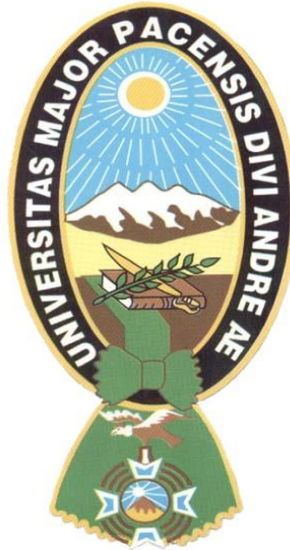


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TRABAJO DIRIGIDO

**INFLUENCIA DE LA PLASTICIDAD DE LA QUINUA
(*Chenopodium quinoa Willd.*) SOBRE SU CONSTANTE TÉRMICA
EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO**

VICTOR SANCHEZ ACARAPI

La Paz – Bolivia

2011

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

INFLUENCIA DE LA PLASTICIDAD DE LA QUINUA
(*Chenopodium quinoa Willd.*) SOBRE SU CONSTANTE TÉRMICA
EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

*Trabajo Dirigido presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

VICTOR SANCHEZ ACARAPI

Asesor:

Ing. Ph. D. Magali García Cárdenas

Tribunal Examinador:

Ing. M. Sc. Cristal G. Taboada Belmonte

Ing. Edwin Yucra Sea

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador:

2011

DEDICATORIA:

**A mis queridos padres:
Antonio y Placida que
Con criterio y un gran
Esfuerzo, supieron
Inculcarme, valores que
me condujeron por
el camino correcto**

AGRADECIMIENTO.

Deseo agradecer sinceramente a Dios por iluminar mí vida, guiándome por el camino de superación.

Mí reconocimiento profundo a la Ing. Ph D. Magali García, por el asesoramiento brindado, que con su capacidad y su experiencia profesional, contribuyeron notablemente a la ejecución y culminación de este trabajo dirigido. Pero por sobre todo por su gran espíritu de colaboración desinteresado.

A los Ingenieros: Ing. M Sc. Cristal Taboada y al Ing. Agr. Edwin Yucra, que sacando tiempo al tiempo han revisado este documento, efectuando las observaciones, correcciones y sugerencias pertinentes, mejorando la redacción y presentación final del mismo.

Al programa **QUINAGUA**, y a través de esté, a todo su plantel personal, por haberme brindado el apoyo material, para la realización del presente trabajo dirigido.

A la directora del Programa Especial de Titulación Académica de Antiguos Egresados PETAENG Ing. M Sc. Teresa Ruiz por haberme brindado toda su colaboración, y el apoyo moral constante. A la Srta. Sandra Apaza, por haberme brindado toda la atención necesaria en la tramitación de la documentación pertinente.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, a sus autoridades, docentes y plantel administrativo, quienes contribuyeron en mí formación personal y académica.

A mis compañeros y amigos: Edwin y José Luís, que compartieron conmigo buenos y malos momento durante el tiempo de estudio, y sobre todo por haberme brindado su apoyo y confianza. GRACIAS TOTALES.

CONTENIDO

	Página
INDICE GENERAL	v
INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii

INDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación del Trabajo Dirigido.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Metas.....	3
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Marco Conceptual.....	4
2.1.1 Origen e importancia de la Quinua.....	4
2.1.1.1 Descripción taxonómica.....	5
2.1.1.2 Características morfológicas.....	6
2.1.1.3 Características fenológicas.....	7

2.1.1.3.1	Etapa de emergencia.....	8
2.1.1.3.2	Etapa cotiledonar.....	8
2.1.1.3.3	Etapa de dos hojas basales.....	8
2.1.1.3.4	Etapa de cinco hojas alternas (Diferenciación panicular).....	9
2.1.1.3.5	Etapa de trece hojas alternas (Pre-despunte panicular).....	9
2.1.1.3.6	Etapa de despunte de panoja.....	9
2.1.1.3.7	Etapa de floración.....	10
2.1.1.3.8	Etapa de grano lechoso.....	10
2.1.1.3.9	Etapa de masa de grano.....	10
2.1.1.3.10	Etapa de grano pastoso duro o madurez fisiológica.....	11
2.1.1.4	Requerimientos del cultivo.....	12
2.1.1.5	Fisiología de la Quinoa.....	13
2.1.1.6	Características genéticas.....	14
2.1.2	Plasticidad de las plantas.....	14
2.1.2.1	Plasticidad de la Quinoa.....	16
2.1.3	Resistencia a condiciones climáticas extremas.....	17
2.1.3.1	Resistencia al frío o heladas.....	17
2.1.3.1.1	Heladas radiativas o heladas blancas.....	18
2.1.3.1.2	Heladas conectivas o heladas negras.....	18
2.1.3.2	Respuesta de la Quinoa a bajas temperaturas.....	18
2.1.3.2.1	Fases fenológicas susceptibles a heladas.....	20
2.1.4	Desarrollo y Crecimiento.....	20
2.1.4.1	Desarrollo.....	21
2.1.4.1.1	Factores que afectan el desarrollo.....	21
2.1.4.1.1.1	Temperatura.....	21
2.1.4.1.1.2	Fotoperiodo.....	21
2.1.4.2	Crecimiento.....	22
2.1.4.2.1	Factores que afectan el crecimiento.....	22
2.1.4.2.1.1	Temperatura.....	22
2.1.4.2.1.2	Radiación.....	23
2.1.4.2.1.3	Disponibilidad de agua.....	24

2.1.4.2.1.4 Nutrientes.....	24
2.1.5 Influencia del clima sobre las plantas.....	24
2.1.5.1 La temperatura como factor bioclimático en vegetales.....	25
2.1.5.1.1 Termoperiodismo.....	26
2.1.5.1.2 Constante Térmica.....	27
2.1.5.1.2.1 Velocidad de crecimiento.....	28
2.1.5.1.2.2 Métodos para la determinación de la Constante Térmica.....	29
2.1.5.1.2.2.1 Método directo.....	29
2.1.5.1.2.2.2 Método residual o sumas térmicas efectivas.....	29
III. SECCION DIAGNOSTICO.....	32
3.1 Materiales y Métodos.....	32
3.1.1 Localización y ubicación.....	32
3.1.1.1 Altiplano Norte.....	32
3.1.1.1.1 Viacha.....	32
3.1.1.1.1.1 Características climáticas.....	32
3.1.1.1.2 Corpa.....	33
3.1.1.1.2.1 Características climáticas.....	33
3.1.1.1.2.2 Vegetación predominante.....	33
3.1.1.2 Altiplano Central.....	33
3.1.1.2.1 Iñacamaya.....	33
3.1.1.2.1.1 Características climáticas.....	34
3.1.1.2.2 Callapa Chico.....	34
3.1.1.2.2.1 Características climáticas.....	34
3.1.1.2.3 Patacamaya.....	34
3.1.1.2.3.1 Características climáticas.....	35
3.1.1.2.3.2 Vegetación predominante.....	35
3.1.1.3 Altiplano Sur.....	35
3.1.1.3.1 Mejillones.....	35
3.1.1.3.1.1 Características climáticas.....	35
3.1.1.3.1.2 Vegetación predominante.....	36

3.1.2 Materiales.....	36
3.1.2.1 Material biológico.....	36
3.1.2.2 Material de gabinete.....	37
3.1.2.3 Equipos.....	37
3.1.3 Metodología.....	37
3.1.3.1 Procedimiento del trabajo.....	37
3.1.3.1.1 Recolección de la información secundaria.....	37
3.1.3.1.2 Control y depuración de la información secundaria.....	38
3.1.3.1.3 Cálculo de la temperatura media diaria.....	38
3.1.3.1.4 Análisis del comportamiento de la temperatura.....	38
3.1.3.1.5 Calculo de la constante térmica o grados-día.....	39
3.1.3.1.5.1 Método directo o tradicional.....	39
3.1.3.1.5.2 Método residual de la constante térmica.....	39
3.1.3.1.5.2.1 Determinación la temperatura base de la quinua.....	40
3.1.3.1.5.2.1.1 Método del menor coeficiente de variabilidad.....	40
3.1.3.1.5.2.1 Método residual de la constante térmica para cada fase fenológica.....	41
3.1.3.1.6 Simulación del riesgo de cosechas.....	41
3.1.3.1.6.1 Estimación de la fecha de siembra.....	42
3.1.3.1.6.2 Estimación de la fecha de cosecha.....	42
3.1.3.1.6.3 Probabilidad de pérdida de cosecha.....	43
IV. SECCION PROPOSITIVA.....	44
4.1 Análisis de resultados.....	44
4.1.1 Comportamiento de la temperatura.....	44
4.1.2 Determinación de la constante térmica para la Quinua.....	49
4.1.2.1 Método directo.....	49
4.1.2.2 Método residual.....	51
4.2.2.2.1 Determinación de la temperatura base o temperatura vital mínima.....	51
4.2.2.2.1.1 Método del menor coeficiente de variabilidad.....	51
4.2.3 Constante térmica para las fases fenológicas de la Quinua.....	54
4.2.3.1 Método residual para las fases fenológicas.....	54
4.2.4 Incidencia de eventos climáticos extremos.....	57

4.2.4.1	Días con heladas.....	57
4.2.5	Simulación del riesgo de cosecha.....	59
4.2.5.1	Simulación del riesgo de cosecha para Calacoto Altiplano Central.....	59
4.2.5.2	Simulación del riesgo de cosecha para Patacamaya Altiplano Central.....	60
V.	SECCION CONCLUSIVA.....	62
VI.	RECOMENDACIONES.....	64
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	65
ANEXOS	73

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Comparación nutritiva de la quinua (gramos por 100 gramos de materia seca).	5
Cuadro 2. Requerimientos climáticos de la quinua de acuerdo al grupo agroecológico...	12
Cuadro 3. Frecuencia de heladas en diferentes regiones del Altiplano.....	17
Cuadro 4. Características agronómicas de las variedades de quinua.....	36
Cuadro 5. Grados día de la quinua método directo (Emergencia- Madurez fisiológica)...	50
Cuadro 6. Coeficientes de variabilidad, para determinar la temperatura base.....	51
Cuadro 7. Grados día de la quinua método residual (Emergencia-Madurez fisiológica)..	52
Cuadro 8. Grados día para las fases fenológicas según variedades.....	54
Cuadro 9. Días de duración de cada fase fenológica según las variedades.....	54
Cuadro 10. Número de días con heladas ($T \leq 0^{\circ}\text{C}$).....	57
Cuadro 11. Simulación del riesgo de cosecha en Calacoto Altiplano Central.....	60
Cuadro 12. Simulación del riesgo de Cosecha en Patacamaya Altiplano Central.....	61

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	31
Figura 2. Comportamiento de la Temperatura gestión 2004-2005 Viacha.....	44
Figura 3. Comportamiento de la Temperatura gestión 2006-2007 Corpa.....	45
Figura 4. Comportamiento de la Temperatura gestión 2007-2008 Iñacamaya.....	45
Figura 5. Comportamiento de la Temperatura gestión 2009-2010 Callapa Chico.....	46
Figura 6. Comportamiento de la Temperatura gestión 2006-2007 Patacamaya ¹	47
Figura 7. Comportamiento de la Temperatura gestión 2005-2006 Patacamaya ²	48
Figura 8. Comportamiento de la Temperatura gestión 2006-2007 Mejillones.....	49
Figura 9. Grados día para cada una de las fases fenológicas de la quinua.....	55
Figura 10. Variación en porcentaje de la duración de cada fase fenológica.....	56
Figura 11. Comparación días con heladas en fases fenológicas por localidades.....	58

INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Temperaturas Viacha gestión 2004 – 2005
- Anexo 2. Temperaturas Corpa gestión 2006 – 2007
- Anexo 3. Temperaturas Ñacamaya gestión 2007 – 2008
- Anexo 4. Temperaturas Callapa Chico gestión 2009 – 2010
- Anexo 5. Temperaturas Patacamaya¹ gestión 2006 – 2007
- Anexo 6. Temperaturas Patacamaya² gestión 2005 – 2006
- Anexo 7. Temperaturas Mejillones gestión 2006 – 2007
- Anexo 8. Inicio y final de cada fase fenológica (en fechas) según localidades
- Anexo 9. Comportamiento de las temperaturas por fases. Viacha 2004 – 2005
- Anexo 10. Comportamiento de las temperaturas por fases. Corpa 2006 – 2007
- Anexo 11. Comportamiento de las temperaturas por fases. Callapa 2009 – 2010
- Anexo 12. Comportamiento de las temperaturas por fases. Patacamaya¹ 2006 – 2007
- Anexo 13. Comportamiento de las temperaturas por fases. Patacamaya² 2005 – 2006
- Anexo 14. Comportamiento de las temperaturas por fases. Mejillones 2006 – 2007

RESUMEN

La quinua es uno de los pocos cultivos, con alto valor nutritivo, del cual se puede obtener producciones económicamente rentables, que se adaptan y toleran las condiciones climáticas extremas del Altiplano. Sin embargo, dichos eventos climáticos (heladas) ocasionan pérdidas significativas en la producción vegetal ya que se presentan en cualquier época del año, pero son más frecuentes, durante los meses de marzo a mayo, que coinciden con las últimas etapas de desarrollo del cultivo.

Bajo estas circunstancias, la duración del ciclo ontogénico del cultivo, resulta ser una estrategia que permita, aminorar dichas pérdidas. Pero sea evidenciado, que dicha duración es muy heterogénea. El modelo simple de la constante térmica permite relacionar la tasa de desarrollo del cultivo con la temperatura, para predecir la época de cosecha, Esto para los productores, representaría una ventaja competitiva y una herramienta de planificación, para desarrollar estrategias de producción.

Se evaluó la periodicidad de la temperatura sobre la duración del ciclo, y se determinó su constante térmica, por dos métodos: directo y residual. Se identificó la temperatura base a partir de la cual la planta presenta la actividad metabólica, por métodos matemáticos. Y la influencia de las temperaturas mínimas extremas sobre la plasticidad del desarrollo de sus fases fenológicas, para el periodo comprendido entre emergencia y Madurez Fisiológica, en cultivares de quinua (Belén 2000; Toledo Rojo, Sajama, Santa María y Real Blanca), en seis diferentes localidades del Altiplano (Viacha, Corpa, Ñacamaya, Callapa Chico, Patacamaya¹ y² y Mejillones) durante las gestiones agrícolas 2004-2005, 2006-2007, 2007-2008, 2009-2010, 2006-2007¹, 2005-2006² y 2006-2007 respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos a través del método empírico, podemos sugerir que la temperatura base para la quinua es de 1°C. Los resultados muestran que el método directo sobreestima la acumulación energética en un 10 a 15%, con respecto al método residual. Estableciendo que la constante térmica de la quinua es de 1600 a 1700 GDD.

El análisis de la acumulación de calor para cada fase fenológica, muestra la plasticidad adaptativa del cultivo, en el desarrollo de sus fases, por la acción positiva o negativa de la temperatura. Lo que le permite cumplir su ciclo ontogénico, independiente de la duración del mismo. Las fases que mejor reflejan esta característica, son 5HA y 13H. Ya que el cultivo en este periodo necesita acumular de 320 a 400 GDD. Las variedades Santa María y Real

Blanca presentan una acumulación del 80% del requerimiento en 5HA y un 20% en 13H. Mientras que la variedad Belén 2000 en dos localidades Viacha y Corpa, la acumulación en ambas fases fue más o menos pareja. La duración de estas dos fases fue de 34 a 36 días para las tres variedades en las cuatro localidades. Otras fases que muestran esta plasticidad aunque de forma no tan evidente son 2HB y DPA.

En cuanto a la respuesta de la plasticidad adaptativa, frente a la incidencia de heladas (eventos climáticos extremos), en las primeras etapas, COT-DPA, no se evidencian diferencias significativas en la acumulación de calor, entre las variedades que sufrieron heladas (Santa María y Real Blanca) de las que no (Belén 2000 y Sajama) ya que todas las variedades alcanzaron FLO con una acumulación de 960 a 1060 GDD, pero si se evidencia una mayor duración del ciclo en las variedades que sufrieron heladas especialmente en las fases COT y 2HB,

La periodicidad de la temperatura influye directamente sobre la duración del ciclo y de cada fase fenológica, mostrando que cuanto mayor es la temperatura media, menor la duración del ciclo, desde el punto de vista eminentemente climático.

De acuerdo a la simulación del riesgo de cosecha, para el Altiplano Central, existe una alta probabilidad de pérdida de cosecha, si se realizan siembras antes de la segunda quincena de Octubre, y en el primer decanato de Diciembre, por la alta probabilidad de ocurrencia de heladas tardías, en el primer caso. O que las etapas más sensibles FLO y GLE coincidan con los periodos más críticos de ocurrencia de heladas (a partir de tercer decanato de Marzo) en el segundo. Podemos sugerir entonces, que la mejor época de siembra para el Altiplano Central varía desde el tercer decanato de Octubre hasta la primera quincena de Noviembre.

I. INTRODUCCION.

1.1 Planteamiento del problema.

La Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) es uno de los pocos cultivos, de los que se puede obtener producciones económicamente rentables, en zonas con condiciones climáticas extremas y suelos marginales, que son características en gran parte del Altiplano boliviano. Así también, este cultivo es conocido por su alto valor nutritivo (7.5 a 22% de proteína) (ANAPQUI, 2003), que permite compensar los altos niveles de desnutrición en las poblaciones de esta región, junto a su adaptación y tolerancia a condiciones extremas, presenta un continuo crecimiento de su demanda, con una superficie cultivada en promedio de 34 mil ha en los departamentos de Oruro y Potosí (ANAPQUI, 2006) y 50 mil ha en los departamentos de La Paz, Oruro y Potosí (Vice Ministerio de Exportaciones, 2009)

Por otra parte, es sabido que los agroecosistemas del altiplano boliviano sufren pérdidas considerables en la producción vegetal (Rendimiento/ha) debido a la alta frecuencia de eventos climáticos extremos (Sequias, heladas, granizadas, etc.). Bajo estas circunstancias, la duración del ciclo de vida del cultivo, resulta ser un factor que permite, aminorar dichas pérdidas.

Cuando se estudia la duración del ciclo vegetativo de un cultivo (número de días que transcurren desde la siembra hasta la cosecha), se observa que dicho ciclo no es constante en el tiempo, variando según las regiones (ubicación geográfica), las variedades (características genotípicas), y condiciones climáticas (temperatura, disponibilidad de agua, etc.).

Las numerosas experiencias científicas, realizadas con un gran número de genotipos, bajo diferentes condiciones climáticas, han demostrado que, en cuanto a la duración del periodo vegetativo, la quinoa es una especie cuantitativa de día corto, donde la duración del periodo vegetativo no solo depende de la duración del día (fotoperiodo), sino también de la latitud y longitud de origen. En consecuencia los diferentes genotipos (variedades) variaran en la duración de todas las etapas de crecimiento.

Esto indica que para caracterizar el crecimiento y desarrollo de la quinua, es necesario analizar la respuesta de la misma al fotoperiodo, pero principalmente a la temperatura del ambiente en la cual se desarrolla, en todas las etapas de crecimiento (fases fenológicas), con el mayor número de genotipos posibles, en diferentes localidades y en diferentes gestiones agrícolas, que nos permita hallar un indicador, en este caso la constante térmica, que relacione la temperatura con la duración del ciclo vegetativo en términos energéticos.

1.2 Justificación del Trabajo Dirigido.

Las experiencias de estudios realizados establecieron que, si se suma la temperatura del aire, desde el día en que se produce la germinación hasta el momento de la madurez fisiológica, la suma total (Constante térmica o Grados día) es siempre la misma, cualquiera sea su ubicación geográfica y/o año considerado.

Este índice agronómico, que se basa en la relación existente entre la tasa de desarrollo de la planta y la temperatura del aire, puede ser usado para predecir la duración del ciclo vegetativo del cultivo, así como de cada una de sus fases fenológicas, ya que las plantas manifiestan un requerimiento térmico (acumulación de cierta cantidad de calor expresado en grados día) para completar su ciclo vegetativo, permitiendo de esta manera independizarse del concepto de tiempo en días como estimador abstracto del crecimiento de los cultivos.

La determinación de este índice, para los productores, representaría una ventaja competitiva y una herramienta de planificación, para desarrollar estrategias de producción, en lo referente a fechas, lugares y cantidades previamente acordadas, con un mayor grado de certidumbre.

Es conocida también, la plasticidad de la quinua para acortar o alargar la duración de una determinada fase fenológica, dependiendo de la acción positiva o negativa de un evento climático, sin que ella afecte en demasía el rendimiento, Esta característica morfo-fisiológica, ya ha sido estudiada y verificada, en lo referente al estrés hídrico en varios estudios realizados. (Mamani, 2007) (Geerts *et al.*, 2008b).

Este trabajo, pretende identificar, como paso inicial, si el cultivo muestra plasticidad en el desarrollo de sus fases fenológicas, frente a la acción positiva o negativa de la temperatura (acumulación energética), analizando para tal fin, diferentes épocas de siembra, en diferentes localidades del altiplano boliviano.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

- Evaluar la influencia de la plasticidad de la quinua sobre su constante térmica en el altiplano boliviano.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Determinar la cantidad de calor, expresado en grados día, que necesita la quinua para cumplir su ciclo vegetativo.
- Identificar las fases fenológicas que expresan mejor la plasticidad del cultivo.
- Evaluar la plasticidad del cultivo, en respuesta a eventos climáticos extremos.
- Determinar la importancia de la periodicidad anual de la temperatura sobre la duración de las fases fenológicas.

1.4 Metas.

Esté análisis responde básicamente a la necesidad de evaluar los registros de datos de temperaturas máximas y mínimas del aire, registradas durante todo el ciclo vegetativo del cultivo de la quinua, en diferentes localidades y gestiones agrícolas (Viacha 2004-2005, Corpa 2006-2007, Iñacamaya 2007-2008, Callapa Chico 2009-2010, Patacamaya¹ 2006-2007, Patacamaya² 2005-2006 y Mejillones 2006-2007) del altiplano boliviano, para cuantificar el valor aproximado de su constante térmica para todo el ciclo vegetativo y utilizar este índice agronómico en la simulación del riesgo de cosecha para el Altiplano Central.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Marco conceptual.

2.1.1 Origen e importancia de la Quinua.

El origen de las especies cultivadas de quinua, es un tema aún en discusión, ya que existen diversas hipótesis al respecto, para algunos, el centro de origen y domesticación sería el Altiplano que rodea al lago Titicaca (Gandarillas, 1982). Otros investigadores, se refieren a diferentes centros de origen, ubicados en los valles interandinos, de donde hubiera sido llevado al Altiplano, convirtiéndose éste, en el gran centro de diversificación. (Tapia y Frías, 2007). Se considera como centro de origen de la quinua a la zona de los Andes, estimando una antigüedad de 300 a 500 años a. C. (Tapia, 1979)

El cultivo de quinua se extiende desde los 5° de Latitud Norte, al sur de Colombia, hasta los 43° Latitud Sur, en la decima región de Chile; en cambio su distribución altitudinal, varía desde el nivel del mar en Chile, hasta los 4000 metros en el Altiplano que comparten Perú y Bolivia (PROINPA, 2003). Actualmente se cultiva en toda la región andina, desde Colombia hasta el norte de Argentina. (Gandarillas, 1979)

Debido a su alto valor alimenticio y su adaptabilidad a las condiciones de crecimiento muy desfavorables, es considerado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), como un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria en las regiones donde se produce. (Benlhabid *et al.*, 2004 citado por Geerts *et al.*, 2008a). Al presente, atrae cada vez más la atención para utilizarlo como cultivo para la seguridad alimentaria también fuera de su centro de origen.

Los reportes de estudios sobre la composición de la quinua (presentados en el cuadro 1), la jerarquizan como un alimento noble, de insuperables bondades nutricionales para el ser humano. La quinua es un alimento que presenta proteínas de alta calidad (ricos en lisina, histidina y metionina) no obstante, la característica principal es la calidad de los aminoácidos esenciales para la vida humana, que se encuentran en cantidades próximas al equilibrio. Esta composición balanceada hace

que la calidad de la proteína de la quinua sea única y comparable a la de la leche materna. (PROINPA, 2004)

La quinua tiene un alto porcentaje de vitaminas tales como las vitaminas del complejo B (B1, B2 y B3) ácido ascórbico (vitamina C) y de minerales tales como calcio, hierro, fósforo y magnesio. También contiene fibras (que coadyuvan en los procesos digestivos) y ácidos grasos no saturados (solamente alrededor del 10% de los ácidos grasos en la quinua son saturados). (Borja y Soraide, 2007)

Cuadro 1 Comparación nutritiva de la quinua (gramos por 100 gramos de materia seca)

	QUINUA	TRIGO	MAIZ	ARROZ	SOYA
Proteínas	7.5-22	8.6-16	9	7	35-40
Carbohidratos	60-72	54.4	65	75	—
Fibra	3-4	3	2	0.5	4
Lípidos	1.8-9.5	2	4	2	18
Ácidos Grasos Saturados (%)	11	—	—	—	15
Ácidos Grasos Insaturados (%)	89	—	—	—	85
Energía (Kcal)	350-390	309	338	353	—

Fuente: ANAPQUI, 2003; Fundación PROINPA, 2004

2.1.1.1 Descripción taxonómica.

Según The Angiosperm Phylogeny Group (2003), la clasificación taxonómica de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) es la siguiente:

Reino : Vegetal
 División : Magnoliophyta
 Clase : Magnoliopsida
 Sub Clase : Angiospermas
 Orden : Caryophylliales
 Familia : Amaranthaceae
 Sub-familia : Chenopodiaceae
 Genero : Chenopodium
 Especie : Chenopodium quinoa Willd.

2.1.1.2 Características morfológicas.

La raíz de la quinua es pivotante, profunda, bastante ramificada y fibrosa, la cual posiblemente le otorga resistencia a la sequía y buena estabilidad frente al viento. Al germinar, lo primero que se alarga es la radícula, que continúa creciendo y da lugar a la raíz, alcanzando, en casos de sequía, hasta 180 cm de profundidad; manifiesta también un alargamiento lateral. La profundidad de la raíz guarda estrecha relación con la altura de la planta. (Mujica *et al.*, 2004)

El tallo es cilíndrico y herbáceo en el cuello de la planta, y anguloso a partir de las ramificaciones, puesto que las hojas son alternas. El color del tallo es variable, posee una epidermis cutinizada, corteza firme, compacta con membranas celulósicas. Interiormente contiene una médula que a la madurez desaparece, quedando seca, esponjosa y vacía. (Mujica *et al.*, 2004). De acuerdo a la variedad, el tallo alcanza diferentes alturas y termina en inflorescencia. En la quinua existen variedades altas y bajas, alcanzando entre 0.50 y 2 metros de longitud. (Gandarillas ,1979)

Las hojas son alternas, formadas por peciolo y lámina. Los peciolos son largos, finos y acanalados en su parte superior, y de longitud variable dentro de la misma planta. La lámina es polimorfa en la misma planta, de forma romboidal, triangular o lanceolada, plana u ondulada, algo gruesa, carnosa y tierna, con bordes dentados, aserrados o lisos (Mujica *et al.*, 2004). Por otra parte, en la superficie de las hojas, los tallos y ápices jóvenes, se pueden observar abundantes papilas (partículas) que se abren y caen conforme la planta llega a la madurez. . (Gandarillas ,1979). Dichas partículas compuestas de silicatos y oxalatos de calcio, tienen la función de reducir la pérdida de agua por transpiración. (Dizés y Bonifacio, 1992)

La inflorescencia es una panoja típica, constituida por un eje principal, ejes secundarios, y terciarios o glomérulos que sostienen a los glomérulos (grupos de flores). Cuando los glomérulos nacen de ejes secundarios, la panoja es amarantiforme, (en muchas razas de quinua, está inflorescencia se ramifica, dando a la panoja un aspecto más compacto). Sí nacen de ejes terciarios la panoja es glomerulada, si los ejes son largos la panoja es laxa (Mujica *et al.*, 2004).

Las flores carecen de pétalos, pueden ser: Hermafroditas (pistilo y estambres) ubicadas en la parte superior del glomérulo; Pistiladas (femeninas) en la parte inferior del glomérulo; y Androestériles (con pistilo y estambres estériles). Los tres tipos de flores pueden estar presentes en la misma planta. Por lo general las flores presentan un perigonio con cinco sépalos de color verde, un androceo con cinco estambres (pentámera) cortos de color amarillo, y un gineceo con estigma central plumoso con dos o tres ramificaciones estigmáticas. (Apaza, 2005)

El fruto es un aquenio, que se deriva de un ovario súpero unilocular y de simetría dorsiventral, tiene forma cilíndrico-lenticular, levemente ensanchado hacia el centro, está constituido por el perigonio, que envuelve a la semilla por completo, con un diámetro de 1.5 a 4 mm. El fruto se desprende con facilidad a la madurez. Su contenido de humedad a la cosecha es alrededor de 14.5% (Rea, 1969). El perigonio cubre una sola semilla y se desprende con facilidad al frotarlo.

La semilla es fruto maduro sin perigonio, el color puede ser: amarillo, café, crema, plomo, blanco o translucido. El pericarpio contiene saponina (alcaloide que confiere el sabor amargo) en la mayoría de los granos. El epispermo se encuentra bajo el pericarpio, que cubre al embrión, formado por dos cotiledones y la radícula, y envuelve al perisperma (de color blanco) en forma de anillo. El embrión constituye la mayor proporción de la semilla (25%), mientras que en los cereales corresponde sólo el 1%, de ahí el alto valor nutritivo de la quinua (Mujica *et al.*, 2004).

2.1.1.3 Características fenológicas.

La fenología, es el estudio de los cambios externos diferenciables y visibles que muestran las plantas como resultado de sus relaciones con las condiciones ambientales (temperatura, luz, humedad, suelo) donde se desarrollan, durante su período vegetativo y reproductivo. (Mujica *et al.*, 2007)

La fenología mide los diferentes estados o fases de desarrollo de la planta, mediante una apreciación visual, en la que se determina los distintos eventos de cambio o transformación fenotípica de la planta, relacionadas con la variación climática, dando rangos comprendidos entre una y otra etapa. La duración de las fases fenológicas

depende mucho de los factores medio ambientales que se presenta en cada campaña agrícola.

Definen como fases fenológicas de la planta a los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta, los cuales son el resultado de las condiciones ambientales, esto desde la germinación de la semilla hasta la formación de las nuevas semillas. (Canahua y Mujica, 1989)

Trabajando con la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) eminentemente altiplánicas, señala que en la planta se pueden distinguir notoriamente nueve etapas morfo-anatómicas distinguibles. (Espindola, 1994, citado por Huanca, 2008). Las mismas que se describen con las siguientes características:

2.1.1.3.1 Etapa de emergencia.

Caracterizada por la emergencia del embrión a la superficie del suelo, pudiendo variar la misma de acuerdo al tiempo de almacenamiento y variedad de la semilla; es así, que el tiempo requerido después de la germinación hasta la emergencia de los dos cotiledones varía de 3 a 5 días.

2.1.1.3.2 Etapa cotiledonar.

Es la etapa posterior al cuarto día, en la que el hipocotilo curvo se endereza verticalmente, dando lugar a la expansión horizontal de los cotiledones; la plúmula visible forma un pequeñísimo cono con el vértice hacia arriba. Mientras la raíz seminal se elonga rápidamente hacia abajo, formándose a lo largo de ella finísimos pelos radicales de color blanco. Ocurre aproximadamente entre los 3 a 10 días después de la siembra.

2.1.1.3.3 Etapa de dos hojas basales.

Es la etapa comprendida, entre los días 10 y 20 después de la siembra. Los prófilos ya visibles van a constituirse en las hojas basales y alrededor de su centro se forma un abultamiento de los apéndices, el futuro vástago que empieza a diferenciarse. Al pasar los días se forma un arrellamiento en el ápice de las futuras hojas alternas.

Esta etapa finaliza con la completa expansión de dos primeras hojas basales y la inclinación de las primeras hojas alternas.

2.1.1.3.4 Etapa de cinco hojas alternas (Diferenciación panicular).

Durante el transcurso de esta etapa, el tejido meristemático apical cambia de la etapa vegetativa a la reproductiva, es decir, del proceso de formación solamente de primordios foliares (crecimiento), al proceso de formación alternativa de primordios foliares y florales (crecimiento más desarrollo). Externamente, esta etapa se caracteriza por la completa expansión de 5 primeras hojas alternas; el resto de las hojas en crecimiento se encuentran arrolladas alrededor del ápice. Ocurre aproximadamente entre los 35 a 45 días después de la siembra.

2.1.1.3.5 Etapa de trece hojas alternas (Pre-despunte panicular).

Esta etapa implica un notable crecimiento enramado de la planta junto a las dos siguientes etapas, como consecuencia del rápido alargamiento de los entrenudos, en especial de los del tercio inferior. El aspecto externo que caracteriza a esta etapa es la fácil visualización de 13 hojas alternas completamente expandidas. Sin embargo, lo que más caracteriza a esta etapa se encuentra en la parte apical de la planta, en medio del arrollamiento de hojuelas, se visualiza un pequeño abultamiento de suave consistencia, que vendrá a ser la futura flórmula compuesta de una infinidad de prófilos y órganos reproductivos en formación y emergencia. Esta fase ocurre aproximadamente entre los 45 a 50 días después de la siembra.

2.1.1.3.6 Etapa de despunte de panoja.

Se caracteriza por el despunte de la flórmula hasta la prefloración, en esta etapa aún no hay apertura de ninguna flor. El despunte de la flórmula (inflorescencia) constituida por un gran número de panículas, tiene el aspecto visible en una bellota con la cúspide hacia arriba. Posteriormente, con el proceso de la elongación, adquiere la forma de un cono con la cúspide roma. Si la planta es de hábito ramificado, la aparición de las ramas laterales aun no es notable puesto que aún persiste la dominancia de las hojas del tallo principal. En el sistema radical se produce una

expansión de raicillas y pelos absorbentes. Ocurre aproximadamente entre los 55 a 70 días después de la siembra.

2.1.1.3.7 Etapa de floración.

Es la etapa de mayor crecimiento de longitud, también es la etapa de plena floración. Se considera como fase de floración cuando el 50% de la población de flores de la panoja principal ya están florecidas y las restantes en trabajo de floración. El tiempo de floración varía en función de las condiciones ambientales y en general dura de 15 a 20 días, desde la primera flor aparecida hasta la última flor de las panojas basales. Esta fase ocurre aproximadamente entre los 90 a 130 días después de la siembra. García (2003), señala que el estrés hídrico en la quinua es crítico durante todo el desarrollo de los órganos de reproducción, esto es desde la antesis hasta el llenado de grano.

2.1.1.3.8 Etapa de grano lechoso.

Es la etapa de la fecundación. En el óvulo de una flor se desarrolla un receptáculo esférico verdoso, estos granos son suaves y húmedos (50% de humedad), de él es posible, con una leve presión de los dedos, extraer un líquido incipiente, que paulatinamente se vuelve lechoso. Esto marca el principio de un período de rápida acumulación de fotosintatos en las células perispérmicas, acumulación que no es, sino consecuencia del paulatino incremento de la actividad fotosintética de las hojas y tallos verdes. A estas alturas, el crecimiento en longitud se debe ante todo al alargamiento del tercio superior (es decir, al continuo alargamiento de los entre nudos de la panoja), lo que implica que en los 2/3 inferiores, el crecimiento ha cesado prácticamente. Ocurre aproximadamente entre los 100 a 130 días después de la siembra

2.1.1.3.9 Etapa de masa de grano.

Es la etapa en la que el tejido perispérmico sufre un cambio del estado lechoso a un estado pastoso semisólido, los granos están más secos (25% de humedad) y adquieren el color específico de la variedad, es un cambio que ocurre a medida que

el contenido de almidón aumenta, en tanto, el contenido de agua se va reduciendo. Por lo que en esta etapa no interesa el crecimiento en longitud ni el aumento de follaje, sino lo que ocurre en la panoja. Esta fase ocurre aproximadamente entre los 130 a 160 días después de la siembra.

2.1.1.3.10 Etapa de grano pastoso duro o madurez fisiológica.

Es el estado de madurez fisiológica de la planta y se caracteriza por la diferenciación a simple vista del perisperma y del embrión, los granos son duros y secos (15% de humedad). Como consecuencia en esta etapa la semilla es dificultosamente partida bajo la presión de las uñas de los dedos, porque las estructuras almidonosas del perisperma se han solidificado, relegando el contenido de agua. Morfológicamente las plantas en su generalidad muestran hojas verde-amarillentas que van defoliándose en forma gradual. Esta fase ocurre aproximadamente entre los 160 a 180 días después de la siembra.

Canahua y Mujica (1989) consideran las siguientes fases fenológicas para el cultivo de la quinua.

- a) Emergencia: ocurre entre los 7 y 10 días después de la siembra.
- b) Dos hojas verdaderas: ocurre entre los 15 y 20 días después de la siembra.
- c) Cuatro hojas verdaderas: ocurre de los 25 y 30 días después de la siembra. En esta fase la plántula tiene buena resistencia al frío y sequía.
- d) Seis hojas verdaderas: ocurre de los 35 y 45 días después de la siembra.
- e) Ramificación: ocurre de los 45 a 50 días después de la siembra. En esta fase, la parte más sensible a las bajas temperaturas es la parte que está por debajo de ápice produciendo el “colgado” del ápice.
- f) Inicio de Panojamiento: ocurre a los 55 a 60 días después de la siembra.
- g) Panojamiento: ocurre entre los 65 a 70 días después de la siembra.

h) Inicio de la floración: ocurre a los 75 a 80 días después de la siembra. Esta fase, es bastante sensible a las bajas temperaturas y sequias.

i) Floración o antesis: ocurre entre los 90 a 100 días después de la siembra. Esta fase, es muy sensible a las bajas temperaturas, pudiendo resistir solo hasta -1°C.

j) Grano lechoso: ocurre entre los 100 a 130 días después de la siembra.

k) Grano pastoso: ocurre entre los 130 a 160 días después de la siembra.

l) Madurez fisiológica: ocurre de los 160 a 180 días después de la siembra.

2.1.1.4 Requerimientos del cultivo.

La quinua es un grano nativo de los Andes; por ende, las características agrícolas y de cultivo son óptimas en las regiones del altiplano y de los valles altos de la zona andina (Villalobos y Espejo, 1997, citado por Huanca, 2008).

Su periodo vegetativo según el ecotipo, varía entre 150 a 240 días, con una plasticidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales (depende de la variedad, del clima, y del lugar de siembra), la época de siembra varía de Agosto a Diciembre (dependiendo de las precipitaciones pluviales y del riesgo de heladas durante la época de cosecha). La cosecha varía de Marzo a Mayo.

Cuadro 2. Requerimientos climáticos de la quinua de acuerdo al grupo agroecológico.

GRUPO AGROECOLOGICO	TEMPERATURA MIN. °C	PRECIPITACION (mm)
Valle	3.0	700 – 1500
Altiplano	0.0	400 -800
Salares	-1.0	250 – 400
Nivel del mar	5.0	800 – 1500
Yungas	7.0	1000 - 2000

Fuente: Tapia (1997)

Para obtener buenos rendimientos, la quinua prefiere suelos francos y semiprofundos, con un contenido de materia orgánica bueno y sobre todo no inundables. Las diferentes variedades presentan una relativa indiferencia al

fotoperiodo, y a la altitud, pueden cultivarse desde el nivel del mar hasta los 3900 msnm. También toleran suelos con una amplia gama de pH de 6 a 8.5 (ANAPQUI, 2001). Las quinuas de los salares del sur de Bolivia, están adaptados a condiciones xerofíticas, y se posibilita su desarrollo inicial sin lluvias, únicamente con la humedad del suelo en los hoyos cavados en el momento de la siembra. (Risi, 1994 citado por Tapia, 1997).

La fertilización no es muy importante, ya que se trata de un cultivo de rotación, que viene generalmente después de la papa (*Solanum Tuberosum*) y que para esta última se incorpora materia orgánica de origen animal descompuesta. Sin embargo, en estudios recientes, se determinó que la quinua es como cualquier otro cultivo, se comporta mejor con una fertilización nitrogenada adecuada (Alegría, 1999, citado por Condori, 2008)

2.1.1.5 Fisiología de la Quinua.

Se ha clasificado a la quinua como una planta del tipo C3 (considerándose entre aquellas que fijan el CO₂, por medio de la enzima RuDP-carboxilasa). Esta determinación se efectuó en base al tipo anatómico de las hojas, fundamentalmente por la ausencia de la vaina de los haces, y la presencia bien definida del parénquima clorofiliano de empalizada. (Gandarillas, 1979). Basándose en esta observación, varios autores han difundido la idea que la quinua sería ineficiente en la fijación de CO₂, en comparación con otros cultivos como la caña de azúcar, que son del tipo C4. Esta conclusión, válida para los estudios de laboratorio, pero es errónea en la realidad del cultivo. En efecto, la ventaja de la fotosíntesis de tipo C4 sólo se manifiesta bajo temperaturas altas que precisamente no son las vigentes en la zona de cultivo de la quinua; bajo temperaturas frescas o frías, tal como se presentan en el altiplano, es más bien la fotosíntesis de tipo C3 la más eficiente (Kubien y Sage, 2004, citado por Veizaga, 2006).

Mediante un corte transversal del limbo de la hoja de quinua, se verificaron la estructura anatómica típica de las plantas con metabolismo C3, con un parénquima palisádico con muchas capas de células dispuestas perpendicularmente a la

epidermis y un parénquima lagunoso, pero sin vaina peri-vascular. También detectaron un relieve muy accidentado, compuesto proporcionalmente de minúsculos estomas, protegidos por enormes células epidérmicas, además de un gran número de vesículas transparentes o no, capaces de retener películas de agua, lo que aumenta la humedad relativa de la atmosfera que rodea a la hoja, y consecuentemente disminuye la transpiración (Bonifacio y Dizes, 1992).

2.1.1.6 Características genéticas.

La quinua es una especie alotetraploide, constituida por dos diploides, con un número de 36 cromosomas (Gandarillas, 1979).

Los recursos genéticos de las especies de *Chenopodium* son muy diversos, los mismos que poseen una serie de características útiles al mejoramiento. Así *Chenopodium carnosolum*, es fuente genética para la precosidad y rusticidad, *Chenopodium petiolae*, *Chenopodium hircinum* y *Chenopodium nuttaliare*, albergan genes de resistencia al mildiu (Bonifacio, 1999)

La tolerancia de la quinua al exceso de sales, viene de *Chenopodium carnosolum* que crece en zonas de amplia concentración salina, la resistencia al frío vendría de *Chenopodium pallidicaule*, que crece en las grandes altitudes del altiplano, y la morfología de la quinua vendría de *Chenopodium petiolae*. (Mujica et al, 2001)

Por otra parte, las hibridaciones han incursionado en los cruzamientos inter genéricos entre *Chenopodium quinoa* y *Atripex Sp.* de ciclo anual para sus usos posteriores en el mejoramiento (Bonifacio, 1999).

2.1.2 Plasticidad de las plantas.

Las plantas como organismos inmóviles no pueden eludir las condiciones ambientales desfavorables, lo cual han originado que, a lo largo de su evolución, hayan desarrollado mecanismos que les permitan tolerar y superar las condiciones ambientales adversas (falta de agua, altas y bajas temperaturas, escasez de nutrimentos, depredación, etc.). Entre los mecanismos adquiridos se encuentra la plasticidad. Definida como una medida de la cantidad o proporción en que la

expresión de las características de la forma cambia por efecto de la variación ambiental. La plasticidad ha sido confundida con flexibilidad, estabilidad y regulación interna, llegando a la conclusión de que sólo se trata de homologías. (Bradshaw, 1965 citado por Reyes Matamoros, 2001). Esta definición excluye la variación ocasionada por factores internos que influyen en el desarrollo del individuo, como su estado de desarrollo interno, el desarrollo de los órganos y la relación entre dos o más variables.

Las plantas poseen la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ambientales, ajustando su morfología y fisiología a través de la variación genética y la plasticidad en su forma. La variación de forma en las plantas puede estar o no relacionada con la variación genotípica y podría afectar caracteres ecológicos, morfológicos, fisiológicos, anatómicos, y bioquímicos. Los cambios en caracteres morfológicos, fisiológicos y reproductivos han sido reportados para muchas especies de plantas. La plasticidad de la forma constituye una parte importante de la habilidad de las plantas para sobrevivir en condiciones ambientales heterogéneas. Algunos estudios han comparado la plasticidad de la forma entre poblaciones silvestres de una sola especie, llegando a la conclusión, la respuesta plástica en las especies es debida al efecto que el ambiente causa en los organismos (Schmid, 1992 citado por Parra Torrez, 2007).

Las plantas de sistemas naturales y agrícolas tienen la capacidad de acomodarse a un ambiente cambiante, sin requerir un cambio evolutivo que siempre implica varias generaciones. Todas las especies vegetales muestran un mayor o menor grado de plasticidad, diversos estudios sugieren que especies de medios más heterogéneos y cambiantes, tienen mayor grado de plasticidad. Las ventajas del cambio de la estructura y/o de la función de los vegetales ante un cambio ambiental, a través de la plasticidad podría llevar a seleccionar en el caso de los cultivos, variedades más plásticas y no necesariamente más productivas o cuya productividad sea más previsible. (Parra Torrez, 2007)

2.1.2.1 Plasticidad de la Quinua.

La plasticidad es el desarrollo de una planta, con ritmos variables de crecimiento, por ejemplo, la quinua crece cuando existen ciertos niveles de humedad, y detiene él mismo, cuando la planta experimenta niveles de sequía. Por lo que, en la quinua la tolerancia a la sequía se debe a su plasticidad en el crecimiento. (Jacobsen y Mújica, 1999)

La plasticidad, es crucial para las plantas, para sobrevivir, reproducirse y competir en su medio ambiente natural. La constante térmica del cultivo, es un modelo simple para estudiar los efectos de los cambios del medio ambiente (temperatura del aire) en los programas de desarrollo. Las células vegetales son totipotentes (capacidad de regenerar individuos completos a partir de una sola célula somática), esta capacidad se refleja en la plasticidad, en la adquisición de respuestas a señales externas, que permita a la planta adaptarse a las condiciones ambientales vigentes, es decir, la plasticidad adaptativa de las plantas es un mecanismo subyacente a la reprogramación de las células (Fernández *et al.*, 2004)

La quinua es un cultivo muy resistente a la sequia, uno de los mecanismos que le permite eludir condiciones de estrés hídrico, es la plasticidad de sus fases fenológicas y la duración del ciclo vegetativo. Trabajando con cultivares de quinua (Santa María) durante dos gestiones agrícolas en el Altiplano Central, demostró que el cultivo presenta variaciones en la duración de determinadas fases (antes de la floración) cuando la planta es sometido a diferentes niveles de déficit hídrico, sin que ello represente reducciones significativas en el rendimiento. (Geerts *et al.*, 2008b)

La quinua presenta una variedad y una plasticidad intra-especifica enorme para crecer bajo condiciones agronómicas extremadamente diversas. Se adapta bien a zonas áridas y semiáridas y pueden crecer desde el nivel del mar hasta las zonas altas montañosas del altiplano andino (Alrededor de los 4000 msnm). Debido a su plasticidad en el genotipo, la quinua se adapta muy bien a diversos climas, esta capacidad le permite desarrollarse en un amplio rango de condiciones climáticas. Esta característica además, hace que la quinua sea un cultivo interesante para la

producción bajo condiciones de sequía, por ser muy eficiente en el uso del agua. (Mujica *et al.*, 2004)

2.1.3 Resistencia a condiciones climáticas extremas.

2.1.3.1 Resistencia al frío o heladas.

La quinua en el Altiplano, se desarrolla entre los 3000 a 4000 msnm lo que significa que está siempre presente el riesgo de heladas u otros fenómenos climáticos (granizadas) durante su crecimiento. Los porcentajes de daños y mermas de rendimiento por heladas varían de 52 a 95%. (Limache, 1992). Se considera la ocurrencia de heladas, cuando la temperatura del aire, registrada en un abrigo meteorológico (1.5 a 2 metros sobre el nivel del suelo) es igual o inferior a 0°C y ocurren normalmente entre las 12 pm y las 6 am y duran de 15 minutos a 6 horas (Ruiz, 1995).

La helada agrometeorológica es la temperatura a la cual los tejidos de las plantas comienzan a sufrir daño, lo que significa, que no necesariamente debe ser igual o menor a 0°C. (Roman, 1990 y Le Tacon, *et al.*, 1992 citados por Alcon, 2005).

De acuerdo a su origen las heladas se clasifican como: heladas de advección, de radiación, de evaporación y mixtas. De estas, las de radiación son las más frecuentes en los Andes, ocurren especialmente en alturas elevadas, cuando hay cielo despejado y ausencia de viento en horas de la madrugada. (Morlon y Vacher, 1992 citados por Alcon, 2005) La ocurrencia de heladas constituye uno de los factores limitantes para la agricultura, ya que reduce drásticamente la duración del ciclo vegetativo.

Cuadro 3. Frecuencia de heladas en diferentes regiones del Altiplano.

Región	Tiempo de Heladas
Altiplano Norte	140 – 200 días
Altiplano Central	120 – 200 días
Altiplano Sur	180 – 230 días

Fuente: Zambrana (1981).

De acuerdo a los efectos visuales, que este fenómeno causan se diferencian en:

2.1.3.1.1 Heladas radiativas o heladas blancas.

Se producen cuando hay alta humedad relativa y se alcanza el punto de rocío. En este tipo de heladas el vapor de agua se condensa y se congela sobre la superficie de la hoja, un cambio de fase que produce desprendimiento de calor, por lo que la temperatura del ambiente se enfría lentamente. Este tipo de heladas causa relativamente poco daño en la naturaleza, aunque sea la más frecuente (cerca del 80% de las heladas observadas) (Ruiz, 1995)

2.1.3.1.2 Heladas conectivas o heladas negras.

Se producen cuando la temperatura del aire desciende por debajo de 0°C y el aire es excesivamente seco, entonces el agua alcanza la temperatura de congelamiento antes de que haya formado el rocío. En las hojas, el vapor de agua de la superficie no se congela, pero sí se congela el agua de los tejidos (intercelular), y la temperatura del aire desciende rápidamente, porque no hay vapor de agua atmosférico que a tenue dicho fenómeno. Al salir el sol, se produce la evaporación súbita del hielo, que ocasiona quemaduras o manchas necróticas en el follaje. (Ruiz, 1995). Desde el punto de vista agrícola, es la que ocasiona mayores pérdidas económicas. (Lasso, 1987 citado por Mamani, 1998).

Las heladas son clasificadas según la época en que se presentan en: invernales, otoñales y primaverales, siendo las últimas las más dañinas que afectan durante el periodo de crecimiento. En el altiplano, se debe considerar también las heladas de verano, ya que el riesgo de heladas radiativas es elevado (Le Tacon *et al.*, 1992 citado por Nina, 2003).

2.1.3.2 Respuesta de la Quinua a bajas temperaturas.

Al estudiar las respuestas de la quinua a las bajas temperaturas en diferentes fases fenológicas, se ha establecido que el nivel de daño por heladas depende de la intensidad y duración de las bajas temperaturas, humedad relativa, fase fenológica

en la que ocurre, y la constitución genética de los genotipos. Siendo las fases de ramificación y floración las más susceptibles. (Jacobsen, 2000)

Existe variación a la tolerancia de heladas entre diferentes genotipos de quinua, encontrando: tolerantes, medianamente tolerantes, y susceptibles. La intensidad de las heladas, varía generalmente desde -0.5 hasta -6.5 °C durante el periodo vegetativo, habiendo determinado que entre las fases de seis hojas verdaderas e inicio de panojamiento, son tolerantes e incluso se recuperan después de una helada. Sin embargo, a partir del panojamiento estas son más sensibles a las bajas temperaturas. (Monteros, 2000 citado por Nina, 2003)

La quinua es un cultivo que presenta resistencia al frío y a las sequias. Esta resistencia se debe a que el cultivo presenta modificaciones que a continuación se detallan. (Mujica *et al.*, 2001)

Morfológicas: reducción de tamaño, multiplicación de ramificaciones.

Fisiológicas: plasticidad en el desarrollo, pronta recuperación después de un periodo de helada y/o sequias, asincronía en la floración de la panoja y mayor resistencia cuando ha tenido un pre-acondicionamiento.

Anatómicas: vesículas que dan protección térmica y/o hídrica.

Fenológicas: madurez prematura aumentando su precocidad, desarrollo fenológico rápido y acortamiento del periodo de floración.

Bioquímicos: acumulación de azúcares solubles y proteínas.

En un estudio en quinuas, se encontró que el cultivar resistente (Witulla) acumula 11% más de azúcares solubles que el genotipo susceptible (Quillahuaman), lo que indicaría que azúcares solubles actuarían como osmorreguladores evitando la salida de agua del interior de la célula cuando se congela el líquido apoplastico (Monteros, 2000 citado por Nina 2003). Él mismo observó que había 40% más de prolina y 7% más de proteínas, cuando estuvieron sometidas a bajas temperaturas de -4°C que a 19°C.

2.1.3.2.1 Fases fenológicas susceptibles a heladas.

Desde la fase de emergencia hasta la fase de cinco hojas alternas, la plántula muestra resistencia al frío y sequía. (Mujica y Canahua, 1989). En el inicio del panojamiento, la inflorescencia es medianamente susceptible a las heladas.

La fase de prefloración y floración es muy sensible a las heladas pudiendo resistir hasta -1°C (Canahua y Rea, 1979 citado por Bonifacio, 1989), señalan como crítica a la fase de panojamiento y floración a la helada de -3°C .

Estudios sobre la resistencia de los cultivos a las heladas, muestran que para la quinua un rango de -16.5 a -18.5°C como límite de temperatura mínima que puede soportar en las primeras etapas. (Catacora y Canahua, 1992, citado por Mamaní, 1998), el mismo autor cita a (Le Tacon *et al.*, 1999) que admiten -5°C como una temperatura límite para la quinua. Afirma también, que existen variedades de quinua que resisten temperaturas mucho más bajas en estado de plántula.

A partir de la fase de grano lechoso hasta madurez fisiológica, la quinua no muestra susceptibilidad a las heladas, al contrario, estas contribuyen al llenado de grano. (Mamaní, 1998). Sin embargo, en un ensayo realizado en Choquenaira (Alcon, 2005) encontró que una helada negra ocurrida a 116 días después de emergencia, algunas semanas antes de la cosecha, causó arqueado del tallo, acelerando el secado de hojas, panojas, tallos y aborto de granos en la variedad Surumi que se encontraba en la fase de grano lechoso.

2.1.4 Desarrollo y Crecimiento.

El estado de una planta es determinado tanto por procesos de desarrollo como de crecimiento, ambos procesos se encuentran fuertemente interrelacionados por lo que son confundidos frecuentemente. El crecimiento se relaciona con el desarrollo a través de la repartición de asimilatos entre los órganos de la planta, en función del estado de desarrollo de la misma. Este patrón es propio de cada especie, y al depender del estado de desarrollo, es fuertemente influenciado por los factores que afectan a este último (Rodríguez, 1991)

2.1.4.1 Desarrollo.

Se puede definir al desarrollo como el paso a través de fases fenológicas consecutivas, y se caracteriza por una ordenada tasa de aparición de órganos vegetativos y reproductivos.

El desarrollo de una planta es un proceso irreversible de cambios en el organismo, el cual se verifica como un patrón más o menos fijo. Según la especie, sucesivas etapas del desarrollo no siempre son fácilmente reconocibles, puesto que pueden ser fuertemente afectadas o inclusive eliminadas por factores ambientales, siendo generalmente la floración la etapa más importante. (Goudriaan y Van Laar, 1994)

2.1.4.1.1 Factores que afectan el desarrollo.

El orden de aparición de los diferentes órganos, es una característica de cada especie. Sin embargo, el momento y la tasa de aparición dependen enteramente de las condiciones medio ambientales, siendo la temperatura y el fotoperiodo los factores que tienen efecto sobre el desarrollo.

2.1.4.1.1.1 Temperatura.

Algunos cultivos tienen requerimientos térmicos específicos para la iniciación de ciertas fases de desarrollo. Sin embargo, para todos los cultivos, cuando mayor es la temperatura, las plantas acortan la longitud entre una fase fenológica y otra, de esta manera más corta será la fase del cultivo y mayor la tasa de desarrollo. (Ritchie y Nesmith, 1991)

2.1.4.1.1.2 Fotoperiodo.

Para algunas especies el efecto de la temperatura en el desarrollo puede estar influenciado por la longitud del día o fotoperiodo. La sensibilidad de la tasa de desarrollo al fotoperiodo es particularmente importante en la fase vegetativa, pues de está dependerá el cambio hacia la floración, según el tipo de especie o variedad cultivada. (Goudriaan y Van Laar, 1994)

2.1.4.2 Crecimiento.

El crecimiento se refiere al incremento de peso, longitud, área o volumen de alguna parte o de toda la planta. Es decir, se refiere al aumento del tamaño de la planta. (Ritchie y Nesmith, 1991). El crecimiento se verifica gracias al proceso fotosintético (transformación de la energía luminosa en energía química) que se puede almacenar bajo la forma de distintos compuestos que componen la biomasa. Y la cantidad final de materia seca producida estará en función de la cantidad total de radiación interceptada. (Rodríguez, 1991). El crecimiento de un cultivo se produce como la distribución de los asimilatos en función del estadio de desarrollo.

2.1.4.2.1 Factores que afectan el crecimiento.

Los factores fisiológicos que afectan el crecimiento son: la fotosíntesis y la respiración (Beukeman y vander Zaag, citado por Auza, 2003). Mientras que los factores ambientales, que afectan el proceso son: la temperatura, la radiación, la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. Y la presencia de factores indirectos como enfermedades y plagas. (Goudriaan y van Laar, 1994)

2.1.4.2.1.1 Temperatura.

La temperatura tiene una acción directa en dos procesos de gran importancia en el crecimiento de las plantas, como ser la actividad de asimilación de dióxido de carbono (CO_2) del aire a través del proceso fotosintético, y la respiración de mantenimiento.

La fotosíntesis de plantas tipo C3, a temperaturas menores a los 10°C es más eficiente que las plantas tipo C4. Cuando la temperatura aumenta, la fotosíntesis en plantas tipo C3 también aumenta, hasta un óptimo tolerante entre 15 y 25°C asumiendo que no hay estrés hídrico. Por encima de los 30°C la asimilación de CO_2 decrece rápidamente y se detiene cuando alcanza temperaturas superiores a los 40°C . (Ritchie y Nesmith, 1991)

La respiración de mantenimiento de un órgano depende de la temperatura como también de la naturaleza del cultivo, del órgano a considerar y del peso vivo. La

respiración de mantenimiento es necesaria para regenerar los componentes desintegrados como para la preservación de los potenciales eléctricos sobre las membranas celulares. (Goudriaan y van Laar, 1994)

La temperatura media adecuada para un buen desarrollo de la quinua está alrededor de 15 a 20°C, sin embargo, se ha observado que con temperaturas medias de 10°C se desarrolla perfectamente el cultivo. Al respecto se ha determinado que esta planta también posee mecanismos de escape y tolerancia a las bajas temperaturas, pudiendo soportar hasta -8°C en determinadas etapas fenológicas, siendo la más tolerante la ramificación y la más susceptible la floración y la llenado de grano. También se ha observado que, con temperaturas por encima de los 38°C se produce aborto de flores, muerte de estigmas y estambres, imposibilitando la formación de polen y por lo tanto impidiendo la formación de grano. (Junta del acuerdo de Cartagena, 1990).

El crecimiento de la quinua es poco afectado por las temperaturas debajo de -5°C y a nivel agricultor informan que existen variedades que resiste escarcha de -14 °C (Vacher 1998) e incluso -16°C en la fase vegetativa (Catacora y Canahua, 1992, citado por Huanca, 2008)

La velocidad de germinación está en función a la temperatura, en la variedad Surumi para obtener el 100% de la germinación tardaron 10 horas a 20°C, mientras que a 10°C tardo 17 horas, a 5°C tardo 27 horas y a 2°C tardo 65 horas, concluyendo que la quinua puede germinar aun en temperaturas bajas. (Bois *et al.*, 2006)

2.1.4.2.1.2 Radiación.

La radiación solar tiene un efecto directo sobre la fotosíntesis y consecuentemente con el crecimiento, aunque las plantas emplean menos del 5% de esta energía en el proceso fotosintético. La fotosíntesis está ligada a un suministro de CO₂ en la atmosfera como también de una adecuada luminosidad. La cantidad de radiación solar que reciben las plantas es de fundamental importancia para la producción agrícola. (Rodríguez, 1991).

2.1.4.2.1.3 Disponibilidad de agua.

El agua es uno de los factores más importantes para el desarrollo y crecimiento de las plantas, desde la germinación hasta la madurez fisiológica de los cultivos. A lo largo del crecimiento de la planta, el agua proporciona un medio de transporte a elementos nutritivos y proporciona la conservación de la turgencia.

La importancia del agua en el funcionamiento de las plantas tiene un doble propósito: primero, porque determina la tasa de pérdidas de agua por transpiración. Segundo, porque la humedad tiene un efecto directo sobre los estomas de muchas plantas, de tal manera que estos tienden a cerrarse en aire caliente, restringiendo la pérdida de agua, pero reduciendo la asimilación de CO₂. (Doorenbos y Kassam, 1986)

2.1.4.2.1.4 Nutrientes.

Los nutrientes absorbidos del suelo, juntos con el CO₂ del aire, proporcionan la materia prima para la elaboración de materiales que son transformados y acumulados en la planta como materia seca. Sin embargo, el crecimiento y funciones de las raíces así como el rendimiento también pueden ser influenciados por las limitaciones físicas del suelo, especialmente en suelos compactos donde la escasez de Oxígeno puede causar graves pérdidas de fertilizantes nitrogenados. (Ritchie y Nesmith, 1991)

2.1.5 Influencia del clima sobre las plantas.

Los elementos del clima que mayor influencia ejercen sobre los vegetales son: Temperatura, longitud del día y agua, entonces la producción vegetal está relacionada a la interacción entre la planta y el medio ambiente. Existen elementos bioclimáticos que ejercen influencia sobre el crecimiento (Temperatura y agua) y otros que ejercen influencia sobre el desarrollo (temperatura y duración del día). (Llorca, 2004).

2.1.5.1 La temperatura como factor bioclimático en vegetales.

La temperatura del aire es un elemento bioclimático que favorece o promueve el aumento de la masa vegetativa. El crecimiento de una planta se detiene cuando la temperatura del aire desciende por debajo de un cierto valor mínimo o excede un cierto valor máximo. Entre estos límites existe un rango óptimo, en el cual la tasa de crecimiento es mayor. Estos valores o “umbrales” son conocidos como temperaturas cardinales. No obstante, los valores aproximados de las temperaturas cardinales se conocen para la mayoría de las especies vegetales. (Gastiazoro, 2009)

Con respecto a las temperaturas cardinales podemos distinguir:

a) Temperatura vital mínima.

Es la temperatura a la cual la planta comienza a crecer o bien, es la temperatura más baja a la cual un organismo puede vivir indefinidamente en estado activo. Ante incrementos de temperaturas, hay incrementos de crecimiento hasta llegar a una temperatura óptima.

b) Temperatura óptima.

En la que se produce la mayor velocidad de crecimiento. La temperatura óptima para un proceso determinado, puede considerarse como aquella en la que el proceso se realiza a la máxima velocidad. Pero la temperatura correspondiente a dicha intensidad máxima es diferente para los distintos procesos que tienen lugar dentro de un mismo organismo. En plantas de zonas templadas, la temperatura óptima para la germinación, es diferente al valor óptimo para la fructificación y el óptimo para la floración también difiere de las anteriores.

c) Temperatura vital máxima.

Es la temperatura de mayor intensidad calórica bajo la cual la especie puede seguir viviendo indefinidamente en estado de actividad.

d) Temperatura letal mínima.

Temperatura por debajo de la mínima vital, a partir de la cual y para valores aún inferiores el vegetal no solo detiene sus procesos sino que manifiesta daños permanentes y probablemente con la muerte de sus tejidos.

e) Temperatura letal máxima.

Temperaturas por encima de la vital máxima, y la muerte se produce por las altas temperaturas.

La temperatura del aire influye sobre los procesos de desarrollo de tres maneras: Por la acción de acumulación de calor (constante térmica), por la acción de acumulación de frío (horas frío), por la acción de las amplitudes térmicas (termoperiodismo) (Pascalo y Damario, 2004)

2.1.5.1.1 Termoperiodismo.

La variación anual y diaria de la temperatura del aire tiene un efecto manifiesto en el desarrollo de los vegetales superiores y es lo que se conoce como termoperíodo. Dicha variación, en un ciclo completo de un año, un día o varios días, constituye un termoperíodo anual o diario, y se caracteriza por presentar dos sectores bien definidos: la termofase (+) y la termofase (-). La primera termofase corresponde al lapso más cálido y la segunda al lapso más frío del termoperíodo.

Ya Darwin, observó las diferencias que presentaban en su manifestación de fases fenológicas un mismo tipo de vegetación al encontrarse sometidas a diferentes amplitudes térmicas (termoperiodismo) anuales. En algunos frutales como ciruelo y manzano, disminuyen el valor de las sumas de temperaturas (constante térmica) requeridas para un normal desarrollo al tener una termofase negativa más intensa. (Gastiazoro, 2009)

La importancia de la periodicidad anual de la temperatura se manifiesta en la distribución geográfica de los cultivos. El éxito o el fracaso de las introducciones de especies exóticas dependerán, en gran parte, de la similitud o no, entre las

condiciones termoperiódicas anuales de las regiones de origen y las regiones donde se intentarán cultivarlas. (Pascalo y Damario, 2004)

2.1.5.1.2 Constante Térmica.

Cuando se estudia la duración de un cultivo (de ciclo anual), se observa que ella no es constante, variando según las regiones y de acuerdo a los años y fechas de siembra. Diversos estudios realizados concluyeron que si se suma la temperatura media diaria desde el día en que se produce la germinación hasta el momento de la madurez fisiológica, la suma total es siempre la misma cualquiera haya sido la ubicación del cultivo y/o el año considerado. Estas sumas fijas para cada vegetal recibieron varias denominaciones: Constante Térmica, Suma de Unidades de Crecimiento, Sumatoria de Temperaturas, Sumatoria de Unidades Calóricas, Grados-Día, etc. La constante térmica también puede calcularse para cada fase fenológica o subperíodo de la planta. (Gastiazoro, 2009)

El concepto que las plantas tienen un “requerimiento de temperatura” para completar su ciclo biológico, data del siglo XVIII, pero el mayor impulso a la teoría de acumulación energética o sumas de temperaturas necesarias para que un cultivo complete su ciclo biológico, proviene de los últimos 70 años. (Ledezma, 2000)

El concepto de tiempo termal, grados día de desarrollo o unidades calor, es normalmente la base para los modelos de simulación del desarrollo de las fases fenológicas de los cultivos. Este concepto, describe el crecimiento del cultivo como una función de suma de temperaturas, por encima de una temperatura base (límite inferior). Esta idea, es útil en un amplio rango de condiciones ambientales que no se encuentra muy afectado por cambios en la radiación solar, pero es a menudo sensible al déficit hídrico. (Geerts, *et al.*, 2008b).

En investigaciones que utilizan modelos de simulación, para predecir, las sucesiones de las fases en el desarrollo de las plantas, se admite que las diferentes variedades (cultivares) de un cultivo en distintas especies, presentan en cada una de sus fases, respuestas variables a las temperaturas y a los restantes factores ambientales que incluyen sobre ellos. Donde el crecimiento, y determinadas fases del desarrollo,

están influenciadas por la acumulación de las temperaturas. Por debajo de una cierta temperatura (umbral térmico) no hay acumulación, y el crecimiento cesa. A partir de aquella temperatura, la velocidad de crecimiento aumenta a medida que lo hacen las temperaturas, hasta alcanzar un óptimo, por encima de la cual, la acumulación de temperatura debería dar resultados decrecientes. (Urbano, 2009)

Se ha despertado un interés renovado en el concepto de grados-día del tiempo térmico en el control del crecimiento y desarrollo vegetal. Se supone que el desarrollo vegetal muestra una respuesta lineal a la temperatura desde un umbral (T_b) hasta un óptimo (T) y que el tiempo requerido para alcanzar un estado fenológico dado, está relacionado con el tiempo térmico, definido como la integral de la temperatura con el tiempo. Las unidades del tiempo térmico (t) son los grados-día, calculados de la suma de la diferencia entre la temperatura media diaria (T) y la temperatura base (T_b) para cada día después de una fecha inicial. (Jacobsen y Mujica, 1999)

2.1.5.1.2.1 Velocidad de crecimiento.

Se llama velocidad de crecimiento, al crecimiento de una planta en una unidad de tiempo. El desarrollo es una modificación cualitativa en la forma de la planta y es función del estadio fenológico. La velocidad de desarrollo es la inversa del tiempo que se necesita para pasar de un estadio al siguiente (Seoanez, 2002)

$$V = \frac{L}{t_2 - t_1}$$

Donde:

V : Velocidad de desarrollo

L : Dimensión que representa la diferencia entre el estado inicial y final.

t_1 y t_2 : Fechas del comienzo de dos estadios fenológicos consecutivos

Está demostrado que la velocidad de crecimiento vegetativo, aumenta con la temperatura (Seoanez, 2002) y en la mayoría de las especies esto ocurre hasta los 30°C, descendiendo después progresivamente hasta ser mínimo cerca los 40°C.

En situación normal, la temperatura varía a lo largo del día, en la noche y según la estación. Por tanto, la velocidad de desarrollo de las plantas variará en función del tiempo en el corto y en el mediano plazo (períodos de día o períodos de estación).

Si consideramos períodos de tiempo muy cortos y constantes, se podrá establecer, según lo anterior que:

$$\partial L = V * \partial t$$

Luego:

$$L = \int_1^2 V \partial t$$

2.1.5.1.2.2 Métodos para la determinación de la Constante Térmica

Hemos dicho que la velocidad de desarrollo es función de la temperatura y esta a su vez es función del tiempo, por lo cual se han planteado varios métodos de cálculo aproximado como los siguientes:

2.1.5.1.2.2.1 Método directo.

Consiste en la suma de todos los valores de temperaturas medias diarias que superen el nivel térmico de 0°C durante un periodo dado, que pueda ser un mes, un año o el lapso entre dos fases fenológicas. En este método no se computan los valores de temperaturas inferiores a 0°C

2.1.5.1.2.2.2 Método Residual o sumas térmicas efectivas.

Cuando se observo que la constante térmica en realidad sufría variaciones según las localidades, se trató de resolver de la siguiente forma. En el método directo se considera como útil toda temperatura arriba de 0°C. Pero en realidad casi todas las especies agrícolas comienzan a crecer a partir de una temperatura particular de cada especie, lo que supone que toda temperatura inferior a este valor no reporta ninguna utilidad al vegetal que se encuentra en dormancia. Este nivel térmico se denomina “cero vital”, “temperatura vital mínima” o “temperatura base” (Urbano, 2009)

El método residual propone una relación lineal entre la velocidad de crecimiento (V_i) y la temperatura (T), para encontrar la verdadera eficiencia, sumando las temperaturas medias diarias a las que se resta la temperatura base de crecimiento.

$$V_i(T) = a(T_i - T_b)$$

Si se supone que la velocidad de crecimiento (V_i) varía con la temperatura (T_i) en forma lineal, y sí a pendiente de la recta de ajuste, con ordenada al origen cero ($b=0$). Además se asume que las variaciones de la temperatura durante un día ($df=1$ día) se estandarizan, por lo que $T_i = T_m$ (Temperatura media diaria). (Seoanez, 2001)

$$L = a \int_1^2 (T_m - T_b) df$$

$$\frac{L}{a} = \sum_1^N (T_m - T_b) = \text{Constante en unidades térmicas}$$

Siendo N el número de días de duración del ciclo biológico o una fase fenológica.

La temperatura base inicial para el computo de cada cultivo debe ser determinada mediante experimentos en campo que incluyan todas las posibles variantes de complejos climáticos que permitan la incidencia de temperaturas diferentes (siembras continuas, ensayos geográficos, etc.) (Gastiazoro, 2009)

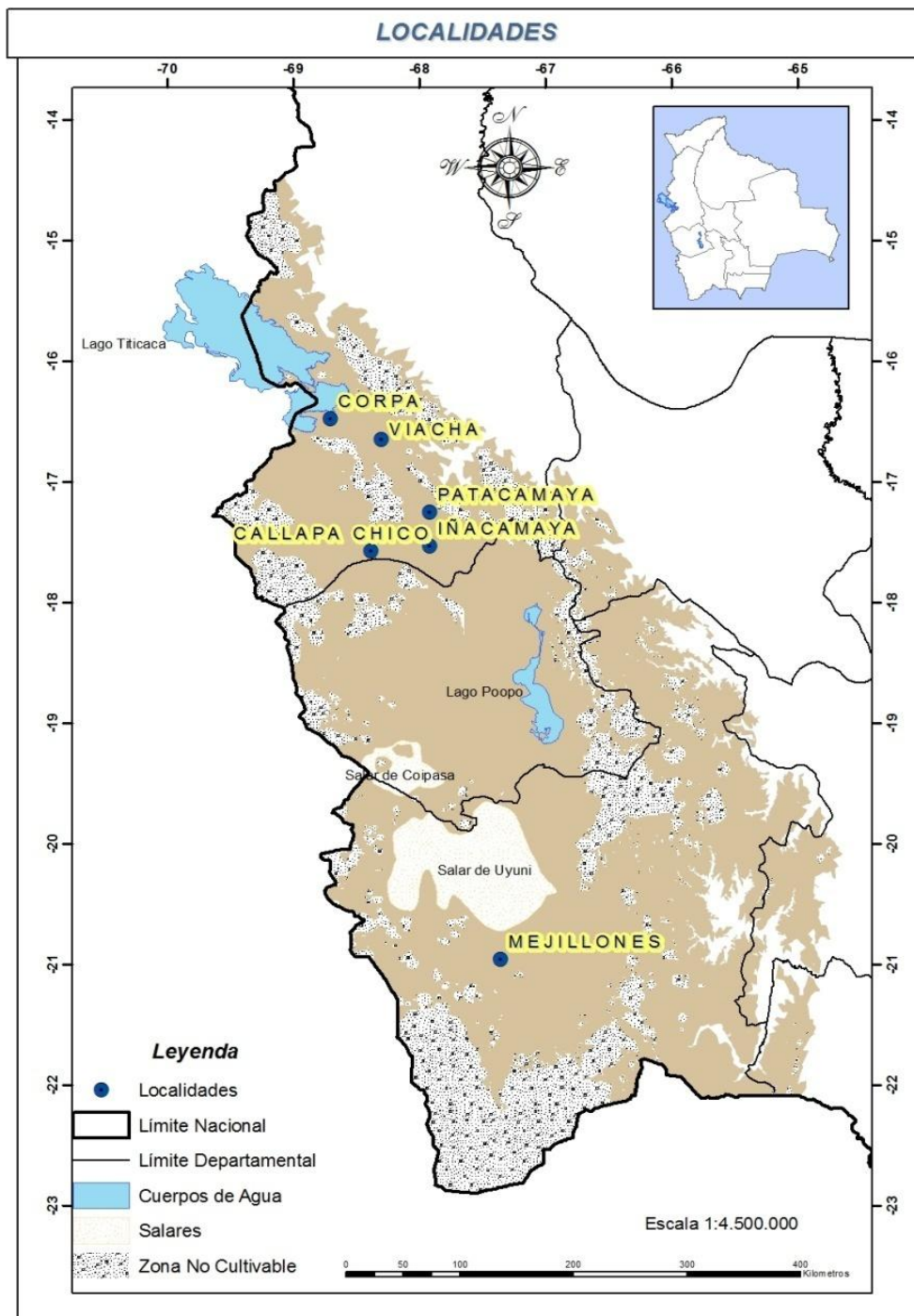


Figura 1. Ubicación del Área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

III. SECCION DIAGNOSTICO.

3.1 Materiales y métodos.

3.1.1 Localización y ubicación.

El presente análisis, se llevo a cabo para seis diferentes localidades del altiplano boliviano, que con una superficie de 246.254 Km² (representa el 22.4% del territorio nacional), constituye una unidad fisiográfica e hidrológica, situada en medio de las cordilleras Occidental y Oriental. Comienza por el norte en el Abra de la Raya (Perú) a los 14°31' aproximadamente, y continúa hasta el paralelo 21°50' para ingresar a la Puna de Atacama (Chile). Tradicionalmente se ha considerado como una serie de planicies (suavemente inclinado de Norte a Sur) con varias serranías y cerros aislados, con características de una cuenca cerrada, donde las condiciones climáticas van cambiando de Norte a Sur, en función de la sequedad en lago, laguna y salar, De acuerdo a los valores de precipitación anual y evapotranspiración se distinguen tres zonas: Altiplano Norte, Altiplano Central y Altiplano Sur (Montes de Oca, 2005)

3.1.1.1 Altiplano Norte

3.1.1.1.1 Viacha.

La ciudad de Viacha, geográficamente se encuentra ubicada a los 16° 39' de Latitud Sur y 68° 18' de Longitud Oeste en la provincia Ingavi del departamento de La Paz, con una altitud de 3850 msnm, y a una distancia aproximada de 32 Km al Sudeste de la ciudad de La Paz.

3.1.1.1.1.1 Características climáticas.

Según la clasificación de Holdridge (1978), el clima de la ciudad de Viacha, corresponde a estepa montano templado frío. Esta región presenta las siguientes características climáticas, la temperatura mínima media anual llega a los -2°C, mientras que la temperatura máxima media anual es de 17°C (SENAMHI, 1998). La

precipitación media anual es de 524 mm, con una duración del periodo de lluvias de 160 días en promedio (Geerts *et al.*, 2006).

3.1.1.1.2 Corpa.

La comunidad de Corpa, pertenece al municipio de Tiahuanacu, tercera sección de la provincia Ingavi, del departamento de La Paz. Se encuentra ubicada a 86 Km de distancia de la ciudad de La Paz. Geográficamente se sitúa en los paralelos 16° 31' de Latitud Sud, y 68° 39' de Longitud Oeste, a una altitud promedio de 3840 msnm.

3.1.1.1.2.1 Características climáticas.

Esta región presenta las siguientes características climáticas: la temperatura media anual es de 8,9°C, registrándose como temperatura máxima media 17,6°C y una temperatura mínima media de -2°C. La precipitación promedio anual es 673 mm (Montes de Oca, 2005).

3.1.1.1.2.2 Vegetación predominante.

La vegetación que predomina en esta región, está compuesta de mantos de tholares (*Lepidophyllum cuadrangulare*), paja brava (*Stipa ichu*), reloj-reloj (*Erodium cicutarium*), ajara (*Chenopodium sp.*), mostaza (*Brassica campestris*), etc. Especies cultivables tales como: papa (*Solanum tuberosum*), quinua (*Chenopodium quinoa*), tarwi (*Lupinus mutabilis*), cañahua (*Chenopodium pallidicaule*), oca (*Oxalis tuberosa*), papalisa (*Ullucus tuberosum*), cebada (*Hordeum vulgare*), haba (*Vicia faba*), arveja (*Pisum sativum*) (Osco, 2009)

3.1.1.2 Altiplano Central.

3.1.1.2.1 Iñacamaya.

La localidad de Iñacamaya, se encuentra localizada en el municipio de Umala, de la provincia Aroma del departamento de La Paz, a una distancia de 115 Km de la ciudad de La Paz, situado geográficamente entre los 17° 19' de Latitud Sur y 67° 54' de Longitud Oeste, a una altitud de 3764 msnm.

3.1.1.2.1.1 Características climáticas.

Según la clasificación de Holdridge (1978), el clima de la localidad de Ñacabaya, corresponde a estepa montano templado frío. Esta región presenta las siguientes características climáticas: la temperatura mínima media anual llega a los -3.3°C , mientras que la temperatura máxima media anual es 20°C , siendo la temperatura media anual 9.7°C (SENAMHI, 1998). La precipitación media anual es 362.5 mm , (Geerts *et al.*, 2006).

3.1.1.2.2 Callapa Chico.

La zona de Callapa Chico del cantón Callapa del Municipio Santiago de Callapa de la octava sección de la Provincia Pacajes del departamento de La Paz, a 157 Km de la ciudad de La Paz (Nuestra Señora de La Paz). Geográficamente se sitúa entre las coordenadas: $68^{\circ} 21' 42''$ Longitud Oeste y $17^{\circ} 29' 16''$ de Latitud Sur, a una altitud de 3794 m.s.n.m.

3.1.1.2.2.1 Características climáticas.

Santiago de Callapa corresponde a una zona microtermal, semifrías y frías con una humedad deficiente a seca en invierno y en primavera semiseca a seca. (Koppen y Geiger, 1936)

La precipitación de la zona se presenta en forma cíclica, de difícil pronóstico. Con una precipitación media anual de 400 a 450 mm , siendo los meses más secos de Abril hasta Agosto. Se ha establecido que durante seis meses del año (Abril a Septiembre), la frecuencia de heladas, sobre pasa los quince días por mes, los demás meses presentan al menos un día con helada. En cuanto a la frecuencia de granizadas, es bastante intensa y de forma muy localizada, se presenta con mayor probabilidad entre los meses de Noviembre a Marzo. (SENAMHI, 1998).

3.1.1.2.3 Patacamaya.

El municipio de Patacamaya pertenece a la provincia Aroma del departamento de La Paz, a 105 Km al Sudeste de la ciudad de La Paz. Geográficamente se encuentra

ubicado a 17° 15' 43,9" de Latitud Sur y 67° 56' 45,5" de Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 3799 msnm (Plan de Desarrollo Municipal-Gobierno Municipal de Patacamaya 2007-2011).

3.1.1.2.3.1 Características climáticas.

El clima de esta región se caracteriza por tener dos tipos de épocas definidas, una estación seca que comprende desde el mes de Abril a Septiembre, y la húmeda de Octubre a Marzo. Se presentan temperaturas medias de 14°C entre los meses de Octubre a Enero, 11°C entre Febrero a Abril, menores a 0°C durante los meses de Mayo a Junio y de 6°C entre los meses de Julio a Septiembre. De acuerdo a la Estación Experimental de Patacamaya, se tiene una precipitación que varía entre 350 a 450 mm (Plan de Desarrollo Municipal – Gobierno Municipal de Patacamaya 2001- 2006)

3.1.1.2.3.2 Vegetación predominante.

La vegetación predominante la constituyen algunas gramíneas nativas: (*Festuca orthophyla*), (*Stipa ichu*), tólares: (*Baccharis microphyla*), (*Lepidophyllum cuadrangulare*), (*Parastrephya sp*), y (*Adesmia spinossisima*) También en los cultivos se presentan comúnmente malezas como: kasahui (*Sysimbrium sp.*), (*Nototriche frabellata*), garbancillo (*Lupinus sp*) (Mendoza, 2008).

3.1.1.3 Altiplano Sur.

3.1.1.3.1 Mejillones.

La comunidad de Mejillones, se encuentra localizada en la provincia Enrique Baldivieso del departamento de Potosí, al Sudoeste de la ciudad de Uyuni. Geográficamente se sitúa entre las coordenadas de 21° 42' 8.8" Latitud Sur y 67° 14' 20.7" Longitud Oeste.

3.1.1.3.1.1 Características climáticas.

La comunidad de Mejillones, de acuerdo al mapa ecológico, corresponde a Matorral Desértico Montano Templado (Md-MTE) (Montes de Oca, 2005). Presenta un clima

frígido y árido, con primaveras e inviernos secos, con temperatura promedio anual 8.4°C, temperatura máxima media 16.6°C, y temperatura mínima media 1°C. Con precipitaciones anuales que varían entre 160 a 180 mm. (Estación Climatológica San Agustín- Mejillones)

3.1.1.3.1.2 Vegetación predominante.

Las zonas de mayor pendiente y de mayor pedregosidad (5000 msnm), se encuentran cubiertas por quewiña (*Polilepis andinicola*), yareta (*Azorella compacta*), y plantas medicinales como la pupusa y la choquecanlla. En el piso ecológico inferior (4000 – 4600 msnm), se encuentran pajonales compuestos de ichus y sikutas (*Stipa ichu*), asociados con iruichus (*Festuca arthophilla*). Las serranías de menor altura (4000 – 3800 msnm) están cubiertas por especies de tholas en las que predomina la tara (*Fabiana densa*), asociada con la ñak'a th'ola o lejía (*Baccharis incarum*), pisku thola (*Baccharis boliviensis*), phulika (*Parastrephia quadrangulare*), y en algunos casos la qhiruta (*Parastrephia lepidophila*). (Condori, 2008)

3.1.2 Materiales.

3.1.2.1 Material biológico.

Para el presente análisis, se recopiló información de las variedades de quinua, que son utilizadas en este estudio, según las localidades:

Cuadro 4. Características agronómicas de las variedades de quinua.

LOCALIDADES	VARIEDADES	CICLO VEGETATIVO	RESISTENCIA HELADAS
Viacha	Belén 2000	Semiprecoz 150 días	
Corpa	Belén 2000	Semiprecoz 150 días	
Iñacamaya	Toledo Rojo	Tardía 184 días	Tolerante a Heladas*
Callapa Chico	Sajama	Semiprecoz 160 días	Tolerante a Heladas*
Patacamaya ¹	Santa María	Semiprecoz 150 días	Tolerante a Heladas*
Patacamaya ²	Santa María	Semiprecoz 150 días	Tolerante a Heladas*
Mejillones	Real Blanca	Tardía 184 días	Tolerante a Heladas*

Fuente: PROINPA 2003; IBTA 1996. *(Heladas de -5°C en Floración)

3.1.2.2 Material de gabinete.

Para el presente análisis, se requirió el uso de una computadora, papelería, lápices y bolígrafos, maquina de calcular, programa operativo Excel.

3.1.2.3 Equipos.

Estaciones meteorológicas automáticas Vantage Pro 2TM (Davis Instrument) proporciona información meteorológica en intervalos de 15 minutos de: precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa mínima, humedad relativa máxima, velocidad y dirección del viento, radiación solar, y presión del aire.

3.1.3 Metodología.

Se realizó el análisis, para seis diferentes localidades del altiplano boliviano (Viacha, Corpa, Iñacamaya, Callapa Chico, Patacamaya^{1 y 2} y Mejillones), en siete diferentes gestiones agrícolas (2004-2005, 2006-2007, 2007-2008, 2009-2010, 2006-2007¹, 2005-2006² y 2006-2007) respectivamente.

La información que se utilizó, fueron los datos diarios de temperaturas mínimas y máximas, de estaciones meteorológicas automáticas emplazadas junto a las parcelas experimentales del proyecto QUINAGUA, que registraron los datos durante todo el ciclo vegetativo de la quinua (desde la siembra, hasta la cosecha).

Todos los análisis temporales de los datos diarios de temperaturas mínimas y temperaturas máximas, para todas las localidades bajo estudio, se evaluaron utilizando estadística descriptiva: regresión lineal simple, promedios, sumatorias, etc.

3.1.3.1 Procedimiento del trabajo.

3.1.3.1.1 Recolección de la información secundaria.

Se recolecto información secundaria de siete experimentos científicos (Tesis de grado) de Mamani, 2007; Osco, 2009; Crispín, 2009; Borda, 2011; Huanca, 2008; Mendoza, 2008 y Condorí, 2008 en el cultivo de quinua, con la descripción (en fechas) del inicio y fin de cada una de sus fases fenológicas, en siete gestiones

agrícolas, para seis localidades del altiplano boliviano, todos ellos monitoreados por el proyecto QUINAGUA.

3.1.3.1.2 Control y depuración de la información.

Una vez recolectados los datos diarios de temperaturas mínimas y temperaturas máximas, se procedió al control y depuración de los mismos, con ayuda de los registros mensuales de temperaturas máximas y mínimas del SENAMHI (SISMET)

3.1.3.1.3 Cálculo de la temperatura media diaria.

Se calcularon las temperaturas medias diarias, para todo el ciclo vegetativo, con los registros de temperaturas máximas diarias y temperaturas mínimas diarias, en todas las localidades y todas las gestiones agrícolas, a través de la siguiente fórmula:

$$Tm = \frac{T \text{ max} + T \text{ min}}{2}$$

Donde:

Tm : Temperatura media diaria.

Tmax : Temperatura máxima diaria.

Tmin : Temperatura mínima diaria.

3.1.3.1.4 Análisis del comportamiento de la temperatura

Se realizó un análisis del comportamiento de la temperatura máxima y temperatura mínima, durante el ciclo vegetativo del cultivo, en cada una de las gestiones agrícolas y localidades, donde se identificaron los períodos más fríos y más calurosos del ciclo vegetativo. Se construyeron gráficas de tendencias para cada una de las mismas, que ayudan a describir el comportamiento de la temperatura.

3.1.3.1.5 Cálculo de la constante térmica o grados-día.

3.1.3.1.5.1 Método directo.

El presente análisis se sustenta en el modelo que trata de representar la vinculación entre la temperatura del aire (T), con el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Se introduce el concepto de Velocidad de crecimiento (V). (Ledesma, 2000).

$$V = f(T)$$

Este concepto, establece que la velocidad de crecimiento del cultivo es función de la temperatura, siempre que la temperatura sea el único elemento, o el fundamental, determinante de la expresión de su desarrollo.

El método directo, consiste en la suma de todos los valores de temperaturas medias diarias mayores a 0°C, durante el periodo comprendido entre emergencia y madurez fisiológica del cultivo. En este método no se computaron los valores de temperaturas inferiores a 0°C. (Ledesma, 2000). En cada una de las localidades y gestiones agrícolas consideradas en el presente estudio.

$$GDD = \sum_{i=1}^N \left[T_m \geq 0^{\circ}C \right]$$

Donde:

T_m : Temperatura media diaria °C

N : Número de días (duración del ciclo vegetativo)

3.1.3.1.5.2 Método residual de la constante térmica.

Se sabe que casi todas las especies agrícolas comienzan a crecer a partir de una temperatura en particular denominada Temperatura base (T_b); Por tanto, el método directo en realidad sobreestima el verdadero valor de la constante térmica, al considerar como útil todas las temperaturas superiores a 0°C. (Urbano, 2009) Entonces para encontrar la verdadera eficiencia térmica, se propuso el método residual, donde a cada temperatura media diaria (T_m) se le resta una

temperatura base (Tb) y luego se sumaron los residuos así obtenidos, para determinar la constante térmica o grados-día. Las temperaturas medias diarias inferiores a la temperatura base no fueron tomadas en cuenta.

Por tanto, habrá dos parámetros a determinar:

- Tb
- $\sum_1^N (T_m - T_b)$

Donde:

Tm : Temperatura media diaria °C

Tb : Temperatura base o temperatura vital mínima del cultivo

N : Número de días (duración del ciclo vegetativo)

3.1.3.1.5.2.1 Determinación de la temperatura base de la quinua.

Para el cálculo de la constante térmica o grados-día, por el método residual, se necesita primero, determinar la temperatura base o temperatura vital mínima (Tb) del cultivo de quinua. En razón de que no se tienen evidencias científicas acerca de cuál sería la temperatura mínima, a partir de la cual el cultivo tiene actividad metabólica (temperatura a partir de la cual la planta comienza a crecer) cuyo valor es específico para cada especie. (Ledezma, 2000) En este trabajo probamos tres temperaturas base 5°C, 3°C, y 1°C, elegidas a priori considerando: experiencias anteriores (Bosque, 1994) (Bois *et al.*, 2006) (SENAMHI-DGA, 2003), las características edafoclimáticas del Altiplano, y la tolerante a bajas temperaturas del cultivo.

3.1.3.1.5.2.1.1 Método del menor coeficiente de variabilidad.

Es un método matemático, propuesto por Arnold (1959), de acuerdo con esta metodología, para la determinación de la Temperatura base (Tb), son escogidas a priori valores de temperaturas base (5°C, 3°C, y 1°C). De la temperatura media diaria se resta la temperatura base, formando tres grupos de sumas térmicas, de las respectivas temperaturas base elegidas a priori. Posteriormente se determino el

desvío estándar para los tres grupos de sumas térmicas, para luego compararlas con sus respectivas medias. Siendo la temperatura base del cultivo aquella que corresponda al menor valor de desvío estándar en días. A través de la siguiente formula. (Cirer *et al.*, 1994) y (Fernández *et al.*, 2004)

$$Sd = \frac{Sdd}{\sum (x - Tb)}$$

Donde:

Sdd : Desvío estándar de las sumas térmicas de las temperaturas base elegidas a priori (5°C, 3°C y 1°C)

Tx : Es el promedio de la serie de datos analizados (temperaturas medias)

Tb : Temperaturas base elegidas a priori (5°C, 3°C, y 1°C).

3.1.3.1.5.2.2 Método residual de la constante térmica para cada fase fenológica.

Con la información recolectada de las fechas de inicio y fin de cada fase fenológica del cultivo de quinua, y la temperatura media diaria de los siete experimentos (Tesis), en las localidades y gestiones agrícolas analizadas, se procedió al cálculo de la constante térmica o grados-día para cada una de las fases fenológicas, bajo la misma metodología que en el anterior caso.

$$GDD = \sum_{i=1}^N (Tm - Tb)$$

Donde:

Tm : Temperatura media diaria °C

Tb : Temperatura base o temperatura vital mínima del cultivo

N : Número de días (duración de la fase fenológica)

3.1.3.1.6 Simulación del riesgo de cosechas.

Con el valor calculado de la constante térmica para la quinua, y los registros históricos de temperaturas máximas diarias y temperaturas mínimas diarias, de las

estaciones meteorológicas de Patacamaya y Calacoto (SENAMHI), se puede estimar la fecha de cosecha desde el punto de vista climático, y estimar la probabilidad de pérdida de la cosecha, al evaluar la ocurrencia de heladas en un año específico.

3.1.3.1.6.1 Estimación de la fecha de siembra.

Con los registros históricos de precipitaciones diarias de las estaciones meteorológicas de Patacamaya y Calacoto (SENAMHI), se puede determinar el inicio de la época de lluvia, bajo la siguiente metodología: Dado que la precipitación en el Altiplano Central se concentra entre Noviembre a Marzo. De acuerdo al año hidrológico de los registros, para llevar a cabo el análisis, estos fueron ordenados de Julio a Junio (año Juliano), para correlacionar los resultados con la gestión agrícola. Se consideró que para cada año la época de lluvias se había iniciado (número del día Juliano) cuando la suma de tres días de precipitación fue mayor o igual a 20 mm, y posteriormente no se presentó un periodo sin lluvias mayor a 25 días. (García *et al.*, 2006), donde el número del día juliano corresponde a la fecha de siembra.

3.1.3.1.6.2 Estimación de la fecha de cosecha.

Los registros históricos de temperaturas máximas diarias y temperaturas mínimas diarias de las estaciones meteorológicas de Patacamaya y Calacoto (SENAMHI) fueron ordenados de Julio a Junio (año Juliano), para correlacionar los resultados con la gestión agrícola, se procedió a calcular la temperatura media diaria, bajo la metodología anteriormente descrita, a la temperatura media diaria (T_m) se le resta la Temperatura base (T_b) 1°C obtenida. Se consideró que para cada año, la fecha de cosecha se alcanzó, cuando la suma de $(T_m - T_b)$ se iguala a la constante térmica del cultivo 1600 GDD.

3.1.3.1.6.3 Probabilidad de pérdida de cosecha.

Se determinó el riesgo de pérdida de cosecha, al evaluar la ocurrencia de heladas (temperaturas mínimas diarias menores a 0°C) que se produjeron durante el periodo vegetativo estimado, en un año agrícola específico. El grado de riesgo se determinó, considerando las siguientes experiencias científicas: La tolerancia de la quinua frente

a las heladas depende del genotipo y del estado fenológico en la que se encuentra, ya que resiste sin problemas heladas hasta de -5°C (Alcon, 2005) excepto en sus fases críticas: los primeros 60 días después de la siembra, la floración y grano lechoso.

En las fases cotiledonar y dos hojas basales las plantas presentan mayor tolerancia a heladas de -1.5°C a -3.5°C ya sea por una buena recuperación, el rebrote de las plántulas y/o el desfase fenológico (Alcon, 2005; Nina, 2003; Mamani, 1998; Espíndola, 1992; Mujica y Canahua, 1989).

Las fases de floración y grano lechoso muestran mayor sensibilidad a las heladas pudiendo resistir sólo -1°C (Bonifacio, 1989; Mujica y Canahua, 1989) y de -3°C para (Canahua y Rea, 1979).

Con estos indicadores, se procedió a estimar la probabilidad de riesgo de cosecha, para las dos localidades Calacoto y Patacamaya del Altiplano Central.

IV. SECCION PROPOSITIVA.

4.1 Análisis de resultados.

4.1.1 Comportamiento de la temperatura.

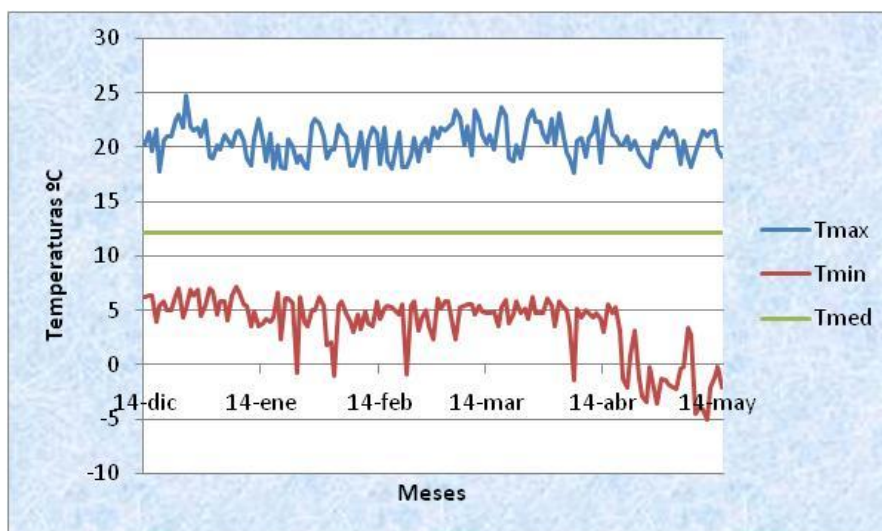


Figura 2. Comportamiento de la Temperatura gestión 2004-2005 Viacha.

De acuerdo con la fig. 2, podemos observar que la temperatura media durante el ciclo vegetativo fue de 12.1°C, promedio que supera el requerimiento del cultivo para la zona (10°C). Con relación al comportamiento de la temperatura máxima, podemos decir, que está tuvo una variación entre los 17°C a 24°C, presentándose una temperatura máxima extrema para el ciclo de 24.8°C durante el mes de Diciembre (cuando el cultivo se encontraba en fase de cotiledones).

En cuanto al comportamiento de la temperatura mínima, se registraron 28 días con temperaturas inferiores a 0°C (Anexo 9), que se concentraron a partir del 20 de Abril (grano lechoso) hasta el final del ciclo vegetativo, y en la que se presentó la temperatura mínima extrema del ciclo -5.1°C en el mes de Mayo (masa de grano).

Como podemos observar en la fig. 3, la temperatura media durante todo el ciclo vegetativo de la quinua en la localidad de Corpa fue de 12.1°C, cuyo promedio es superior al requerimiento del cultivo (10°C). El comportamiento de la temperatura máxima en la zona, como observamos en la fig. 3, tuvo una fluctuación entre los

17°C a 24°C, registrándose la temperatura máxima extrema 25.6°C durante el mes de Enero (despunte de panoja).

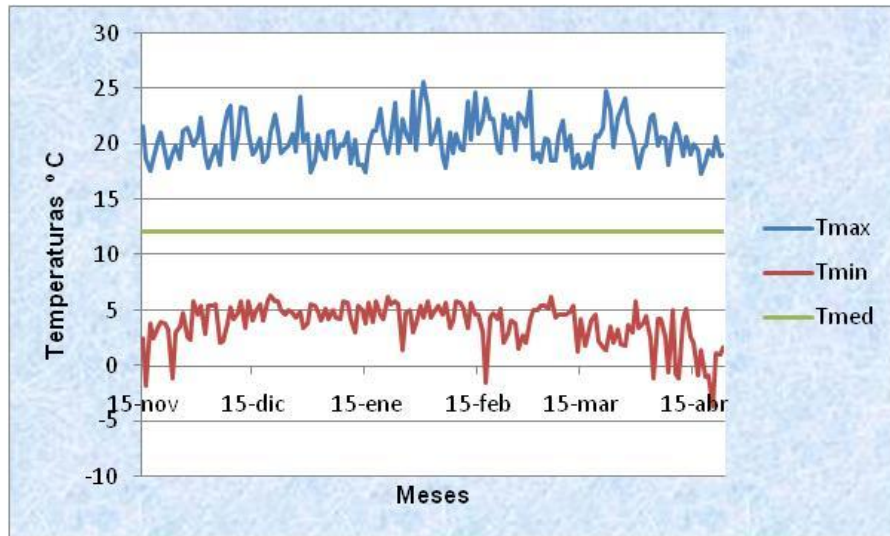


Figura 3. Comportamiento de la Temperatura gestión 2006-2007 Corpa.

Con respecto, al comportamiento de la temperatura mínima, podemos decir que, se registraron 11 días con temperaturas menores a 0°C (Anexo 10), de las cuales el 55% (6 días) se concentraron en el mes de Abril (masa de grano). En él cual, se registro la temperatura mínima extrema para todo el ciclo, con un valor de -3.7°C.

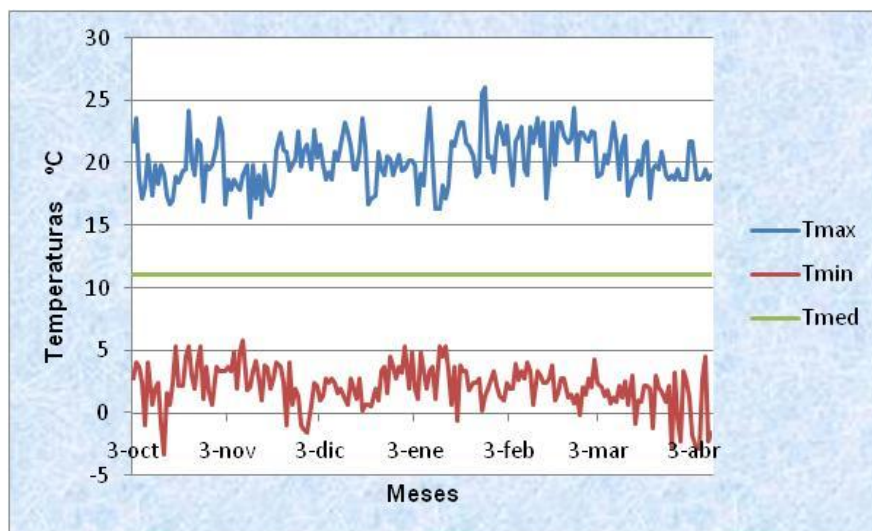


Figura 4. Comportamiento de la Temperatura gestión 2007-2008 Iñacamaya.

Como se puede observar en la fig. 4. La temperatura media durante todo el ciclo vegetativo alcanzo un valor de 11.1°C, satisfaciendo los requisitos de temperatura del cultivo (10°C). Con respecto al comportamiento de la temperatura máxima, está presente una variación entre los 16°C a los 25°C durante el desarrollo del cultivo, evidenciándose una temperatura máxima extrema 26°C producida durante el mes de Enero (despunte de panoja).

Durante el ciclo vegetativo se registraron 38 días con temperaturas menores a 0°C, de los cuales el 34% (13 días) se concentraron durante las últimas etapas fenológicas (grano lechoso y masa de grano), las restantes tuvieron una distribución errática a lo largo del ciclo. La temperatura mínima extrema del ciclo, fue registrada durante el mes de Octubre, con un valor de -3.3°C (la plántula todavía no había emergido).

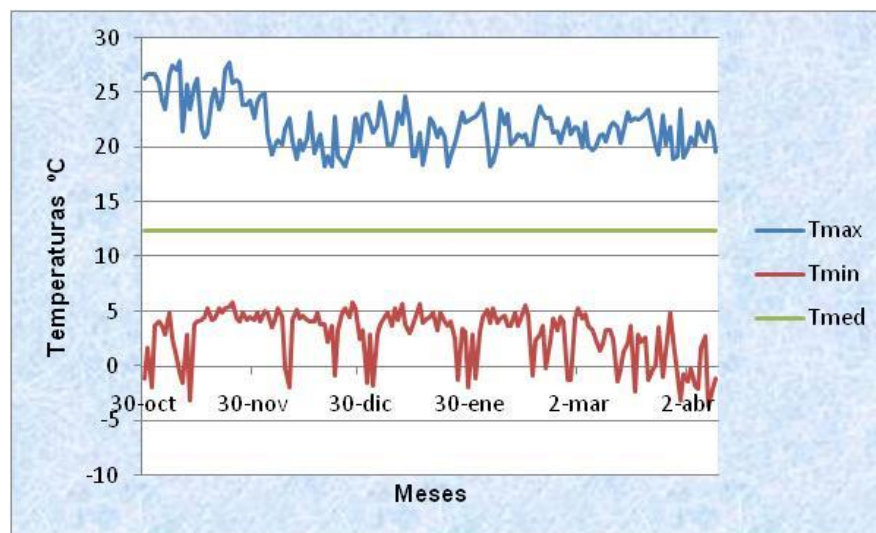


Figura 5. Comportamiento de la Temperatura gestión 2009-2010 Callapa Chico.

Como se puede observar en la fig. 5 la temperatura media durante el ciclo del cultivo fue de 12.4°C, este valor supera al requerimiento de temperatura del cultivo (10°C). Con respecto al comportamiento de la temperatura máxima, está presente una variación entre los 18°C y los 27°C durante todo el ciclo biológico, registrándose una temperatura máxima extrema de 27.9°C producida durante el mes de Noviembre (la plántula todavía no había emergido).

Durante el mismo periodo se registraron 35 días con temperaturas menores a 0°C (Anexo 11), las cuales se distribuyeron claramente en dos periodos, la primera durante las etapas de siembra hasta cotiledones con una duración de 7 días, la segunda y la más significativa del ciclo, ocurrió durante el periodo comprendido entre grano lechoso y toda la fase de masa de grano, con una duración de 6 y 14 días, los restantes días con heladas se distribuyeron a lo largo del ciclo, en este periodo se registro la temperatura mínima extrema -3.7°C en el mes de Abril (días antes a la cosecha)

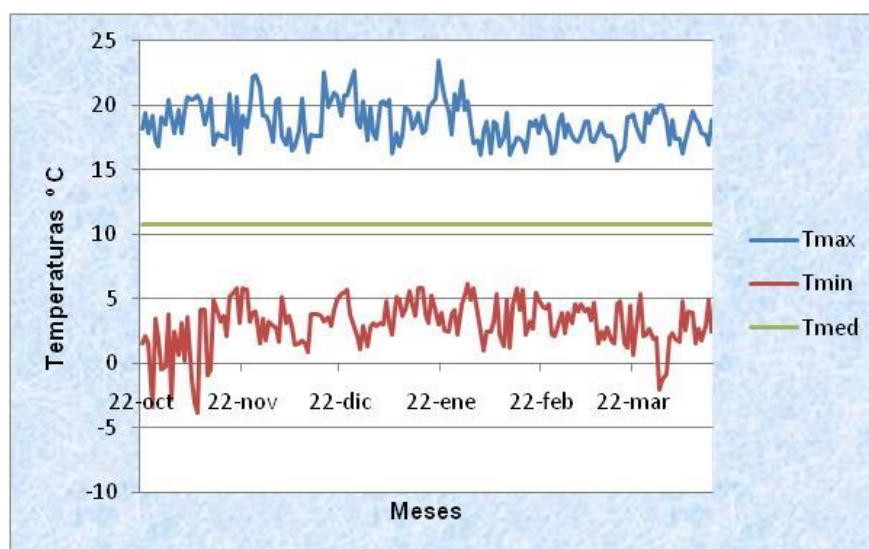


Figura 6. Comportamiento de la Temperatura gestión 2006-2007 Patacamaya¹.

De acuerdo con la fig. 6, podemos observar que la temperatura media durante el ciclo vegetativo fue de 10.8°C, valor que cumple con los requisitos de temperatura del cultivo (10°C). Con relación al comportamiento de la temperatura máxima, podemos decir, que tuvo una variación entre los 16°C y los 23°C, presentándose una temperatura máxima extrema 23.5°C durante el mes de Enero.

En cuanto al comportamiento de la temperatura mínima, se registraron 16 días con temperaturas inferiores a 0°C (Anexo 12), que se distribuyeron en tres periodos, el primero con 5 días durante la fase de cotiledones, la segunda, (con el mayor número de días con heladas) con una duración de 6 días, y en la que se presento la temperatura mínima extrema del ciclo, registrando un valor de -3.9°C en el mes de

Noviembre (dos hojas basales). El tercer periodo fue durante la fase de masa de grano con una duración de 4 días.

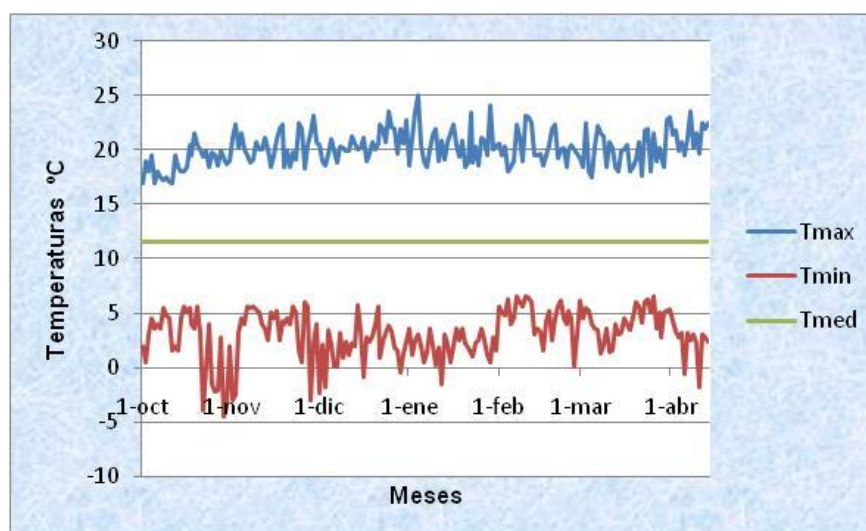


Figura 7. Comportamiento de la Temperatura gestión 2005-2006 Patacamaya².

Como podemos observar en la fig. 7, la temperatura media durante todo el ciclo vegetativo de la quinua en la localidad de Patacamaya² fue de 11.5°C, cuyo promedio es superior al requerimiento (10°C). El comportamiento de la temperatura máxima, tuvo una fluctuación entre los 17°C a 24°C, registrándose la temperatura máxima extrema para el ciclo 25°C durante el mes de Enero (despunte de panoja).

Con respecto, al comportamiento de la temperatura mínima, podemos decir que, se registraron 28 días con temperaturas menores a 0°C (Anexo 13), de las cuales se destacan dos grupos. La primera de 8 días que coincide con las etapas Cotiledones a dos hojas basales de la primera época de siembra (1 de Octubre), y el segundo de 5 días entre los meses de Octubre a Noviembre, que coinciden con la época de Emergencia a Cotiledones de la segunda época de siembra (20 de Octubre) y la etapa de siembra a emergencia de la tercera época de siembra (10 de Noviembre), los demás días con temperaturas menores a 0°C, se distribuyeron en forma errática a lo largo del ciclo. La temperatura mínima extrema se registro durante el mes de Octubre, -4.5°C para todo el ciclo.

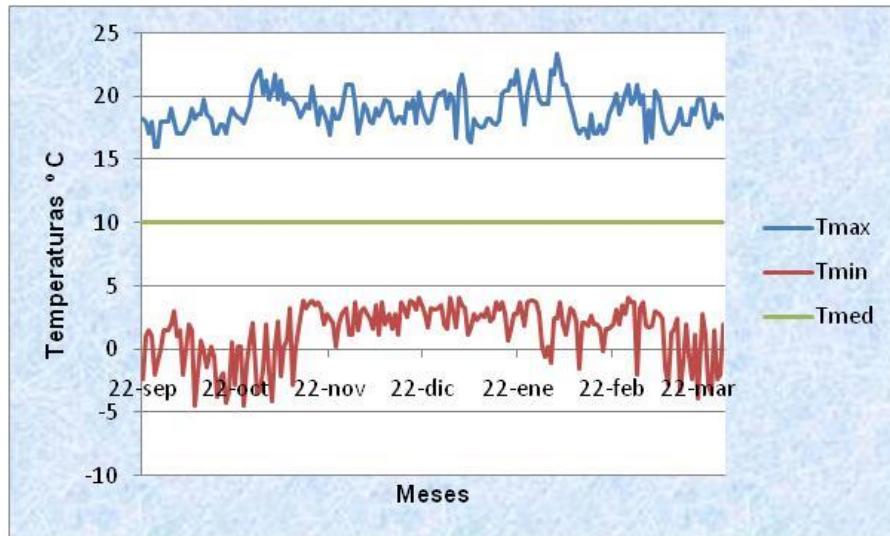


Figura 8. Comportamiento de la Temperatura gestión 2006-2007 Mejillones.

Como se puede observar en la fig.8, la temperatura media durante el ciclo del cultivo fue de 10.1°C, este valor iguala el requerimiento de temperatura para la quinua (10°C). Con respecto al comportamiento de la temperatura máxima, presento una variación entre 16°C y 22°C, registrándose una temperatura máxima extrema de 23.4°C producida en el mes de Febrero (floración).

Durante el ciclo vegetativo, se registraron 56 días con temperaturas menores a 0°C (Anexo14), las cuales se distribuyeron claramente en dos periodos, la primera durante las etapas de cotiledones hasta dos hojas basales con una duración de 32 días, en este periodo se registro la temperatura mínima extrema -4.5°C en Octubre (en cotiledones). La segunda y la más significativa del ciclo, ocurrió durante el periodo comprendido entre la última semana de grano lechoso y toda la fase de masa de grano, con una duración de 12 días, los restantes días con heladas se distribuyeron a lo largo del ciclo.

4.1.2 Determinación de la constante térmica para la Quinua

4.1.2.1 Método directo.

De acuerdo al cuadro 5, los resultados obtenidos muestran que la acumulación de energía por las plantas, expresados en grados día de desarrollo (GDD), a través del

método directo, para cinco variedades de quinua, cultivadas en seis diferentes localidades del Altiplano boliviano, varían en un rango considerable de 1790 a 1850 GDD. Esta variación, puede deberse a que se sumaron las temperaturas medias diarias mayores o iguales a 0°C, de acuerdo a la metodología descrita.

Cuadro 5. Grados día de la quinua método directo (Emergencia- Madurez fisiológica).

LOCALIDAD	GESTION AGRICOLA	VARIEDAD	ÉPOCAS SIEMBRA	CICLO VEGETATIVO	GRADOS DÍA
Viacha	2004-2005	Belén 2000		153 días	1794
Corpa	2006-2007	Belén 2000		160 días	1801
Iñacamaya	2007-2008	Toledo rojo		190 días	1847
Callapa Chico	2009-2010	Sajama		163 días	1800
Patacamaya ¹	2006-2007	Santa María		176 días	1835
Patacamaya ²	2005-2006	Santa María	1ra	172 días	1804
			2da	163 días	1801
			3ra	156 días	1788
Mejillones	2006-2007	Real Blanca		190 días	1848

La duración del ciclo vegetativo de las variedades en estudio, tuvo una variación de 153 a 190 días, que concuerda con la revisión bibliográfica; en variedades tardías: Toledo Rojo y Real Blanca (184 días) y variedades semiprecoces: Santa María, Belén 2000 y Sajama (150 a 160 días). (PROINPA, 2003)

Se computaron, temperaturas medias diarias desde la fecha en que se produjo la emergencia (EME) hasta que la planta alcanzo madurez fisiológica (GPD). No se sumaron las temperaturas desde siembra hasta emergencia, debido a que el proceso de germinación de los cultivares de quinua, establecidos en el Altiplano, se encuentran afectados por muchos factores (disponibilidad de agua en el suelo, grado de salinidad del suelo, temperatura del suelo, calidad de las semillas, labores culturales, etc.) que afectan la duración de este proceso, por tal razón, altera significativamente la sumatoria térmica o GDD.

Diferentes experimentos con quinua en el altiplano, obtuvieron los siguientes valores de constantes térmicas, en las siguientes variedades: 1917 GDD (Santa María),

2097 GDD (Real Blanca), 2011 GDD (Belén 2000, Huganda, Agro 2000 y Jiwaki), realizados por (Huanca, 2008); (Condori, 2008) y (Osco, 2009) respectivamente. Esta gran variación en el cálculo de este índice agronómico de 1900 a 2100 GDD, puede deberse, a que se sumaron las temperaturas medias diarias desde la siembra hasta madurez fisiológica. En Choquenaira (Gutierrez, 2003) encontró una constante térmica para las variedades: Yanamuyu y Sujumi de 600 y 870 GDD.

4.1.2.2 Método residual.

4.1.2.2.1 Determinación de la temperatura base o temperatura vital mínima.

4.1.2.2.1.1 Método del menor coeficiente de variabilidad.

Cuadro 6. Coeficientes de variabilidad, para determinar la temperatura base.

LOCALIDAD	GESTION AGRICOLA	VARIEDAD	ÉPOCAS SIEMBRA	CICLO VEGETATIVO	TEMPERATURA BASE		
					5°C	3°C	1°C
Viacha	2004-2005	Belén 2000		153 días	0,24	0,19	0,15
Corpa	2006-2007	Belén 2000		160 días	0,18	0,14	0,11
Iñacamaya	2007-2008	Toledo rojo		190 días	0,21	0,16	0,13
Callapa Chico	2009-2010	Sajama		163 días	0,21	0,16	0,13
Patacamaya ¹	2006-2007	Santa María		176 días	0,20	0,15	0,12
Patacamaya ²	2005-2006	Santa María	1ra	172 días	0,20	0,15	0,12
			2da	163 días	0,20	0,15	0,12
			3ra	156 días	0,17	0,13	0,11
Mejillones	2006-2007	Real Blanca		190 días	0,27	0,19	0,15

De acuerdo a la metodología propuesta por (Arnold, 1959); (Cirer *et al.*,1994) y (Fernández *et al.*, 2004) para determinar la temperatura base de desarrollo de un cultivo, aplicando la suma de unidades térmicas, a las temperaturas base elegidas a priori 5°C, 3°C y 1°C, las cuales fueron elegidas, considerando las características del cultivo (tolerancia a eventos climáticos extremos), las características climáticas de la región de estudio (régimen térmico) y experiencias de anteriores experimentos

Siendo la temperatura base del cultivo aquella que corresponda al menor desvío estándar en días, de las sumas térmicas de las temperaturas propuestas a priori.

Podemos sugerir, de acuerdo a los resultados obtenidos en este análisis (cuadro 6), la temperatura base o temperatura mínima vital para la quinua es de 1°C. Debido a que esta temperatura cumple con la condición de la metodología.

Esta temperatura coincide con el valor estimado de 1°C por (Bois *et al.*, 2006) en un experimento con tres cultivares de quinua (Surumi, Chucapaca y Real Blanca) bajo condiciones controladas, ligeramente inferior al valor de 2°C encontrado por (Bertero, 2001) con cultivares de quinua en condiciones de campo. (Gutierrez, 2003) cito como temperatura base para la quinua, el valor de 0°C, la (DGA SENAMHI, 2003), propuso una temperatura crítica mínima (Tb) igual a -1°C, y a la estimación de 3°C como la temperatura en la cual la quinua detuvo su crecimiento, en un experimento en Suka Kollus por (Bosque, 1994).

Con la elección de la temperatura base o temperatura vital mínima para la quinua, procedemos a calcular la constante térmica (grados día de desarrollo), por el método residual, cuyos resultados presentamos a continuación:

Cuadro 7. Grados día de la quinua método residual (Emergencia-Madurez fisiológica),

LOCALIDAD	GESTION AGRICOLA	VARIEDAD	ÉPOCAS SIEMBRA	CICLO VEGETATIVO	GRADOS DÍA
Viacha	2004-2005	Belén 2000		153 días	1646
Corpa	2006-2007	Belén 2000		160 días	1654
Iñacamaya	2007-2008	Toledo rojo		190 días	1670
Callapa Chico	2009-2010	Sajama		163 días	1652
Patacamaya ¹	2006-2007	Santa María		176 días	1666
Patacamaya ²	2005-2006	Santa María	1ra	172 días	1649
			2da	163 días	1648
			3ra	156 días	1641
Mejillones	2006-2007	Real Blanca		190 días	1668

De acuerdo al cuadro 7, utilizando los datos de cinco variedades de quinua, cultivadas en seis diferentes localidades del Altiplano boliviano. El requerimiento térmico para la quinua, calculado para el periodo de emergencia hasta madurez

fisiológica, a través de método residual, (utilizando como temperatura base 1°C), varia de 1641 a 1670 GDD.

En las variedades semiprecoces (Belén 2000, Sajama y Santa María) el cálculo del requerimiento térmico necesario para alcanzar madurez fisiológica, por este método presenta menor variación de 1641 a 1666 GDD, en relación al método directo de 1788 a 1848 GDD, en el mismo periodo de evaluación (ciclo vegetativo). Lo que evidencia la sobre estimación del método directo.

Para la variedad Santa María, cultivada en Patacamaya² durante la gestión 2005-2006, en tres épocas de siembra (1 Octubre, 20 de Octubre y 10 de Noviembre), se puede apreciar que para alcanzar madurez, la acumulación de calor es casi la misma para las tres épocas de siembra, 1649, 1648 y 1641 GDD respectivamente. En relación a la gran variación de la duración del ciclo vegetativo de las mismas 172, 163 y 156 días, mostrando la eficacia de la constante térmica como mejor indicador de cosecha que la duración del ciclo en días.

Esto es más evidente cuando comparamos los resultados de la misma variedad (Santa María) en la misma localidad (Patacamaya^{1 y 2}), en dos gestiones agrícolas diferentes 2006-2007¹ y 2005-2006² (en la que se probaron tres épocas de siembra). Los valores hallados fueron de 1666 GDD en la primera y 1641-1649 GDD en la segunda gestión. Con una duración del ciclo vegetativo de 176 días en la primera y 163 días en la segunda gestión. La menor duración del ciclo en la gestión 2005-2006², en relación a la primera gestión, se produjo por un mayor promedio de la temperatura media en Patacamaya 11.5°C, en relación a los 10.8°C que se registraron durante la gestión 2006-2007¹, como se puede observar en las figuras 7 y 6 respectivamente. Lo que muestra la importancia de la periodicidad de la temperatura en la duración del ciclo, donde la velocidad de desarrollo, aumenta a medida que aumenta la temperatura, desde un punto de vista eminentemente climático.

4.1.3 Constante térmica para las fases fenológicas de la quinua.

4.1.3.1 Método residual para las fases fenológicas.

Cuadro 8. Grados día para las fases fenológicas según variedades.

FASE	VARIEDADES DE QUINUA							
	Belén 2000	Belén 2000'	Sajama	Santa María	Real Blanca	Santa María*	Santa María**	Santa María***
EME	49,8	43,7	23,7	16,3	27,8	56,8	39,5	33,9
COT	104,8	99,7	81,5	79,6	188,3	41,7	79,7	66,8
2HB	200,6	180,3	137,6	112,7	144,1	170,6	166,8	150,1
5HA	119,6	248,8	253,3	322,5	273,9	154,3	158,5	120,4
13H	259,9	164,1	324,9	45,5	56,8	219,3	213,4	196,1
DPA	319,3	276,5	153,8	316,9	381,5	318,1	289,0	233,9
FLO	259,1	365,9	161,4	322,8	260,5	308,9	296,1	308,6
GLE	206,9	163,1	329,4	192,4	256,6	175,4	193,3	266,7
MAG	125,7	112,0	187,2	258,2	78,2	203,9	211,8	258,6

Patacamaya: *1ra época; **2da época; ***3ra época: gestión 2005-2006

En el cuadro 8 y cuadro 9, presentamos los valores de la energía acumulada en GDD por las plantas, y la duración en días, de cada fase fenológica respectivamente, para cada una de las variedades de quinua sujetas a estudio.

Cuadro 9. Días de duración de cada fase fenológica según las variedades.

FASE	VARIEDADES DE QUINUA							
	Belén 2000	Belén 2000'	Sajama	Santa María	Real Blanca	Santa María*	Santa María**	Santa María***
EME	4	4	2	2	3	5	5	3
COT	8	9	6	9	25	5	7	6
2HB	17	15	10	12	16	17	15	15
5HA	11	22	23	32	28	14	16	12
13H	23	14	28	4	6	22	20	18
DPA	27	23	14	30	38	30	28	23
FLO	22	33	14	32	27	28	26	27
GLE	21	15	30	20	28	16	18	25
MAG	15	12	20	28	10	19	19	23

Patacamaya: *1ra época; **2da época; ***3ra época gestión 2005-2006

Podemos observar que las mayores acumulaciones de calor por el cultivo se verificaron, durante los periodos comprendidos entre las fases 2HB-5HA y DPA-FLO. Con 300 - 400 GDD y 500 - 600 GDD respectivamente (cuadro 8).

La importante demanda energética, en el periodo comprendido entre 2HB-5HA, corresponde a que durante ella, las plantas realizan una mayor actividad metabólica (producción de biomasa) donde la temperatura juega un papel importante. Y la mayor demanda energética en el periodo entre DPA-FLO, se puede deber a que el cultivo durante el mismo, tiene una mayor actividad reproductiva (floración), la cual está muy relacionada con el fotoperiodo y está a su vez con la temperatura.

Cuando comparamos la precocidad de las variedades con la acumulación de calor, encontramos que tanto las variedades semiprecoces (Santa María, Belén 2000 y Sajama), como la variedad tardía (Real Blanca) alcanzan la etapa de FLO con casi la misma acumulación de energía 1054 GDD para las primeras y 1072 GDD para la tardía, pero en diferentes días después de la siembra (DDS): 130 DDS para las semiprecoces, y 151 DDS para la tardía (cuadro 9).

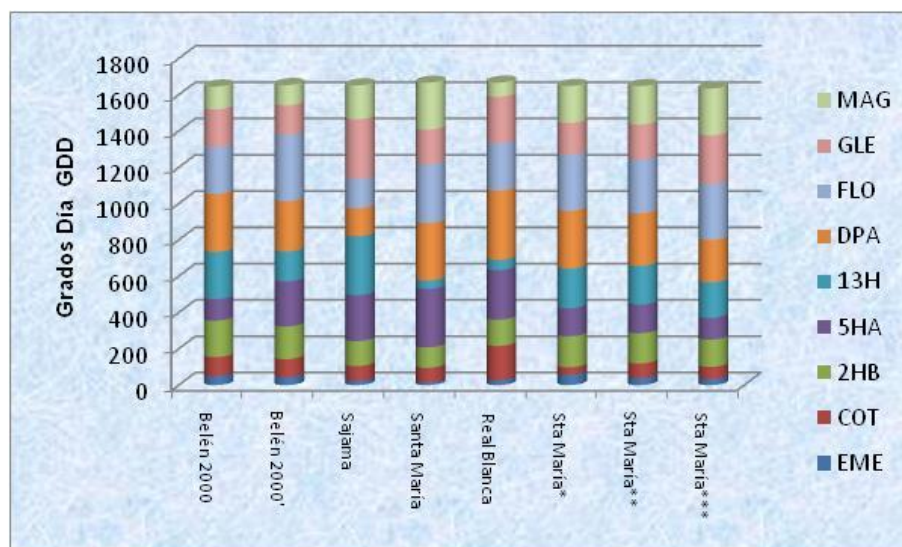


Figura 9. Grados día para cada una de las fases fenológicas de la quinua.

En la fig. 9, podemos observar el comportamiento de la acumulación de calor en cada fase fenológica, en los cultivares de quinua, reflejando la plasticidad adaptativa del cultivo, en el desarrollo de sus fases, por la acción positiva o negativa

de la temperatura. (considerando: la hipótesis, que la temperatura es el único factor que incide en el crecimiento y desarrollo del cultivo). Característica morfo-fisiológica, que le permite acumular la energía necesaria para cumplir su ciclo ontogénico, independientemente de la duración del mismo.

Las fases que mejor reflejan esta característica, son 5HA y 13H. Ya que el cultivo para este periodo necesita acumular de 320 a 400 GDD (cuadro 8). Las variedades Santa María y Real Blanca presentan una acumulación del 80% del requerimiento en 5HA (la temperatura media de la fase fue 11.5 y 10.8°C respectivamente (Anexo, 12 y 14)) y un 20% en 13H (la media fue de 12.5 y 10.0°C). Mientras que la variedad Belén 2000 que en dos localidades: Viacha (con medias de 11.9°C en 5HA y 12.0°C en 13H (Anexo 9)) y Corpa (con medias de 12.3°C en 5HA y 12.1°C en 13H (Anexo10)), la acumulación en ambas fases fue más o menos pareja (ver fig. 11). En todos los casos descritos, la duración de estas dos fases fue de 34 a 36 días (cuadro 9). Otras fases que muestran plasticidad, aunque de forma no tan evidente, son 2HB y DPA. En ella podemos observar la importancia que tiene la temperatura media que se registra en la fase para la acumulación de energía, y la duración de la misma.

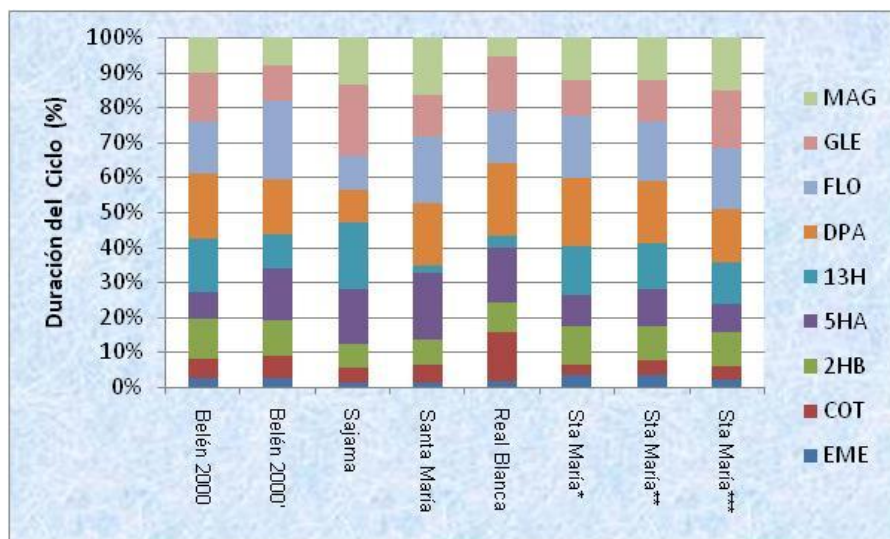


Figura 10. Variación en porcentaje de la duración de cada fase fenológica.

En la fig. 10, se muestra la variación porcentual de la duración de cada fase fenológica sobre el ciclo ontogénico, mostrando cuál de las fases se modifica más.

Esto ayuda a entender, la plasticidad adaptativa, en el desarrollo de las fases fenológicas, sobre los requerimientos térmicos de las mismas. La variedad Real Blanca, muestra una mayor proporción de la fase de COT con respecto a las otras variedades. Esto se debe a que en ella se presentaron varios días con heladas, lo cual afectó el crecimiento de las plantas, alargando la duración de esta fase.

4.1.4 Incidencia de eventos climáticos extremos.

4.1.4.1 Días con heladas.

En el cuadro 10 y Fig. 11 observamos los días con heladas que se presentaron en cada fase fenológica de los cultivares de quinua, en las diferentes localidades.

En EME no se presentaron heladas en ninguna de las localidades, en COT las localidades de Patacamaya¹, Patacamaya² y Mejillones sufrieron 5, 4 y 21 días con heladas respectivamente, las temperaturas mínimas extremas para la fase fueron de -2.9°C, -4°C y -4.5°C (Anexos, 12,13 y 14) respectivamente y temperaturas medias de 9.8, 9.3 y 8.5°C (Anexos, 12,13 y 14). La duración de esta fase fue mayor en Mejillones 25 días (cuadro 9), en relación de los 9 y 7 días para las restantes.

Cuadro 10. Número de días con heladas (T ≤ 0°C).

FASES	LOCALIDADES					
	Viacha	Corpa	Callapa Chico	Patacamaya ¹	Patacamaya ²	Mejillones
SIE	0	2	6	0	1	4
EME	0	0	0	0	0	0
COT	0	0	0	5	4	21
2HB	0	0	0	5	5	11
5HA	1	0	3	1	1	1
13H	1	0	2	0	7	0
DPA	1	1	3	0	6	1
FLO	1	0	1	0	1	6
GLE	11	2	6	0	1	6
MAG	13	6	14	4	0	6

Patacamaya¹ 1ra época; 2da época y 3ra época

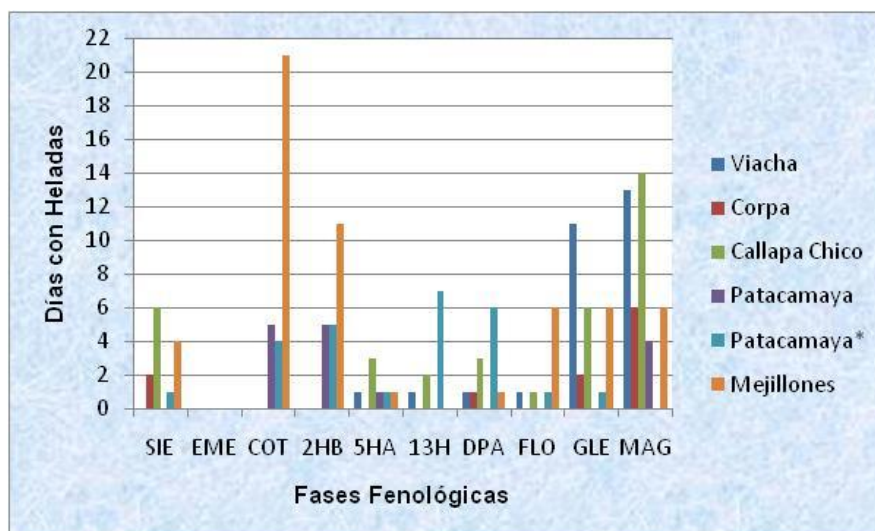


Figura 11. Comparación días con heladas en fases fenológicas por localidades

En 2HB, Patacamaya¹, Patacamaya² y Mejillones, registraron heladas de 5, 5 y 11 días, las temperaturas mínimas extremas fueron de -3.9°C, -4.5°C y -4.1°C respectivamente, y la temperatura media en la fase fue de 10.4, 11.0 10.0°C. La fase tuvo una variación en la duración de 12, 17 y 16 días respectivamente. Lo que confirma las experiencias anteriores (Mamani, 1998) que muestran la sensibilidad de las primeras fases de la quinua a la incidencia de heladas, que se manifiestan con un alargamiento en la duración de la fase.

Durante 5HA Patacamaya¹, Patacamaya² y Mejillones registraron 1 día con helada cada una, con temperaturas mínimas extremas de 0.9, 0.5 y 0.2°C, con temperaturas medias de 11.1, 12.0 y 10.8°C respectivamente, la duración de la fase fue de 32, 14 y 28 días.

En FLO Mejillones y Patacamaya² registraron heladas de 6 y 1 días, con mínimas extremas de -1.6 y -0.5°C, y medias de 10.6 y 12.0°C respectivamente. la duración de la fase fue de 27 días en ambas. Mostrando un comportamiento en la duración más o menos parejo (26 a 32 días) en las localidades que no sufrieron heladas

Durante la fase de GLE en cuatro localidades se registraron heladas: 6 días en Mejillones y Callapa Chico, 2 en Corpa, 11 en Viacha y 1 en Patacamaya², con

mínimas extremas de -3.3, -2.4, -1.2, -3.6 y 0.0 °C respectivamente, y medias de 10.2, 10.2, 11.9, 10.9, y 12.0°C, con 28, 30, 15, 21 y 16 días de duración de la fase.

En cuanto a la respuesta de la plasticidad de la quinua, frente a la incidencia de heladas (eventos climáticos extremos), en las primeras etapas, , no se evidencian diferencias significativas en la acumulación de calor, entre las variedades que sufrieron un mayor número de heladas Santa María (Patacamaya^{1 y 2}) y Real Blanca (Mejillones); de las que sufrieron una helada por fase Belén 2000 (Viacha y Corpa), ya que las primeras alcanzaron FLO con una acumulación de 960 y 1070 GDD, y las segundas con 1051 y 1013 GDD (cuadro 8). Pero si se evidencia una mayor variación en el tiempo que tardan en llegar a FLO, las primeras 93 y 116 días después de emergencia (DDE) en relación a los 90 y 87 DDE (cuadro 9) en las segundas, especialmente en los cultivares que sufrieron heladas en las fases COT y 2HB, porque se tuvo que esperar el rebrote o la recuperación de las plántulas. La plasticidad adaptativa que muestra el cultivo, puede deberse a la variación de la temperatura, que se registraron durante las primeras fases (antes de la floración).

4.1.5 Simulación del riesgo de cosecha.

4.1.5.1 Simulación del riesgo de cosecha para Calacoto Altiplano Central

De los resultados obtenidos para la localidad de Calacoto en el Altiplano Central (cuadro 11) la importancia de la periodicidad de la temperatura sobre la duración del ciclo vegetativa, es notoria en esta región, en razón a las bajas temperaturas que se registran, debido a su proximidad con la Cordillera Real, se manifiesta en mayores probabilidades de pérdidas de cosecha (con temperaturas mínimas de -3°C a -6°C durante el periodo vegetativo estimado) especialmente en gestiones agrícolas donde el promedio de la temperatura media sea cercano a 10°C.

Las siembras deben ser programas para los primeros días de Noviembre, debido a que en la segunda quincena de Octubre, se tiene significativa probabilidad de ocurrencia de heladas tardías (de -3°C a -6°C) que coincidirían con las fases de COT y 2HB sensibles a dichas temperaturas

Cuadro 11. Simulación del riesgo de cosecha en Calacoto Altiplano Central.

GESTIÓN AGRÍCOLA	SIEMBRA ESTIMADA	TEMPERATURA MEDIA	DURACIÓN DEL CICLO	FECHA 1ra HELADA	DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA	CONCLUYO EL CICLO	PROB. (%) FRACASO
1990 - 1991	25-oct-90	10,1°C	176 Días	09-feb-91	109 DDS*	NO	65
1991 - 1992	21-oct-91	9,3°C	192 Días	08-mar-92	140 DDS*	NO	90
1992 - 1993	29-oct-92	10,1°C	175 Días	22-mar-93	145 DDS	SI	40
1993 - 1994	23-oct-93	10,3°C	172 Días	09-abr-94	169 DDS	SI	15
1994 - 1995	29-oct-94	11,1°C	158 Días	07-abr-95	161 DDS	SI	10
1995 - 1996	11-nov-95	10,9°C	162 Días	22-abr-96	164 DDS	SI	10
1996 - 1997	09-nov-96	10,7°C	164 Días	07-abr-97	150 DDS	SI	20
1997 - 1998	12-nov-97	11,6°C	151 Días	06-abr-98	146 DDS	SI	15
1998 - 1999	05-nov-98	11,2°C	158 Días	15-abr-99	162 DDS	SI	10
1999 - 2000	16-nov-99	10,3°C	172 Días	10-abr-00	147 DDS*	NO	75
2000 - 2001	20-oct-00	10,6°C	168 Días	12-abr-01	175 DDS	SI	10
2001 - 2002	09-dic-01	9,8°C	184 Días	02-abr-02	114 DDS*	NO	90
2002 - 2003	09-dic-02	10,2°C	173 Días	31-mar-03	113 DDS*	NO	90
2003 - 2004	22-oct-03	10,9°C	161 Días	22-feb-04	124 DDS*	NO	75
2004 - 2005	12-dic-04	10,0°C	181 Días	17-abr-05	127 DDS*	NO	80

Las siembras que se efectúan en los primeros días de Diciembre y la última semana de Noviembre, tienen una altísima probabilidad de pérdida de cosecha (80 a 90%), si bien, se evitarían cualquier riesgo de heladas tardías, en fases tempranas, Los periodos más fríos (a partir del segundo decanato de abril) donde se registran heladas de -6°C hasta -11°C, coincidirían con las fases más sensibles FLO y GLE,

4.1.5.2 Simulación del riesgo de cosecha para Patacamaya Altiplano Central

De los resultados obtenidos para la localidad de Patacamaya en el Altiplano Central (cuadro 12) reafirma la importancia de la periodicidad de la temperatura sobre la duración del ciclo ya que los promedios de las temperaturas medias son próximas a 11°C, lo que reduce la duración del ciclo, evitando de esta manera el periodo más crítico de heladas en la zona a partir de la segunda quincena de abril.

Si bien se pueden presentar heladas de -1 hasta -3.5 °C, durante el ciclo vegetativo estimado (especialmente en Marzo), éstas no alcanzan los valores críticos de -5°C (Alcon, 2005) y que la probabilidad de que heladas de -3°C coincidan o se presenten

en las fases de Floración y/o Grano lechoso es realmente baja, si se establecen las siembras entre la segunda quincena de Octubre y la primera quincena de Noviembre.

Cuadro 12. Simulación del riesgo de Cosecha en Patacamaya Altiplano Central.

GESTIÓN	SIEMBRA	TEMPERATURA	DURACIÓN	FECHA 1ra	DÍAS DESPUÉS	CONCLUYO	PROB. (%)
AGRICOLA	ESTIMADA	MEDIA	DEL CICLO	HELADA	DE SIEMBRA	EL CICLO	FRACASO
1985 - 1986	15-nov-85	10,8°C	163 Días	21-abr-86	158 DDS	SI	10
1986 - 1987	23-nov-86	11,2°C	157 Días	20-abr-87	149 DDS	SI	15
1987 - 1988	20-oct-87	11,5°C	153 Días	31-mar-87	164 DDS	SI	5
1988 - 1989	10-oct-88	10,9°C	162 Días	25-mar-89	167 DDS	SI	5
1989 - 1990	18-nov-89	11,1°C	159 Días	27-mar-90	130 DDS	NO	25
1990 - 1991	22-oct-90	11,3°C	155 Días	28-mar-91	158 DDS	SI	5
1991 - 1992	01-nov-91	10,7°C	164 Días	9-mar-92	130 DDS*	NO	45
1992 - 1993	12-oct-92	10,9°C	161 Días	30-mar-93	170 DDS	SI	10
1993 - 1994	09-nov-93	11,7°C	150 Días	9-abr-94	152 DDS	SI	5
1994 - 1995	23-nov-94	10,8°C	164 Días	13-feb-95	83 DDS	NO	40
1995 - 1996	22-nov-95	11,0°C	161 Días	14-mar-96	114 DDS*	NO	40
1996 - 1997	10-nov-96	10,6°C	166 Días	3-abr-97	145 DDS	NO	25
1997 - 1998	02-nov-97	11,5°C	153 Días	11-feb-98	102 DDS	NO	25
1998 - 1999	29-oct-98	11,0°C	160 Días	12-feb-99	107 DDS*	NO	25
1999 - 2000	06-nov-99	10,5°C	168 Días	23-abr-00	170 DDS	SI	5
2000 - 2001	12-oct-00	10,6°C	167 Días	4-abr-01	175 DDS	SI	15
2001 - 2002	12-oct-01	11,0°C	160 Días	19-mar-02	159 DDS	SI	10
2002 - 2003	23-nov-02	11,6°C	152 Días	31-mar-03	129 DDS	NO	20
2003 - 2004	03-dic-03	11,7°C	154 Días	28-mar-04	117 DDS*	NO	25
2004 - 2005	09-dic-04	11,2°C	157 Días	19-abr-05	132 DDS	NO	25
2005 - 2006	20-nov-05	11,3°C	156 Días	22-abr-06	154 DDS	SI	10

Si bien en algunos años se evidencian que inicio de la época de lluvia (precipitaciones mayores a 20 mm) empieza en Septiembre, estos en realidad son falsos inicios ya que a menudo presentan prolongados periodos secos (de 30 a 50 días) y la probabilidad de ocurrencia de heladas tardías (de -4°C a -6°C) es alta, lo que afectaría a las plántulas en sus primeras etapas, sumado a la sequia que experimentarían, incrementaría significativamente el riesgo de pérdida de cosecha.

V. SECCION CONCLUSIVA.

Por los resultados obtenidos en este análisis, sobre la plasticidad adaptativa de la quinua sobre su constante térmica, se llegó a las siguientes conclusiones:

Las unidades de medición en términos de tiempo fisiológico, como los grados día de desarrollo (GDD), mejoran la caracterización del crecimiento y desarrollo de las plantas en relación a los términos de tiempo cronológico (duración del ciclo vegetativo en días), por ser este un concepto abstracto y muy heterogéneo.

En cuanto a los métodos utilizados para el cálculo de la sumatoria térmica (GDD) o constante térmica, para cinco variedades de quinua, en seis localidades del Altiplano boliviano, el método residual es el que mejor expresa la eficiencia térmica durante el ciclo vegetativo, ya que el método directo sobreestima el verdadero valor de la constante térmica en una proporción del 10 a 15%.

De acuerdo a los resultados (por métodos matemáticos), sugerimos que la temperatura base o temperatura mínima vital para algunas variedades de quinua en el altiplano boliviano, podría ser de 1°C para calcular la verdadera eficiencia térmica o GDD.

Los resultados encontrados, en el análisis de las condiciones ambientales (temperaturas mínimas y máximas diarias) registradas en las localidades en estudio, durante la duración del ciclo biológico de cinco variedades de quinua, mostraron que anualmente existe una acumulación térmica (para el periodo comprendido entre emergencia hasta madurez fisiológica) que oscila de 1641 a 1670 GDD, Lo cual nos permite sugerir, que la constante térmica de la quinua es de 1600 a 1700 GDD que es independiente de la duración del ciclo en días, de la localidad, de la época de siembra, y del año o gestión agrícola.

En cuanto a la plasticidad adaptativa de la quinua, por acción de la temperatura, como factor modificante del crecimiento y desarrollo del cultivo, podemos decir, que esta característica morfo-fisiológica, se evidencia en las primeras etapas del cultivo (antes de la floración) especialmente en las etapas de 5HA y 13H.

En cuanto a la respuesta de la plasticidad adaptativa de la quinua, frente a la incidencia de heladas (eventos climáticos extremos), en las primeras etapas, desde COT hasta DPA, no se evidencian diferencias significativas en la acumulación de calor, entre las variedades que sufrieron un mayor número de heladas Santa María (Patacamaya^{1 y 2}) y Real Blanca (Mejillones); de las que sufrieron una helada por fase Belén 2000 (Viacha y Corpa), ya que alcanzaron FLO con una acumulación casi similar 1070 y 1013 GDD. Pero si se evidencia variación en el tiempo que los cultivares tardan en llegar a FLO 116 y 87 días después de emergencia, especialmente en los cultivares que sufrieron heladas en las fases COT y 2HB. La plasticidad adaptativa que muestra el cultivo, en respuesta a las temperaturas mínimas, puede deberse a la variación de la temperatura, que se registraron durante las primeras fases (antes de la floración).

La periodicidad de la temperatura influye directamente sobre la duración del ciclo y de cada fase fenológica, mostrando que cuanto mayor es la temperatura media, menor es la duración del ciclo, desde el punto de vista eminentemente climático.

De acuerdo a la simulación del riesgo de pérdida de cosechas, en dos localidades: Calacoto y Patacamaya, para el Altiplano Central, podemos concluir que existe una alta probabilidad de pérdida de cosecha si se realizan siembras antes de la segunda quincena de Octubre y en el primer decanato de Diciembre, por la alta probabilidad de ocurrencia de heladas tardías de -3°C a -6°C, y que las etapas más sensibles FLO y GLE que coincidan con los periodos más críticos de heladas (a partir del tercer decanato de Marzo). Como se observo en el análisis, especialmente en Calacoto. Podemos sugerir entonces, como la mejor época de siembra para el Altiplano Central desde el tercer decanato de Octubre hasta la primera quincena de Noviembre, en razón a que en este periodo, la probabilidad de heladas tardías es baja, y la periodicidad de la temperatura es mayor (se registran las mayores temperaturas medias) lo que acelera el crecimiento de las plantas y reduce la duración del ciclo vegetativo evitando los periodos críticos de heladas.

VI. RECOMENDACIONES.

Realizar investigaciones en el cultivo de quinua, en condiciones controladas y en campo, para determinar las temperaturas cardinales del cultivo (Temperaturas mínimas, óptimas, máximas) que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, en especial la temperatura base o temperatura mínima vital, ya que según bibliografía, la temperatura base podría ser diferente para cada fase fenológica.

Realizar investigaciones similares en las que además de la temperatura (T), se considere a la radiación solar (R), ya que la iluminación, interviene en la duración de los ciclos biológicos de los cultivos, tanto en lo referente a la intensidad luminosa, como en lo referente al fotoperiodo, particularmente en cultivos como la quinua, que tienen regulada su floración por la duración del fotoperiodo. Considerando además que la relación R/T se utiliza para explicar las actividades vegetativas de las plantas.

Realizar investigaciones similares con un mayor número de variedades para un mayor número de regiones, lo cual nos permita determinar con mayor precisión el requerimiento térmico o grados día de desarrollo (GDD) de la quinua, por la importancia que representa este índice agronómico en la planificación y programación agrícola, para mitigar riesgos por efecto de las heladas, y en la predicción de cosechas.

Realizar investigaciones referidas a la plasticidad adaptativa o plasticidad de desarrollo para este y otros cultivos, en razón a que esta característica morfo-fisiológica favorece su adaptación a procesos de cambio climático como los que están ocurriendo en la actualidad, lo que nos llevaría a seleccionar, en caso de los cultivos, variedades más plásticas y no necesariamente más productivas o cuya productividad sea más previsible.

VII. BIBLIOGRAFIA.

ALCON, M. C., 2005. El desfase fenológico y la heterogeneidad de crecimiento: dos mecanismos posibles de tolerancia a las bajas temperaturas en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*). Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 145 p.

ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M., 2006. Evapotranspiración del cultivo, guía para la determinación de los requisitos de agua de los cultivos, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, riego y drenaje 56. Roma Italia. 298 p.

APAZA, V. 2005. Manejo y mejoramiento de quinua orgánica. Estación Experimental Agraria Illpa- Puno Perú INIA 56 p.

AUZA, C. J., 2003. Curvas de crecimiento de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), y avena (*Avena sativa*), en condiciones diferenciadas de alimentación hídrica y nutrición nitrogenada en la Estación Experimental de Choquenaira. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 81 p.

BERTERO, H. D.; RUIZ, R.A., 2010. Reproductive partitioning in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) cultivars. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina. pp 93-101.

BIDWELL, R., 1993. Fisiología Vegetal, 2 ed. D.F.G.A.T. editores, México DF. México 780 p.

BOIS, J. F.; WINKEL, T.; LHOMME, J. P.; RAFFAILLAC, J. P.; ROCHETEAU, A., 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. IDR. Montpellier France. pp 299-309.

BONIFACIO, A.; DIZES, J., 1992. Estudio en microscopio electrónico de la morfología de los órganos de la quinua y de la cañahua en relación con la resistencia

a la sequia. En Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. La paz, Bolivia pp. 5.

BORJA, R.; SORAIDE, D., 2007. Estudio del consumo de la quinua en la ciudad de Potosí. Programa Quinua Altiplano Sur, y Fundación AUTAPO. Potosí Bolivia. 114 p.

BOSQUE, S. H., 1994. Cultivo en Suka Kollu de quinuas tolerantes a heladas en dos épocas de siembra. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 120 p.

CIRER, L.; GARCI, M.; CURIONI, A.; ARIZIO, O. y ALFONSO, W., 1994. El cultivo de Coriandro, su relación con la temperatura y el fotoperiodo. (en línea). Universidad Nacional de Lujan. Argentina. Consultado 10 ago. 2011. Disponible en <http://agro.unc.edu.ar/~clima/AADA/Congresos/MDQ/220.htm>

CONDORI, C. O., 2008. Evaluación participativa del riego deficitario y de fertilización orgánica sobre el desarrollo y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 114 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H., 1986. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje N^o 33. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Rome Italy. 275 p.

ESPÍNDOLA, G., 1980. Estudio de componentes directos e indirecto del rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) Tesis de grado en Lic. Ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba Bolivia. 79 p.

_____; BONIFACIO, A., 1996. Catalogo de variedades mejoradas de quinua, y recomendaciones para la producción y uso de semilla certificada. Boletín N^o 2. IBTA. La Paz Bolivia.

FERNANDEZ, J.; BAÑÓN, S.; FRANCO, J.; MARTINEZ, J.; BALENZATEGUI, L. y GONZALES, A., 2004. La programación de cultivos en plantas ornamentales. (en línea). Boletín de floricultura N^o 24. Departamento de producción Agraria. Universidad Politécnica de Cartagena Colombia. Consultado 10 ago. 2011. Disponible en <http://www.fices.upc.edu.co/epg/>

FRERE, M.; REA, J. ; RIJKS, J. Q., 1975. Estudio Agroclimatológico de la Zona Andina. (Informe técnico), Proyecto interinstitucional, FAO/UNESCO/OMM. Roma, Italia pp. 20-96.

GANDARILLAS, H., 1979. Botánica In: Cultivos Andinos. Libros y materiales educativos. Convenio CIID – IICA. Bogotá- Colombia. pp. 10-15.

_____, 1982. Informe anual del Programa Quinoa. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria. La Paz Bolivia. 4p.

_____, 1986. Estudio de componentes directos e indirectos de la quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) Cochabamba Bolivia. 19 - 32p.

GARCIA, M., 1991. Análisis del comportamiento hídrico de dos variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) frente a la sequía. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 81 p.

_____; TABOADA, C., 1999. Evaluación Agroclimática del Altiplano Boliviano. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. Informe Nacional sobre la gestión del Agua. Edición ORSTOM. La Paz, Bolivia. pp. 113-137.

_____, 2003. Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano. Katholieke Universiteit Leuven. Disertaciones de agricultura 556.

_____; TABOADA, C.; YUCRA, E., 2006. Evaluación de las tendencias de balance hídrico como indicador del cambio climático. Editorial Ediciones Alfa. La Paz Bolivia 42 p.

GASTIAZORO, J., 2009. Climatología y Fenología Agraria. (en línea) Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional del Comahue. Consultado 15 ene. 2011. Consultado 12 feb. 2011. Disponible en http://www.redagraria.com.ar/investigación/fca_unc/clima_fenol_fca_unc/apunte_fenologia/6_tem_para_crec_desarrollo.html

GEERTS, S.; GARCIA, M.; CUSICANQUI, J.; TABOADA, C.; MIRANDA, R.; YUCRA, E.; RAES, D., 2008a. Revisión bibliográfica de los últimos avances en el conocimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*). Proyecto QUINAGUA, Consejo Interuniversitario Flamenco VLIR- KULeuven Bélgica, Facultad de Agronomía UMSA. Primera edición. Editorial Ediciones ALFA, La Paz Bolivia. 30 p.

_____.; RAES, D.; GARCIA, M.; MENDOZA, J.; HUANCA, R., 2008b. Crop water use indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) in response to drought stress. K. U. Leuven University, Division of soil and water Management. Leuven Belgium. pp 1-7.

GOUDRIAAN, J.; van LAAR, H., 1994. Modelling potential growth processes. Textbook with exercises. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 238 p.

GUTIERREZ, J., 2003. Evaluación del ritmo de crecimiento y desarrollo de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en la Estación Experimental de Choquenaira. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 55 p.

HUIZA, L.R., 1994. Efecto del déficit hídrico a marchitez intensa sobre el ritmo de crecimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 111p.

HUNCA, A. R. A., 2008. Evaluación de diferentes niveles de abono orgánico y riego deficitario sobre el desarrollo y rendimiento de Quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en el altiplano central. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 129 p.

JACOBSEN, S.; MUJICA, A., 1999. Primer curso internacional sobre: Fisiología de la resistencia a la sequía en quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*). Lima Perú. 79 p.

_____, 2000. Resistencia a Factores Abióticos, IN: FERNANDEZ, J.; MUJICA, A.; MARATHEE, J. P., 2001. Cultivos Andinos. CD versión 1.0 FAO, Santiago Chile.

JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA 1990. Foro internacional para el fomento de Cultivos y Crianzas Andinas, situación perspectivas y bases para un programa de promoción de cultivos y crianzas andinas. Cuzco 12-15 de Noviembre. Cuzco Perú. 79 – 86p

LEDESMA, J. M., 2000. Climatología y Meteorología Agrícola. 1ra edición. Editorial MONTYTEXTO. pp. 43-53.

LIMACHE, J., 1992. Tolerancia a Heladas de 14 ecotipos y 2 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en Waru Waru de Caritamaya-Acora. Tesis en Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional del Altiplano. Puno Perú. 180 p.

LLORCA, R., 2004. Prácticas y Problemas de Climatología. Universidad Politécnica de Valencia. 2da edición. Editorial ALFAOMEGA. pp. 27-30.

MAMANI, R., 2007. Partición de biomasa y evapotranspiración del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), sometidas a estrés hídrico en diferentes etapas de crecimiento. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 85 p.

MAMANI, V., 1998. Evaluación de Tolerancia a Heladas de 20 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en el Altiplano Central. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 98 p.

MENDOZA, A. J., 2008. Estrategias de riego en tres épocas de siembra para el desarrollo de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en el altiplano central. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 118 p.

MONTES DE OCA, I., 2005. Enciclopedia Geográfica de Bolivia. 1ra edición. Editorial EDITORA ATENEA S.R.L. pp. 128, 142, 407.

MUJICA, A.; CANAHUA, A., 1989. Fases fenológicas del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*). En curso taller: Fenología de Cultivos Andinos y Uso de la Información Agrometeorológica PICA. Puno Perú. pp. 23-36.

_____; IZQUIERDO, J.; JACOBSEN, S., 2004. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú. Centro Internacional de la Papa CIP. Puno Perú. 586 p.

_____; ORTIZ, R.; BONIFACIO, A.; SARAVIA, R.; CORREDOR, G.; ROMERO, A.; JACOBSEN, S., 2006. Agroindustria de la quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) en los países andinos. Primera edición. Editorial ALTIPLANO E.I.R.L, Puno Perú. 113 p.

NINA, J. P., 2003. Estudio agrofisiológico de dos variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), bajo estrés térmico en la Estación Experimental de Choquenaira. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 118 p.

OSCO, L. S.V., 2009. Productividad de variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) con aplicación de diferentes niveles de fertilización orgánica en la localidad de Tiwanacu. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 114 p.

PACHECO, A., 2004. Quinoa en Bolivia, modelo sistémico para el análisis y diagnóstico de la producción. Facultad de Ciencias Económicas y Financieras UMSA. Primera edición. PLURAL editores. La Paz Bolivia. 210 p.

PARRA TORREZ, E. y RODRIGUEZ, L. N. 2007. Plasticidad Fenotípica de *Lippia alba* y *Lippia origanoides* en respuesta a la disponibilidad de luz. (en línea). Grupo nacional de investigación en Ecofisiología y Metabolismo Vegetal Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga Colombia. Consultado 10 sep. 2011. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Plasticidad_fenot%C3%ADpica

PASCALO, J. y DAMARIO, E., 2004. Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología. (en línea). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina. Consultado 10 ago. 2011. Disponible en <http://climatologiafca.host56.com/presentaciones/tema4.pdf>

PROINPA, 2003. Catalogo de la Quinua Real. Editorial POLIGRAF. Cochabamba Bolivia. 51 p.

REYES MATAMOROS, M. y MARTINEZ, D., 2001. Plasticidad de las Plantas. (en línea). Revista Elementos Ciencia y Cultura N°41. Consultado 10 ago. 2011. Disponible en <http://www.elementos.buap.mx/num41/htm/39.htm>

RITCHIE, J. T.; NESMITH, D. S., 1991. Temperature and Crop development In Modelling Plant and Soils System – Agronomy . Monograph N° 21. ASA – CSSA – SSSA. Madison. USA. pp. 5-25

RODRIGUEZ, M., 1991. Fisiología Vegetal. Editorial Los Amigos del Libro. 1ra Edición. Cochabamba Bolivia. 425 p.

RUIZ, E., 1996. Agrometeorología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro. 1ra ed. México DF. México. pp. 81 – 101.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) – DGA (Dirección General de Agrometeorología), 2003. Impacto del Evento Niño en la agricultura peruana, campaña 2002 – 2003 (en línea). Consultado 25 ago. 2001. Disponible en http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/niño_agro.pdf

SEOANEZ, C. M., 2002. Tratado de Climatología Aplicada a la Ingeniería Medio Ambiental. 2da edición. Editorial MUNDIPRENSA Madrid España, pp. 243-244,447-448.

TAPIA, G., 1979. Taxonomía y Agronomía de quinuas silvestres en Bolivia. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba Bolivia. 55 p.

TAPIA, M., 1997. Cultivos Andinos sub-explotados y su aporte a la Alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. 2da edición . Santiago de Chile. pp. 24-37.

_____; FRIES A. M., 2007. Guía de campo de los cultivos Andinos. FAO- ANPE. Lima Peru. pp 6.

THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP, 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APGII. Botanical Journal of The Linnean Society.

URBANO, T. P., 2009. Tratado de Fitotecnia General. (en línea). México, UNESCO. Consultado 5 sep. 2011. Disponible en http://books.google.com.bo/books?id=GYXeT9YhAnAC&pg=PA28&lpg=PA28&dq=constante+termica+en+plantas&source=bl&ots=KBaZ4mx6fT&sig=hbqC1Db6NYNq_zYQeDwocBIB7kE&hl=es#v=onepage&q&f=false

VARGAS, M. A., 2006. Fases fenológicas y Evaluación Agronómica en veinte genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) seleccionadas en América del Sur y Europa. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 75 p.

VEIZAGA, A., 2006. Evaluación de la maduración de los granos de variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), en relación con las condiciones climáticas del altiplano boliviano. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 81 p.

ANEXOS

ANEXO 1. Temperaturas Viacha Gestión 2004 - 2005.

LOCALIDAD: VIACHA
DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 16° 39' S
LONGITUD: 68° 18' O
ALTITUD: 3854 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
14/12/2004	20,2	6,2	13,2
15/12/2004	21,5	6,4	14,0
16/12/2004	19,7	6,4	13,1
17/12/2004	21,7	3,9	12,8
18/12/2004	17,9	5,5	11,7
19/12/2004	20,6	5,9	13,3
20/12/2004	21,0	5,1	13,1
21/12/2004	21,0	5,1	13,1
22/12/2004	22,5	6,4	14,5
23/12/2004	23,1	7,1	15,1
24/12/2004	21,9	4,4	13,2
25/12/2004	24,8	5,2	15,0
26/12/2004	22,0	6,9	14,5
27/12/2004	21,6	6,4	14,0
28/12/2004	21,9	6,9	14,4
29/12/2004	21,0	4,5	12,8
30/12/2004	22,5	5,4	14,0
31/12/2004	19,2	7,1	13,2
01/01/2005	19,1	6,8	13,0
02/01/2005	20,3	4,6	12,5
03/01/2005	19,8	5,8	12,8
04/01/2005	21,2	5,8	13,5
05/01/2005	20,8	4,1	12,5
06/01/2005	20,1	6,4	13,3
07/01/2005	21,4	7,2	14,3
08/01/2005	21,6	6,6	14,1
09/01/2005	20,6	5,6	13,1
10/01/2005	19,1	5,5	12,3
11/01/2005	18,4	3,6	11,0
12/01/2005	20,9	4,9	12,9
13/01/2005	22,6	3,5	13,1
14/01/2005	20,6	3,8	12,2
15/01/2005	18,8	4,2	11,5
16/01/2005	21,3	3,9	12,6
17/01/2005	18,1	4,3	11,2
18/01/2005	20,2	6,6	13,4
19/01/2005	18,3	2,3	10,3
20/01/2005	18,1	6,1	12,1
21/01/2005	20,8	6,1	13,5

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
22/01/2005	20,1	5,7	12,9
23/01/2005	18,6	-0,8	8,9
24/01/2005	19,3	6,2	12,8
25/01/2005	18,4	4,0	11,2
26/01/2005	18,1	3,5	10,8
27/01/2005	22,1	5,1	13,6
28/01/2005	22,6	5,1	13,9
29/01/2005	22,2	6,2	14,2
30/01/2005	21,1	5,5	13,3
31/01/2005	19,1	1,8	10,5
01/02/2005	19,8	2,1	11,0
02/02/2005	19,8	-1,0	9,4
03/02/2005	22,1	5,4	13,8
04/02/2005	21,5	5,8	13,7
05/02/2005	21,1	4,8	13,0
06/02/2005	18,4	3,9	11,2
07/02/2005	18,4	3,0	10,7
08/02/2005	19,7	4,6	12,2
09/02/2005	21,5	3,3	12,4
10/02/2005	18,1	4,9	11,5
11/02/2005	20,6	3,8	12,2
12/02/2005	21,9	3,6	12,8
13/02/2005	21,3	5,8	13,6
14/02/2005	18,5	4,2	11,4
15/02/2005	21,9	5,2	13,6
16/02/2005	18,8	5,4	12,1
17/02/2005	18,1	5,3	11,7
18/02/2005	19,4	5,1	12,3
19/02/2005	21,4	4,6	13,0
20/02/2005	18,2	5,6	11,9
21/02/2005	18,2	-0,9	8,7
22/02/2005	19,3	5,4	12,4
23/02/2005	20,9	5,8	13,4
24/02/2005	18,8	3,2	11,0
25/02/2005	20,2	4,2	12,2
26/02/2005	20,9	5,1	13,0
27/02/2005	19,7	3,6	11,7
28/02/2005	21,8	2,3	12,1
01/03/2005	20,9	6,1	13,5

LOCALIDAD: VIACHA
DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 16° 39' S
LONGITUD: 68° 18' O
ALTITUD: 3854 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
02/03/2005	21,8	5,2	13,5
03/03/2005	21,6	5,8	13,7
04/03/2005	21,8	5,8	13,8
05/03/2005	22,3	3,7	13,0
06/03/2005	23,5	2,4	13,0
07/03/2005	22,8	5,3	14,1
08/03/2005	20,2	5,4	12,8
09/03/2005	22,0	5,6	13,8
10/03/2005	19,3	5,6	12,5
11/03/2005	23,5	4,6	14,1
12/03/2005	22,5	5,5	14,0
13/03/2005	21,2	4,9	13,1
14/03/2005	20,4	4,7	12,6
15/03/2005	21,2	4,8	13,0
16/03/2005	19,9	4,9	12,4
17/03/2005	22,5	3,6	13,1
18/03/2005	23,7	5,3	14,5
19/03/2005	22,9	6,0	14,5
20/03/2005	19,1	3,8	11,5
21/03/2005	18,8	4,6	11,7
22/03/2005	20,3	5,8	13,1
23/03/2005	19,1	4,8	12,0
24/03/2005	21,2	5,2	13,2
25/03/2005	22,6	4,2	13,4
26/03/2005	23,5	6,2	14,9
27/03/2005	22,4	4,7	13,6
28/03/2005	22,4	4,8	13,6
29/03/2005	21,3	4,8	13,1
30/03/2005	20,5	6,1	13,3
31/03/2005	22,7	5,4	14,1
01/04/2005	20,2	3,6	11,9
02/04/2005	23,2	5,8	14,5
03/04/2005	21,7	5,4	13,6
04/04/2005	19,6	5,1	12,4
05/04/2005	19,1	3,5	11,3
06/04/2005	17,7	-1,4	8,2
07/04/2005	20,7	5,2	13,0
08/04/2005	20,9	4,4	12,7
09/04/2005	19,2	5,0	12,1
10/04/2005	20,9	4,8	12,9
11/04/2005	21,5	4,4	13,0

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
12/04/2005	22,8	4,7	13,8
13/04/2005	18,6	4,2	11,4
14/04/2005	21,3	3,0	12,2
15/04/2005	23,5	5,6	14,6
16/04/2005	21,2	4,8	13,0
17/04/2005	21,0	5,3	13,2
18/04/2005	20,2	3,2	11,7
19/04/2005	20,3	-1,3	9,5
20/04/2005	21,0	-2,1	9,5
21/04/2005	19,8	0,9	10,4
22/04/2005	20,6	3,2	11,9
23/04/2005	19,5	-1,3	9,1
24/04/2005	19,0	-2,9	8,1
25/04/2005	18,4	-3,5	7,5
26/04/2005	18,2	-0,2	9,0
27/04/2005	20,7	-2,2	9,3
28/04/2005	20,0	-3,6	8,2
29/04/2005	21,1	-1,3	9,9
30/04/2005	21,8	-1,4	10,2
01/05/2005	21,1	-1,8	9,7
02/05/2005	21,6	-2,1	9,8
03/05/2005	20,9	-2,3	9,3
04/05/2005	18,5	-0,4	9,1
05/05/2005	20,6	-0,2	10,2
06/05/2005	19,0	3,4	11,2
07/05/2005	18,3	2,8	10,6
08/05/2005	19,6	-4,5	7,6
09/05/2005	20,8	-3,9	8,5
10/05/2005	21,6	-4,1	8,8
11/05/2005	21,1	-5,1	8,0
12/05/2005	21,5	-2,1	9,7
13/05/2005	21,6	-1,2	10,2
14/05/2005	19,8	-0,2	9,8
15/05/2005	19,2	-2,1	8,6

FUENTE: Proy. QUINAGUA; Richard Mamaní

ANEXO 2. Temperaturas Corpa Gestión 2006 - 2007.

LOCALIDAD: CORPA

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 16°31'S

LONGITUD: 68°39'O

ALTITUD: 3840 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
15/11/2006	21,6	2,5	12,1
16/11/2006	18,6	-1,8	8,4
17/11/2006	17,6	3,8	10,7
18/11/2006	18,7	2,5	10,6
19/11/2006	20,3	3,5	11,9
20/11/2006	21,0	4,0	12,5
21/11/2006	19,2	3,8	11,5
22/11/2006	17,8	3,3	10,6
23/11/2006	19,2	-1,2	9,0
24/11/2006	19,8	3,1	11,5
25/11/2006	18,7	3,6	11,2
26/11/2006	21,2	4,8	13,0
27/11/2006	21,4	2,6	12,0
28/11/2006	20,7	2,4	11,6
29/11/2006	19,9	5,8	12,9
30/11/2006	20,6	4,6	12,6
01/12/2006	22,4	5,4	13,9
02/12/2006	19,1	2,9	11,0
03/12/2006	17,8	5,5	11,7
04/12/2006	19,1	5,4	12,3
05/12/2006	19,8	5,6	12,7
06/12/2006	18,1	2,1	10,1
07/12/2006	21,1	2,2	11,7
08/12/2006	22,9	3,9	13,4
09/12/2006	23,5	5,3	14,4
10/12/2006	18,6	4,2	11,4
11/12/2006	20,7	4,8	12,8
12/12/2006	23,3	5,8	14,6
13/12/2006	23,2	3,4	13,3
14/12/2006	21,1	5,9	13,5
15/12/2006	19,0	4,1	11,6
16/12/2006	19,4	4,9	12,2
17/12/2006	20,5	5,6	13,1
18/12/2006	18,4	4,1	11,3
19/12/2006	18,9	5,9	12,4
20/12/2006	21,1	6,4	13,8
21/12/2006	22,7	5,8	14,3
22/12/2006	21,2	5,9	13,6
23/12/2006	19,2	5,1	12,2

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
24/12/2006	19,6	4,6	12,1
25/12/2006	19,9	5,1	12,5
26/12/2006	20,9	4,8	12,9
27/12/2006	19,3	4,4	11,9
28/12/2006	24,3	4,9	14,6
29/12/2006	20,2	3,4	11,8
30/12/2006	20,9	3,8	12,4
31/12/2006	17,5	5,6	11,6
01/01/2007	18,5	5,4	12,0
02/01/2007	20,8	4,9	12,9
03/01/2007	19,5	4,1	11,8
04/01/2007	18,6	5,2	11,9
05/01/2007	21,1	4,2	12,7
06/01/2007	21,2	5,1	13,2
07/01/2007	18,8	4,4	11,6
08/01/2007	20,0	4,3	12,2
09/01/2007	19,8	5,9	12,9
10/01/2007	21,1	5,7	13,4
11/01/2007	18,2	4,3	11,3
12/01/2007	20,4	3,1	11,8
13/01/2007	18,1	5,4	11,8
14/01/2007	18,1	5,1	11,6
15/01/2007	17,4	3,9	10,7
16/01/2007	19,9	5,7	12,8
17/01/2007	21,2	4,0	12,6
18/01/2007	21,2	5,8	13,5
19/01/2007	23,2	4,7	14,0
20/01/2007	20,9	4,2	12,6
21/01/2007	19,2	6,3	12,8
22/01/2007	20,7	5,6	13,2
23/01/2007	23,7	5,9	14,8
24/01/2007	19,2	5,6	12,4
25/01/2007	22,2	1,4	11,8
26/01/2007	21,1	4,8	13,0
27/01/2007	20,1	5,1	12,6
28/01/2007	24,8	3,1	14,0
29/01/2007	19,4	3,8	11,6
30/01/2007	23,8	5,5	14,7
31/01/2007	25,6	4,4	15,0

LOCALIDAD: CORPA
DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 16°31'S
LONGITUD: 68°39'O
ALTITUD: 3840 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
01/02/2007	23,3	5,8	14,6
02/02/2007	20,0	4,4	12,2
03/02/2007	21,1	5,1	13,1
04/02/2007	22,3	5,4	13,9
05/02/2007	18,9	4,7	11,8
06/02/2007	17,9	5,7	11,8
07/02/2007	21,0	3,4	12,2
08/02/2007	19,2	4,1	11,7
09/02/2007	20,9	5,8	13,4
10/02/2007	19,6	5,7	12,7
11/02/2007	19,4	5,2	12,3
12/02/2007	23,8	3,4	13,6
13/02/2007	20,4	5,7	13,1
14/02/2007	24,6	4,6	14,6
15/02/2007	20,9	4,6	12,8
16/02/2007	22,1	3,1	12,6
17/02/2007	24,1	-1,5	11,3
18/02/2007	22,3	4,4	13,4
19/02/2007	22,3	4,8	13,6
20/02/2007	19,6	4,2	11,9
21/02/2007	19,2	5,2	12,2
22/02/2007	22,6	2,1	12,4
23/02/2007	21,5	2,9	12,2
24/02/2007	22,4	4,1	13,3
25/02/2007	19,4	3,9	11,7
26/02/2007	22,8	1,5	12,2
27/02/2007	22,2	2,7	12,5
28/02/2007	21,6	2,1	11,9
01/03/2007	24,8	4,2	14,5
02/03/2007	18,7	5,0	11,9
03/03/2007	19,2	5,0	12,1
04/03/2007	18,4	5,5	12,0
05/03/2007	20,5	5,5	13,0
06/03/2007	20,4	5,2	12,8
07/03/2007	18,5	6,3	12,4
08/03/2007	18,5	4,4	11,5
09/03/2007	20,8	4,6	12,7
10/03/2007	22,1	4,6	13,4
11/03/2007	19,4	4,7	12,1
12/03/2007	20,8	4,9	12,9
13/03/2007	17,8	5,4	11,6

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
14/03/2007	19,1	1,3	10,2
15/03/2007	17,9	4,2	11,1
16/03/2007	18,1	1,8	10,0
17/03/2007	19,2	2,9	11,1
18/03/2007	17,9	4,1	11,0
19/03/2007	20,8	4,7	12,8
20/03/2007	20,6	2,2	11,4
21/03/2007	21,5	1,7	11,6
22/03/2007	24,8	1,4	13,1
23/03/2007	23,0	3,6	13,3
24/03/2007	19,7	2,1	10,9
25/03/2007	22,4	3,3	12,9
26/03/2007	23,0	1,9	12,5
27/03/2007	24,1	1,8	13,0
28/03/2007	21,8	3,7	12,8
29/03/2007	20,8	3,1	12,0
30/03/2007	19,3	5,8	12,6
31/03/2007	17,9	3,5	10,7
01/04/2007	19,6	3,9	11,8
02/04/2007	19,8	4,5	12,2
03/04/2007	22,4	2,5	12,5
04/04/2007	22,6	-1,2	10,7
05/04/2007	19,9	4,2	12,1
06/04/2007	20,7	4,3	12,5
07/04/2007	20,5	2,6	11,6
08/04/2007	18,1	-0,6	8,8
09/04/2007	20,8	5,0	12,9
10/04/2007	21,9	-0,8	10,6
11/04/2007	21,0	-1,2	9,9
12/04/2007	18,9	4,3	11,6
13/04/2007	20,6	5,2	12,9
14/04/2007	19,1	2,6	10,9
15/04/2007	20,0	2,1	11,1
16/04/2007	19,5	-0,9	9,3
17/04/2007	17,3	1,4	9,4
18/04/2007	18,4	-1,0	8,7
19/04/2007	19,4	-0,9	9,3
20/04/2007	18,9	-3,7	7,6

FUENTE: Proy. QUINAGUA, Victor Osco

ANEXO 3. Temperaturas Iñacamaya Gestión 2007 - 2008.

LOCALIDAD: IÑACAMAYA

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°19'S

LONGITUD: 67°54'O

ALTITUD: 3764 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
03/10/2007	21,7	2,8	12,3
04/10/2007	23,6	4,1	13,9
05/10/2007	18,7	3,7	11,2
06/10/2007	17,1	2,4	9,8
07/10/2007	18,1	-1,0	8,6
08/10/2007	20,6	4,1	12,4
09/10/2007	17,3	0,7	9,0
10/10/2007	19,8	2,0	10,9
11/10/2007	18,3	2,4	10,4
12/10/2007	19,8	-1,0	9,4
13/10/2007	19,1	-3,3	7,9
14/10/2007	17,3	1,6	9,5
15/10/2007	16,6	0,7	8,7
16/10/2007	17,0	2,4	9,7
17/10/2007	18,9	5,3	12,1
18/10/2007	18,4	2,2	10,3
19/10/2007	19,3	2,2	10,8
20/10/2007	19,5	4,5	12,0
21/10/2007	24,1	5,3	14,7
22/10/2007	20,1	3,0	11,6
23/10/2007	19,0	2,0	10,5
24/10/2007	21,8	4,1	13,0
25/10/2007	21,5	5,3	13,4
26/10/2007	16,9	1,1	9,0
27/10/2007	19,8	3,7	11,8
28/10/2007	19,5	1,6	10,6
29/10/2007	19,8	0,7	10,3
30/10/2007	21,3	3,7	12,5
31/10/2007	23,6	3,3	13,5
01/11/2007	22,4	3,3	12,9
02/11/2007	16,7	3,3	10,0
03/11/2007	18,6	3,7	11,2
04/11/2007	17,8	3,3	10,6
05/11/2007	18,6	4,9	11,8
06/11/2007	18,2	2,0	10,1
07/11/2007	17,8	4,9	11,4
08/11/2007	19,0	5,8	12,4
09/11/2007	19,8	1,8	10,8
10/11/2007	15,6	2,1	8,9

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
11/11/2007	19,8	3,3	11,6
12/11/2007	17,1	4,2	10,7
13/11/2007	19,0	2,8	10,9
14/11/2007	16,7	1,0	8,9
15/11/2007	19,8	3,8	11,8
16/11/2007	17,8	3,6	10,7
17/11/2007	17,4	2,0	9,7
18/11/2007	18,0	2,8	10,4
19/11/2007	21,0	4,1	12,6
20/11/2007	22,4	3,7	13,1
21/11/2007	21,0	2,4	11,7
22/11/2007	20,8	-1,0	9,9
23/11/2007	19,3	4,1	11,7
24/11/2007	19,8	0,7	10,3
25/11/2007	20,3	2,0	11,2
26/11/2007	22,5	1,4	12,0
27/11/2007	19,7	-1,0	9,4
28/11/2007	21,0	-1,3	9,9
29/11/2007	21,5	-1,6	10,0
30/11/2007	19,5	0,7	10,1
01/12/2007	22,6	2,4	12,5
02/12/2007	20,4	2,2	11,3
03/12/2007	21,5	1,0	11,3
04/12/2007	19,8	1,4	10,6
05/12/2007	18,6	2,8	10,7
06/12/2007	19,2	2,4	10,8
07/12/2007	18,6	2,8	10,7
08/12/2007	20,9	2,4	11,7
09/12/2007	20,2	1,6	10,9
10/12/2007	21,3	2,0	11,7
11/12/2007	23,2	1,1	12,2
12/12/2007	22,4	0,7	11,6
13/12/2007	21,3	2,8	12,1
14/12/2007	19,4	2,0	10,7
15/12/2007	19,4	1,1	10,3
16/12/2007	20,9	2,8	11,9
17/12/2007	23,6	0,2	11,9
18/12/2007	21,3	0,7	11,0
19/12/2007	16,7	0,7	8,7

LOCALIDAD: IÑACAMAYA
DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°19'S
LONGITUD: 67°54'O
ALTITUD: 3764 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
20/12/2007	17,1	0,6	8,9
21/12/2007	17,4	1,9	9,7
22/12/2007	20,9	1,0	11,0
23/12/2007	19,4	3,3	11,4
24/12/2007	19,0	3,7	11,4
25/12/2007	20,5	1,6	11,1
26/12/2007	20,3	4,5	12,4
27/12/2007	19,0	3,7	11,4
28/12/2007	19,8	2,8	11,3
29/12/2007	20,6	3,7	12,2
30/12/2007	19,3	3,2	11,3
31/12/2007	19,4	5,3	12,4
01/01/2008	20,2	2,0	11,1
02/01/2008	20,2	4,9	12,6
03/01/2008	19,8	2,0	10,9
04/01/2008	16,7	1,1	8,9
05/01/2008	19,1	4,9	12,0
06/01/2008	18,2	3,3	10,8
07/01/2008	21,7	2,0	11,9
08/01/2008	24,4	3,3	13,9
09/01/2008	20,2	3,7	12,0
10/01/2008	16,3	1,1	8,7
11/01/2008	16,3	5,3	10,8
12/01/2008	18,2	4,5	11,4
13/01/2008	17,1	5,3	11,2
14/01/2008	18,2	3,3	10,8
15/01/2008	21,7	0,7	11,2
16/01/2008	21,3	3,7	12,5
17/01/2008	22,4	-0,6	10,9
18/01/2008	23,2	3,8	13,5
19/01/2008	23,2	3,3	13,3
20/01/2008	21,6	3,3	12,5
21/01/2008	21,3	1,8	11,6
22/01/2008	20,5	2,4	11,5
23/01/2008	18,9	2,4	10,7
24/01/2008	19,2	2,8	11,0
25/01/2008	25,5	0,2	12,9
26/01/2008	26,0	1,4	13,7
27/01/2008	20,4	1,9	11,2
28/01/2008	20,5	2,6	11,6
29/01/2008	19,2	3,3	11,3

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
30/01/2008	22,0	2,2	12,1
31/01/2008	23,2	1,4	12,3
01/02/2008	21,4	1,0	11,2
02/02/2008	23,0	2,4	12,7
03/02/2008	20,2	2,0	11,1
04/02/2008	18,2	2,0	10,1
05/02/2008	21,7	3,9	12,8
06/02/2008	22,1	2,6	12,4
07/02/2008	22,8	3,3	13,1
08/02/2008	19,5	2,8	11,2
09/02/2008	19,0	4,1	11,6
10/02/2008	22,8	3,3	13,1
11/02/2008	21,6	0,7	11,2
12/02/2008	23,5	3,4	13,5
13/02/2008	21,3	3,0	12,2
14/02/2008	23,2	2,4	12,8
15/02/2008	17,1	2,4	9,8
16/02/2008	19,8	2,8	11,3
17/02/2008	23,2	3,8	13,5
18/02/2008	19,8	1,0	10,4
19/02/2008	23,2	1,6	12,4
20/02/2008	23,2	2,8	13,0
21/02/2008	22,2	2,8	12,5
22/02/2008	21,6	1,2	11,4
23/02/2008	21,9	1,5	11,7
24/02/2008	24,4	0,8	12,6
25/02/2008	20,2	1,5	10,9
26/02/2008	22,4	-0,1	11,2
27/02/2008	22,4	2,1	12,3
28/02/2008	21,9	1,5	11,7
29/02/2008	21,7	2,8	12,3
01/03/2008	22,5	2,1	12,3
02/03/2008	22,4	4,3	13,4
03/03/2008	18,9	2,4	10,7
04/03/2008	19,1	2,1	10,6
05/03/2008	20,6	1,4	11,0
06/03/2008	19,9	1,8	10,9
07/03/2008	21,5	0,8	11,2
08/03/2008	23,2	1,2	12,2
09/03/2008	21,6	0,9	11,3
10/03/2008	18,6	2,2	10,4

LOCALIDAD: IÑACAMAYA
DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°19'S
LONGITUD: 67°54'O
ALTITUD: 3764 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
11/03/2008	21,3	1,3	11,3
12/03/2008	22,1	2,5	12,3
13/03/2008	17,4	0,7	9,1
14/03/2008	18,7	3,0	10,9
15/03/2008	19,0	-0,8	9,1
16/03/2008	20,2	1,0	10,6
17/03/2008	19,0	0,9	10,0
18/03/2008	21,3	2,2	11,8
19/03/2008	21,7	2,2	12,0
20/03/2008	17,1	2,0	9,6
21/03/2008	19,4	-1,2	9,1
22/03/2008	19,8	3,0	11,4
23/03/2008	19,4	2,1	10,8
24/03/2008	20,9	1,7	11,3

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
25/03/2008	19,0	0,9	10,0
26/03/2008	18,6	2,2	10,4
27/03/2008	19,0	-2,8	8,1
28/03/2008	18,6	3,2	10,9
29/03/2008	19,4	-0,5	9,5
30/03/2008	18,6	-2,3	8,2
31/03/2008	18,6	3,3	11,0
01/04/2008	18,6	2,5	10,6
02/04/2008	21,7	1,2	11,5
03/04/2008	21,7	-1,8	10,0
04/04/2008	18,6	-2,8	7,9
05/04/2008	18,6	-2,8	7,9
06/04/2008	18,7	2,8	10,75

FUENTE: Proy. QUINAGUA, Anibal Crispin

ANEXO 4. Temperaturas Callapa Chico Gestión 2009 - 2010.

LOCALIDAD: CALLAPA CHICO

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°29'16"S

LONGITUD: 67°56'45"O

ALTITUD: 3794 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
30/10/2009	26,3	-1,1	12,6
31/10/2009	26,7	1,6	14,2
01/11/2009	26,7	-2,0	12,4
02/11/2009	26,7	3,7	15,2
03/11/2009	25,9	4,1	15,0
04/11/2009	24,3	3,7	14,0
05/11/2009	23,4	2,8	13,1
06/11/2009	26,7	4,9	15,8
07/11/2009	27,5	2,4	15,0
08/11/2009	27,1	0,7	13,9
09/11/2009	27,9	-0,6	13,7
10/11/2009	21,4	-1,6	9,9
11/11/2009	25,8	2,9	14,4
12/11/2009	23,5	-3,2	10,2
13/11/2009	25,6	3,8	14,7
14/11/2009	26,3	4,1	15,2
15/11/2009	21,7	4,2	13,0
16/11/2009	20,9	4,5	12,7
17/11/2009	21,3	5,2	13,3
18/11/2009	24,4	4,2	14,3
19/11/2009	25,3	4,3	14,8
20/11/2009	23,4	5,2	14,3
21/11/2009	24,3	4,9	14,6
22/11/2009	27,1	5,3	16,2
23/11/2009	27,8	5,4	16,6
24/11/2009	25,9	5,8	15,9
25/11/2009	26,1	4,3	15,2
26/11/2009	25,9	4,1	15,0
27/11/2009	23,8	4,9	14,4
28/11/2009	23,8	4,2	14,0
29/11/2009	24,2	4,4	14,3
30/11/2009	22,7	4,2	13,5
01/12/2009	24,1	4,8	14,5
02/12/2009	24,7	4,0	14,4
03/12/2009	24,9	5,0	15,0
04/12/2009	21,2	4,9	13,1
05/12/2009	19,3	3,5	11,4
06/12/2009	20,1	4,2	12,2
07/12/2009	20,6	5,2	12,9
08/12/2009	20,2	4,5	12,4

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
09/12/2009	21,7	-0,2	10,8
10/12/2009	22,6	-1,9	10,4
11/12/2009	20,5	4,2	12,4
12/12/2009	18,9	5,1	12,0
13/12/2009	20,6	4,3	12,5
14/12/2009	19,7	4,6	12,2
15/12/2009	20,8	4,2	12,5
16/12/2009	23,2	4,1	13,7
17/12/2009	19,4	4,1	11,8
18/12/2009	20,2	4,9	12,6
19/12/2009	21,1	3,8	12,5
20/12/2009	18,2	3,8	11,0
21/12/2009	19,1	2,2	10,7
22/12/2009	18,2	3,7	11,0
23/12/2009	22,8	-0,9	11,0
24/12/2009	19,1	3,3	11,2
25/12/2009	18,6	4,9	11,8
26/12/2009	18,2	5,3	11,8
27/12/2009	19,6	4,4	12,0
28/12/2009	20,2	5,8	13,0
29/12/2009	22,6	5,3	14,0
30/12/2009	20,5	2,4	11,5
31/12/2009	22,8	3,3	13,1
01/01/2010	23	-1,6	10,7
02/01/2010	22,3	2,9	12,6
03/01/2010	21,3	-1,8	9,8
04/01/2010	22	2,8	12,4
05/01/2010	24,1	3,8	14,0
06/01/2010	22,4	4,5	13,5
07/01/2010	20,2	4,9	12,6
08/01/2010	20,2	3,7	12,0
09/01/2010	21,3	5,3	13,3
10/01/2010	23,2	4,2	13,7
11/01/2010	22,1	5,6	13,9
12/01/2010	24,7	3,8	14,3
13/01/2010	22,3	3	12,7
14/01/2010	19,1	3,6	11,4
15/01/2010	19,2	4,4	11,8
16/01/2010	21,3	5,6	13,5
17/01/2010	18,3	3,9	11,1

LOCALIDAD: CALLAPA CHICO

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°29'16"S

LONGITUD: 67°56'45"O

ALTITUD: 3794 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
18/01/2010	20,4	4,3	12,4
19/01/2010	22,6	4,5	13,6
20/01/2010	22,2	4,9	13,6
21/01/2010	20,9	3,3	12,1
22/01/2010	21,7	4,9	13,3
23/01/2010	20,9	4,1	12,5
24/01/2010	18,2	3,7	11,0
25/01/2010	19,2	4,1	11,7
26/01/2010	20,4	2,4	11,4
27/01/2010	21,4	-1,3	10,1
28/01/2010	23,2	3,4	13,3
29/01/2010	22,3	3,1	12,7
30/01/2010	22,4	-1,9	10,3
31/01/2010	22,7	2,9	12,8
01/02/2010	22,8	-1,2	10,8
02/02/2010	23,3	3,1	13,2
03/02/2010	24	4,4	14,2
04/02/2010	20,7	5,1	12,9
05/02/2010	18,2	3,9	11,1
06/02/2010	18,6	5,2	11,9
07/02/2010	20,2	3,9	12,1
08/02/2010	23,4	4,3	13,9
09/02/2010	22,1	4,6	13,4
10/02/2010	23,1	3,7	13,4
11/02/2010	20,2	3,7	12,0
12/02/2010	20,6	4,8	12,7
13/02/2010	21,1	3,7	12,4
14/02/2010	20,9	4,7	12,8
15/02/2010	21,2	5,5	13,4
16/02/2010	20,1	4,6	12,4
17/02/2010	20,2	-0,9	9,7
18/02/2010	22,3	2,3	12,3
19/02/2010	23,7	2,9	13,3
20/02/2010	23,1	3,6	13,4
21/02/2010	22,6	-0,2	11,2
22/02/2010	22,6	2,2	12,4
23/02/2010	21,3	4,3	12,8
24/02/2010	21,4	3,3	12,4
25/02/2010	20,4	4,4	12,4
26/02/2010	21,5	4,1	12,8
27/02/2010	22,7	-1,3	10,7
28/02/2010	21,1	-1,3	9,9

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
01/03/2010	21,8	4,3	13,05
02/03/2010	21,7	5,2	13,5
03/03/2010	19,9	4,3	12,1
04/03/2010	22,2	4,7	13,5
05/03/2010	20,1	3,7	11,9
06/03/2010	19,7	3,2	11,5
07/03/2010	20,0	2,4	11,2
08/03/2010	21,0	1,4	11,2
09/03/2010	21,2	2,0	11,6
10/03/2010	20,5	3,2	11,9
11/03/2010	21,9	3,3	12,6
12/03/2010	22,3	2,5	12,4
13/03/2010	21,9	-1,4	10,3
14/03/2010	20,3	-0,3	10,0
15/03/2010	21,4	1,2	11,3
16/03/2010	23,2	2,1	12,7
17/03/2010	22,4	3,6	13,0
18/03/2010	22,7	-2,4	10,2
19/03/2010	22,5	2,8	12,7
20/03/2010	22,6	2,2	12,4
21/03/2010	23,1	2,6	12,9
22/03/2010	23,4	-1,3	11,1
23/03/2010	21,5	-0,4	10,6
24/03/2010	20,1	0,0	10,1
25/03/2010	19,3	3,5	11,4
26/03/2010	22,9	-1,0	11,0
27/03/2010	20,2	1,4	10,8
28/03/2010	21,9	4,9	13,4
29/03/2010	18,9	2,3	10,6
30/03/2010	19,1	-0,9	9,1
31/03/2010	23,4	-3,1	10,2
01/04/2010	19,0	-0,8	9,1
02/04/2010	19,8	-1,4	9,2
03/04/2010	20,9	-0,2	10,4
04/04/2010	20,1	-1,8	9,2
05/04/2010	22,3	-2,1	10,1
06/04/2010	21,1	1,6	11,4
07/04/2010	20,5	2,7	11,6
08/04/2010	22,4	-3,7	9,4
09/04/2010	21,6	-2,1	9,8
10/04/2010	19,6	-1,2	9,2

FUENTE: Proyecto QUINAGUA, Alex Borda.

ANEXO 5. Temperaturas Patacamaya 1 Gestión 2006 - 2007.

LOCALIDAD: PATACAMAYA

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°15'09" S

LONGITUD: 67°56'45" O

ALTITUD: 3799 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
22/10/2006	18,2	1,6	9,9
23/10/2006	19,4	2,1	10,8
24/10/2006	17,9	1,5	9,7
25/10/2006	19,2	-3,4	7,9
26/10/2006	17,3	3,5	10,4
27/10/2006	16,8	1,9	9,4
28/10/2006	19,1	-0,5	9,3
29/10/2006	18,5	-0,3	9,1
30/10/2006	20,4	3,8	12,1
31/10/2006	19,1	-2,9	8,1
01/11/2006	17,9	2,4	10,2
02/11/2006	19,6	0,6	10,1
03/11/2006	17,9	3,1	10,5
04/11/2006	19,5	0,2	9,9
05/11/2006	20,7	3,6	12,2
06/11/2006	20,4	-1,3	9,6
07/11/2006	20,6	-3,1	8,8
08/11/2006	20,8	-3,9	8,5
09/11/2006	20,3	4,2	12,3
10/11/2006	18,5	4,2	11,4
11/11/2006	19,4	-0,9	9,3
12/11/2006	20,6	-0,5	10,1
13/11/2006	17,0	4,9	11,0
14/11/2006	17,8	3,9	10,9
15/11/2006	17,6	3,2	10,4
16/11/2006	17,6	3,7	10,7
17/11/2006	17,4	2,1	9,8
18/11/2006	20,9	5,2	13,1
19/11/2006	17,0	5,5	11,3
20/11/2006	20,7	5,9	13,3
21/11/2006	16,3	3,1	9,7
22/11/2006	19,2	5,9	12,6
23/11/2006	18,3	5,8	12,1
24/11/2006	19,7	3,2	11,5
25/11/2006	22,3	3,9	13,1
26/11/2006	22,4	4,1	13,3
27/11/2006	21,5	1,5	11,5
28/11/2006	19,2	3,5	11,4
29/11/2006	19,2	1,8	10,5

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
30/11/2006	18,7	3,2	11,0
01/12/2006	17,2	2,9	10,1
02/12/2006	20,3	2,8	11,6
03/12/2006	20,6	1,7	11,2
04/12/2006	17,6	5,2	11,4
05/12/2006	16,9	3,1	10,0
06/12/2006	18,2	3,7	11,0
07/12/2006	16,5	2,8	9,7
08/12/2006	16,8	1,4	9,1
09/12/2006	18,1	1,5	9,8
10/12/2006	20,6	1,8	11,2
11/12/2006	17,9	1,6	9,8
12/12/2006	16,4	0,9	8,7
13/12/2006	17,7	3,8	10,8
14/12/2006	17,6	3,8	10,7
15/12/2006	17,6	3,8	10,7
16/12/2006	17,6	3,7	10,7
17/12/2006	22,6	3,2	12,9
18/12/2006	19,9	3,6	11,8
19/12/2006	20,5	2,9	11,7
20/12/2006	21,0	4,2	12,6
21/12/2006	20,8	4,9	12,9
22/12/2006	19,2	5,4	12,3
23/12/2006	20,8	5,5	13,2
24/12/2006	20,8	5,7	13,3
25/12/2006	21,6	3,8	12,7
26/12/2006	22,7	2,8	12,8
27/12/2006	18,7	2,1	10,4
28/12/2006	18,3	1,1	9,7
29/12/2006	20,3	2,9	11,6
30/12/2006	17,3	1,3	9,3
31/12/2006	19,9	2,8	11,4
01/01/2007	17,8	3,1	10,5
02/01/2007	17,4	2,9	10,2
03/01/2007	20,2	3,1	11,7
04/01/2007	20,3	3,0	11,7
05/01/2007	20,0	4,8	12,4
06/01/2007	20,5	3,1	11,8
07/01/2007	16,3	2,2	9,3

LOCALIDAD: PATACAMAYA

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°15'09" S

LONGITUD: 67°56'45" O

ALTITUD: 3799 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
08/01/2007	17,8	5,2	11,5
09/01/2007	16,8	5,0	10,9
10/01/2007	17,6	3,7	10,7
11/01/2007	19,9	4,2	12,1
12/01/2007	19,5	5,6	12,6
13/01/2007	18,2	4,5	11,4
14/01/2007	18,6	3,7	11,2
15/01/2007	19,4	5,9	12,7
16/01/2007	17,9	5,9	11,9
17/01/2007	18,1	3,8	11,0
18/01/2007	19,8	3,1	11,5
19/01/2007	20,1	5,3	12,7
20/01/2007	20,6	4,0	12,3
21/01/2007	23,5	3,0	13,3
22/01/2007	21,9	3,9	12,9
23/01/2007	20,7	2,6	11,7
24/01/2007	19,5	2,5	11,0
25/01/2007	17,7	3,8	10,8
26/01/2007	20,9	4,2	12,6
27/01/2007	19,6	2,2	10,9
28/01/2007	21,9	4,6	13,3
29/01/2007	19,6	5,3	12,5
30/01/2007	20,3	6,2	13,3
31/01/2007	18,6	5,0	11,8
01/02/2007	17,1	5,9	11,5
02/02/2007	17,3	3,8	10,6
03/02/2007	16,1	2,5	9,3
04/02/2007	18,0	1,0	9,5
05/02/2007	18,8	2,4	10,6
06/02/2007	16,3	2,4	9,4
07/02/2007	18,7	3,3	11,0
08/02/2007	18,5	5,4	12,0
09/02/2007	16,8	2,2	9,5
10/02/2007	17,5	1,3	9,4
11/02/2007	19,4	4,9	12,2
12/02/2007	16,1	1,2	8,7
13/02/2007	16,7	4,5	10,6
14/02/2007	17,5	5,9	11,7
15/02/2007	17,4	4,2	10,8
16/02/2007	17,2	5,7	11,5
17/02/2007	16,4	2,2	9,3

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
18/02/2007	18,8	3,3	11,1
19/02/2007	18,4	2,7	10,6
20/02/2007	18,9	5,5	12,2
21/02/2007	17,9	4,9	11,4
22/02/2007	19,2	4,4	11,8
23/02/2007	18,2	4,3	11,3
24/02/2007	17,9	4,6	11,3
25/02/2007	16,3	2,2	9,3
26/02/2007	16,4	2,1	9,3
27/02/2007	18,8	3,2	11,0
28/02/2007	19,3	3,9	11,6
01/03/2007	17,5	2,3	9,9
02/03/2007	18,5	3,9	11,2
03/03/2007	17,6	3,1	10,4
04/03/2007	17,3	4,6	11,0
05/03/2007	17,2	4,1	10,7
06/03/2007	17,6	4,6	11,1
07/03/2007	18,7	4,1	11,4
08/03/2007	18,7	4,3	11,5
09/03/2007	17,3	3,4	10,4
10/03/2007	17,2	4,7	11,0
11/03/2007	18,0	1,5	9,8
12/03/2007	18,6	2,5	10,6
13/03/2007	17,9	1,9	9,9
14/03/2007	17,6	2,8	10,2
15/03/2007	17,6	1,8	9,7
16/03/2007	17,2	1,6	9,4
17/03/2007	15,7	4,6	10,2
18/03/2007	16,2	4,8	10,5
19/03/2007	16,7	1,5	9,1
20/03/2007	19,1	1,2	10,2
21/03/2007	19,1	4,5	11,8
22/03/2007	19,3	0,6	10,0
23/03/2007	18,4	2,7	10,6
24/03/2007	17,5	5,4	11,5
25/03/2007	17,2	2,1	9,7
26/03/2007	19,4	2,2	10,8
27/03/2007	18,6	2,7	10,7
28/03/2007	19,6	1,9	10,8
29/03/2007	19,4	2,0	10,7
30/03/2007	20,0	-2,1	9,0

LOCALIDAD: PATACAMAYA

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°15'09" S

LONGITUD: 67°56'45" O

ALTITUD: 3799 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
31/03/2007	20,0	-1,3	9,4
01/04/2007	18,8	-0,8	9,0
02/04/2007	17,0	2,0	9,5
03/04/2007	18,9	2,3	10,6
04/04/2007	17,4	1,9	9,7
05/04/2007	17,4	1,7	9,6

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
06/04/2007	16,3	4,8	10,6
07/04/2007	17,3	2,6	10,0
08/04/2007	18,2	4,1	11,2
09/04/2007	19,5	3,9	11,7
10/04/2007	19,0	1,6	10,3
11/04/2007	18,6	2,7	10,7

FUENTE: Proy. QUINAGUA, Ruben Huanca.

ANEXO 6. Temperaturas Patacamaya 2 Gestión 2005 - 2006.

LOCALIDAD: PATACAMAYA

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°55'S

LONGITUD: 67°56'O

ALTITUD: 3787 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
01/10/2005	17,0	2,0	9,5
02/10/2005	19,0	0,5	9,8
03/10/2005	18,0	3,0	10,5
04/10/2005	19,5	4,5	12,0
05/10/2005	17,0	3,5	10,3
06/10/2005	18,0	4,0	11,0
07/10/2005	17,5	3,5	10,5
08/10/2005	17,2	5,4	11,3
09/10/2005	17,5	4,8	11,2
10/10/2005	17,1	4,5	10,8
11/10/2005	17,0	1,5	9,3
12/10/2005	19,5	2,0	10,8
13/10/2005	18,5	1,6	10,1
14/10/2005	18,0	4,5	11,3
15/10/2005	18,0	5,5	11,8
16/10/2005	18,4	5,0	11,7
17/10/2005	20,5	5,4	13,0
18/10/2005	19,5	4,0	11,8
19/10/2005	21,6	3,5	12,6
20/10/2005	20,5	5,5	13,0
21/10/2005	20,0	3,1	11,6
22/10/2005	19,4	-4,0	7,7
23/10/2005	19,9	0,0	10,0
24/10/2005	18,5	4,0	11,3
25/10/2005	19,8	-1,5	9,2
26/10/2005	19,5	-2,2	8,7
27/10/2005	18,6	-2,1	8,3
28/10/2005	19,9	2,8	11,4
29/10/2005	19,2	-4,5	7,4
30/10/2005	18,7	-3,5	7,6
31/10/2005	19,0	2,0	10,5
01/11/2005	21,2	-3,0	9,1
02/11/2005	22,4	-2,5	10,0
03/11/2005	20,2	3,2	11,7
04/11/2005	21,5	4,5	13,0
05/11/2005	20,0	4,0	12,0
06/11/2005	19,5	5,5	12,5
07/11/2005	18,8	5,4	12,1
08/11/2005	19,1	5,5	12,3

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
09/11/2005	20,8	5,3	13,1
10/11/2005	20,1	5,0	12,6
11/11/2005	20,0	4,0	12,0
12/11/2005	21,1	3,5	12,3
13/11/2005	20,0	2,5	11,3
14/11/2005	18,5	5,0	11,8
15/11/2005	19,5	4,5	12,0
16/11/2005	21,0	5,2	13,1
17/11/2005	22,0	2,5	12,3
18/11/2005	22,3	4,2	13,3
19/11/2005	18,5	3,9	11,2
20/11/2005	19,9	4,5	12,2
21/11/2005	18,5	4,0	11,3
22/11/2005	19,8	5,5	12,7
23/11/2005	19,1	5,0	12,1
24/11/2005	22,5	1,5	12,0
25/11/2005	21,9	0,5	11,2
26/11/2005	18,3	6,0	12,2
27/11/2005	20,5	5,5	13,0
28/11/2005	21,5	-3,0	9,3
29/11/2005	23,1	2,2	12,7
30/11/2005	20,7	3,9	12,3
01/12/2005	20,5	-2,4	9,1
02/12/2005	19,0	2,1	10,6
03/12/2005	18,6	-1,8	8,4
04/12/2005	19,7	3,4	11,6
05/12/2005	21,0	2,1	11,6
06/12/2005	19,9	0,0	10,0
07/12/2005	18,8	0,0	9,4
08/12/2005	20,4	3,2	11,8
09/12/2005	20,2	0,8	10,5
10/12/2005	19,9	2,4	11,2
11/12/2005	19,9	1,2	10,6
12/12/2005	21,3	2,2	11,8
13/12/2005	20,6	1,9	11,3
14/12/2005	20,1	5,7	12,9
15/12/2005	20,2	3,3	11,8
16/12/2005	21,1	-0,9	10,1
17/12/2005	19,0	2,7	10,9

LOCALIDAD: PATACAMAYA

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°55'S

LONGITUD: 67°56'O

ALTITUD: 3787 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
18/12/2005	19,7	2,4	11,1
19/12/2005	20,8	2,9	11,9
20/12/2005	20,1	4,0	12,1
21/12/2005	20,6	5,6	13,1
22/12/2005	22,4	0,8	11,6
23/12/2005	21,9	2,4	12,2
24/12/2005	20,7	3,2	12,0
25/12/2005	23,5	3,8	13,7
26/12/2005	22,1	3,3	12,7
27/12/2005	21,9	1,8	11,9
28/12/2005	19,6	1,6	10,6
29/12/2005	21,9	-0,5	10,7
30/12/2005	20,6	1,3	11,0
31/12/2005	22,7	2,4	12,6
01/01/2006	18,6	3,6	11,1
02/01/2006	21,1	1,1	11,1
03/01/2006	23,5	2,5	13,0
04/01/2006	25,0	3,0	14,0
05/01/2006	20,5	2,0	11,3
06/01/2006	19,0	0,5	9,8
07/01/2006	18,5	1,4	10,0
08/01/2006	20,0	3,5	11,8
09/01/2006	21,4	2,0	11,7
10/01/2006	22,0	0,2	11,1
11/01/2006	19,0	1,8	10,4
12/01/2006	20,9	-1,5	9,7
13/01/2006	19,1	3,0	11,1
14/01/2006	20,7	2,1	11,4
15/01/2006	21,5	0,5	11,0
16/01/2006	22,4	1,9	12,2
17/01/2006	20,5	3,5	12,0
18/01/2006	19,4	2,5	11,0
19/01/2006	20,9	3,6	12,3
20/01/2006	18,4	2,2	10,3
21/01/2006	18,9	1,8	10,4
22/01/2006	23,4	1,3	12,4
23/01/2006	18,9	1,0	10,0
24/01/2006	20,4	2,2	11,3
25/01/2006	18,6	2,5	10,6
26/01/2006	21,1	3,5	12,3
27/01/2006	20,9	2,5	11,7

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
28/01/2006	19,5	1,2	10,4
29/01/2006	24,1	0,5	12,3
30/01/2006	20,1	2,8	11,5
31/01/2006	20,4	1,6	11,0
01/02/2006	20,6	5,5	13,1
02/02/2006	19,5	5,0	12,3
03/02/2006	20,4	4,8	12,6
04/02/2006	18,0	6,2	12,1
05/02/2006	18,5	4,0	11,3
06/02/2006	19,0	4,5	11,8
07/02/2006	22,4	6,5	14,5
08/02/2006	21,1	6,0	13,6
09/02/2006	19,0	5,5	12,3
10/02/2006	23,1	6,5	14,8
11/02/2006	23,0	6,4	14,7
12/02/2006	22,5	6,0	14,3
13/02/2006	19,5	3,0	11,3
14/02/2006	19,5	3,5	11,5
15/02/2006	19,6	3,3	11,5
16/02/2006	18,6	1,5	10,1
17/02/2006	19,5	4,2	11,9
18/02/2006	20,5	5,1	12,8
19/02/2006	21,9	2,5	12,2
20/02/2006	22,4	4,5	13,5
21/02/2006	19,3	5,5	12,4
22/02/2006	20,0	6,1	13,1
23/02/2006	20,2	4,5	12,4
24/02/2006	18,5	4,0	11,3
25/02/2006	19,9	5,2	12,6
26/02/2006	20,5	4,5	12,5
27/02/2006	20,0	0,0	10,0
28/02/2006	19,6	3,0	11,3
01/03/2006	19,2	6,1	12,7
02/03/2006	18,5	4,5	11,5
03/03/2006	22,5	5,4	14,0
04/03/2006	18,0	5,2	11,6
05/03/2006	17,5	4,0	10,8
06/03/2006	20,3	3,5	11,9
07/03/2006	22,2	3,4	12,8
08/03/2006	21,5	1,3	11,4
09/03/2006	21,3	2,1	11,7

LOCALIDAD: PATACAMAYA

DEPARTAMENTO: LA PAZ

LATITUD: 17°55'S

LONGITUD: 67°56'O

ALTITUD: 3787 msnm

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
10/03/2006	18,5	3,6	11,1
11/03/2006	20,8	1,4	11,1
12/03/2006	20,2	1,6	10,9
13/03/2006	18,5	4,0	11,3
14/03/2006	18,0	3,0	10,5
15/03/2006	19,9	3,2	11,6
16/03/2006	20,0	4,5	12,3
17/03/2006	20,5	4,0	12,3
18/03/2006	18,0	3,4	10,7
19/03/2006	18,4	4,6	11,5
20/03/2006	19,1	6,0	12,6
21/03/2006	20,8	5,5	13,2
22/03/2006	17,6	4,1	10,9
23/03/2006	21,8	6,0	13,9
24/03/2006	22,0	6,2	14,1
25/03/2006	18,0	5,0	11,5
26/03/2006	21,5	6,5	14,0
27/03/2006	19,0	3,5	11,3

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
28/03/2006	20,2	5,0	12,6
29/03/2006	19,5	2,8	11,2
30/03/2006	18,4	5,0	11,7
31/03/2006	22,8	5,2	14,0
01/04/2006	23,0	5,3	14,2
02/04/2006	21,4	4,2	12,8
03/04/2006	21,8	3,3	12,55
04/04/2006	19,9	2,8	11,4
05/04/2006	20,8	3,2	12,0
06/04/2006	19,5	-0,6	9,5
07/04/2006	21,2	3,1	12,2
08/04/2006	23,6	2,5	13,1
09/04/2006	20,2	3,0	11,6
10/04/2006	21,5	2,2	11,9
11/04/2006	19,7	-1,8	9,0
12/04/2006	22,5	3,0	12,8
13/04/2006	21,9	2,7	12,3
14/04/2006	22,5	2,3	12,4

FUENTE: Proy. QUINAGUA, Jorge Mendoza

ANEXO 7. Temperaturas Mejillones Gestión 2006 - 2007.

LOCALIDAD: MEJILLONES

DEPARTAMENTO: POTOSI

LATITUD: 21°42'8"S

LONGITUD: 67°14'20"O

ALTITUD:

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
22/09/2006	18,2	-2,4	7,9
23/09/2006	18,0	1,0	9,5
24/09/2006	17,0	1,5	9,3
25/09/2006	18,0	1,0	9,5
26/09/2006	16,0	-2,0	7,0
27/09/2006	16,0	-1,0	7,5
28/09/2006	18,0	0,0	9,0
29/09/2006	18,0	1,5	9,8
30/09/2006	18,0	1,5	9,8
01/10/2006	19,0	2,0	10,5
02/10/2006	18,0	3,0	10,5
03/10/2006	17,0	1,0	9,0
04/10/2006	17,0	1,5	9,3
05/10/2006	17,0	-2,0	7,5
06/10/2006	17,5	0,0	8,8
07/10/2006	18,0	2,0	10,0
08/10/2006	19,0	1,5	10,3
09/10/2006	18,2	-4,5	6,9
10/10/2006	18,6	-1,9	8,4
11/10/2006	18,6	0,7	9,7
12/10/2006	19,8	-0,1	9,9
13/10/2006	18,6	-1,4	8,6
14/10/2006	18,2	0,2	9,2
15/10/2006	17,1	-0,6	8,3
16/10/2006	17,1	-3,8	6,7
17/10/2006	17,8	-2,4	7,7
18/10/2006	17,8	-1,9	8,0
19/10/2006	17,1	-4,3	6,4
20/10/2006	18,2	-3,3	7,5
21/10/2006	19,0	0,6	9,8
22/10/2006	18,6	-2,8	7,9
23/10/2006	18,4	0,2	9,3
24/10/2006	18,2	0,2	9,2
25/10/2006	17,9	-4,5	6,7
26/10/2006	18,6	-1,1	8,8
27/10/2006	19,3	0,7	10,0
28/10/2006	20,9	2,1	11,5
29/10/2006	21,7	-3,5	9,1
30/10/2006	22,1	-3,3	9,4

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
31/10/2006	20,2	-1,6	9,3
01/11/2006	21,3	2,0	11,7
02/11/2006	19,8	-1,9	9,0
03/11/2006	20,5	-4,1	8,2
04/11/2006	21,7	0,2	11,0
05/11/2006	19,8	2,2	11,0
06/11/2006	21,3	-2,1	9,6
07/11/2006	19,4	0,2	9,8
08/11/2006	20,2	0,7	10,5
09/11/2006	19,8	3,3	11,6
10/11/2006	19,8	-2,8	8,5
11/11/2006	19,4	0,2	9,8
12/11/2006	18,3	2,4	10,4
13/11/2006	18,8	3,9	11,4
14/11/2006	19,4	3,3	11,4
15/11/2006	19,1	3,6	11,4
16/11/2006	20,8	3,9	12,4
17/11/2006	19,4	3,5	11,5
18/11/2006	17,8	3,7	10,8
19/11/2006	19,2	3,3	11,3
20/11/2006	18,7	2,0	10,4
21/11/2006	18,0	2,8	10,4
22/11/2006	16,9	2,4	9,7
23/11/2006	19,0	2,1	10,6
24/11/2006	18,2	0,2	9,2
25/11/2006	18,2	2,0	10,1
26/11/2006	19,0	2,8	10,9
27/11/2006	20,9	3,3	12,1
28/11/2006	20,9	1,1	11,0
29/11/2006	20,9	1,1	11,0
30/11/2006	19,4	3,7	11,6
01/12/2006	17,0	1,5	9,3
02/12/2006	18,1	3,0	10,6
03/12/2006	19,4	3,3	11,4
04/12/2006	18,9	2,8	10,9
05/12/2006	18,0	2,4	10,2
06/12/2006	17,9	1,6	9,8
07/12/2006	19,0	3,5	11,3
08/12/2006	18,5	1,1	9,8

LOCALIDAD: MEJILLONES
DEPARTAMENTO: POTOSI

LATITUD: 21°42'8"S
LONGITUD: 67°14'20"O
ALTITUD:

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
09/12/2006	18,9	3,7	11,3
10/12/2006	19,8	2,0	10,9
11/12/2006	19,5	2,8	11,2
12/12/2006	18,3	1,6	10,0
13/12/2006	17,9	2,8	10,4
14/12/2006	18,3	1,1	9,7
15/12/2006	18,4	3,7	11,1
16/12/2006	17,9	3,3	10,6
17/12/2006	19,5	2,6	11,1
18/12/2006	19,0	3,9	11,5
19/12/2006	19,8	3,7	11,8
20/12/2006	17,9	3,1	10,5
21/12/2006	20,4	4,1	12,3
22/12/2006	19,2	3,5	11,4
23/12/2006	18,5	2,8	10,7
24/12/2006	17,9	1,7	9,8
25/12/2006	18,1	3,3	10,7
26/12/2006	19,8	3,1	11,5
27/12/2006	20,2	3,3	11,8
28/12/2006	20,2	3,5	11,9
29/12/2006	20,5	2,0	11,3
30/12/2006	19,0	1,6	10,3
31/12/2006	20,2	4,1	12,2
01/01/2007	19,8	3,0	11,4
02/01/2007	16,7	1,8	9,3
03/01/2007	20,9	4,1	12,5
04/01/2007	21,7	3,5	12,6
05/01/2007	20,5	3,3	11,9
06/01/2007	16,7	1,2	9,0
07/01/2007	16,3	1,8	9,1
08/01/2007	18,2	2,8	10,5
09/01/2007	17,8	2,3	10,1
10/01/2007	17,5	2,8	10,2
11/01/2007	17,7	2,6	10,2
12/01/2007	18,2	3,3	10,8
13/01/2007	18,2	2,2	10,2
14/01/2007	17,9	2,5	10,2
15/01/2007	17,8	3,8	10,8
16/01/2007	18,1	3,2	10,7
17/01/2007	20,2	3,7	12,0
18/01/2007	20,5	2,8	11,7

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
19/01/2007	20,5	0,7	10,6
20/01/2007	21,3	1,6	11,5
21/01/2007	20,9	2,8	11,9
22/01/2007	22,1	2,8	12,5
23/01/2007	20,5	3,8	12,2
24/01/2007	17,8	1,9	9,9
25/01/2007	20,2	3,7	12,0
26/01/2007	21,3	3,9	12,6
27/01/2007	22,1	3,9	13,0
28/01/2007	20,9	3,8	12,4
29/01/2007	19,8	2,8	11,3
30/01/2007	19,4	0,2	9,8
31/01/2007	19,4	-0,6	9,4
01/02/2007	19,4	0,2	9,8
02/02/2007	22,1	-1,1	10,5
03/02/2007	21,7	2,4	12,1
04/02/2007	23,4	2,4	12,9
05/02/2007	22,4	3,7	13,1
06/02/2007	20,9	2,0	11,5
07/02/2007	20,9	1,1	11,0
08/02/2007	19,4	3,3	11,4
09/02/2007	18,6	3,0	10,8
10/02/2007	17,5	2,2	9,9
11/02/2007	17,1	-1,6	7,8
12/02/2007	17,4	2,1	9,8
13/02/2007	17,4	2,1	9,8
14/02/2007	16,7	1,9	9,3
15/02/2007	18,6	2,7	10,7
16/02/2007	17,1	2,0	9,6
17/02/2007	17,1	2,0	9,6
18/02/2007	17,8	1,6	9,7
19/02/2007	17,1	-0,1	8,5
20/02/2007	17,4	1,6	9,5
21/02/2007	18,6	1,6	10,1
22/02/2007	19,4	2,0	10,7
23/02/2007	20,2	3,2	11,7
24/02/2007	18,6	2,0	10,3
25/02/2007	19,4	3,5	11,5
26/02/2007	20,2	2,8	11,5
27/02/2007	20,9	4,1	12,5
28/02/2007	19,4	3,7	11,6

LOCALIDAD: MEJILLONES
DEPARTAMENTO: POTOSI

LATITUD: 21°42'8"S
LONGITUD: 67°14'20"O
ALTITUD:

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
01/03/2007	19,8	3,7	11,8
02/03/2007	20,9	-2,0	9,5
03/03/2007	19,4	3,3	11,4
04/03/2007	20,1	3,8	12,0
05/03/2007	16,3	1,9	9,1
06/03/2007	18,9	1,8	10,4
07/03/2007	16,7	1,9	9,3
08/03/2007	20,5	3,0	11,8
09/03/2007	19,8	2,8	11,3
10/03/2007	18,2	2,4	10,3
11/03/2007	17,4	-1,6	7,9
12/03/2007	17,1	-2,8	7,2
13/03/2007	17,1	1,3	9,2
14/03/2007	17,5	1,6	9,6
15/03/2007	18,0	2,4	10,2

FECHA	Tmax	Tmin	Tmed
16/03/2007	19,0	-3,3	7,9
17/03/2007	17,8	-1,1	8,4
18/03/2007	17,8	2,0	9,9
19/03/2007	17,8	-0,6	8,6
20/03/2007	19,0	-2,4	8,3
21/03/2007	18,6	1,1	9,9
22/03/2007	19,8	-3,9	8,0
23/03/2007	19,8	2,8	11,3
24/03/2007	18,2	1,1	9,7
25/03/2007	17,5	-2,8	7,4
26/03/2007	17,9	-3,6	7,2
27/03/2007	19,4	1,5	10,5
28/03/2007	18,2	-2,4	7,9
29/03/2007	18,6	-2,0	8,3

FUENTE: Proy. QUINAGUA, Octavio Condori.

ANEXO 8. Inicio y Final de las Fases fenológicas (en fechas)

FASES	VIACHA	CORPA	CALLAPA	PATACAMAYA ¹	MEJILLONES	PATACAMAYA ²		
	Belén 2000	Belén 2000	Sajama	Santa María	Real Blanca	Sta. María	Sta. María*	Sta. María**
SIE	14/12/2004	15/11/2006	30/10/2009	22/10/2006	22/09/2006	01/10/2005	20/10/2005	10/11/2005
EME	19/12/2004	25/11/2006	15/11/2009	25/10/2006	30/09/2006	17/10/2005	29/10/2005	14/11/2005
COT	23/12/2004	29/11/2006	17/11/2009	27/10/2006	03/10/2006	22/10/2005	03/11/2005	17/11/2005
2HB	31/12/2004	08/12/2006	23/11/2009	05/11/2006	28/10/2006	27/10/2005	10/11/2005	23/11/2005
5HA	17/01/2005	23/12/2006	03/12/2009	17/11/2006	13/11/2006	13/11/2005	25/11/2005	08/12/2005
13H	28/01/2005	14/01/2007	26/12/2009	19/12/2006	11/12/2006	27/11/2005	11/12/2005	20/12/2005
DPA	20/02/2005	28/01/2007	23/01/2010	23/12/2006	17/12/2006	19/12/2005	31/12/2005	07/01/2006
FLO	19/03/2005	20/02/2007	06/02/2010	22/01/2007	24/01/2007	18/01/2006	28/01/2006	30/01/2006
GLE	10/04/2005	25/03/2007	20/02/2010	23/02/2007	20/02/2007	15/02/2006	23/02/2006	26/02/2006
MAG	01/05/2005	09/04/2007	22/03/2010	15/03/2007	20/03/2007	03/03/2006	13/03/2006	23/03/2006
GPD	15/05/2005	20/04/2007	10/04/2010	11/04/2007	29/03/2007	21/03/2006	31/03/2006	14/04/2006

Patacamaya² (Santa María) 1ra época; (*) 2da época; (**) 3ra época.

SIE = SIEMBRA

DPA = FASE DE DESPUNTE DE PANOJA

EME = FASE DE EMERGENCIA

FLO = FASE DE FLORACION

COT = FASE COTILEDONAR

GLE = FASE DE GRANO LECHOSO

2HB = FASE DE DOS HOJAS BASALES

MAG = FASE DE MASA DE GRANO

5HA = FASE DE CINCO HOJAS ALTERNAS

GPD = FASE DE GRANO PASTOSO DURO

13H = FASE DE TRECE HOJAS ALTERNAS

ANEXO 9. Comportamiento de las temperaturas por fases. Viacha 2004 – 2005

FASES	HELADAS (días)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin ext (°C)	Tmax ext (°C)
SIE	0	5,7	20,2	12,9	3,9	21,7
EME	0	5,6	21,3	13,5	5,1	22,5
COT	0	5,9	22,4	14,1	4,4	24,8
2HB	0	5,3	20,3	12,8	3,5	22,6
5HV	1	4,5	19,3	11,9	-0,8	22,1
13H	1	4,3	20,3	12,3	-1,0	22,6
DPA	1	4,6	21,1	12,8	-0,9	23,7
FLO	1	4,7	20,9	12,8	-1,4	23,5
GLE	11	1,2	20,5	10,9	-3,6	23,5
MAG	13	-1,6	20,3	9,4	-5,1	21,6

ANEXO 10. Comportamiento de las temperaturas por fases. Corpa 2006 – 2007

FASES	HELADAS (días)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin ext (°C)	Tmax ext (°C)
SIE	2	2,4	19,4	10,9	-1,8	21,6
EME	0	3,4	20,5	11,9	2,4	21,4
COT	0	4,4	19,8	12,1	2,1	22,4
2HB	0	5,1	21,0	13,0	3,4	23,5
5HV	0	4,7	19,9	12,3	3,1	24,3
13H	0	4,9	20,6	12,7	1,4	23,7
DPA	1	4,4	21,6	13,0	-1,5	25,6
FLO	0	3,8	20,4	12,1	1,3	24,8
GLE	2	2,9	20,9	11,9	-1,2	24,1
MAG	6	1,0	19,7	10,3	-3,7	21,9

ANEXO 11. Comportamiento de las temperaturas por fases. Callapa 2009 – 2010

FASES	HELADAS (días)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin ext (°C)	Tmax ext (°C)
SIE	6	1,6	25,7	13,7	-3,2	27,9
EME	0	4,4	21,3	12,8	4,2	21,7
COT	0	4,9	24,3	14,6	4,2	27,1
2HB	0	4,6	24,9	14,8	4,0	27,8
5HV	3	3,5	20,5	12,0	-1,9	24,9
13H	2	3,8	21,4	12,6	-1,8	24,7
DPA	3	2,6	21,4	12,0	-1,9	24,0
FLO	1	3,8	21,3	12,5	-0,9	23,7
GLE	6	2,3	21,6	10,2	-2,4	23,2
MAG	14	-0,2	20,9	10,4	-3,7	23,4

ANEXO 12. Comportamiento de las temperaturas por fases. Patacamaya 2006 – 2007

FASES	HELADAS (días)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin ext (°C)	Tmax ext (°C)
SIE	0	1,7	18,5	10,1	1,5	19,4
EME	0	0,0	18,2	9,1	-3,4	19,2
COT	5	0,9	18,8	9,8	-2,9	20,4
2HB	5	1,5	19,3	10,4	-3,9	20,8
5HV	1	3,3	18,8	11,1	0,9	22,6
13H	0	4,4	20,4	12,4	2,9	21,0
DPA	0	3,8	19,4	11,6	1,1	23,5
FLO	0	3,7	18,4	11,1	1,0	21,9
GLE	0	3,4	17,8	10,6	1,5	19,3
MAG	4	2,3	18,2	10,2	-2,1	20,0

ANEXO 13. Comportamiento de las temperaturas por fases. Patacamaya 2005 – 2006

FASES	HELADAS (días)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin ext (°C)	Tmax ext (°C)
SIE	1	3,5	18,0	10,7	0,5	19,5
EME	0	4,3	20,4	12,4	3,1	21,6
COT	4	-0,7	19,4	9,3	-4,0	19,9
2HB	5	2,1	20,0	11,0	-4,5	22,4
5HV	1	3,9	20,1	12,0	0,5	22,5
13H	7	1,7	20,3	11,0	-3,0	23,1
DPA	6	2,1	21,1	11,6	-1,5	25,0
FLO	1	3,7	20,4	12,0	0,5	24,1
GLE	1	4,0	19,9	12,0	0,0	22,4
GMD	0	3,7	19,8	11,7	1,3	22,5

ANEXO 14. Comportamiento de las temperaturas por fases. Mejillones 2006 – 2007

FASES	HELADAS (días)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin ext (°C)	Tmax ext (°C)
SIE	4	-0,1	17,4	8,7	-2,4	18,2
EME	0	2,2	18,3	10,3	1,5	19,0
COT	21	-1,0	18,1	8,5	-4,5	19,8
2HB	11	-0,4	20,4	10,0	-4,1	22,1
5HV	1	2,6	18,9	10,8	0,2	20,9
13H	0	2,6	18,4	10,5	1,1	19,5
DPA	1	2,9	19,2	11,0	0,7	22,1
FLO	6	1,9	19,4	10,6	-1,6	23,4
GLE	6	1,6	18,7	10,2	-3,3	20,9
MAG	6	-1,1	18,7	8,8	-3,9	19,8