. (CIP, FAO, 2011).

**i) Pulguilla piqui piqui o mosca saltona**

**Agente causal:** Epitrix spp.

**• Daños**

Ocasionan perforaciones en todo el follaje.

**• Condiciones favorables para la plaga**

Climas cálidos y secos especialmente en ausencia de la lluvia.

**• Fases del cultivo que afecta**

Desarrollo vegetativo.

**• Infestaciones**

Proviene de campos de papa aledaños infestados y del mismo campo de cultivo con infestación previa.

**• Manejo**

Rotación de cultivos, adecuada fertilización de plantas especialmente nitrogenada, adecuado

riego, uso de trampas amarillas, uso adecuado de insecticidas. (CIP, FAO, 2011).

#### **j) Kikuyo o grama**

**Agente causal:** *Pennisetum clandestinum*

- **Daños**

Compiten por la luz, el agua y los nutrientes con nuestro cultivo de papa y pueden actuar como hospedantes de otras plagas.

- **Condiciones favorables para la plaga**

Campos infestados, introducción de semilla en materia orgánica o residuos de suelo de campos infestados.

- **Fase de cultivo que afecta**

Desde emergencia y todo el desarrollo vegetativo.

- **Infestación**

Semilla de la maleza y/o esquejes.

- **Manejo**

Rotación de cultivos, preparación del terreno, uso de variedades competitivas, distanciamiento

adecuado de siembra, cobertura viva de cultivos, manejo de riego, deshierbo en forma manual o con herramientas, labores de cultivo oportunas, uso adecuado de herbicidas. (CIP, FAO, 2011).

### 2.2.10.2. Enfermedades del cultivo de papa

#### 1) Tizón tardío, rancha, lancha

**Agente causal:** *Phytophthora infestans*

- **Síntomas**

**Hojas:** Manchas necróticas de color marrón claro a oscuro.

**Tallos:** Manchas alargadas que los hacen quebradizos.

**Tubérculos:** Manchas irregulares de color marrón rojizo y de apariencia húmeda en la superficie de los tubérculos. Al corte longitudinal se observan estrías necróticas que van de la superficie al centro del tubérculo.

- **Signo**

Presencia de pelusilla blanquecina en el envés de las hojas.

- **Condiciones favorables para la plaga**

Días templados (temperaturas entre 15 – 21°C y alta humedad relativa (mayor de 90%), cultivo de variedad susceptible.

- **Fase de cultivo que afecta**

Desde la emergencia hasta después de floración.

- **Transmisión**

Principalmente por semilla infectada. Infecciones secundarias se producen a través de tejidos foliares infectados.

- **Manejo**

Adelanto de época de siembra, eliminación de rastrojos del cultivo anterior y malezas, uso de semilla sana, uso de variedad resistente, evitar exceso de fertilización nitrogenada, distanciamientos adecuados entre plantas y entre surcos, aporques altos, alternancia de fungicidas (sistémico - contacto), corte de follaje antes de la cosecha, cosecha oportuna, selección de tubérculos, almacenamiento adecuado. (CIP, FAO, 2011).

## 2) ALTERNARIOSIS, ALTERNARIA, TIZÓN TEMPRANO

**Agente causal:** *Alternaria solani*, *A. brassicae*, *A. dauci*  
*f. sp. Solani*, *A. tenuis* y *A. tenuissima*

- **Síntomas**

**Hojas:** Manchas necróticas en las hojas de color marrón claro a oscuro con anillos concéntricos, manchas restringidas por las nervaduras.

**Tallos:** Manchas necróticas.

**Tubérculos:** Manchas circulares o irregulares de color marrón oscuro, ligeramente hundidas.

- **Condiciones favorables para la plaga**

Días calurosos, alternancia entre días lluviosos y secos, variedades precoces.

- **Fase de cultivo que afecta**

Generalmente antes de floración hasta la madurez de la planta.

- **Transmisión**

Semilla infectada, rastrojos de plantas afectadas.

- **Manejo**

Eliminación de rastrojos del cultivo anterior y malezas, uso de semilla sana, uso de variedad resistente (generalmente tardías), uso de fungicidas (contacto - sistémico), corte de follaje antes de la cosecha, elección de tubérculos y cosecha oportuna. (CIP, FAO, 2011).

### 3) RIZOCTONIASIS

**Agente causal:** Rhizoctonia solani

- **Síntomas**

**Brotos:** Lesiones necróticas que estrangulan la planta.

**Plantas:** Necrosis en las raíces, chancros en los tallos, tubérculos aéreos y chancros en los estolones.

**Tubérculos:** Costras en la superficie.

- **Condiciones favorables para la plaga**

Campos infestados o semilla infectada, exceso de humedad en el suelo y temperaturas de 18°C aproximadamente.

- **Fase de cultivo que afecta**

En la germinación y emergencia de las plantas, así como durante la formación de tubérculos.

- **Transmisión**

Semilla infectada, suelo infestado.

- **Manejo**

Eliminación de rastrojos del cultivo anterior y malezas, rotación de cultivos, uso de semilla sana, tratamiento de semilla con fungicidas, corte de follaje antes de la cosecha, cosecha oportuna y selección de tubérculos. (CIP, FAO, 2011).

### **2.2.11. Cosecha**

El escarbo o cosecha es la actividad de extracción de los tubérculos. La modalidad de cosecha (mecanizada, con yunta o manualmente) son las más empleadas y la eficiencia de cada una de ellas está determinada por la velocidad de extracción y el porcentaje de tubérculos que se quedan bajo tierra. (UNALM, AGROBANCO, 2011).

### **2.2.12. Madurez**

La cosecha se realiza cuando la planta está madura, cuando no muestra hojas verdes y, sobre todo cuando los tubérculos están maduros (piel firmemente adherida a la pulpa).

Tamaño de tubérculos: Se cosecha cuando los tubérculos han alcanzado el tamaño deseable para su comercialización. En este caso la cosecha adelantada se realiza cuando se desea obtener tubérculos semilla. (UNALM, AGROBANCO, 2011).

### **2.2.13. Estrés**

En biología, el estrés se entiende como un factor externo que afecta negativamente a un organismo. Por lo tanto, la definición biofísica involucra a la fuerza ejercida sobre un objeto en relación con el área sobre la cual se aplica.

El estrés en el marco de la fisiología vegetal refleja la magnitud de presión ambiental que fuerza al cambio en la fisiología de una planta (Nilsen y Orcutt, 1996). Levitt (1980) definió al estrés como cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos. Lambers et al., (1998) definen al estrés como cualquier factor ambiental biótico o abiótico que reduce la tasa de algún proceso fisiológico (por ejemplo, crecimiento o fotosíntesis) por debajo de la tasa máxima que podría alcanzar.

Una planta que crece en condiciones óptimas se halla en situación de estrés cero. Esta situación implica que todos los factores (luz, nutrientes, agua, temperatura, oxígeno, etc.) están en su punto óptimo. Sin embargo, esta situación es improbable en las condiciones que crecen las plantas.

### **2.2.14. Tipos de estrés**

Existen variadas clasificaciones de estrés, según Azcón-Bieto y Talón (2008) existen dos tipos de estrés: biótico y abiótico.

#### **2.2.14.1. Estrés biótico**

El estrés biótico es causado por la acción de otros seres vivos, como animales, microorganismos y otros agentes fitopatógenos. Por ejemplo, entre los problemas bióticos el más importante para el cultivo de la papa es la “ranchar o tizón tardío” causada por *P. infestans* y ocasionada por el incremento de precipitación y temperatura ambiental, produciendo mayor presión de la enfermedad y fácil diseminación por los factores ambientales que favorecen su desarrollo.

#### **3.2.15.2. Estrés abiótico:**

Por otro lado, en el caso del estrés abiótico, se debe mencionar principalmente los problemas de sequía y heladas, los cuales son los principales tipos de estrés que causan efectos adversos en el crecimiento y productividad de los cultivos.

Estrés por sequía o estrés hídrico, es definido como la falta o déficit en el suministro de agua. Por ejemplo, se origina cuando la cantidad de precipitación está por debajo de los niveles normales (Wilhite D., 2007).

El estrés por heladas, se da cuando las temperaturas disminuyen bajo cero grados, teniendo como

consecuencias, la disminución de la conductancia hidráulica, alteraciones en el grado de control estomático, entre otros. Cabe señalar que estos daños varían según las especies del cultivo. (Wilhite D., 2007).

#### **2.2.15 Las heladas**

Son fenómenos atmosféricos que se presenta cuando la temperatura del aire existente en las cercanías del suelo, desciende por debajo de cero grados. Casi siempre las heladas se presentan en las madrugadas entre las 2 y 4 de la mañana o, cuando sale el sol.

Desde el punto de vista agrícola, el concepto helada admite una interpretación más biológica, pudiendo considerar como tal, a los descensos térmicos capaces de causar daños a los tejidos vegetales, las cuales varían según la especie, variedad, estado fisiológico, sanitario y edad de la planta (Monteros, 2000).

#### **2.2.16. Las heladas en los tubérculos**

Las papas de mayor altura presentan mayor resistencia natural a las heladas, por ejemplo, la variedad Yungay resiste mejor que la Canchan.

Las papas nativas, entre ellas la Huayro, Amarilla, Peruanita. etc. Son afectadas, pero mostraron mayor resistencia a la helada que las otras variedades. (MINAGRI, PRONAMACHSC, 2007).

### **2.2.17. Efectos de las heladas en los cultivos**

Las condiciones ambientales son percibidas por los distintos órganos de la planta y esta información se transmite internamente mediante la modulación de la síntesis de señales, fundamentalmente hormonas, que activan las respuestas de desarrollo y crecimiento vegetativo (Talon, et al, 1991). Las respuestas de las plantas dependen del género y del estado de desarrollo del mismo momento del estrés, de la duración y la severidad del mismo y de los factores ambientales que la provoquen. Una vez activadas estas respuestas, el crecimiento propiamente dicho, se verá limitado por el aporte de nutrientes, elemento minerales y carbohidratos (Gillapsy et al, 1993). La planta es capaz de, si las condiciones ambientales se vuelven desfavorables, reprimir las respuestas de crecimiento (incluso después de haberse iniciado el periodo de desarrollo) y desencadenar mecanismos de protección y defensa que abortan el desarrollo y asegura la supervivencia de la planta bajo condiciones ambientales adversas.

La primera respuesta de las plantas durante el estrés térmico es el cierre de las estomas para evitar las perdidas por transpiración (Mansfield et al, 1990). El cierre estomático produce un descenso de la concentración de CO<sub>2</sub> disponible en las hojas y, como consecuencia, un descenso en la tasa fotosintética.

La exposición a las heladas produce la formación de cristales de hielo en las hojas, principalmente en la parte intercelular, causando una

deshidratación en la célula de la planta. A nivel celular esto se traduce en una pérdida de turgencia en el interior de la célula. La falta de agua produce alteraciones en la fluidez y composición de la bicapa lipídica que reducen su capacidad de intercambio con el exterior.

Según Chanta et al., (2015), cuando la temperatura baja de un punto crítico, se produce daños en la membrana que alteran su funcionalidad, produciendo principalmente: formación de grietas, aumento de permeabilidad y alteraciones en la actividad enzimática. Un descenso de temperatura no permite una adaptación de la composición lipídica de las membranas, haciéndose más cristalinas y menos fluidas, influyendo en la actividad de las proteínas, alterando su estructura e inhibiendo el transporte de soluto dentro y fuera de la célula, así como la inhibición del metabolismo en general.

Es un hecho ampliamente establecido que la tasa fotosintética decrece con progresivas disminuciones del RWC (contenido relativo del agua) y el potencial hídrico. Como fue mencionado anteriormente, el cierre estomático inducido por el estrés térmico refleja una disminución de la conductancia estomática (Lawlor 2002). Además, no debe olvidarse el efecto del estrés térmico sobre el crecimiento, el cual conduce a una disminución del área foliar del dosel vegetal (Pasadura 1994) y, por ende, de la capacidad total de asimilación por parte del cultivo.

### **2.2.18. Efecto de las bajas temperaturas en la fotosíntesis.**

La fotosíntesis es uno de los procesos más importantes que controlar en crecimiento y la producción de los cultivos, en la cual el  $\text{CO}_2$  es asimilado por las plantas en presencia de la luz, agua, minerales para formar los carbohidratos simples y en el proceso es liberado el oxígeno (Taiz y Zeiger, 2006). Además, es uno de los principales procesos relacionados con absorción y asimilación del nitrógeno, debido a que muchas proteínas y enzimas están involucradas en el proceso fotosintético. (Evans, 1989). En este sentido algunas plantas son más eficientes que otras para la producción de materia seca de la planta.

Como la respiración consume parte de los productos de la fotosíntesis, la medida más importante no es la fotosíntesis bruta sino la diferencia entre fotosíntesis neta, que se define como la velocidad de acumulación de la biomasa por unidad de superficie y por unidad de tiempo. (Taiz y Zeiger, 2006.).

El estrés por bajas temperaturas produce efectos a diversos niveles del aparato fotosintético. En primer lugar, promueve el cierre estomático, lo cual puede provenir de la existencia de déficit hídrico por aumento del carbono interno, debido a la disminución de la tasa de asimilación. (Allen y Ort, 2001).

La disminución de la tasa de fotosíntesis neta o absorción neta de  $\text{CO}_2$  puede ser por una caída de la concentración de  $\text{CO}_2$  por el cierre estomático y una reducción de la conductancia estomática (Jarvis, 1971).

El  $\text{CO}_2$  penetra desde la atmósfera a través de las estomas a los lugares de carbonización. Este ingreso se puede dividir en dos fases.

Fase gaseosa: Es la transferencia del  $\text{CO}_2$  molecular, desde el exterior de la hoja hacia los espacios intercelulares.

Fase líquida consiste en la transferencia de bicarbonato y  $\text{CO}_2$  molecular disuelto desde los espacios intercelulares hasta los lugares de carbonización. (Longthegh et al. 1980).

#### **2.2.19. Efecto de las bajas temperaturas en la tasa de transpiración.**

La transpiración es un proceso de evaporación o pérdida de agua en forma de vapor por las plantas, desde un tejido vivo hacia el exterior. Tal fenómeno puede tener lugar en cualquier parte del vegetal que este expuesta al aire, pero son las hojas los órganos que lo realizan con mayor intensidad la transpiración. Las vías de transpiración en la planta son:

Transpiración estomática: por las estomas, es una vía controlable por la planta y representa el 90% del total de agua perdida

Transpiración cuticular: por la cutícula esta vía no es controlada por la planta y representa no más el 10% pero adquieren fundamental importancia cuando las estomas se encuentran cerrados. (Gil, 1995).

La transpiración es regulada por las estomas, los cuales se cierran cuando hay un déficit apreciable de agua en la planta y constituyen la vía más importante para el intercambio gaseoso entre el mesofiló y la atmósfera (Gil, 1995).

La transpiración ocurre por medio de las estomas que son células epidermales modificadas, rodeadas por otras células denominadas célula oclusiva que al aumentar o disminuir su volumen modifica el grado de apertura del poro u ostiolo de las estomas, y con esto la tasa de pérdida de agua en forma de vapor. Las estomas pueden ser consideradas como válvulas dirigidas hidráulicamente que operan en la parte aérea de las plantas. (Roelfsema et al. 2005)

Las estomas desempeñan un rol esencial en el control de la pérdida de agua transpiración, pero, además, son la vía de ingreso de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis. (Damour et al., 2010).

#### **2.2.20. Efecto de las bajas temperaturas en la conductancia estomática.**

La conductancia estomática es la velocidad (cm s<sup>-1</sup>) a la cual se produce el flujo de agua transpirada desde las hojas hacia la atmósfera a través de las estomas. En la medida que las estomas se mantengan abiertos la velocidad será mayor, al contrario, al presentarse un estrés hídrico por bajas temperaturas las estomas tienden a cerrarse provocando una disminución drástica de la conductancia estomática. (Riveros, 2002).

Las estomas son formaciones de tejidos epidérmicos que se encuentran fundamentalmente en la epidermis de la hoja, estos controlan el intercambio de gases (vapor de agua, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) entre los espacios aéreos del mesófilo y la atmósfera que rodea la hoja. (Martín de Santa Olalla y de Juan Velero, 1993). Desempeñando un papel primordial en el mantenimiento del homeostasis de la planta, de ahí la

importancia de conocer los factores que regulan los procesos de abertura y cierre estomático. (Sánchez- Días, 2000)

## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1. La fotosíntesis:**

La fotosíntesis es la formación de hidratos de carbono de  $\text{CO}_2$  y una fuente de hidrógeno (como el agua) en el tejido de la planta expuesta a la luz que contiene clorofila. La velocidad a la que se produce la fotosíntesis es determinada por la medición de la velocidad a la que un área de la hoja conocida asimila la concentración de  $\text{CO}_2$  en un tiempo dado. La fotosíntesis es un proceso físico-químico por el cual plantas, algas, bacterias fotosintéticas y algunos protistas como diatomeas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. Se trata de un proceso fundamental para la vida sobre la tierra y tiene un profundo impacto sobre la atmósfera y el clima terrestres: cada año los organismos con capacidad fotosintética convierten en carbohidratos más del 10% del dióxido de carbono atmosférico. El conocimiento básico de este proceso es esencial para entender las relaciones entre los seres vivos y la atmósfera, así como el balance de la vida sobre la tierra. (Carril, 2009)

### **2.3.2. Transpiración.**

La transpiración es el principal determinante del balance energético de la hoja y el estado hídrico de la planta. La tasa de transpiración se determina por la acumulación de flujo de vapor de agua por un solo lado del área de la hoja en un momento dado. Las hojas pierden agua a través de su estoma como una consecuencia de la actividad fotosintética de las células del mesófilo. Las estomas ejercen el mayor control de corto plazo en las relaciones hídricas de una planta debido a que controlan la salida de agua que ocurre en respuesta a un fuerte gradiente de diferencia de presión de vapor (DPV) entre el aire y la hoja. Tanto la absorción desde suelo por las raíces como la transpiración por las hojas, ejercen un control primario en la regulación de la conductancia estomática. El flujo de agua a través de la planta responde entonces a dos ambientes distintos. Por un lado, el ambiente aéreo a que está expuesta la hoja y que puede ser definido en términos de radiación, temperatura, diferencia de presión de vapor, contenido de CO<sub>2</sub> y condición de la capa límite. Por otro lado, las raíces comúnmente generan señales de estrés hídrico, las que sumadas a las señales en la conductividad hidráulica de la xilema también controlan la pérdida de agua por la hoja (SPERRY, 1998).

### 2.3.3. Conductancia estomática.

La conductancia estomática, usualmente medida en  $\text{mmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ , es la medida de la velocidad de paso de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que entra, o vapor de agua que sale por las estomas de la hoja. Las estomas son pequeños poros en la parte superior e inferior de una hoja que son responsables de tomar y expulsar el  $\text{CO}_2$  y la humedad y al aire exterior, la velocidad de la conductancia estomática o su resistencia de las estomas, está directamente relacionada con la resistencia de la capa límite de la hoja y el gradiente de concentración absoluta de vapor de agua de la hoja a la atmósfera. Están bajo control biológico directo de la hoja mediante el uso de células de guarda, que rodean el poro estomático. (Taiz y Zeiger, 1991). La turgencia y el potencial osmótico de las células están relacionados con la conductancia

**Estrés:** Presencia de un factor externo a la planta provocado por el medio ambiente cambiante, que ejerce una influencia negativa sobre su desarrollo óptimo.

**Estrés abiótico:** Se presenta influenciado por el medio ambiente por ejemplo altas y bajas temperaturas y escases de agua.

**Heladas:** es un fenómeno meteorológico que consiste en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele depositándose en forma de hielo en las superficies.

**Fisiología:** los vegetales llevan a cabo funciones vitales que les permiten crecer, desarrollarse y reproducirse. Los principales procesos para cumplir su metabolismo son la absorción, la circulación, la respiración y la transpiración.

**Estomas:** son grupos de dos o más células epidérmicas especializadas cuya función es regular el intercambio gaseoso y la transpiración, se encuentran en las partes verdes aéreas de la planta, particularmente en las hojas, donde pueden hallarse en una o ambas epidermis, más frecuentemente en la inferior. Su número oscila entre 22 y 2.230 por mm<sup>2</sup>.

**Conductancia estomática:** es la pérdida de agua de una hoja. Conductancia puede considerarse en paralelo o en serie.

**Fotosíntesis:** La fotosíntesis es el proceso de elaboración de los nutrientes por parte de las plantas, la fotosíntesis se realiza para alimentarse, crecer y desarrollarse. Para realizar la fotosíntesis, las plantas necesitan de la clorofila, responsable del característico color verde de las plantas, encargada de absorber la luz adecuada para realizar ese proceso

**Transpiración:** La transpiración vegetal consiste en la pérdida de agua en forma de vapor que se produce en las plantas. A las hojas de éstas llega gran cantidad de agua absorbida por las raíces, pero sólo una pequeña parte se utiliza en la fotosíntesis.

## 2.4. HIPÓTESIS

**Ho:** Frente al estrés por heladas, la variedad Yana Manwa no responderá a las bajas temperaturas (heladas) en cuanto a su tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración y conductancia estomática de forma diferenciada a la variedad Yuraq Gaspar.

**Ha:** Frente al estrés por heladas la variedad Yana Manwa si responderá positivamente a las bajas temperaturas (heladas) en cuanto a su tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración y conductancia estomática de forma diferenciada a la variedad Yuraq Gaspar.

## 2.5. VARIABLES

La presente investigación tiene las siguientes variables:

### **Las variables independientes serán:**

Estrés térmico (-8°C)

El acervo genético de las variedades estudiadas.

### **Variables dependientes**

Las variables dependientes serán las respuestas fisiológicas:

- a) La tasa de fotosíntesis del cultivo.
- b) La tasa de transpiración del cultivo.
- c) La conductancia estomática del cultivo.

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En la presente investigación se utilizó el método inductivo y deductivo. Es inductivo porque saca conclusiones generales a partir de observaciones realizadas en invernadero y laboratorio y es deductivo porque parte de los datos generales aceptados como verdaderos sirven para deducir por medio del razonamiento lógico, varias suposiciones de las características fisiológicas de las variedades de papa ensayadas cuando son sometidas a un estrés térmico por baja temperatura, es decir; parte de las conclusiones previamente establecidas se utilizan como principios generales, para luego aplicarlo a casos individuales y comprobar así su validez.

#### **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.3.1. Ubicación de la tesis**

La investigación se llevó a cabo en dos etapas. La etapa de invernadero que consistió en trasplantar esquejes enraizados en doce macetas, de las cuales seis macetas fueron designadas para la variedad “Yuraq Gaspar” (susceptible a las heladas) y el resto de macetas se trasplantó los esquejes de la variedad “Yana Manwa” (tolerante al estrés por las heladas). La fase de laboratorio se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad para el Desarrollo Andino para medir la tasa de

fotosíntesis neta, tasa de transpiración y conductancia estomática.

### **3.3.2. Propagación de material biológico**

El material biológico se obtuvo de plantas propagadas a partir de esquejes de tallos laterales de plantas madres. Estos meristemas laterales fueron tratados con enraizante en polvo (auxina, ácido Naftilacético a 4.000 ppm y CAPTAN, fungicida que protege de ataques de hongos y colocados en sustrato de arena desinfectada.

El sustrato con los esquejes fue regado con agua hasta el desarrollo de las raíces, luego fueron trasplantados a macetas con sustrato Premix® (Musgo Sphagnum + Vermiculita + Perlita + Nutrientes), con riegos periódicos de solución nutritiva hasta alcanzar una altura de 30-40 cm.

### **3.3.3. Estrés térmico**

Las mediciones de los parámetros evaluados se realizaron en hojas con la ayuda de un analizador de gases CI-340 Handheld Photosynthesis System, en dos fases:

**a)** Antes del estrés:

**b)** Después del estrés:

En un intervalo de 1 hora, en una cámara con control de temperatura a  $-8^{\circ}\text{C}$ .

### 3.3.4. Prueba de “t” de Student.

La estadística de prueba se obtiene mediante la ecuación

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

Distribución de la estadística de prueba

Si la hipótesis es nula es verdadera, la estadística de prueba sigue una distribución “t” de Student con  $n_1+n_2- 2$  grados de libertad.

Regla de decisión.

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Para realizar la prueba de la hipótesis, utilizaremos la distribución “t” de Student con:

$n_1 + n_2 - 2 = 261+261 - 2 \quad \Rightarrow \quad n_1+n_2 - 2 = 261+261 - 2 = 520$  grados de libertad.

Se trabajará con un nivel de significación  $\alpha = 5\% = 0.05$  y un nivel de confianza de  $1 - \alpha = 5\% = 95\% = 0.95$

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

Se trabajaron tres repeticiones por planta y los datos reportados son promedios de los mismos, las variedades empleadas en las evaluaciones fueron:

Yana Manwa (variedad tolerante a las bajas temperaturas)

Yuraq Gaspar (variedad susceptible a las bajas temperaturas)

La muestra estuvo representada por tres folíolos que se tomaron de cada planta para realizar la lectura de tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración y conductancia estomática, en medidas de las características fisiológicas se obtuvo un total de 100 lecturas para por variedad.

#### **3.4.1. Medición de variables**

Las variables fisiológicas a medir son: conductancia estomática, tasa de transpiración y tasa de fotosíntesis en las variedades de papa nativa Yana Manwa (YM) y Yuraq Gaspar (YG) antes (en temperatura ambiente), y después (recuperación a temperatura ambiente) de someterse a un estrés simulado por heladas ( $-8^{\circ}\text{C}$  por 1 horas).

Las fórmulas para calcular la tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración neta y conductancias estomáticas fueron calculadas mediante las siguientes modelos.

### 3.4.2. Fórmulas para el cálculo de las variables de estudio

El Sistema de medición de fotosíntesis: CI-340 *Handheld Photosynthesis System* permite la medición de fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática, PAR y CO<sub>2</sub> interno en un solo equipo. Este equipo es pequeño, rápido y preciso en la medición.

A continuación, las fórmulas empleadas para el cálculo de las variables de interés en la respuesta fisiológica del estrés por heladas.

#### A. Tasa de fotosíntesis:

2a.  $P_n$ : tasa de fotosíntesis neta (mol / m<sup>2</sup> / s) para un sistema abierto

$$P_n = -W \times (C_o - C_i) = -2005.39 \times V \times P / T_a \times A \times (C_o - C_i)$$

Donde  $C_o$   $C_i$ : salida (entrada) la concentración de CO<sub>2</sub> (ppm o mmol / m<sup>2</sup> / s

#### B. Tasa de transpiración.

$E$ : la tasa de transpiración (milimol / m<sup>2</sup> / s)

$$E = e_o - e_i / P - e_o \times W \times 103$$

$$e_o = h r_o \times e_s / 100$$

$$e_i = h r_i \times e_s / 100$$

$$e_s = 6.13753 \times 10^{-3} \times e T_a \times 18.564 - T_a / 254.4 / T_a + 255.57$$

Donde  $e_o$   $e_i$ : salida (entrada) de vapor de agua (bar)

$P$ : presión atmosférica (bar)

$e_s$ : vapor de agua saturado a la temperatura del aire (bar)

$h_o$   $h_i$ : salida (entrada) de humedad relativa (%)

### C. Conductancia estomática

$C_{leaf}$ : conductancia estomática de la hoja (milimol / m<sup>2</sup> / s)

Donde  $e_{leaf}$  vapor de agua saturado a la temperatura foliar

$$C_{leaf} = \frac{W}{e_{leaf} - e_o} \frac{e_o - e_i \times P - e_o}{P - R_b W} \times 1000$$

$$e_{leaf} = 6.13753 \times 10^{-3} \times e^{T_{leaf} \times 18.564 - T_{leaf} / 254.4} / T_{leaf} + 255.57$$

$T_{leaf}$ : temperatura de la hoja (° C)

$R_b$ : Resistencia de la capa límite de la hoja (m<sup>2</sup>s / mol) - 0,3  
m<sup>2</sup>s / mol

## 3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la obtención de los datos de las variables considerables, se ha utilizado:

- El sistema ci- 340 portátil fotosíntesis Handheld Photosynthesis system. Para medir las tasas de fotosíntesis y transpiración y conductancia estomática, está convenientemente incluidos en un solo instrumento fácil de operar. Debido a que la cámara está

conectada directamente a los analizadores de gas de  $\text{CO}_2$  /  $\text{H}_2\text{O}$  diferenciales, prácticamente no hay retraso en la medición.

El Sistema de Fotosíntesis Portátil CI-340 cuenta con

La pantalla, teclado, computador, memoria de datos, analizadores de gases  $\text{CO}_2$  /  $\text{H}_2\text{O}$ , sistema de control de flujo y batería.

- Para la respuesta fisiológica al estrés por heladas se ha utilizado una congeladora que se puede graduar la temperatura hasta  $-8^\circ\text{C}$  para la simulación a heladas.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos en el presente trabajo.

#### 4.1.1. TASA DE FOTOSÍNTESIS

La figura N° 01 sobre la tasa de fotosíntesis de Yuraq Gaspar (variedad susceptible). Sin estrés y con estrés (-8°C) nos muestra que la tasa de fotosíntesis fluctúa entre 5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  y 7  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  con un promedio de 6  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  durante el tiempo de evaluación. Luego del estrés, se observa una caída de la tasa de fotosíntesis entre aprox 2  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  a 3  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , con un promedio de 2.5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  teniéndose una diferencia de 3.5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , lo que nos indica que la exposición a temperatura de -8°C afecta la capacidad de fotosíntesis en una planta susceptible a las bajas temperaturas sin que esta llegue a perder esta capacidad fisiológica, la cual es sumamente importante para la subsistencia de la misma. Este resultado nos demuestra también que la temperatura de -8°C, no detiene la capacidad de fotosintetizar en la planta.

La figura N° 02 sobre la tasa de fotosíntesis de la variedad tolerante, se observa que la tasa de fotosíntesis inicialmente fluctuó entre 1  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  y 3,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  con un promedio de 2  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , pero luego del estrés disminuyó hasta aproximadamente 1,1  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . lo que nos indica que la exposición a las bajas temperaturas bajan

fuertemente la tasa de fotosíntesis, lo que podría deberse a que la reacción de la planta es más sensible a la formación de mecanismos de resistencia a las bajas temperaturas que a las funciones de la fotosíntesis llegando está a  $0,1 \text{ umol/m}^2/\text{s}$  que es muy baja en una planta.

Como se puede observar, en Yana Manwa (variedad tolerante), la tasa de fotosíntesis promedio en el tiempo control ( $2.0817 \text{ umol/m}^2/\text{s}$ ) es mayor a la tasa de fotosíntesis promedio después del estrés ( $1.124 \text{ umol/m}^2/\text{s}$ ), la misma situación se reporta para Yuraq Gaspar (variedad susceptible), la cual presenta una tasa de fotosíntesis promedio mayor en el tiempo control vs después del estrés.

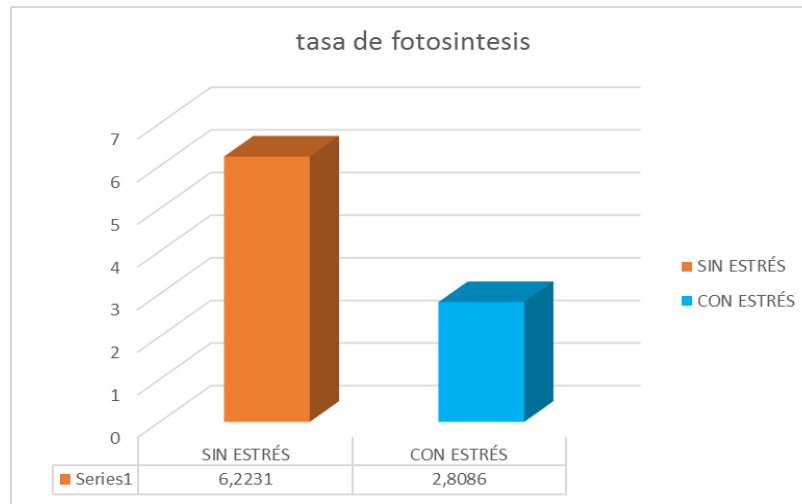
Sin embargo, se puede observar que después del estrés, existe una mayor disminución de la tasa de fotosíntesis en Yuraq Gaspar (variedad susceptible).

De manera resumida se podría señalar que en ambas variedades ha habido una respuesta a las bajas temperaturas, mostrándose a través de la reducción de la tasa de fotosíntesis, donde la variedad susceptible ha sufrido una mayor reducción de la tasa de fotosíntesis con relación a la variedad tolerante reforzando ello el concepto de tolerancia, pues al tener un menor efectos en la función fisiológica ello afectara menos a la producción de la planta.

La disminución en la tasa fotosíntesis debido al estrés por bajo temperaturas produce efectos directos y efectos indirectos. Dentro los efectos directos tenemos pérdidas en rendimientos en el cultivo de papa, y del daño foliar. Las bajas temperaturas inducen la formación de cristales de hielo a temperaturas de congelación. Se pueden formar cristales de hielo dentro del protoplasma causando el rompimiento y muerte celular, o también en los espacios extracelulares produciendo severa deshidratación celular (Palta y Li, 1980; Toivio-Kinnican et al., 1981; Steponkus, 1984). Muchos de los efectos del estrés por bajas temperaturas están relacionados con la variación en la fluidez de las membranas, temperaturas bajo 0 °C disminuyen la semi-permeabilidad de la membrana debido a la desnaturalización de proteínas y alteración de la composición lipídica de la membrana (Palta y Li, 1980).

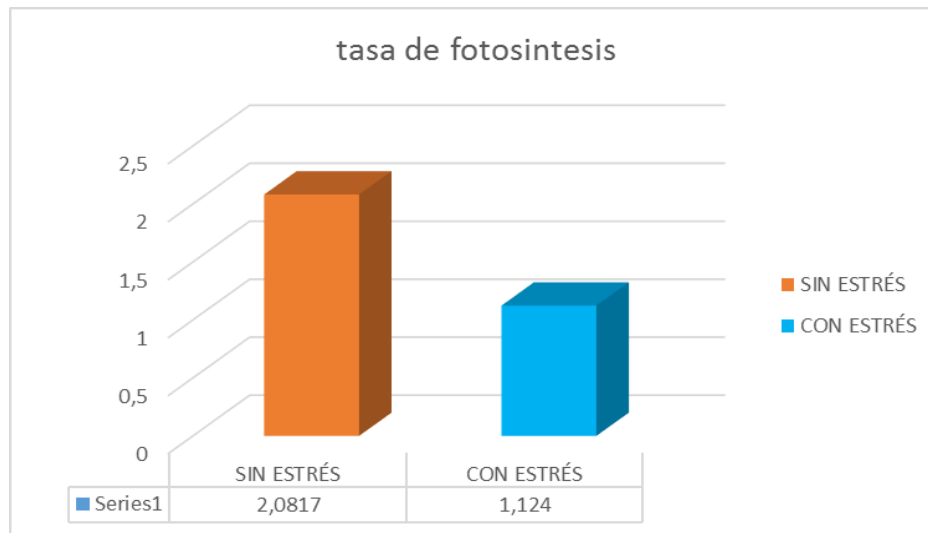
Las bajas temperaturas producen efectos indirectos a diversos niveles del aparato fotosintético. En primer lugar, promueve el cierre estomático (Perera et al., 1995), lo cual puede provenir de (a) la existencia de déficit hídrico (Tambusi, 2004), (b) por aumento del carbono interno (Ci), debido a la disminución de la tasa de asimilación de este elemento y (c) por efectos directos de las bajas temperaturas en las estomas (Allen y Ort, 2001).

*Figura 1. tasa de fotosíntesis de Yuraq Gaspar (variedad susceptible). Sin estrés y con estrés (-8°C):*



**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

*Figura 2: tasa de fotosíntesis de Yana manwa (variedad tolerante). Sin estrés y con estrés (-8°C)*



**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

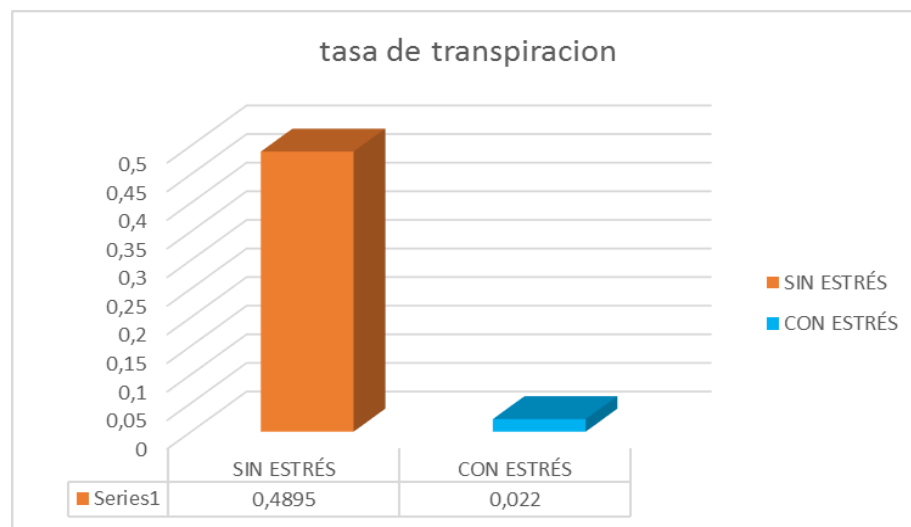
#### 4.1.2. TASA DE TRANSPIRACIÓN

La figura N° 03 sobre la tasa de transpiración para Yuraq Gaspar (variedad susceptible), se observa una mayor tasa de transpiración promedio en el tiempo de control (0,4895 mmol/m<sup>2</sup>/s) vs después del estrés (0,022) mmol/m<sup>2</sup>/s), la tasa de transpiración durante el tiempo sin estrés se mantiene estable entre 0,48 mmol/m<sup>2</sup>/s, mientras que después del estrés se observa una caída de la tasa de transpiración hasta 0,022 mmol/m<sup>2</sup>/s.

En la figura N° 04 sobre la tasa de transpiración de la variedad tolerante, se observa que la tasa de transpiración en el tiempo control fluctúa entre 2 mmol/m<sup>2</sup>/s y 2,25 mmol/m<sup>2</sup>/s, sin embargo después del estrés no se observa variación alguna en la tasa transpiración, manteniéndose fluctuante entre 2,14 E mmol/m<sup>2</sup>/s, lo que nos indica que la exposición a las bajas temperaturas ocasionan una reducción en la tasa de transpiración de la variedad susceptible, siendo esta una reacción lógica dado que el proceso de transpiración esta en relación directa a la temperatura del entorno de la planta, lo que se manifiesta como que a mayor temperatura mayor transpiración, al inmovilizarse el agua y quedarse dentro de la planta la hace más susceptible a las bajas temperaturas ya que al contener mayor cantidad de agua esta tendera a congelarse tanto a nivel intra como extracelularmente pudiendo llegar a ocasionar la ruptura de las paredes celulares.

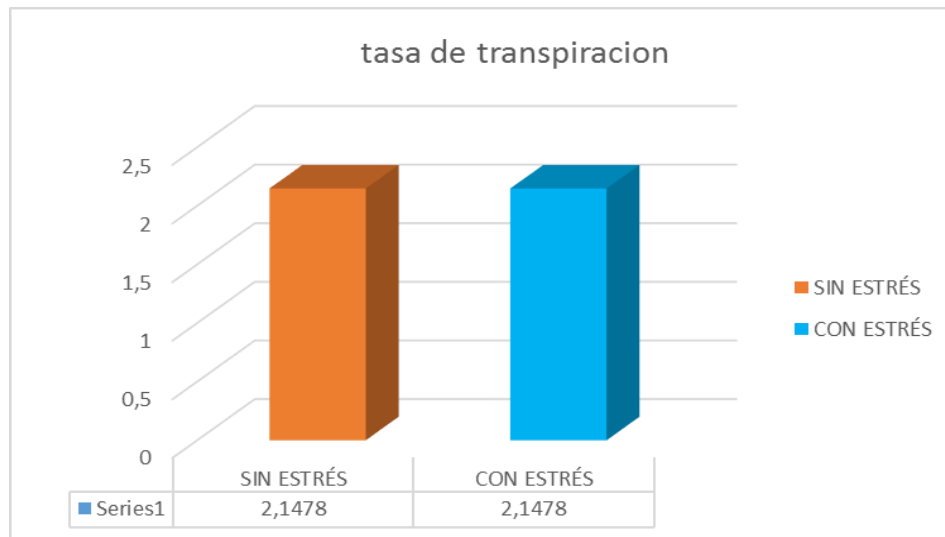
Considerando que la planta transpira el 10% del agua que absorbe del suelo y que esta última está condicionada a la temperatura del medio, en este caso al disminuir la temperatura el ascenso del agua en el estado de vapor de agua por la planta automáticamente se ve reducida y al disminuir la tasa de transpiración la planta se verá afectada en cuanto a su transpiración y la savia bruta con la presencia de elementos químicos ayudaran a que esta se pueda congelar más rápidamente y en casos extremos se romperán las células mostrando órganos y tejidos dañados por la baja temperatura.

*Figura 3: tasa transpiración de Yuraq Gaspar (variedad susceptible). sin estrés y con estrés (-8°C)*



**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

*Figura 4: tasa transpiración de Yana manwa (variedad tolerante).sin estrés y con estrés (-8°C)*



**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

#### **4.1.3. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA.**

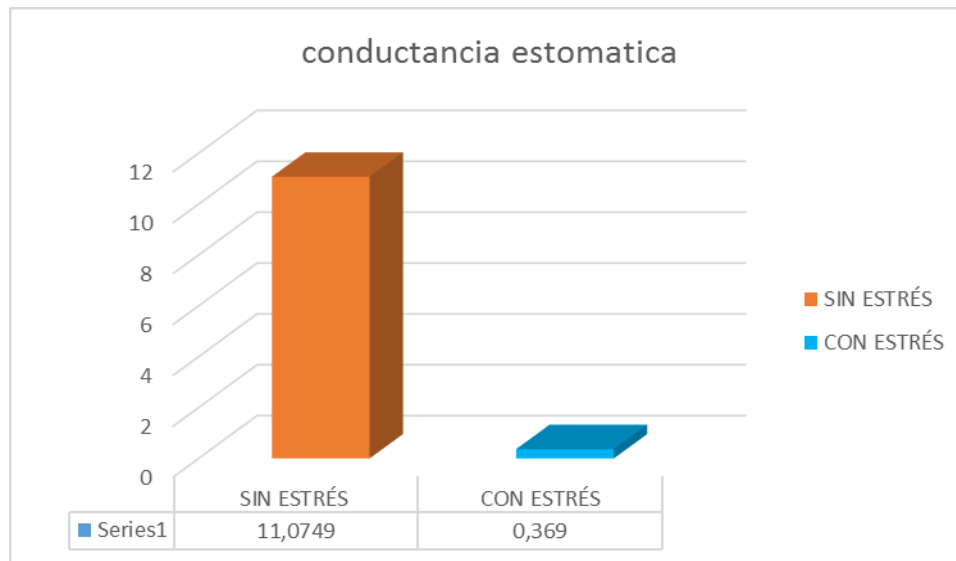
La figura N° 05 sobre la conductancia estomática de Yuraq Gaspar (variedad susceptible) nos muestra que esta variedad presenta una conductancia estomática promedio de 11,07 milimol / m<sup>2</sup> / s, antes de la exposición y de 0.36 mmol/m<sup>2</sup>/s después del estrés, lo que nos indica que esta actividad estomática decrece de manera importante ya que llega casi a cero, donde las células oclusivas casi no permiten la entrada de CO<sub>2</sub> con lo que el proceso de respiración se ve fuertemente afectado puesto que ante la falta de carbono la generación de almidones y azúcares se verá bastante disminuida .

En la figura N° 06 sobre la conductancia estomática de Yana Manwa (variedad tolerante) nos muestra que esta variedad, presenta una conductancia estomática de 69,86 milimol / m<sup>2</sup> / s antes de la exposición y de 69,61 mmol/m<sup>2</sup>/s después del estrés, con un promedio de 66.24 mmol/m<sup>2</sup>/s , lo que nos indica que esta actividad estomática en esta variedad es alta y al ser sometida a la exposición térmica decrece en poca cantidad por lo que podríamos asumir que la actividad estomática se mantiene casi normal, así como el proceso respiratorio, por lo que la planta estaría en la capacidad de continuar su actividad fisiológica gracias a la presencia del carbono que es la base fundamental para la formación de almidones y azúcares los cuales otorgarían a la planta la capacidad de soportar mejor la exposición a los factores adversos en comparación con la variedad susceptible.

Como se puede observar en la variedad susceptible, la conductancia estomática durante el tiempo sin estrés fluctúa entre 10 mmol/m<sup>2</sup>/s. Por otro lado, después del estrés se observa una caída de la tasa de fotosíntesis entre 0,95 mmol/m<sup>2</sup>/s y 0,1 mmol/m<sup>2</sup>/s.

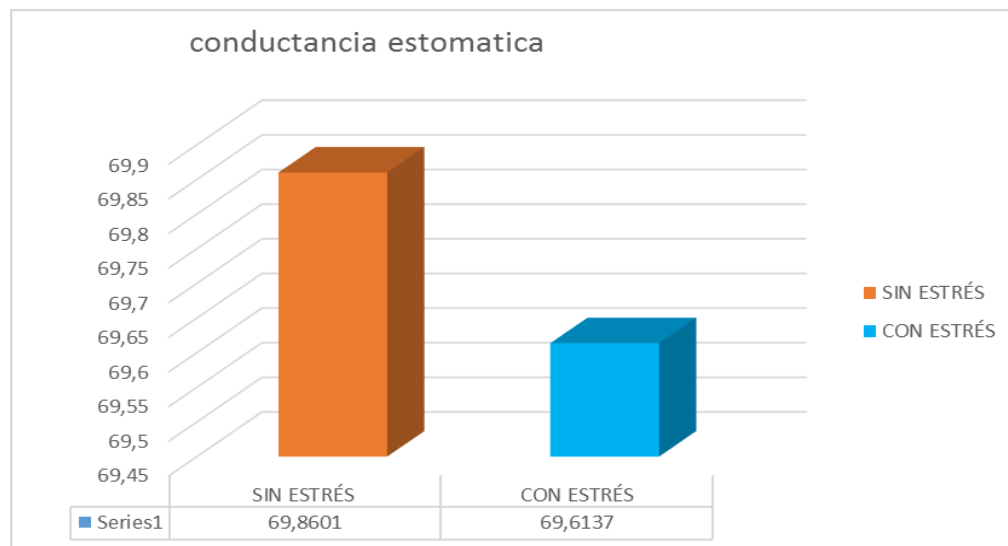
Los resultados obtenidos y la discusión realizada sobre los factores fisiológicos estudiados están respaldados por la confiabilidad que ofrece el equipo CI- 340 con el cual se ha realizado las evaluaciones antes y después de la exposición al factor térmico adverso.

*Figura 5: conductancia estomática de Yuraq Gaspar (variedad susceptible).sin estrés y con estrés (-8°C)*



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

*Figura 6: conductancia estomática de Yana manwa (variedad tolerante). Sin estrés y con estrés (-8°C)*



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

*Tabla 2: Resumen de los resultados de los factores en estudio: tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración y conductancia estomática.*

	Yana Manwa						Yuraq Gaspar					
	sin estrés			con estrés			sin estrés			con estrés		
	Tasa fotosintética	tasa transpiración	conductancia estomática	Tasa fotosintética	tasa transpiración	conductancia estomática	Tasa fotosintética	tasa transpiración	conductancia estomática	tasa fotosíntesis	tasa transpiración	conductancia estomática
promedio	2,08	2,14	69,86	1,124	2,14	69,613	6,223	0,448	11,07	2,808	0,022	0,369
Máximo	2,8	2,24	76,58	2,23	2,25	80,33	5,80	0,56	12,67	3,36	0,04	0,95
mínimo	1,49	2,08	59,77	0,10	2,02	62,77	6,44	0,44	9,83	1,83	0,01	0,10

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

Según la tabla N° 02 sobre el resumen de los resultados obtenidos, observamos que la variedad tolerante muestra la mayor tasa de transpiración y conductancia estomática y a la exposición a la temperatura baja las tasas son poca influenciadas por lo que podríamos indicar que estos factores fisiológicos positivos permiten a la planta tolerante generar mecanismos de resistencia a los factores adversos, lo cual también refuerza el hecho de que las resistencias son características poligénicas y que están gobernadas por diferentes pares de genes.

Tabla 3: promedios y significación estadística de las características fisiológicas de las variedades de papa Yuraq Gaspar (susceptible) y Yana Manwa (tolerante) sin estrés y con estrés térmico a bajas temperaturas.

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS	SUSCEPTIBLE		TOLERANTES	
	SIN ESTRÉS	CON ESTRÉS	SIN ESTRÉS	CON ESTRÉS
	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$
Tasa de fotosíntesis neta (unidad de medida)	6,2231	2,8086	2,0817	1,124
Significancia estadística a la prueba de “t” (*)	a	b	a	b
Tasa de transpiración (unidad de medida)	0,4895	0,022	2,1478	2,1428
Significancia estadística a la prueba de “t” (*)	a	b	b	a
Coefficiente de la conductancia estomática	11,0749	0,369	69,8601	69,6137
Significancia estadística a la prueba de “t” (*)	a	b	b	a

\* a,b letras iguales no existen diferencias estadísticas significativas.

## CONCLUSIONES

1. La mayor tasa de fotosíntesis se presentó en la variedad susceptible (en ambos tiempos), sin embargo, tras el estrés fue la variedad tolerante la que sufrió un menor porcentaje de reducción (46.1%) en la tasa fotosintética en comparación con la variedad susceptible (54%)
2. En cuanto a la tasa de transpiración, luego de la exposición al estrés térmico, la variedad tolerante (Yana Manwa) mostró valores constantes. La tasa de transpiración podría permitir la tolerancia a las heladas ya que el contenido de agua dentro de los órganos aéreos de la planta es bajo y la posibilidad de daño por el congelamiento del agua sería reducida.
3. La conductancia estomática, se redujo considerablemente en la variedad susceptible. La conductancia estomática podría ser uno de los factores que permite que la variedad tolerante genere mecanismos de protección ante los factores adversos.
4. Finalmente, según los resultados de las respuestas fisiológicas obtenidas en el presente trabajo, los parámetros evaluados podrían ser considerados como indicadores para discernir entre una variedad tolerante y susceptible.

5. La mayor tasa de transpiración y conductancia estomática pueden ser dos factores fisiológicos positivos que permiten a la planta tolerante generar mecanismos de defensa contra factores adversos.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios similares sobre la tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración y conductancia estomática en otras variedades e inclusive en variedades mejoradas incluyendo especies de diferente ploidia (triploides y tetraploides).
2. Evaluar el comportamiento de plantas a diferentes niveles de temperaturas bajas (-2, -4, -6, -8,-10 y -12°C) para poder establecer hasta que nivel pueden soportar y buscar la forma de mejorar la capacidad de generación de mecanismos de defensa en las diferentes fases fenológicas de la planta.
3. Realizar estudios que permitan determinar la humedad del suelo más conveniente para que el daño por las bajas temperaturas sea menor.
4. Realizar estudios que nos permita conocer cual o cuales son las fases fenológicas de las plantas en que son más susceptibles a las bajas temperaturas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN DJ, ORT DR (2001) Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warmclimate plants. *Trends in Plant Science* 6: 36-42.
- ANDRADE.B. (1991). *Aspectos Tecnologicas del Cultivo de la Papa en el Ecuador . Fundacion Simon Bolivar* 81-87.
- ASOCIACIÓN EVANGÉLICA LUTERANA DE AYUDA PARA EL DESARROLLO COMUNAL (DIACONIA).2011, *Manejo Integrado del Cultivo de la Papa.*
- BALLÓN AGUIRRE, E. Y. (2002). *Terminología Agraria Andina: nombres quechumaras de la papa, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Cusco Peru.*
- BONIERBALE.M.M. (2002). *Papas Nativas - b<oletin de papa- vol.4 publicado el 2007.*
- CARRIL, E. P. (2009). *SERIE FISIOLÓGICA VEGETAL FOTOSÍNTESIS ASPECTOS BÁSICOS. MADRID.*
- CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP) (2011). *Guia de Identificacion de Plagas que Afectan a la Papa*
- CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP) Y FEDERACION DEPARTAMENTAL DE COMUNIDADES CAMPASINAS DE HUANCVELICA (FEDECCH). (2006). *Catalogo de Variedades de papa Nativa de Huancavelica. Lima-Peru.en Zonas Andina.*
- DAMOUR G, SIMONNEAU T, COCHARD H, URBAN L. 2010. *An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. Plant, Cell & Environment* 33: 1419– 1438
- EVANS JR, POORTER H (2001) *Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. Plant, Cell and Environment* 24: 755-767.

- FAIRLIE, T. E., AND ORTEGA, A. (1995). *Efecto de la presencia de heladas simuladas en diferentes estados fenológicos y su impacto en el rendimiento de la papa cv Ccompis: estudio preliminar. Revista Latinoamericana de la Papa, 7(8), 86-93.*
- FRANCO, J. (2002). *El cultivo de papa en Guatemala. Guatemala, GT. ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola).*
- GABRIEL, J.; MAGNE, J.; GARCÍA, R. y. (2009.) *Variedades nativas de papa: Tecnología.*
- GIL M.F. (1995). *Elementos de Fisiología Vegetal: Relaciones hídricas, nutrición mineral, transporte y metabolismo. Editorial Mundi-Prensa, México, 1047 págs.*
- GONEZ, R. (2000). *Guía de las caracterisaciones morfologicas basicas de coleccion de papa . Lima Peru.*
- HUAMÁN, Z. and SPOONER, D.M. (2002). *Reclassification of landrace populations of cultivated potato (Solanum sect. Petota). Amer. J. Bot. 89: 947-965*
- INANHI Instituto Nacional de Meteorología e hidrología. (2011). *Estadísticas de las heladas. Porcentaje de heladas en el Ecuador,.*
- INCA BENITES, N. R. (2015). *tolerancia a heladas de clones y variedades. el mantaro - jauja - Perú.*
- JARVIS, P.G. (1971) *The estimation of resistance to carbón dioxide transfer. In: Sester, Z., Catsky, J., Jarvis, P.G. Ed. Plant photosynthetic production Manual of Methods Pp. 566 -631, Dr W. Junk N.V. Publisherts The Hogue.*
- LARCHER, W. (2004). *Physiological Plant Ecology, 3th ed. Ann. Bot. 93 (5) 616-617.*
- LINDAO, V. (1991). *Manejo del cultivo de la papa. Quinto Ecuador: FUNADAGRO P. 7,9,11,12,14,17,27,29.*

- *MARTIN DE SANTA OLALLA, F.G. Y DE JUAN VALERO, J.A. 1993. En Martin de Santa Olalla, F.G. y de Juan Valero, J.A Editores, Agronomía del Riego. Editorial Mundi-Prensa. Universidad Castilla de la Mancha, España, 254 págs.*
- *MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. (2013). Principales Aspectos Agroeconómicos 1ra Edición Actualizado Diciembre 2013.*
- *MINISTERIO DE AGRICULTURA, DIRECCIÓN GENERAL DE COMPETITIVIDAD AGRARIA (DGCA).. (2012). cadena productiva de la papa. 1ra Edición Agosto del 2012.*
- *MONTEROS, C. 2000. Respuesta de la quinua (Chenopodium quinoa Willd), a diferentes*
- *OCHOA, C. (2001). Las Papas de Sudamérica: Bolivia. Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA),. Lima Peru.*
- *ORTIZ ORTEGA, M. (2006). Tesis "Respuesta Fisiológica y Biológica de dos especies de pinos en condiciones de limitantes de humedad. Hidalgo.*
- *RIVEROS, R. 2002. Efectos del riego deficitario controlado sobre la producción y la calidad del fruto en uva de mesa (sultanina). Tesis Ing. Agr. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 54 p.*
- *SANCHEZ-DÍAZ, M. y AGUIRREOLEA, J. 2000b. Movimientos estomáticos y transpiración, p 31-44. En: Azcón-Bieto, J y Talón, M. Fundamentos de fisiología vegetal. Universitat de Barcelona. España. 515 p*
- *SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (SENAMHI) y MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2011. Manual Fenológico de los cultivos principales en el Perú*
- *SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHI (2010). Atlas de heladas del Peru. Lima Peru.*
- *SIFUENTES, E. (2011). Descripción morfológica de papas nativas cultivadas en San Juan de la Libertad Huánuco tesis de Ingenieros Agrónomos.*

- SPERRY JA, F. A. (1998). *Limitation of plant water use by rhizosphere and xylem conductance: results from a model Plant, Cell and Environment* 21: 347-359. .
- SPOONER, D. Y. (2005). *Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes*. pp. 285-307. En: Motley, T.J., N. Zerega y H. Cross (Eds.). *Darwins harvest: new approaches to the origins, evolution and conservation of crops*. Columbia University Press,. New York,.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. 2006. *Plant physiology. 4a ed. Sinauer Associates, Inc.*
- TALON, M. T. (1991). *Cellular changes inducibles by exogenous and endogenous gibberellins in the shoot tips of the long-day plant silene america. planta. Tangible para afrontar el efecto causado por la helada y la sequía. Revista Latinoamericana de la Papa* 15(1): 75-77
- TAYLOR, G. (2003). *Huarochiri: ritos y tradiciones, Instituto francés de estudios andinos. . Lima Peru: Livia. Temperaturas bajas en tres fases fenológicas. Tesis Maestría en Agricultura Andina. Puno, PE. Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Postgrado. 107 p.*
- UNGENT. (1988). *Archaeological remains of potato and sweet potato in Peru* Cip. Peru.
- UNIVERSIDAD AGRARIA LAMOLINA Y AGROBANCO (2011). *Guía Manejo Integrado de la Papa. Lima Peru.*
- WILHITE D., S. M. (2007). *Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness.*

## **ANEXOS**

**Anexo 01:** Formato de recolección de datos de la tasa de fotosíntesis neta de la variedad susceptible y tolerante a heladas sin estrés y con estrés.

N <sup>a</sup>	SUSCEPTIBLES		TOLERANTE	
	SIN ESTRÉS	SIN ESTRÉS	SIN ESTRÉS	CON ESTRÉS
1	6,18	2,01	2,34	1,7
2	6.14	2	2,34	1,75
3	6.2	2,11	2,31	1,81
4	6.26	2,17	2,27	1,86
5	6.25	2,4	2,31	1,91
6	6.3	2,46	2,28	1,92
7	6.3	2,41	2,23	2,09
8	6.33	2,44	2,24	2,07
9	6.39	2,52	2,29	2,1
10	6.38	2,52	2,21	2,21
11	6.38	2,48	2,18	2,2
12	6.37	2,51	2,2	2,17
13	6.42	2,57	2,18	2,23
14	6.39	2,56	2,15	2,21
15	6.36	2,52	2,16	2,14
16	6.43	2,54	2,19	2,11
17	6.41	2,59	2,17	2,12
18	6.37	2,59	2,23	2,04
19	6.41	2,51	2,27	1,95
20	6.43	2,53	2,28	1,96
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
100	6.03	1.83	2.4	0.86

**Anexo 02:** Formato de recolección de datos de la tasa de transpiración de la variedad susceptibles y tolerante a heladas sin estrés y con estrés.

N <sup>a</sup>	SUSCEPTIBLES		TOLERANTE	
	SIN ESTRÉS	SIN ESTRÉS	SIN ESTRÉS	CON ESTRÉS
1	0,46	0,04	2,24	2,03
2	0,45	0,03	2,24	2,03
3	0,45	0,02	2,19	2,02
4	0,46	0,04	2,18	2,03
5	0,44	0,03	2,18	2,03
6	0,44	0,04	2,18	2,04
7	0,44	0,04	2,18	2,04
8	0,45	0,02	2,17	2,04
9	0,47	0,02	2,16	2,04
10	0,46	0,03	2,16	2,05
11	0,46	0,03	2,18	2,07
12	0,46	0,03	2,19	2,05
13	0,46	0,03	2,18	2,06
14	0,46	0,02	2,18	2,04
15	0,46	0,03	2,18	2,02
16	0,44	0,02	2,17	2,03
17	0,44	0,03	2,16	2,06
18	0,47	0,03	2,18	2,05
19	0,49	0,03	2,15	2,06
20	0,46	0,03	2,16	2,05
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
100	0,54	0,02	2.1	2.19

**Anexo 3:** Formato de recolección de datos de la conductancia estomática de la variedad susceptibles y tolerante a heladas sin estrés y con estrés.

N <sup>a</sup>	SUSCEPTIBLES		TOLERANTE	
	SIN ESTRÉS	SIN ESTRÉS	SIN ESTRÉS	CON ESTRÉS
1	10,46	0,7	74,08	63,33
2	10,26	0,55	73,96	63,35
3	10,24	0,43	71,94	62,77
4	10,42	0,68	71,72	63
5	9,95	0,65	71,43	63,32
6	10,14	0,67	71,72	63,56
7	10,1	0,71	71,42	63,54
8	10,25	0,38	71,11	63,72
9	10,58	0,38	70,79	63,91
10	10,28	0,53	70,79	64,18
11	10,45	0,54	71,53	64,95
12	10,44	0,95	71,98	64,1
13	10,36	0,63	71,55	64,55
14	10,46	0,45	71,36	64,09
15	10,46	0,53	71,24	63,15
16	9,83	0,44	71,01	63,19
17	9,88	0,28	70,69	64,68
18	10,57	0,53	71,27	64,39
19	11,11	0,53	70,11	70,3
20	10,32	0,51	70,65	70,17
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
100	12,29	0,32	67,93	71,85

**Anexo 4.** Tabla estadística para cada variedad y cada paramento en diferentes tiempos.

### **TABLA DE LA TASA DE FOTOSÍNTESIS**

Tabla estadístico descriptivo - tolerantes a helada sin estrés

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
99	1,31	1,49	2,80	2,0817	0,38994704	0,1520587

Tabla estadístico descriptivo - tolerantes a helada sin estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
99	1,31	1,49	2,80	2,0817	0,38994704	0,1520587

Tabla estadístico descriptivo - tolerantes a helada con estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	2,13	0,10	2,23	1,124	0,68693434	0,47187879

Tabla estadístico descriptivo - susceptibles a helada sin estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	0,64	5,80	6,44	6,2231	0,17136231	0,02936504

Tabla estadístico descriptivo - susceptibles a helada con estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	1,53	1,83	3,36	2,8086	0,39091196	0,15281216

### **TABLA DE LA TASA TRANSPIRACIÓN.**

Tabla estadístico descriptivo - tolerantes a helada sin estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	0,16	2,08	2,24	2,1478	0,03040401	0,0009244

Tabla estadístico descriptivo - tolerantes a helada con estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	0,23	2,02	2,25	2,1428	0,0702676	0,00493754

Tabla estadístico descriptivo - susceptibles a helada sin estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	0,12	0,44	0,56	0,44895	0,03307094	0,00109369

Tabla estadístico descriptivo - susceptibles a helada con estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	0,03	0,01	0,04	0,022	0,00887625	7,8788

## TABLA PARA LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

Tabla estadístico descriptivo - tolerantes a helada sin estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	16,81	59,77	76,58	69,8601	2,22172719	4,93607171

Tabla estadístico descriptivo - tolerantes a helada con estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	17,56	62,77	80,33	69,6137	3,9373325	15502587

Tabla estadístico descriptivo - susceptibles a helada sin estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	2,84	9,83	12,67	11,0749	0,76627591	0,58717878

Tabla estadístico descriptivo - susceptibles a helada con estrés.

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
261	0,85	0,10	0,95	0,369	0,19622446	0,03850404

**Anexo 5:** Prueba “t” para medias de dos muestras emparejadas de la Tasa de fotosíntesis neta de la variedad susceptible a heladas sin estrés y con estrés.

	<i>SIN ESTRÉS</i>	<i>CON ESTRÉS</i>
Media	6,2231	2,8086
Varianza	0,02936504	0,152812162
Observaciones	100	100
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,247711546	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	99	
Estadístico t	73,5766763	
P(T<=t) una cola	1,55931E-88	
Valor crítico de t (una cola)	1,660391156	
P(T<=t) dos colas	3,11862E-88	
Valor crítico de t (dos colas)	1,984216952	

**Anexo 6:** Prueba “t” para medias de dos muestras emparejadas de la tasa de fotosíntesis neta de la variedad tolerantes a heladas sin estrés y con estrés.

	<i>SIN ESTRÉS</i>	<i>CON ESTRÉS</i>
Media	2,0817	1,124
Varianza	0,152058697	0,471878788
Observaciones	100	100
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,154420991	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	99	
Estadístico t	11,39258492	
P(T<=t) una cola	5,17115E-20	
Valor crítico de t (una cola)	1,660391156	
P(T<=t) dos colas	1,03423E-19	
Valor crítico de t (dos colas)	1,984216952	

**Anexo 7:** Prueba “t” para medias de dos muestras emparejadas de la tasa de transpiración de la variedad susceptible a heladas sin estrés y con estrés.

	<i>SIN ESTRÉS</i>	<i>CON ESTRÉS</i>
Media	0,4895	0,022
Varianza	0,001093687	7,87879E-05
Observaciones	100	100
Coefficiente de correlación de Pearson	-0,581534262	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	99	
Estadístico t	120,1529988	
P(T<=t) una cola	2,222E-109	
Valor crítico de t (una cola)	1,660391156	
P(T<=t) dos colas	4,4441E-109	
Valor crítico de t (dos colas)	1,984216952	

**Anexo 8:** Prueba “t” para medias de dos muestras emparejadas de la tasa de transpiración de la variedad tolerante a heladas sin estrés y con estrés.

	<i>SIN ESTRÉS</i>	<i>CON ESTRÉS</i>
Media	2,1478	2,1478
Varianza	0,000924404	0,004937535
Observaciones	100	100
Coefficiente de correlación de Pearson	-0,68832323	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	99	
Estadístico t	0,532910044	
P(T<=t) una cola	0,29764504	
Valor crítico de t (una cola)	1,660391156	
P(T<=t) dos colas	0,59529008	
Valor crítico de t (dos colas)	1,984216952	

**Anexo 9:** Prueba “t” para medias de dos muestras emparejadas del coeficiente de conductancia estomática de la variedad susceptible a heladas sin estrés y con estrés.

	<i>SIN ESTRÉS</i>	<i>CON ESTRÉS</i>
Media	11,0749	0,369
Varianza	0,587178778	0,03850404
Observaciones	100	100
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,476392809	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	99	
Estadístico t	122,0886696	
P(T<=t) una cola	4,615E-110	
Valor crítico de t (una cola)	1,660391156	
P(T<=t) dos colas	9,2301E-110	
Valor crítico de t (dos colas)	1,984216952	

**Anexo 10:** Prueba “t” para medias de dos muestras emparejadas del coeficiente de conductancia estomática de la variedad tolerante a heladas sin estrés y con estrés.

	<i>SIN ESTRÉS</i>	<i>CON ESTRÉS</i>
Media	69,8601	69,6137
Varianza	4,936071707	15,50258718
Observaciones	100	100
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,499426622	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	99	
Estadístico t	0,456168771	
P(T<=t) una cola	0,324633878	
Valor crítico de t (una cola)	1,660391156	
P(T<=t) dos colas	0,649267755	
Valor crítico de t (dos colas)	1,984216952	

**Anexo 11:** Equipo de congelación.



**Anexo 12:** Equipo CI-340 hand held photosynthesis system.



## **FOTOGRAFÍAS**

**FOTOGRAFÍAS REALES DE LAS DISTINTAS ACTIVIDADES  
REALIZADAS DURANTE LA TESIS:**

**Fotografía N° 1:** Obtención de semillas de las dos variedades.



**Fotografía N° 2:** Obtención de la planta madre.



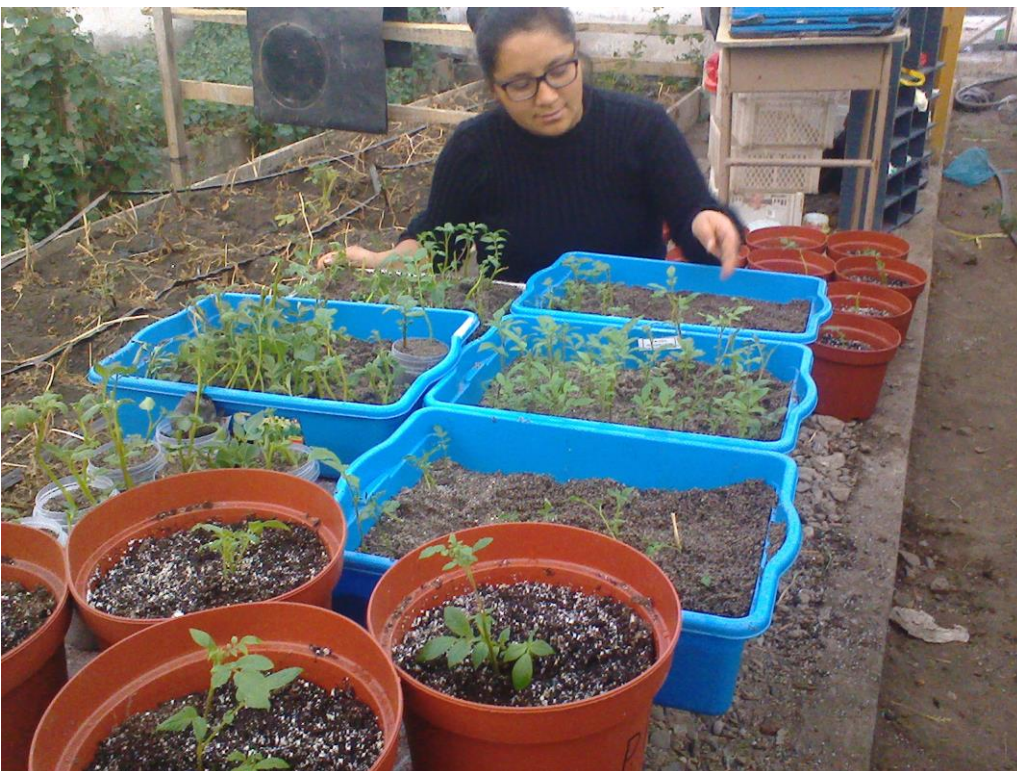
**Fotografía N° 3:** Obtención de los esquejes de la plata madre.



**Fotografía N° 4:** Propagación del cultivo con enraizaste.



**Fotografía N° 5:** Plántulas propagadas en pleno enraizamiento.



**Fotografía N° 6:** Plántulas enraizadas lista para el trasplante.



**Fotografía N° 7:** Trasplante de las plántulas.



**Fotografía N° 8:** Plántulas en pleno crecimiento.



**Fotografía N° 9:** Tamaño del cultivo listo para los análisis.



**Fotografía N° 10:** Cultivos liso para someterse a estrés.



**Fotografía N° 11:** Cultivos sometiendo a la congeladora para su estrés a  $-8^{\circ}\text{C}$ .



Fotografía N° 12: Comprobación con un termómetro a  $-8^{\circ}\text{C}$



**Fotografía N° 13:** Realizando la medición de lecturas del cultivo antes del estrés equipo CI-340 Handheld Photosynthesis System.



**Fotografía N° 14:** Cultivo después del estrés.



**Fotografía N° 15:** Realizando la medición de lecturas del cultivo con estrés con el equipo CI-340 Handheld Photosynthesis System.



**Fotografía N° 16:** Cultivo en plena recuperación.

