

INFORME

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y DEL COMPORTAMIENTO DE LAS HELADAS EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

INFORME

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y DEL COMPORTAMIENTO DE LAS HELADAS EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

CARACTERIZACION CLIMÁTICA DEL COMPORTAMIENTO DE LAS HELADAS EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Autor:

Helder Mallqui

Colaborador:

Frank Santiago Bazán

Editado por:

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)

Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM)

Sede central: Av. Centenario 2656 Independencia, Huaraz, Áncash, Perú

Correo electrónico: diem@inaigem.gob.pe

Fotografía de portada: Archivo DIEM-INAIGEM

Corrección de estilo: Jorge Coaguila

Diseño y diagramación: Ana Mercedes Periche Acosta

Por favor citar la publicación de la siguiente manera:

Mallqui H. (2022). Caracterización climática del comportamiento de las heladas en ecosistemas de montaña (Informe). Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM). (Web publicación online)

► Índice

Presentación	6
1. Introducción	7
2. Objetivo	8
2.1. Objetivos específicos	8
3. Generalidades	8
3.1. Definiciones	8
3.2. Clasificación de las heladas	9
4. Metodología	10
4.1. Registro de datos meteorológicos	10
4.2. Análisis de datos	12
5. Resultados	13
5.1. Temperaturas mínimas y mínimas absolutas	13
5.2. Frecuencia mensual de heladas meteorológicas	14
5.3. Fecha de la primera y última helada	16
5.4. Tasa de variación media de descenso y ascenso de temperatura	16
Conclusiones	20
Referencias bibliográficas	21
Anexos	22
Anexo 1. Análisis estadístico de la tasa de variación media de descenso y ascenso de temperatura	22

PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) es el ente rector en investigación científica en glaciares y ecosistemas de montaña, y busca promover la gestión sostenible de estos ecosistemas para favorecer a las poblaciones que viven en o se benefician de ellos. En el cumplimiento de estas funciones la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM) tiene el agrado de presentar el informe "Caracterización climática del comportamiento de las heladas en ecosistemas de montaña".

Este informe técnico busca brindar información del comportamiento natural de las heladas en el ámbito de los ecosistemas de montañas en la Cordillera Blanca, Áncash. Para ello se ha usado el registro de datos de temperaturas mínimas diarias, durante el periodo 2018 – 2020, con tres microestaciones WatchDog 1000 instaladas en tres parcelas ubicadas entre los 3850 y 4280 m s.n.m. Este análisis detallado del comportamiento de las heladas brinda además información relevante sobre las tasas de descenso y aumento de las temperaturas luego de alcanzar los 0°C.

Esperamos con ello contribuir a un mejor entendimiento de este fenómeno, ya que en nuestro país se cuenta con muy poca información en las altitudes reportadas aquí. Asimismo, nuestro objetivo es brindar información detallada y de campo para aquellos que trabajan con experimentos de tolerancia a heladas en cultivos, pastos nativos y en la construcción de escenarios futuros de cambio climático. Y con ello tener mejores estrategias de adaptación ante el cambio climático.

Dra. Beatriz Fuentealba D.

Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña - DIEM

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

1. INTRODUCCIÓN

El Perú presenta grandes variaciones topográficas que determinan una acentuada variabilidad climática, lo que favorece la ocurrencia de eventos hidroclimáticos extremos, como heladas, granizadas, sequías, entre otros. En este sentido, entre los elementos del clima vinculados con los riesgos climáticos, se encuentran las temperaturas extremas y, entre ellas, la helada como uno de los factores meteorológicos, que, dependiendo de su intensidad, duración y el tipo de elemento expuesto, puede provocar, sobre la vegetación, graves daños fisiológicos (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [Senamhi], s. f.).

Las heladas meteorológicas suelen registrarse en las partes altas de la región andina, principalmente en la estación seca del invierno. También se presentan en las estaciones del verano y la primavera, las cuales son más dañinas para la agricultura, por encontrarse la mayoría de los cultivos en su etapa vegetativa. Ello ocasiona pérdidas importantes en la producción agrícola. Por eso, es muy importante conocer su régimen de ocurrencia durante el año y sus características macrometeorológicas¹, micrometeorológicas² e, incluso, agroclimáticas³ para entender mejor este fenómeno y orientar este conocimiento para proponer instrumentos de adaptación (Presidencia del Consejo de Ministros [PCM], 2019).

Así, la DIEM ha venido trabajando desde 2019 en la identificación de accesiones de papa nativa, además de especies de pastos nativos deseables para el ganado, que —después de una evaluación cualitativa— demuestren tolerar heladas en condiciones naturales. También en la caracterización del comportamiento de las heladas a diferentes altitudes, para relacionar de manera directa la ocurrencia e intensidad de este fenómeno con la respuesta de la vegetación.

La caracterización de las heladas, motivo de este informe, se ha realizado mediante el análisis de los datos de microestaciones meteorológicas instaladas en tres áreas de estudio. Se han consolidado la información de temperaturas mínimas registradas de manera continua para el periodo 2018-2020.

1 Aspectos a gran escala de la atmósfera, como circulación general o tipos de tiempo.

2 Observación y explicación de las ocurrencias físicas y dinámicas de pequeña escala dentro de la atmósfera.

3 Condiciones meteorológicas, climáticas e hidrológicas, y su interrelación en los procesos de la producción agrícola.

2. OBJETIVO

Caracterizar el comportamiento de heladas ocurridas en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña (Cictem) de Cátac, quebrada Llaca y sector Tayacoto, que permita obtener información útil para el diseño de investigaciones vinculadas a la temática.

2.1. Objetivos específicos

- Analizar estadísticamente la información obtenida a partir de datos horarios de temperaturas mínimas y mínimas absolutas de 2018, 2019 y 2020.
- Determinar la frecuencia anual y por periodo de heladas meteorológicas, así como la fecha de ocurrencia de la primera y de la última helada, y la duración del periodo libre de heladas.
- Describir el comportamiento específico de cada helada a intervalo de tiempo de cinco minutos, así como la tasa de variación media de descenso y ascenso de temperatura.

3. GENERALIDADES

3.1. Definiciones:

Temperatura y temperatura del aire

La temperatura se define como la magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. La temperatura del aire es la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa (OMM, 1992). Se refiere a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor (Ideam, 2019). La temperatura observada deberá ser representativa del estado del aire que rodea la estación y a una altura entre 1,25 y 2,00 metros por encima del nivel del suelo (OMM, 1996).

Temperatura mínima y temperatura mínima absoluta mensual

La temperatura mínima es la temperatura más baja alcanzada en un intervalo de tiempo dado. La temperatura mínima absoluta mensual es la temperatura más baja de las temperaturas mínimas mensuales observadas en un mes dado durante un número de años determinado (OMM, 1992).

Helada meteorológica

La helada es la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua 0 °C (OMM, 1992). Una de las formas en que se presenta es mediante una cubierta de hielo producida por la sublimación del vapor de agua sobre los objetos o vegetación al alcanzar estos valores de temperatura (Ascaso y Casasls, 1986).

3.2. Clasificación de las heladas⁴

Por su origen

Helada de advección: Se denomina advección al transporte de las propiedades de una masa de aire producido por el campo de velocidades de la atmósfera. Las heladas de advección son originadas por la presencia de grandes masas de aire frío procedentes de regiones polares. Su desplazamiento va creando distintas formas de tiempo atmosférico, dependiente del relieve terrestre. Las heladas de este tipo se producen en las partes bajas de las montañas, como encañadas y valles, y son muy dañinas. La helada de advección se puede presentar en cualquier hora del día, independientemente de las condiciones atmosféricas.

Helada de radiación: Se presenta en noches claras y despejadas, cuando la radiación terrestre es emitida a la atmósfera por la ausencia de nubes y por la baja concentración de vapor de agua. Se produce también en noches en calma, en ausencia de viento. La severidad de estas heladas varía considerablemente con las condiciones generales de la atmósfera y depende de las condiciones locales, como topografía, vegetación, entre otros. En esta situación, durante el día, la temperatura en la superficie se mantiene encima del punto de congelamiento. Por eso, durante la noche, la pérdida de energía de la superficie por emisión de radiación de onda larga (ley de Stefan-Boltzmann) se acentúa, provocando una caída rápida de la temperatura del aire próximo a la superficie. De ello resulta lo que se denomina «inversión térmica», es decir, la temperatura aumenta con la altura, en los primeros metros, en lugar de disminuir.

Helada de evaporación: Se produce al evaporarse el agua depositada sobre las plantas, con el consiguiente enfriamiento al ser absorbido del aire el calor latente necesario para la evaporación. Si después de una precipitación desciende la humedad relativa del aire, lo que es frecuente después del paso de un frente frío, el agua que recubre los vegetales se evapora rápidamente. La intensidad de estas heladas depende de la cantidad de agua que se evapora, de la temperatura del aire y de la humedad relativa y no es muy frecuente.

Por el aspecto visual

Atendiendo a la apariencia de los cultivos expuestos a las bajas temperaturas del aire, se tienen dos tipos de heladas: la blanca y la negra. El contenido de humedad en las masas de aire determina estos tipos de heladas.

Helada negra: Ocurre en condiciones de baja concentración de vapor de agua atmosférica (baja humedad) y una pérdida radiativa intensa, que genera el enfriamiento acentuado de la vegetación hasta alcanzar la temperatura letal. La baja humedad en el aire no permite la condensación ni la formación de hielo en la superficie de la planta. Los cultivos son dañados y, al día siguiente, las plantas

⁴ Tomado de *Atlas de heladas del Perú* (Senamhi-FAO, 2010, pp. 11-13).

presentan una coloración negruzca, por la congelación de la savia de las plantas o del agua de sus tejidos. Estas heladas causan daños más severos que las blancas.

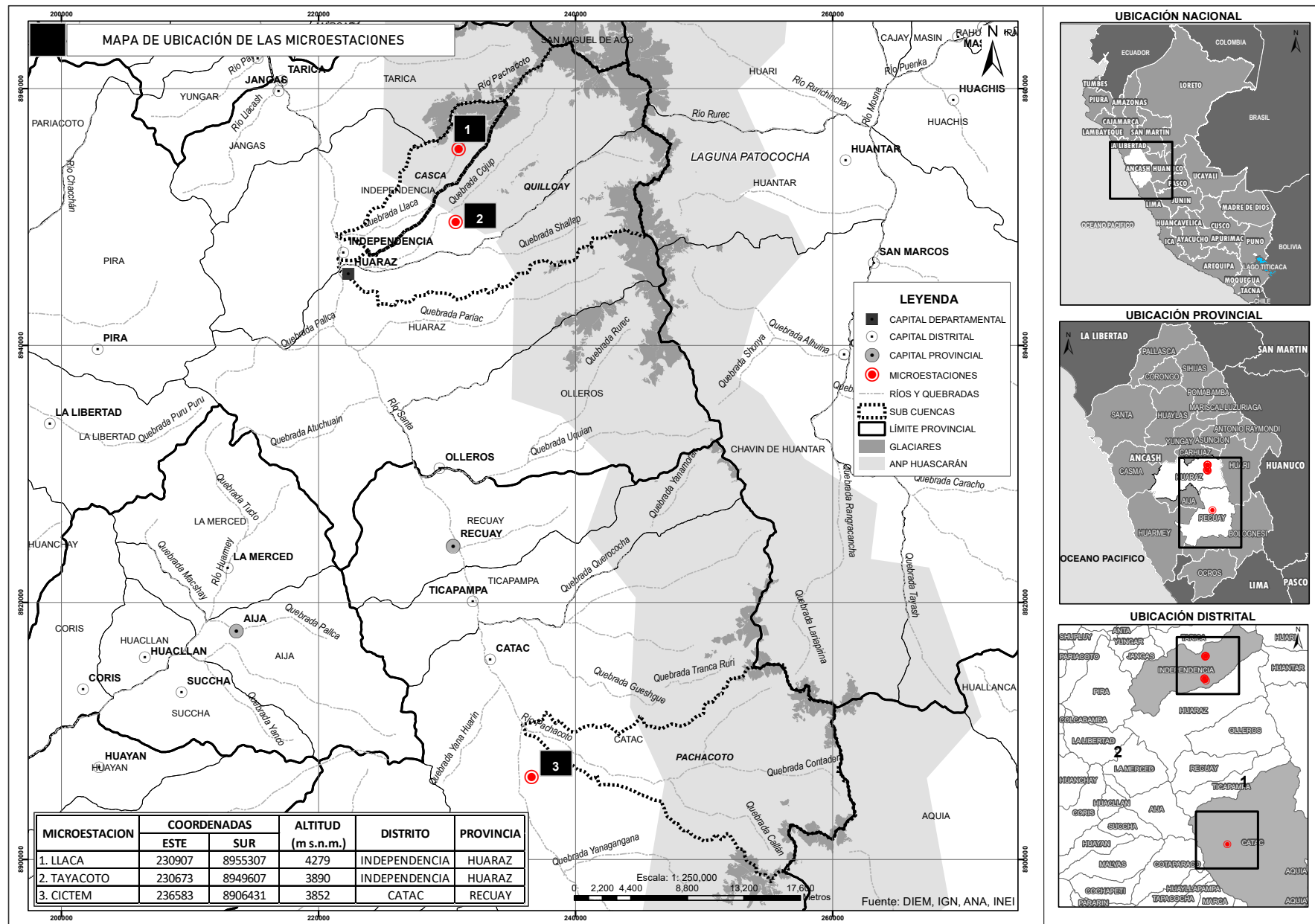
Helada blanca: Después de ciertas noches calmas y despejadas, el césped y las plantas bajas presentan una cubierta blanca, constituida por partículas de hielo de apariencia cristalina. A este fenómeno se le conoce como «helada blanca». Se produce cuando un intenso enfriamiento nocturno produce condensación de vapor de agua y su congelamiento sobre las plantas. En este caso, una concentración de vapor de agua en la atmósfera adyacente a la superficie es más elevada que una helada negra. Cuando se tiene más humedad en el aire, primero ocurre una condensación con liberación de calor latente, hecho que ayuda a reducir la caída de la temperatura. Por lo tanto, una helada blanca es menos severa que una helada negra.

4. METODOLOGÍA

4.1. Registro de datos meteorológicos

Se ha utilizado la serie histórica de datos de temperaturas mínimas diarias de tres microestaciones WatchDog 1000 instaladas en tres parcelas de investigación implementadas por la DIEM. Las variables medidas por estas microestaciones de manera continua y a paso horario de 2018 a 2020 han sido la precipitación, la temperatura del aire y la humedad volumétrica del suelo a distintas profundidades. En la figura 1, se muestra su ubicación hidrográfica y política, así como el nivel altitudinal en el que se encuentran.

► Figura 1. Ubicación de las microestaciones WatchDog 1000 en áreas de estudio.



Fuente: Elaboración propia

4.2. Métodos usados para el análisis de datos

Procesamiento y control de calidad

Para el procesamiento de los datos a paso horario y de cinco minutos de temperaturas mínimas para la caracterización de las heladas meteorológicas, se utilizó el software Hydraccess y la creación de códigos mediante lenguaje R.

Frecuencia

Es el número de veces que ha ocurrido la helada en un periodo determinado (anual y mensual). La frecuencia de heladas anual y mensual fue calculado para el umbral térmico de 0 °C.

Fechas medias de primera y última helada

Es la distribución de las fechas a lo largo del periodo de estudio considerado. Para esto, se consideran los días del año de 1 a 365 días (si son bisiestos, de 1 a 366 días), para luego calcular el promedio de la primera y última helada solo con los años que registren heladas. Para nuestro caso, al tratarse solo del análisis de tres años (2018-2020), se han identificado estas fechas de manera directa en el registro de datos diarios descargados de las microestaciones. Las fechas de la primera, de la última y del periodo libre de heladas fue determinado para la temperatura crítica de 0 °C.

Periodo medio libre de heladas

Es aquel periodo que comienza el día posterior a la última helada del año y finaliza el día anterior a la primera helada del año siguiente. Esto es:

$$PLH = (365 - UH_t) + PH_{t+1} - 1$$

Donde:

PLH = Periodo libre de heladas

UH_t = Fecha de ocurrencia (en día juliano) de la última helada ocurrida en el año t

PH_{t+1} = Fecha de ocurrencia de la primera helada en el año t+1

Como en el caso anterior, al tratarse solo del análisis de tres años (2018-2020), se ha identificado este periodo de manera directa en el registro de datos diarios descargados de las microestaciones.

Tasa de variación media de descenso y ascenso de temperatura

La tasa de variación media del cambio de temperatura en un intervalo de tiempo nos dice cuánto cambia la función de media en este intervalo. Para obtenerla, hay que considerar tanto el cambio que se produce en el eje y (ΔT) como el cambio que se produce en el eje x (Δt). La tasa de variación media se ha calculado para el cambio de temperaturas por debajo del umbral térmico de 0 °C.

Definimos la tasa de variación media de una función $f(x)$ en un intervalo $[a, b]$ como:

$$T.V.M[a, b] = \frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

Donde:

T = Temperatura (°C)

t = Tiempo (minutos)

5. RESULTADOS

5.1. Temperaturas mínimas y mínimas absolutas

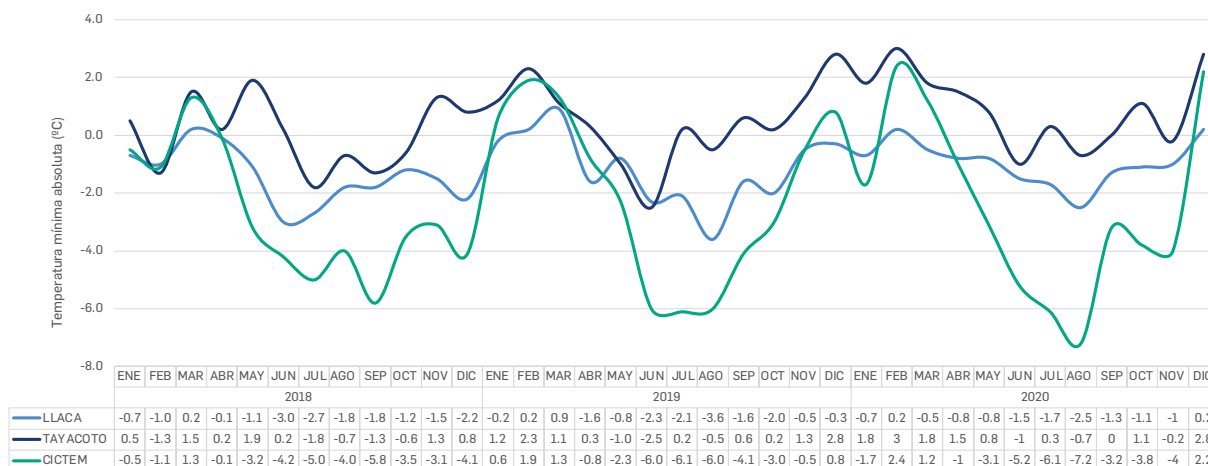
El análisis de temperaturas mínimas (°C) fue realizado con la serie histórica de 2018, 2019 y 2020 de microestaciones meteorológicas instaladas en tres áreas de estudio que fueron descritas antes. Las variaciones en los valores de temperatura mínima promedio mensual se muestran en la tabla 1.

► Tabla 1. Temperaturas mínimas promedio en las áreas de estudio

Mes	Temperatura mínima promedio (°C)			Temperatura mínima promedio (°C)			Temperatura mínima promedio (°C)		
	Llaca	Tayacoto	Cictem	Llaca	Tayacoto	Cictem	Llaca	Tayacoto	Cictem
	2018			2019			2020		
Enero	0,4	2,7	2,0	1,5	3,4	3,4	2,1	4,1	3,0
Febrero	1,3	3,1	3,0	2,2	4,8	4,3	2,3	4,8	4,6
Marzo	1,6	3,4	3,7	2,3	3,6	4,3	2,0	4,0	3,9
Abril	1,1	2,5	2,4	1,7	3,0	3,4	1,4	3,6	2,8
Mayo	0,4	3,3	1,3	1,2	1,6	1,1	1,3	3,4	2,0
Junio	-0,9	1,6	-1,6	-0,4	1,1	-1,6	-0,1	1,7	-2,0
Julio	-1,3	0,1	-2,6	-1,2	1,6	-3,1	-0,5	1,1	-3,5
Agosto	-0,8	0,5	-1,8	-1,5	1,5	-3,5	-0,80	0,8	-3,5
Septiembre	-0,1	0,9	-0,8	0,0	2,3	-0,6	0,2	1,8	-0,1
Octubre	0,9	2	1,1	0,8	2,5	0,5	0,9	2,6	1,1
Noviembre	1,5	3,9	2,3	1,6	3,6	2,8	0,9	2,4	0,5
Diciembre	1,0	3,3	1,5	1,5	4,1	3,6	1,5	3,7	3,4

Las temperaturas mínimas absolutas más bajas se presentan en el Cictem, que registra la temperatura mínima más baja del periodo de estudio correspondiente a -7,20 °C el 5 de agosto de 2020. También se observa que los meses en que se presentan las temperaturas mínimas absolutas más bajas de manera muy marcada son de junio a septiembre.

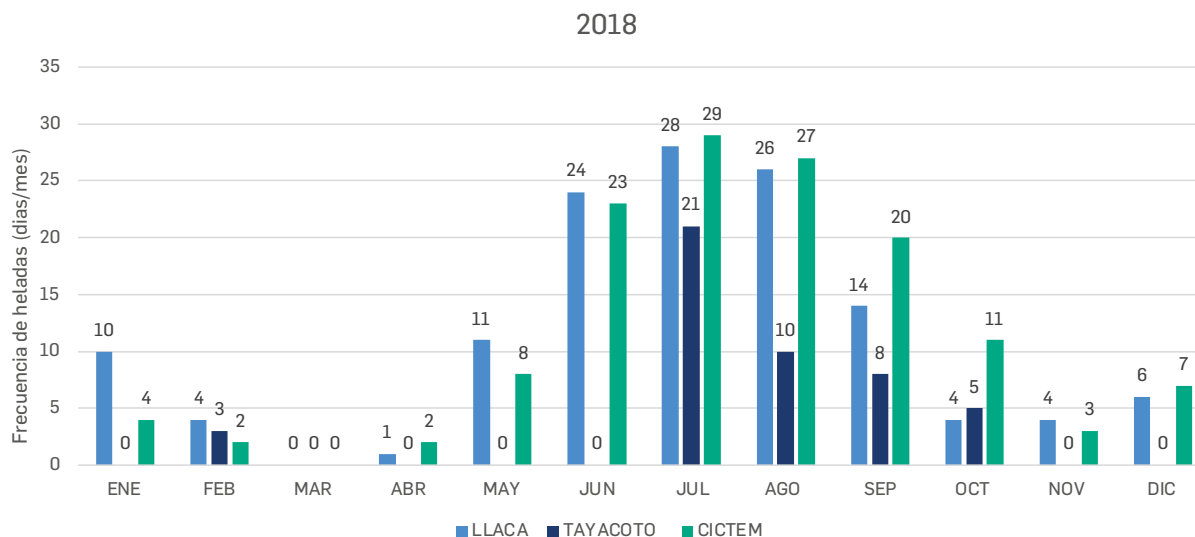
En Llaca, que se encuentra a 4.279 m s.n.m, los valores de temperaturas mínimas absolutas son más bajas a lo largo del año respecto a Tayacoto (3.890 m s.n.m.), lo que evidencia que sus condiciones térmicas son dependientes de la elevación. No ocurre lo mismo con el Cictem (3.852 m s.n.m.), que, a pesar de encontrarse en un nivel altitudinal más bajo, tiene las temperaturas mínimas absolutas más bajas respecto a los otros dos sitios de evaluación. Esta situación puede deberse a la influencia de la latitud y en mayor grado de la geomorfología de las áreas de estudio, aspecto que repercute de manera importante en el establecimiento de microclimas particulares. Figura 2:

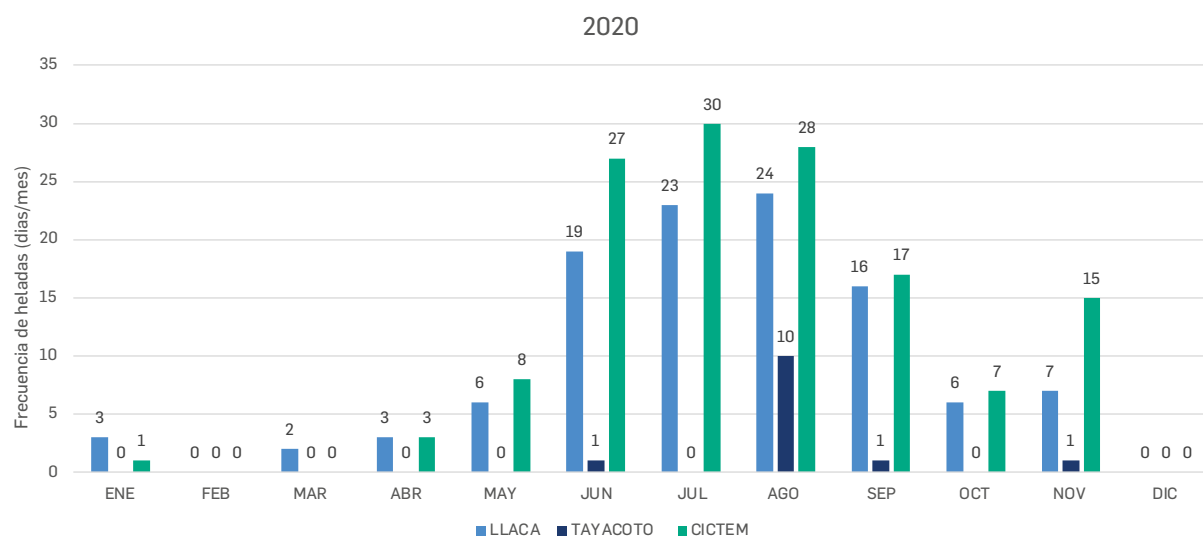
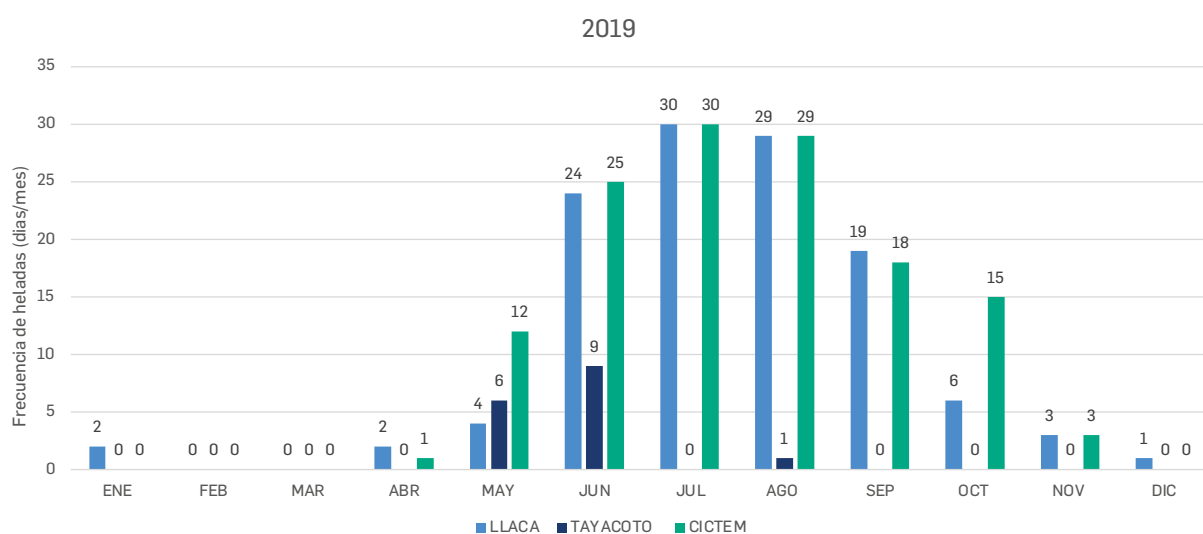
► **Figura 2. Temperaturas mínimas absolutas por área de estudio**

5.2. Frecuencia mensual de heladas meteorológicas

En la figura 3, se presenta la frecuencia de heladas meteorológicas (días con $^{\circ}\text{T}$ iguales o menores a 0°C) para 2018, 2019 y 2020. Se observa que estas han ocurrido con mayor frecuencia en 2018.

En términos generales, el inicio de las heladas se da al finalizar la temporada de lluvias, que empieza en abril y alcanza su periodo más frío y más frecuente de junio a septiembre. En los tres años evaluados no se han registrado prácticamente heladas meteorológicas en marzo, mes que puede considerarse como el de quiebre entre el inicio y fin de la temporada de heladas.

► **Figura 3. Frecuencia mensual de heladas meteorológicas, años a) 2018, b) 2019 y c) 2020**



5.3. Fecha de la primera y última helada

En la tabla 2, se presentan las fechas de ocurrencia de las primeras y últimas heladas ocurridas en las áreas de estudio.

► Tabla 2. Primera y última helada por área de estudio

Año	Primera helada			Última helada			Periodo libre de heladas (días)
	Dia-mes	DJUL	TEMP	Dia-mes	DJUL	TEMP	
Estación Llaca							
2018	1-Ene	1	-0,6	30-Dic	364	-0,3	117
2019	1-Ene	1	-0,1	7-Dic	341	-0,3	245
2020	6-Ene	6	-0,7	14-Nov	319	-0,1	257
Estación Tayacoto							
2018	22-Feb	53	-0,2	13-Oct	286	-0,1	302
2019	18-May	138	-0,7	16-Ago	228	-0,5	349
2020	12-Jun	164	-1	1-Nov	306	-0,2	353
Estación Cictem							
2018	1-Ene	1	-0,2	30-Dic	364	-0,1	99
2019	5-Abr	94	-0,8	26-Nov	330	-0,3	232
2020	8-Ene	8	-1,7	24-Nov	329	-1,6	230

5.4. Tasa de variación media de descenso y ascenso de temperatura

El análisis se ha realizado con la data de temperaturas registrada a cinco minutos del inicio, desde el 16 de junio de 2019. Se ha tomado a julio 2019 como mes representativo debido a que es el mes con más frecuencia e intensidad de ocurrencia de este fenómeno. Por otro lado, no ha sido posible hacer el análisis del área de estudio Tayacoto, pues no se ha registrado ninguna helada durante ese mes. Las heladas registradas más próximas han sido en el mes anterior (junio), pero para las fechas, cuando ocurrieron, no se contaba con registros de temperatura a cinco minutos. De igual manera para el 2020, debido a la emergencia sanitaria que causó el retraso para la realización de algunas actividades operativas y administrativas, no se pudo configurar y calibrar los equipos a este intervalo de tiempo, lo cual también imposibilita su análisis para este año.

Tras el análisis estadístico para los datos de 2019, se ha observado que una característica importante en la evolución de la helada teniendo como umbral superior 0 °C es que las tasas de descenso son lentas, en comparación con el aumento de temperatura luego de ocurrir la temperatura más baja. En términos generales, la temperatura más baja de la helada ocurre de manera progresiva y el incremento es más rápido.

Se ha observado también una diferencia significativa en el ascenso de temperatura entre los dos lugares evaluados, donde la tasa de variación en el Cictem es mucho más alta que en Llaca. Con respecto al tiempo promedio de duración de la helada, no hay diferencia significativa. Los detalles del análisis estadístico se pueden observar en la tabla 3 y en el anexo 8.1.

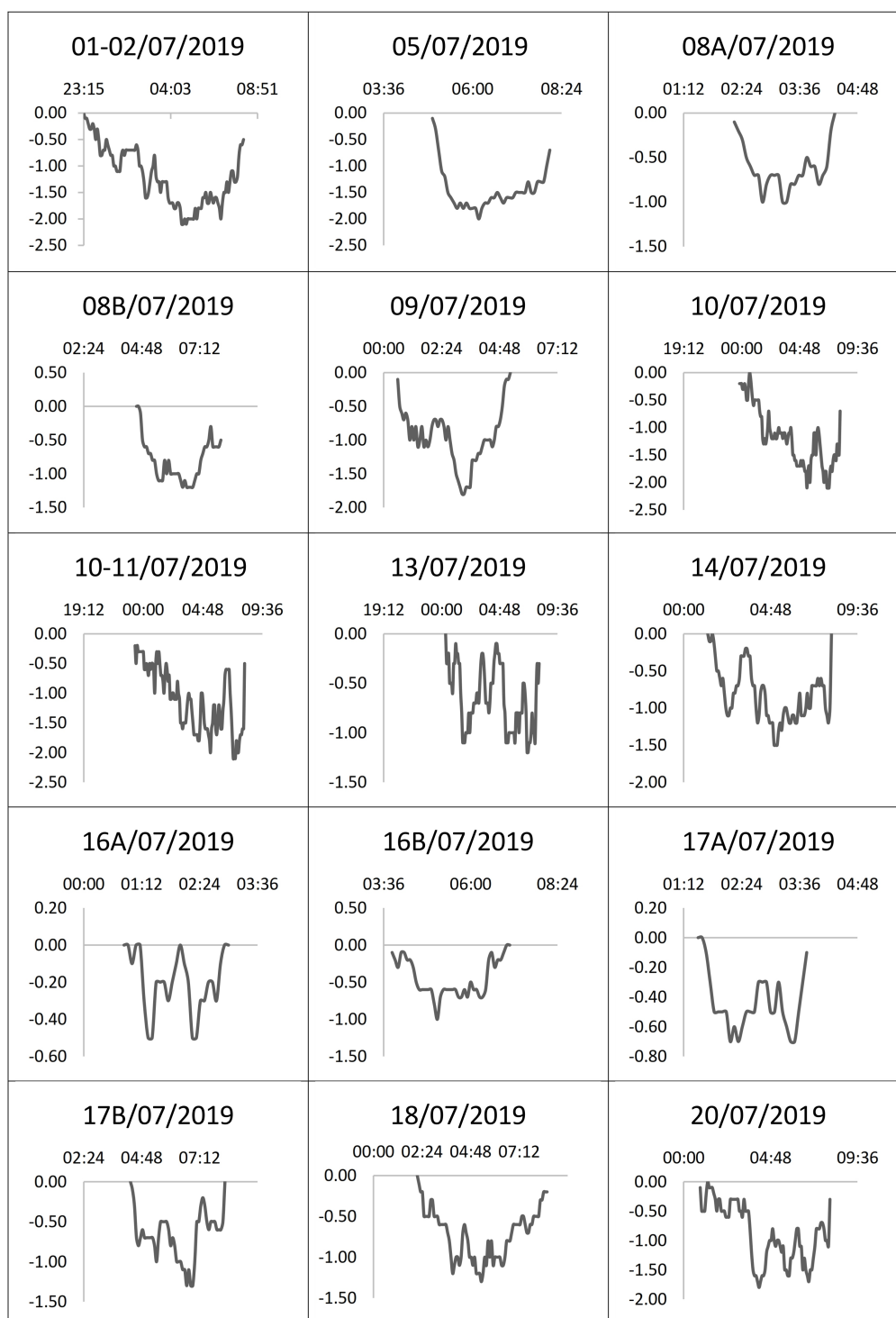
► Tabla 3. Tasa de variación media (TVM) de descenso y ascenso de temperatura

lugar	TVM(-) °C/hora	TVM(+) °C/hora	Duración (horas)
Llaca	0,64 ± 0,19	0,72 ± 0,22	5,12 ± 1,21
Cictem	0,86 ± 0,13	2,98 ± 0,54	5,47 ± 0,94

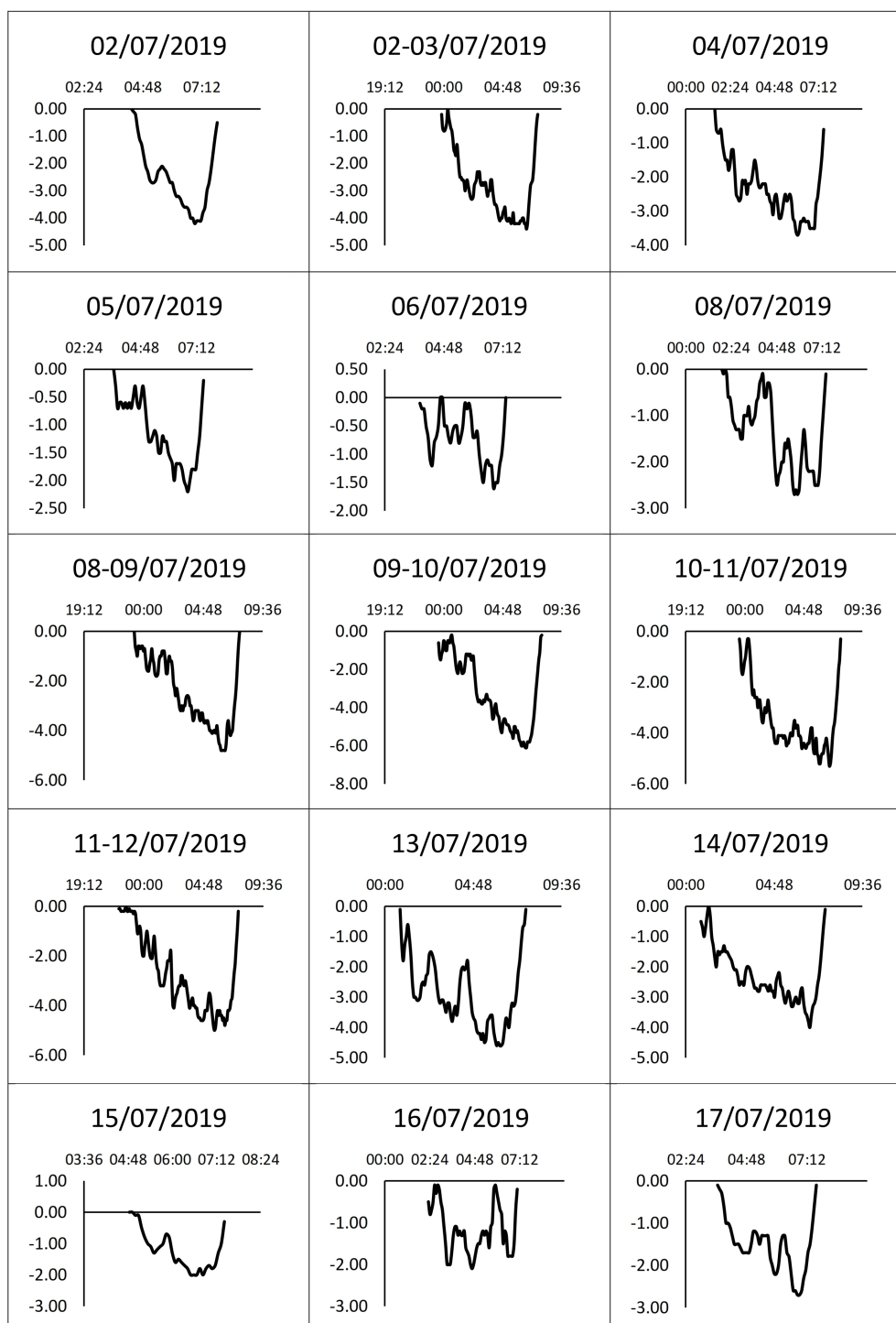
En la figura 4, se observa la morfología de algunas de las heladas meteorológicas ocurridas en los dos lugares de evaluación que han servido de muestra para el análisis de las heladas.

►Figura 4. Morfología de heladas ocurridas por debajo del umbral superior 0 °C.

a) Temperaturas Llaca.



b) Temperaturas Cíctem



CONCLUSIONES

- Estacionalmente, en las tres áreas de evaluación, la mayor frecuencia de heladas se da de junio a septiembre. Es julio el mes en que se da este fenómeno con mayor frecuencia e intensidad.
- Las primeras heladas ocurren en Llaca y el Cictem de enero a abril. Es un poco más tardía en Tayacoto, de febrero a junio. La última helada meteorológica ocurre de la segunda semana de noviembre a diciembre para Llaca y el Cictem. En Tayacoto, la última helada ocurre antes, en agosto.
- El periodo libre de heladas meteorológicas se ha duplicado para 2019, en comparación con 2018. Esto para Llaca y el Cictem, sin lograr un incremento importante en 2020. Tayacoto ha sufrido también un pequeño incremento de 47 días sin heladas en 2018 y 2019, y de cuatro días en 2020.
- Una característica importante en la evolución de la helada en Llaca y el Cictem a partir del umbral superior 0 °C es que las tasas de variación media del descenso de temperatura son lentas, $0,64 \pm 0,19$ °C/hora en Llaca y $0,86 \pm 0,13$ °C/hora en el Cictem. Se ha observado que, luego de ocurrir la temperatura más baja, el aumento de temperatura es mucho más rápido en el Cictem ($2,98 \pm 0,54$ °C/hora) que en Llaca ($0,72 \pm 0,22$ °C/hora). Esta situación puede deberse al distinto grado de exposición a la radiación solar de cada una de estas áreas para ese mes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ascaso, A. y M. Casals** (1986). *Vocabulario de términos meteorológicos y de ciencias afines*. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones.
- Campos D.** (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. Ciudad de México: Editorial Trillas.
- Carbonel, R.; Carbajal, J.; Zorogastua, P. y Passoni, F.** (2018). «Impacto de heladas meteorológicas y agronómicas en alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la región Puno». <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i2.1243>
- Ideam [Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales]** (2019). *Glosario Meteorológico*. Bogotá: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.
- Lasso L.** (1987). *Anotaciones sobre el fenómeno de las heladas*. Bogotá: Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (Himat), segunda edición.
- OMM [Organización Meteorológica Mundial]** (1992). *Vocabulario meteorológico internacional*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial, segunda edición.
- (1996). *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial, sexta edición.
- PCM [Presidencia del Consejo de Ministros]** (2019). *Programa presupuestal reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres*. Lima: Presidencia del Consejo de Ministros.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [Senamhi]** (s. f.). *Heladas y friajes*. www.senamhi.gob.pe/?p=heladas-y-friajes-preguntas
- (2010). *Atlas de heladas del Perú*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

ANEXO

Anexo 1: Análisis estadístico de la tasa de variación media de descenso y ascenso de temperatura

Llaca Muestra	Fecha	Vcp(-)	Vcp(+)	Th
1	1-2/07/2019	0,39	0,47	8,83
2	05/07/2019	1,52	0,68	3,17
outlier	06/07/2019	3,53	0,42	1,58
3	8A/07/2019	1,55	0,67	2,08
4	8B/07/2019	0,63	0,44	3,50
5	09/07/2019	0,64	0,90	4,67
6	9-10/07/2019	0,34	0,51	8,33
7	10-11/07/2019	0,24	1,74	8,83
8	13/07/2019	0,18	0,90	7,75
9	14/07/2019	0,41	0,47	6,83
10	16A/07/2019	1,00	0,30	2,17
11	16B/07/2019	0,72	0,50	2,17
12	17A/07/2019	1,04	0,38	2,25
13	17B/07/2019	0,56	0,82	3,92
14	18/07/2019	0,41	0,34	6,42
15	20/07/2019	0,52	0,38	7,17
16	21/07/2019	0,37	0,73	6,92
17	22A/07/2019	0,56	1,90	1,83
18	22B/07/2019	0,80	0,40	4,00
19	23/07/2019	0,33	1,20	6,50
MEDIA		0,64	0,72	5,12
DESV.ESTÁNDAR		0,39	0,45	2,51
ALPHA		0,05	0,05	0,05
ERROR		0,19	0,22	1,21

Cictem Muestra	Fecha	Vcp(-)	Vcp(+)	Th
1	02/07/2019	1,63	4,02	3,50
2	2-3/07/2019	0,61	4,57	7,83
3	04/07/2019	0,82	2,21	5,92
4	05/07/2019	0,69	2,99	3,83
5	06/07/2019	0,50	3,20	3,50
6	08/07/2019	0,70	1,56	5,50
7	8-9/07/2019	0,69	3,20	8,50
8	9-10/07/2019	0,78	4,44	8,42
9	10-11/07/2019	0,68	5,43	8,25
10	11-12/07/2019	0,64	2,50	9,58
11	13/07/2019	0,86	2,85	6,83
12	14/07/2019	0,59	4,70	6,75
13	15/07/2019	1,20	1,85	2,58
14	16/07/2019	0,69	0,79	4,75
15	17/07/2019	0,82	3,47	3,92
16	19/07/2019	0,61	2,65	4,58
outlier	20/07/2019A	3,33	0,96	1,67
17	20/07/2019B	1,24	2,09	4,25
18	21/07/2019	1,11	2,02	5,17
19	22/07/2019	1,07	3,10	4,00
20	23/07/2019	1,03	1,42	4,25
21	24/07/2019	1,16	3,47	3,00
MEDIA		0,86	2,98	5,47
DESV. ESTÁNDAR		0,28	1,19	2,07
ALPHA		0,05	0,05	0,05
ERROR		0,13	0,54	0,94

Sede central:

Av. Centenario 2656 - Sector Palmira, Independencia,
Huaraz, Áncash
www.gob.pe/inaigem



INAIGEM
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA