



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN ESTADÍSTICA APLICADA



#### TESIS

### MODELAMIENTO CLIMÁTICO DE LA PRODUCCIÓN DE QUINUA EN LA REGIÓN PUNO

PRESENTADA POR:

LEONEL COYLA IDME

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN ESTADÍSTICA APLICADA

PUNO - PERÚ

2021



## DEDICATORIA

A dios y a mis padres Martín<sup>†</sup> y Juana, ellos fueron la guía y el camino para llegar a este punto de mi carrera.

A mi esposa y mis hijos Lizbeth y Jonathan con sus palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba.



## AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por brindarme nuevos conocimientos en investigación.

A mis jurados y asesor de tesis Ph.D. Sabino Atencio Limache, por las orientaciones que conducen a mejorar el trabajo de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISION DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico	2
1.1.1. La Quinoa	2
1.1.2. Clasificación de la quinoa	3
1.1.3. Variedades de la quinoa	3
1.1.4. Observaciones meteorológicas	4
1.1.5. El cambio climático	4
1.1.6. Consecuencias del cambio climático	5
1.1.7. Causas del cambio climático	6
1.2. Antecedentes	8
1.2.1. Temperatura	8
1.2.2. Rendimiento de la quinoa	8

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	13
2.2. Enunciados del problema	14
2.2.1. Problema general	14
	iii



2.3. Justificación	14
2.4. Objetivos	14
2.4.1. Objetivo general.	14
2.4.2. Objetivos específicos.	15
2.5. Hipótesis	15
2.5.1. Hipótesis general	15

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Lugar de estudio	16
3.2. Población	16
3.3. Muestra	16
3.4. Método de investigación	16
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	17
3.5.1. Diseño de muestreo	17
3.5.2. Rendimiento de la quinua.	17
3.5.3. Temperatura.	18
3.5.4. Prueba estadística	18

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Análisis del comportamiento de la temperatura en los últimos 16 años en la región Puno.	28
4.2. Análisis Estadístico de la Serie de Tiempo del distrito de Yunguyo	29
4.2.1. identificación del modelo	29
4.2.2. Ajuste del modelo	39
4.2.3. Validación del modelo	42
4.2.4. Pronóstico utilizando el modelo ARIMA	43
4.3. Relación entre la temperatura y el rendimiento en la producción de quinua en el distrito de Yunguyo.	47



4.4. Análisis estadístico de la serie de Tiempo del distrito de Cabanillas	50
4.4.1. Identificación del modelo	50
4.4.2. Ajuste del Modelo	59
4.4.3. Validación del modelo	62
4.4.4. Pronóstico utilizando el modelo ARIMA	63
4.5. Relación entre la temperatura y el rendimiento en la producción de quinua en el distrito de Cabanillas.	67
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	81

Puno, 29 de diciembre del 2021

**ÁREA:** Estadística Aplicada

**TEMA:** Series de Tiempo

**LÍNEA:** Investigación Descriptiva cuasi-experimental y experimental



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Temperatura media mensual del distrito de Yunguyo (2003 - 2018)	28
2. Temperatura media mensual del distrito de Cabanillas (2003 - 2018)	29
3. Pronósticos	43
4. Temperatura (X) y rendimiento (Y) del distrito de Yunguyo	47
5. Pronósticos	63
6. Temperatura (X) y rendimiento (Y) del distrito de Cabanillas	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Temperatura media mensual del distrito de Yunguyo entre los años 2003-2018	30
2. Temperatura media mensual del distrito de Yunguyo entre los años 2003-2018	30
3. Temperatura media mensual por años del distrito de Yunguyo.	31
4. Correlograma de FAC de serie de tiempo de temperatura del distrito de Yunguyo	32
5. Correlograma de FACP de serien de tiempo de temperatura de Yunguyo	32
6. Serie de tiempo después de la primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo	34
7. Correlograma de la FAC correlación en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo.	36
8. Correlograma de rezagos de Función de autocorrelación y coincidencias con las frecuencias	37
9. Correlograma de rezagos de la Función de autocorrelación parcial y coincidencias con las frecuencias	38
10. Q-Qplot Cuartiles normales de la serie de temperatura media mensual del distrito de Yunguyo	42
11. Pronostico ARIMA de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo	44
12. Descomposición de series de tiempo del distrito de Yunguyo de los años 2003-2018	45
13. Diagrama de cajas de la temperatura media mensual de distrito de Yunguyo.	46
14. Relación entre rendimiento de la quinua y temperatura del distrito de Yunguyo 2003-2018	49
15. Temperatura media mensual del distrito de Cabanillas entre los años 2003-2018	50
16. Histograma con curva normal de temperatura media mensual del distrito de Cabanillas entre los años 2003-2018	51
17. Temperatura media mensual por años del distrito de Cabanillas	51
18. Correlograma de FAC de serie de tiempo de temperatura del distrito de Cabanillas	52
19. Correlograma de FACP de serien de tiempo de temperatura del distrito de Cabanillas	53
20. Serie de tiempo después de la primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas	54





<b>21.</b> Correlograma de FAC en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas.	56
<b>22.</b> Correlograma de la FACP en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo	56
<b>23.</b> Correlograma de rezagos de función de autocorrelación y coincidencias con las frecuencias	57
<b>24.</b> Correlograma de rezagos de la función de autocorrelación parcial y coincidencias con las frecuencias	58
<b>25.</b> Evaluación de residuos para la serie de temperatura media mensual del distrito de Cabanillas. Aplicando un ARIMA (3,1,1)	60
<b>26.</b> Comprobación del error: Media igual a cero	62
<b>27.</b> Q-Qplot Cuartiles normales de la serie de temperatura media mensual del distrito de Yunguyo	62
<b>28.</b> Pronostico ARIMA de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas	63
<b>29.</b> Descomposición de series de tiempo del distrito de Cabanillas de los años 2003-2018	64
<b>30.</b> Diagrama de cajas de la temperatura media mensual de distrito de Cabanillas.	65
<b>31.</b> Relación entre rendimiento de la quinua y temperatura del distrito de Cabanillas 2003-2018	69



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Temperatura media mensual del distrito de Yunguyo periodo 2003-2018	82
2. Temperatura media mensual de campaña agrícola de la quinua distrito de Yunguyo (2003 - 2018)	82
3. Rendimiento de la quinua según temperatura media mensual del distrito de Yunguyo	83
4. Rendimiento de la quinua según temperatura media mensual del distrito de Cabanillas	83
5. Características de las variedades mejoradas de quinua (Marca et al., 2011)	84

## RESUMEN

La investigación se desarrolló en el Instituto de Ciencias de la computación de la Universidad Nacional del Altiplano Puno; los objetivos específicos son Analizar el comportamiento de la temperatura en los últimos 16 años y determinar la relación entre la temperatura y el rendimiento en la producción de quinua en la región Puno. La investigación es no experimental, método de investigación transversal descriptivo y correlacional. La muestra fue no probabilística conformado en el periodo de tiempo de 2003 a 2018 y en los distritos de Yunguyo con la variedad Tahuaco I y Cabanillas con la variedad Kankolla. En conclusión, el modelo del comportamiento de la temperatura en la producción de la quinua en el distrito de Yunguyo es un polinomio de grado 9  $y = 1161.66 - 122.51x + 101.73x^2 + 23.39x^3 + 206.40x^4 - 182.56x^5 - 137.45x^6 - 90.68x^7 - 76.00x^8 - 158.22x^9 + e$  el comportamiento de la temperatura media mensual es variable y el modelo ARIMA de predicción es:  $\hat{Y}d_t = 0.8727Y_{t-1} - 0.0318Y_{t-2} - 0.3217Y_{t-3} - 0.9746e_{t-1} + E$ . El p-value:  $0.01716 < 0.05$ , lo que nos indica que al menos uno de los predictores introducidos en el modelo está relacionado con la variable de respuesta rendimiento de la quinua y ajusta a los datos con bastante eficiencia. El modelo de comportamiento de la temperatura en la producción de la quinua en el distrito de Cabanillas es un polinomio de grado 9.  $y = 1132.40 + 147.06x - 179.83x^2 - 60.21x^3 - 348.71x^4 - 169.56x^5 - 197.55x^6 + 24.03x^7 + 310.44x^8 - 68.03x^9 + e$ . el comportamiento de la temperatura media mensual es variable en el distrito de Cabanillas y el modelo ARIMA de predicción es:  $\hat{Y}d_t = 0.9114Y_{t-1} - 0.0729Y_{t-2} - 0.3355Y_{t-3} - 1.0000e_{t-1} + E$  el p-value:  $0.01742 < 0.05$ , lo que nos indica que al menos uno de los predictores introducidos en el modelo está relacionado con la variable de respuesta rendimiento de la quinua.

**Palabras clave:** Cambio climático, producción, quinua, rendimiento, temperatura y variación

## ABSTRACT

The research was developed at the Institute of Computer Science of the National University of the Altiplano Puno; the specific objectives are to analyze the behavior of temperature in the last 16 years and to determine the relationship between temperature and yield in the production of quinoa in the Puno region. The research is non-experimental, descriptive and correlational cross-sectional research method. The sample was non-probabilistic and was formed in the period of time from 2003 to 2018 and in the districts of Yunguyo with the variety Tahuaco I and Cabanillas with the variety Kankolla. In conclusion, the model of temperature behavior in quinoa production in Yunguyo district is a polynomial of degree 9  $y = 1161.66 - 122.51x + 101.73x^2 + 23.39x^3 + 206.40x^4 - 182.56x^5 - 137.45x^6 - 90.68x^7 - 76.00x^8 - 158.22x^9 + e$  the behavior of the monthly mean temperature is variable and the ARIMA prediction model is:  $\hat{Y}d_t = 0.8727Y_{t-1} - 0.0318Y_{t-2} - 0.3217Y_{t-3} - 0.9746e_{t-1} + E$ . The p-value:  $0.01716 < 0.05$ , which indicates that at least one of the predictors introduced in the model is related to the response variable quinoa yield. The model of temperature behavior in quinoa production in the district of Cabanillas is a polynomial of degree 9.  $y = 1132.40 + 147.06x - 179.83x^2 - 60.21x^3 - 348.71x^4 - 169.56x^5 - 197.55x^6 + 24.03x^7 + 310.44x^8 - 68.03x^9 + e$  the behavior of monthly mean temperature is variable in Cabanillas district and the ARIMA prediction model is:  $\hat{Y}d_t = 0.9114Y_{t-1} - 0.0729Y_{t-2} - 0.3355Y_{t-3} - 1.0000e_{t-1} + E$  the p-value:  $0.01742 < 0.05$ , which indicates that at least one of the predictors introduced in the model is related to the response variable quinoa yield.

**Key words:** Climate change, production, quinoa, yield, temperature and variation.

## INTRODUCCION

En la actualidad, se muestra un creciente interés por investigar el tema de la temperatura y el rendimiento de la quinua en la región Puno. El aumento de la temperatura en nuestra región originado por las emisiones a la atmosfera de gases de efecto invernadero que son generados por la actividad del hombre, están ocasionando variaciones en el clima y alterando la producción de la quinua. Es importante conocer la situación actual de la temperatura y como este afecta a la producción de la quinua en el distrito de Yunguyo. El trabajo de investigación está centrado en el área de estadística aplicada y los temas están referidos a la serie de tiempo de la temperatura media mensual y el rendimiento de la quinua. El propósito de la investigación, es analizar el comportamiento de la temperatura en los últimos 16 años y determinar la relación entre la temperatura y el rendimiento en la producción de la quinua. Método de investigación no experimental y estudio transversal y correlacional.

La presente investigación presenta lo siguientes capítulos:

En el Capítulo I se da a conocer la revisión del marco teórico, relacionado con la temperatura y el rendimiento de la quinua en la región Puno y los antecedentes previos de la investigación que son como mínimo 20 estudios. En el Capítulo II se presenta el planteamiento del problema y esta contiene la definición del problema, justificación de la investigación, objetivos y las hipótesis de investigación, relacionados con la temperatura y el rendimiento de la quinua. En Capítulo III se describe el lugar de estudio, población, muestra, los materiales y métodos de investigación. En el Capítulo IV. Se expone los resultados de la investigación, que fueron comparados con otras investigaciones, considerando la comprobación de la hipótesis.

## CAPÍTULO I

### REVISION DE LITERATURA

#### 1.1. Marco Teórico

##### 1.1.1. La Quinoa

La quinoa era considerada como un alimento sagrado: se le empleaba en usos medicinales; en las fiestas religiosas se le ofrecía al dios sol en una fuente de oro; el Inca era quien iniciaba la siembra en una ceremonia especial (Rodas, 2017).

La quinoa es originaria de Sudamérica y se cultiva principalmente en Perú, Bolivia, Ecuador, Argentina y Colombia (Vizcarra *et al.*, 2015). Además, La FAO considera a la Quinoa como cereal de alto potencial nutritivo por lo que es reconocida en la contribución de la seguridad alimentaria; debido a esto se ha visto la necesidad de estudiar su performance ambiental (Criollo & Salomea, 2018).

La quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) es una especie originaria de los andes Sudamericanos, que ha mostrado respuestas fisiológicas que son características de especies que toleran sequía y sales, por lo que constituye una alternativa de alto valor para obtención de proteínas y fibra de alta calidad en áreas donde el agua y las sales del suelo son restrictivos para que prosperen otros cultivos (Nivardo, 2017).

Se registra desde aproximadamente 2000 a 3000 años que los Quechuas en Colombia cultivaban la quinoa para diferentes platos y bebidas, cuyo uso fue común en las regiones andinas hasta 1940 (Espitia *et al.*, 2017).

La quinoa (*Chenopodium Quinoa Will*) es un alimento originario de las zonas andinas. Este alimento es considerado entre los más nutritivos del planeta, apto para el consumo de los niños, ancianos, mujeres lactantes y embarazadas, y a todos

aquellos que deseen mejorar llevar una vida saludable con una buena dieta que le brindara calidad a su alimentación (Sánchez, 2017)..

Quinuas del Altiplano, estas quinuas han evolucionado en las amplias planicies del Altiplano peruano boliviano, circundante al lago Titicaca, en zonas comprendidas mayormente entre los 19 3600 y 4000 m s.n.m. Es en esta área donde se encuentra la mayor variabilidad de la quinua, de características morfológicas, agronómicas, fisiológicas, nutritivas y de usos (Espitia *et al.*, 2017).

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Elgrano se caracteriza por tener alto valor nutritivo, por su composición y la cantidad/calidad de proteínas (Medrano & Torrico, 2016).

Antes del 2001, antes del boom de la quinua, Cabana era caracterizada por la agricultura de autoconsumo. Era una agricultura adaptada a las condiciones de la localidad con recursos sostenibles en el tiempo, sin cambiar. Durante la última década, la demanda de quinua se ha elevado al nivel internacional (Frankel, 2015).

### **1.1.2. Clasificación de la quinua**

Los agricultores de quinua para obtener cosechas optimas deben seleccionar de manera adecuada sus semillas a cultivar sin que se mezclen con otras variedades. La investigación actual se centra en la clasificación automática de tres tipos de semillas de quinua (Sacaca, Pasankalla y Salcedo) utilizando descriptores de color (Samame *et al.*, 2018).

### **1.1.3. Variedades de la quinua**

Actualmente, en la región Puno, se tiene liberada oficialmente más de 9 variedades, son: Cheweca, Camacani I, Kancolla, Tahuaco I, Blanca de Juli, Salcedo INIA, Illpa INIA, Pasankalla, Negra Collana, entre otras, con características morfológicas, biológicas, fisiológicas, agroindustriales, nutricionales y agronómicas importantes, por lo tanto, requieren tratamientos diferenciados en cuanto a su manejo y uso, (Anexo 5) (Marca *et al.*, 2011).

#### 1.1.4. Observaciones meteorológicas

Permiten la caracterización del tiempo y el clima en una ubicación específica que puede ser representativa de una región mayor en tanto ciertas características como la exposición, la condición y el tipo de equipo y su operación sean las adecuadas (Andrade, 2018).

#### 1.1.5. El cambio climático

El cambio climático puede entenderse, desde una óptica económica, como la consecuencia de una externalidad negativa global que es circunstancial al actual estilo de desarrollo y que pone en riesgo un bien público global como es el clima. Las actividades económicas, en su conjunto, causan la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera sin que esto suponga ningún costo económico para los responsables de dichas emisiones. Esto ha generado el actual fenómeno de calentamiento global y, a su vez, ha originado la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático para coordinar una acción internacional de respuesta (Bárcena *et al.*, 2017).

De acuerdo con la ONU, cambio climático es un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (Correa *et al.*, 2018).

En las últimas décadas se ha observado que los glaciares en el mundo han ido retrocediendo, esto quiere decir que cada año son menos grandes y almacenan menos agua. Se piensa, por ello, que en un futuro podrían desaparecer. ¿Por qué desaparecen los glaciares que se han mantenido por miles de años? Estudios científicos demuestran que este derretimiento de los glaciares se debe a cambios en el clima, en particular, a lo que se conoce como “calentamiento global” (Damonte *et al.*, 2017).

El impacto simultaneo de la variabilidad natural del clima y el cambio climático sobre la actividad agrícola induce un riesgo en la seguridad alimentaria (Velasco *et al.*, 2015).



Se llama cambio climático a la modificación del clima respecto al historial climático a una escala global o regional, en el cual varían todos los parámetros climáticos (temperatura, precipitaciones, nubosidad) (Lagos, S. & Vélez, C., 2010).

La historia biogeográfica de los linajes animales y vegetales está fuertemente ligada a los cambios climático ambientales (Nivardo, 2017).

Los escenarios de cambio climático se basan en las salidas de los MCG, los cuales predicen, entre otras cosas, alteraciones en la temperatura y la precipitación de superficie sobre una base de gran escala, dados los cambios en las concentraciones de los gases de invernadero, por ejemplo, una duplicación de la concentración de CO<sub>2</sub> (Magaña *et al.*, 2000).

El problema que genera la emisión de gases con efecto invernadero, el cambio climático, no puede ser abordado en las negociaciones internacionales como un problema más; ya se están sufriendo las consecuencias de la negligencia de los Estados, que se podía justificar antes de conocer científicamente las consecuencias del modelo de desarrollo industrial del capitalismo, pero que no se puede justificar, frente a las evidencias científicas presentadas por los científicos del más alto nivel designados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Julio & Miranda, 2015).

El cambio climático no solo es malo para la salud del planeta, también lo es para las personas; los efectos varían según edad, género, geografía y nivel socioeconómico (Berruezo & Jiménez, 2017).

#### **1.1.6. Consecuencias del cambio climático**

De acuerdo con el análisis que se presenta enseguida, las consecuencias del cambio climático pueden representar una amenaza para la disponibilidad de alimentos y agua y la gobernabilidad en estados institucionalmente débiles, así como aumentar la vulnerabilidad de comunidades débiles o pequeñas, e incentivar los conflictos, el terrorismo e incluso eventuales guerras (Necco, 2012).

De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, las personas en condiciones de pobreza y desigualdad son las más vulnerables ante el cambio climático. Actualmente, el 60% de la población mundial habita en las costas, por lo

que las medidas de gestión de riesgos y reducción de vulnerabilidad frente al cambio climático son fundamentales para la justicia ambiental y social. América Central y el Caribe experimentarán más tormentas y huracanes, por lo que se estima una pérdida de 1/3 parte de las playas caribeñas (Herrán, 2012).

Los efectos del calentamiento global ya han empezado a sentirse con mayor o menor intensidad en todas las regiones del mundo y se pronostica que se incrementen en frecuencia e intensidad, es necesario preparar la respuesta para recuperarnos del mejor modo posible. Esto, en materia de cambio climático, significa realizar un conjunto de acciones que conforman la llamada estrategia de adaptación (Feo *et al.*, 2009).

### 1.1.7. Causas del cambio climático

Consideramos las siguientes causas:

- Incremento de los gases efecto invernadero era industrial (últimos 200 años).
- El efecto invernadero.
- Absorción de la radiación solar que es reflejada por la superficie de la tierra.

A diferencia de las percepciones sobre las manifestaciones del cambio climático, en donde hay una confluencia entre las respuestas hacia las lluvias, granizadas y las temperaturas, al preguntar sobre sus causas podemos clasificar las respuestas en tres grandes temas:

- a) El primero asociado a cuestiones místicas, en donde Dios es el que lo envía como castigo,
- b) El segundo relacionado con el ciclo hidrológico, en donde la deforestación hace que las lluvias se “alejen” y
- c) El tercero en donde la contaminación de los suelos por los agroquímicos es la gran culpable (Soares *et al.*, 2018).

El aumento de la temperatura traería un desplazamiento hacia mayores alturas de los cinturones bioclimáticos. Cultivos muy sensibles a la temperatura ambiental tendrían que desplazarse, o al menos sus rendimientos sufrirían variaciones apreciables (Pabon, 2003).

El mejoramiento genético de las especies forrajeras y el incremento de la diversidad en cuanto a estructura y composición son las principales estrategias para la mitigación y adaptación al cambio climático (Pulido *et al.*, 2016).

Las actividades humanas intensivas que atentan contra los ciclos naturales del planeta constituyen la principal causa del origen del Cambio Climático. Alteraciones que se manifiestan de múltiples formas y que impactan negativamente la calidad de vida de millones de personas; ante esta situación, resulta prioritario realizar investigaciones orientadas a un mayor y mejor conocimiento de cómo los sujetos describen y comprenden las causas y efectos del cambio climático (Flores, 2018).

Sobre los efectos del cambio climático en la salud humana, se señalan algunos de los efectos que los fenómenos secundarios al cambio climático, tales como las temperaturas extremas, las olas de calor, los cambios en la calidad del aire o del agua tienen sobre la morbimortalidad de la población. Una de las conclusiones del estudio es que los fenómenos secundarios al cambio climático tienen efectos directos e indirectos sobre la salud humana, lo que hace que las repercusiones sean diversas y se solapen unas con otras, al tiempo que algunas serán difícilmente reversibles en años o decenios (Cuadros, 2017).

El análisis de las causas del cambio climático debe considerar, en primer lugar, los originantes del cambio climático, con especial referencia a los GEI (Gases Efecto Invernadero), responsables de una cadena de acontecimientos que van desde la emisión de los mismos, el aumento de su concentración en la atmósfera con el consiguiente forzamiento radiativo, y sus consecuencias en forma de respuesta climática manifestada en cambios así inducidos, tanto en los distintos ecosistemas naturales y gestionados, como en la propia salud del hombre. La sensibilidad climática y los retroefectos del clima pueden potenciar o reducir el efecto de determinados agentes de forzamiento radiativo. A partir de estos datos y, de acuerdo con el modelo de tratamiento de las incertidumbres, se puede efectuar una atribución de las causas del cambio climático (Fernández, 2013).

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. Temperatura

El comportamiento de la temperatura es variable e influye directamente en la producción del cultivo de quinua, obteniendo como resultado lo siguiente: en la campaña agrícola de (1997-1998) presento la máxima temperatura media de 10.29°C, tendiendo un rendimiento de 914.28kg/ha. En cambio, la campaña agrícola (1999 – 2000), presento la mínima temperatura media de 8.29°C, con un rendimiento de 910.81kg/ha. La campaña agrícola (2004 – 2005), se obtuvo el máximo rendimiento de 1202.48kg/ha, a una temperatura promedio de 9.46°C; y en cambio el menor rendimiento se produjo en la campaña agrícola (2000-2001), teniendo un rendimiento de 730.61kg/ha con una temperatura 8.58°C (Mamani, 2015).

Las temperaturas optimas son, temperatura máxima 15.2°C, temperatura mínima 5°C y precipitación de 765.5 mm. El comportamiento de los factores climáticos muestra una tendencia creciente, y el efecto hacia la producción y rendimiento son negativas, ya que a medida que se eleva la temperatura sobrepasando el umbral optimo requerido por el cultivo, la producción y rendimiento de quinua se reduce (Carrasco, 2016).

Los días de precipitación y temperatura máxima a los rendimientos de cultivo quinua y la precipitación total no muestra impactos significativos, pero si negativamente, además la precipitación total, temperaturas máximas y mínimas generan impacto negativo en el rendimiento del cultivo de la quinua con pérdidas de 21.41kg/ha, pero los días de precipitación generan impactos significativos en el cultivo de la quinua, con incremento de 10.02kg/ha (Laqui, 2017).

En la investigación “efectos del cambio climático sobre la agricultura”, realizado en Costa Rica muestran que el cambio climático está teniendo ya efectos adversos sobre la producción de algunos cultivos. La temperatura que permite lograr los mayores rendimientos en la producción de maíz, frijol y café es probable que ya haya sido rebasada por lo que los climas más cálidos tenderían a reducir la producción de estos tres cultivos (Ordaz *et al.*, 2010).

### 1.2.2. Rendimiento de la quinua

La producción del cultivo de quinua en las zonas de Huasacache y P.T. Tingo Grande tuvieron un éxito en cuanto a la calidad del grano, obteniendo también un rendimiento promedio de 4000 kg ha<sup>-1</sup> con unos costos de producción de 14 176.00 soles ha<sup>-1</sup>, obteniendo como punto de equilibrio en cuanto al precio de 3.54 soles kg<sup>-1</sup>, logrando un retorno de la inversión de 153%, 83% y 25% en los años 2014, 2015 y 2016 respectivamente(Chavez, 2018).

Se obtuvo y determinó el rendimiento de almidón de quinua a nivel de laboratorio, encontrándose que la variedad blanca tiene rendimiento de 30;64 %, seguido por la Pasankalla roja con 26,82% y la Collana negra con 18,90%. Existen diferencias significativas entre muestras y también entre especies si comparamos con los tubérculos, estos valores son considerados altos y muy rentables(Arzapalo *et al.*, 2015).

El rendimiento del cultivo de la quinua respondió a niveles de abonamiento orgánico y aplicaciones de agua en el momento de la floración y grano lechoso en la comunidad de Irpani, sin embargo, las bajas temperaturas, son eventos que inciden en un normal desarrollo del cultivo y por tanto en su productividad. El rendimiento de la quinua fue mayor en condiciones del Altiplano Central, debido a mayores dosis de abono utilizado, mayor densidad del suelo y menor incidencia de las condiciones climáticas(Miranda *et al.*, 2008).

La quinua mayor altura de planta a la cosecha y mayor peso de semilla por planta se obtuvo a menor densidad de plantas D1 (20 plantas/m.l) y D3 (30 plantas/m.l), y menor fue a mayor densidad D6 (45 plantas/m.l) (Salazar Palacios, 2018).

La concentración de saponinas en la semilla de quinua se ve influenciada por las características agroclimáticas de la zona de producción, principalmente por los cambios de temperatura, que inciden en la acumulación de bioactivos en los diferentes órganos de la planta, la disponibilidad de agua y el fotoperiodo, ya que tienen un efecto sobre la actividad metabólica de las plantas y la síntesis de estas sustancias que se da por efectos del estrés (Kayeth *et al.*, 2018).

La concentración de proteína y fibra en semillas de quinua es dependiente de las condiciones climáticas y edáficas, así como de las prácticas agronómicas, principalmente de los planes de fertilización (Garc *et al.*, 2018).

Debido a que los arbustos tienen material leñoso y contienen sustancias químicas anti-herbívoro exhiben tasas de producción más baja y en consecuencia menos capacidad de carga que las gramíneas. Debido a este proceso de cambio climático y la continua degradación de los pastizales de puna húmeda de la comunidad campesina de Phynaya, se espera que los patrones de precipitación y temperatura sufran variaciones significativas y que ocurran cambios en la productividad de sus pajonales con la consecuente disminución de la capacidad de carga y merma de la economía familiar alpaquera (Zuñiga *et al.*, 2018).

El porcentaje de daño se vio incrementado con el aumento del tiempo de exposición a alta temperatura (50 °C) en las 6 variedades de Ch. quinoa aclimatadas y no aclimatadas. Para el grupo de plantas NAC, se concluyó que a tiempos cortos de exposición a alta temperatura (50 °C) la variedad Salcedo presenta menor porcentaje de daño y la variedad Pasancalla es la más afectada y a tiempos de exposición más prolongados las variedades Negra Collana e Illpa presentan menor porcentaje de daño celular. Para el grupo de plantas AC, las variedades Pasancalla e Illpa fueron quienes presentaron menor porcentaje de daño a tiempos de exposición cortos a alta temperatura (50 °C), y las variedades Negra Collana y Ccoito fueron las más afectadas. Sin embargo, a tiempos de exposición más prolongados la variedad Negra Collana e Illpa presentaron menor porcentaje de daño celular en comparación a las demás variedades (Sanabría & Lazo, 2018).

Se encontró que en la quinua expendida en Lima Metropolitana del 100% de muestras seleccionadas 50% de ellas superan los límites en plomo comparados con los valores establecidos por la Unión Europea y MERCOSUR donde 30% de ellas son de venta ambulancia con los siguientes índices: quinua Amarilla plomo 0.33 mg/kg, quinua negra plomo 0.27mg/kg, quinua roja plomo 0.28 mg/kg y 20% de ellas son de venta envasada con los índices siguientes: quinua amarilla (envasada) plomo 0.22 mg/kg, quinua roja (envasada) plomo 0.31 mg/kg. (Ordoñez, 2017).

Las variedades de quinua con mayor altura fueron Ayacuchana (158.2 cm) e INIA – 433 (155.1 cm). Así mismo, las variedades con menor altura fueron INIA – 420 (97.6 cm) e Illpa INIA (103.8 cm) (Suarez, 2018).

En función al análisis realizado, la situación de la producción de la quinua en la seguridad alimentaria, en el futuro se puede ver seriamente comprometida si no se

destinan acciones y/o proyectos de mitigación para reducir los impactos ambientales negativos en la provincia Ladislao Cabrera (Nina, 2014).

La amplia diversidad genética de la quinua y su rusticidad han permitido que esta planta exprese diferentes comportamientos morfológicos, fenológicos y fisiológicos, dependientes de las condiciones de clima y suelo, aspectos que deben ser tenidos en cuenta en los procesos de investigación para evitar el avance de la erosión genética. Esto, en la medida que *Chenopodium quinoa Willd* juega papeles de gran importancia en la seguridad y soberanía alimentaria para diferentes territorios suramericanos (Ángel *et al.*, 2018).

La variación en el contenido hídrico en la planta (PHF) podría estar relacionada a la alta temperatura y alta radiación fotosintéticamente activa durante el periodo de aplicación de estrés hídrico en los ensayos al aire libre (Bustamante & Chill, 2018).

Según investigaciones científicas el origen de la quinua se sitúa en las inmediaciones del lago Titicaca y desde allí el cultivo se expandió a todos los países andinos. Durante 7 000 años, los pueblos indígenas han mantenido, controlado, protegido y preservado las diversas variedades la quinua en diferentes zonas ecológicas en bancos de germoplasma naturales. Debido a su alto valor nutritivo para la alimentación, los pueblos indígenas y los investigadores lo denominan “el grano de oro de los Andes” (Apaza *et al.*, 2013).

El 58% de la población afirma haber realizado cambios en su comportamiento habitual para hacer frente y/o adaptarse a los efectos del Cambio climático; sin embargo, del total de individuos que dieron dicha afirmación, solo el 57.0% logra identificar los cambios realizados, siendo los más identificados: la protección de la piel y los ojos (13%.0), el uso racional de la energía eléctrica (12.0%), el uso racional del agua (10%) y el adecuado manejo de los residuos sólidos (9.0%) (Rivera, 2018).

Los días de precipitación y temperatura máxima a los rendimientos de cultivo quinua y la precipitación total no muestra impactos significativos, pero si negativamente, además la precipitación total, temperaturas máximas y mínimas generan impacto negativo en el rendimiento del cultivo de la quinua con pérdidas de 21.41kg/ha, pero los días de precipitación generan impactos significativos en el cultivo de la quinua, con incremento de 10.02kg/ha (Laqui, 2017).



El comportamiento de la temperatura es variable e influye directamente en la producción del cultivo de quinua, obteniendo como resultado lo siguiente: en la campaña agrícola de (1997-1998) presento la máxima temperatura media de  $10.29^{\circ}\text{C}$ , tendiendo un rendimiento de  $914.28\text{kg/ha}$ . En cambio la campaña agrícola (1999 – 2000), presento la mínima temperatura media de  $8.29^{\circ}\text{C}$ , con un rendimiento de  $910.81\text{kg/ha}$ . La campaña agrícola (2004 – 2005), se obtuvo el máximo rendimiento de  $1202.48\text{kg/ha}$ , a una temperatura promedio de  $9.46^{\circ}\text{C}$ ; y en cambio el menor rendimiento se produjo en la campaña agrícola (2000-2001), teniendo un rendimiento de  $730.61\text{kg/ha}$  con una temperatura  $8.58^{\circ}\text{C}$  (Mamani, 2015).



## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

La quinua es un grano andino que se caracteriza por su alto valor nutritivo ya que proporciona proteínas, minerales, calcio, hierro y fósforo en porcentajes elevados; es considerada como un alimento vegetal nutricionalmente completo.

En la actualidad los granos de quinua, se está transformando principalmente en quinua pelada y este sirve de materia prima que se usa para convertir en hojuelas, harinas, y expandidos, finalmente en el consumo humano. La producción de quinua está limitada principalmente por falta de variedades que tengan alto rendimiento con granos grandes, que posean madurez uniforme y sean precoces bajo las condiciones climáticas del altiplano. La producción de la quinua de pequeña escala está siendo cada vez más afectada por los acontecimientos climáticos extremos, principalmente en las zonas altoandinas. En los últimos años nuestra región está siendo afectada por los impactos del cambio climático, como consecuencia tenemos el incremento de las temperaturas del lago Titicaca y de los ríos de nuestra región esto hace que afecte a la estructura térmica y la calidad del agua. Como riesgo a corto plazo tenemos la reducción de la duración de la estación de crecimiento, con el efecto perjudicial en la agricultura. En varios distritos de la Región de Puno, se cultiva la quinua, sin embargo, la variación de la temperatura hace que la producción y rendimiento de esta no sea lo adecuado, provocando estos retrasos en la agricultura y reduciendo sus ingresos económicos en las familias.

## **2.2. Enunciados del problema**

### **2.2.1. Problema general**

¿Es posible determinar el modelamiento climático de la producción de quinua en la región Puno?

## **2.3. Justificación**

Las comunidades que se encuentran ubicadas en los diferentes distritos de región de Puno, cultivan la quinua por ser un alimento saludable para el cuerpo humano, además brinda energía y cuida la piel, pero en la actualidad se encuentran en peligro por la baja producción de la quinua, esto afecta el consumo alimentario y la mejor calidad de vida a los pobladores de esta zona. Por lo tanto, con esta investigación se pretende conocer el factor que viene provocando la baja producción de la quinua en nuestra región.

Como institución la Universidad Nacional del Altiplano, y como egresado del doctorado en Estadística Aplicada, se aplicará las técnicas estadísticas aplicadas, aprendidas en los efectos climáticos en la producción de la quinua, de tal forma tomar decisiones y combatir el cambio climático.

Además, en otras universidades que se ubican en otros países la estadística se aplica con mayor frecuencia, producto de ello es que tienen diversos artículos científicos y realizan tomas de decisiones de acuerdo a sus necesidades, y con ello los pobladores pueden prevenir el cultivo de la quinua y mejorar la producción de esta.

Promover la soberanía alimentaria garantizando los ingresos económicos dignos de los pueblos y controlar su alimentación natural y nutrición.

## **2.4. Objetivos**

### **2.4.1. Objetivo general.**

Determinar el modelamiento climático según el comportamiento de la temperatura en la producción de la quinua en la región Puno.



#### **2.4.2. Objetivos específicos.**

- Analizar el comportamiento de la temperatura en los últimos 16 años en la región Puno.
- Determinar la relación entre la temperatura y el rendimiento en la producción de quinua en la región Puno.

#### **2.5. Hipótesis**

##### **2.5.1. Hipótesis general**

El modelamiento climático según el comportamiento de la temperatura influye en la producción de la quinua en la región Puno.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

Se desarrollo en el Instituto de Investigación de Ciencias de la Computación de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno (Av. Sesquicentenario N° 1145), y se encuentra a una latitud: 15° 49’ 29.25” S, longitud: 70° 0’ 56.11” O y una altura sobre el nivel del mar den 3825 m.

#### 3.2. Población

Estuvo constituido por las todas las provincias de la región Puno quienes tienen la producción de quinua según la dirección regional agraria de Puno.

#### 3.3. Muestra

Se ha seleccionado el distrito de Yunguyo y el distrito de Cabanillas que tienen producción de quinua en la región de Puno, además se consideró por estar cerca de la estación meteorológica de SENAMHI. Para ello se utilizó la técnica del muestreo no probabilístico (Mantilla, 2015).

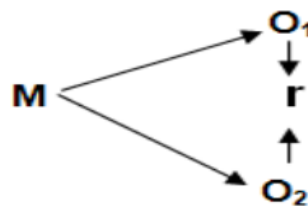
#### 3.4. Método de investigación

Se considero el método de investigación no experimental y tipo transversal, porque describe el rendimiento de la quinua frente a la temperatura. Además, se dice correlacional porque se determinó la relación entre la variable temperatura y rendimiento de la quinua en los distritos de Yunguyo y Cabanillas.

### 3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

#### 3.5.1. Diseño de muestreo

Se utilizó la muestra por conveniencia, el cual es una técnica básica del muestreo. Es decir, los elementos a usar en la investigación se encuentran disponibles y pertenecen a una población de interés. Además, es el mejor y el más fácil de los muestreos no probabilísticos. Es un estudio descriptivo correlacional porque tiene la finalidad de encontrar el grado de relación entre las dos variables de estudio, que significa analizar si un incremento o disminución en una variable coincide con un incremento o disminución en la otra variable, y tiene el siguiente esquema.



Donde:

M = Muestra

O<sub>1</sub> = Observación de la variable rendimiento de la quinua.

O<sub>2</sub> = Observación de la variable temperatura.

r = Correlación entre dichas variables.

#### 3.5.2. Rendimiento de la quinua.

El rendimiento de la quinua de los distritos de Yunguyo y Cabanillas se ha obtenido de la dirección regional agraria de Puno que corresponde a las campañas agrícolas de 2002-2003 a 2017-2018 expresados en Kg/Há.

### 3.5.3. Temperatura.

Los datos de temperatura se han obtenido del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) sede Puno que corresponde a los años de 2003 a 2018.

### 3.5.4. Prueba estadística

#### 3.5.4.1. Series de tiempo

Es una secuencia de observaciones de una variable tomada en el tiempo. Ejemplo la tasa de inflación, tipo de cambio nominal, temperatura, etc. Los valores de la serie crecen a lo largo del tiempo alrededor de una recta (Véliz, 2011). El propósito de una serie de tiempo es obtener pronósticos de los valores futuros de la serie de la temperatura promedio en nuestro caso como estudio.

Para realizar un análisis de series de tiempo se debe:

- Identificar los componentes de la serie de tiempo.
- Aplicar las técnicas estadísticas
- Realizar una proyección de eventos futuros.

Componentes de una serie temporal. El análisis de series de tiempo se basa en la suposición de que los valores de la variable es la consecuencia de tres componentes(Villavicencio, 2010).

**Tendencia.** - Se realiza a largo plazo que se produce en la relación al nivel medio o el cambio a largo plazo de la media.

Estacional. – Ocurre la variación de cierto periodo y puede ser semestral, mensual, etc. Esta variación corresponde a los movimientos de serie que suceden cada año en los mismos meses más o menos con la misma intensidad.

**Aleatoria.** – Es el resultado de factores fortuitos

- **Manejo de Series de Tiempo con R.**

Una serie de tiempo es una sucesión de variables aleatorias ordenadas de acuerdo a una unidad de tiempo,  $Y_1, Y_2, \dots, Y_T$ . En nuestro caso se considera la variable temperatura medido en °C obtenidos como el promedio mensual.

- **Modelo Aditivo de Componentes de Series de Tiempo**

Considerando la serie  $Y_t$ ,  $t = 1, \dots, T$ , el Modelo Aditivo de Componentes consiste en asumir que  $Y_t$  se puede descomponer en tres componentes: (Giraldo, 2006).

$$Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t$$

Donde:

$T_t$  = Tendencia

$S_t$  = Componente estacional

$\varepsilon_t$  = Componente errores

### 3.5.4.2. Modelos ARIMA

Los modelos lineales para series de tiempo consiste en los modelos autoregresivos de medias móviles (ARMA) que incluyen los modelos autoregresivos (AR) y los de medias móviles (MV)(Reyes, 2016).

#### Características del Modelo ARIMA

- Los datos deben ser estacionarios, esto significa que las propiedades de la serie no dependen del momento en que se capturan. Una serie de ruido blanco y series con comportamiento cíclico también pueden considerarse series estacionarias.
- Los datos deben ser univariantes, ARIMA trabaja en una sola variable. La regresión automática tiene que ver con la regresión de los valores pasados(Campos, 2018).

#### Modelo ARMA

El modelo ARMA es un proceso estacionario donde las variables independientes siguen una tendencia estocástica y el error es estacionario,(Alberto, 2009) este modelo se divide en dos partes:

- Autoregresivo. - La variable dependiente se regresa en sí misma en un periodo de tiempo t.
- Media móvil. - Los retrocesos son representados por procesos aleatorios.

### Modelo AR

El modelo autorregresivo es un proceso estacionario que presenta dependencia lineal entre sus variables y se utiliza cuando el valor actual de la serie depende de los valores pasados (Villavicencio, 2010).

Se tiene el modelo autoregresivo AR(1):

En los procesos AR(1) la variable  $X_t$  está determinado únicamente por el valor pasado, esto es  $X_{t-1}$ .

$$X_t = \phi X_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde:

$\varepsilon_t$  es un proceso de ruido blanco con media 0 y una varianza  $\sigma^2$ ,  $\phi$  es el parámetro. El proceso no es anticipante, es decir, el futuro no incluye en el pasado.

**Modelo AR(1)** es estacionario para cualquier valor del parámetro, es necesario probar las siguientes condiciones:

a) Estacionario con media

$$E(X_t) = E(X_t = \phi X_{t-1} + \varepsilon_t) = \phi E(\phi X_{t-1})$$

Para que el proceso sea estacionario, la media debe ser constante y finita en el tiempo, esto implica que.

$$E(X_t) = \phi E(X_t)$$

$$(1 - \phi)E(X_t) = 0$$

$$E(X_t) = \frac{0}{(1 - \phi)} = 0$$



Por lo tanto, para que el proceso sea estacionario el parámetro  $\phi = 0$

b) Estacionario en varianza

Para que un proceso AR(1) sea estacionario, la varianza tiene que ser constante y finita en el tiempo:

$$\gamma_0 = E(X_{t-1} - E(X_t))^2 = E(\phi X_{t-1} + \varepsilon_t - 0)^2 = \phi^2 V(X_{t-1}) + \sigma^2$$

Dada la autocorrelación del proceso:

$$E(X_t \varepsilon_t) = E(X_{t-1} - 0)(\varepsilon_t - 0) = \text{cov}(X_{t-1}, \varepsilon_t) = 0$$

Bajo el supuesto de que el proceso

$$E(X_{t-1})^2 = V(X_{t-1}) = V(X_t) = \gamma_0$$

Por lo tanto  $\gamma_0 = \phi \gamma_0 + \sigma^2$ , entonces  $\gamma_0 = \frac{\sigma^2}{1-\phi^2}$

Para que un proceso sea estacionario, varianza constante y finita, es necesario que  $|\phi| < 1$

La función de autocovarianza es:

$$\gamma_k = E(X_t - E(X_t))(X_{t-k} - E(X_{t-k})) = E[(\phi X_{t-1} + \varepsilon_t)X_{t-k}]$$

$$\gamma_k = \phi E(X_t X_{t-k}) + E(\varepsilon_t X_{t-k}) = \phi \gamma_{k-1}$$

### Modelo AR(2)

En los Procesos AR(2) la variable  $X_t$  está determinado por el valor pasado y el anterior a este.

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \varepsilon_t$$

Donde  $\varepsilon_t$  es un ruido blanco

Asumiendo estacionariedad las características del proceso son:

a) Media

$$E[(1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2)X_t] = E[\varepsilon_t]$$

$$(1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2)E[X_t] = 0$$

$$E[X_t] = \frac{0}{1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2}$$

$$E[X_t] = 0$$

b) Función de autocovarianza

$$\gamma_0 = \frac{\sigma^2 + 2\phi_1\phi_2\gamma_1}{1 - \phi_1^2 - \phi_2^2}$$

$$\gamma_1 = \frac{\phi_1\gamma_0}{1 - \phi_2}$$

$$\gamma_k = \phi_1\gamma_{k-1} + \phi_2\gamma_{k-2}$$

La función de autocovarianza de un modelo Ar(2) es:

$$\gamma_k = \begin{cases} \gamma_0, & k = 0 \\ \gamma_1, & k = 1 \\ \gamma_k = \phi_1\gamma_{k-1} + \phi_2\gamma_{k-2}, & k > 1 \end{cases}$$

c) Coeficiente de autocorrelación

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{\phi_1\gamma_{k-1} + \phi_2\gamma_{k-2}}{\gamma_0} = \phi_1\rho_{k-1} + \phi_2\rho_{k-2} \text{ para } k = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Los coeficientes de autocorrelación son:

$$\rho_k = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ \phi_1 \gamma_{k-1} + \phi_2 \gamma_{k-2}, & k > 0 \end{cases}$$

### Modelo de Media Móvil.

Se considera así, a una autoregresión donde los regresores son considerados los términos de error de cada periodo  $t$  y el modelo de media móvil es siempre estacionario (Rodó, 2020).

Iniciamos del modelo autoregresivo AR(p) donde los regresores son el término de error.

$$X_t = \alpha + \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

↓

$$X_t = \alpha + \phi_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \phi_p \varepsilon_{t-p}$$

En el modelo autoregresivo el error sigue un proceso estocástico.

$\varepsilon_t \sim i. id. (0, \sigma^2)$  = Independientes e idénticamente distribuidos

Definiendo la igualdad tenemos:

$$E^q \cdot \varepsilon_t = \varepsilon_{t-q} \quad \forall t > q > 0$$

Reemplazando la igualdad anterior en AR(p) del término error tenemos:

$$X_t = \alpha + \phi_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \phi_p \varepsilon_{t-p}$$

↓

$$X_t = \alpha + \phi_1 E^1 \varepsilon_1 + \dots + \phi_p E^q \varepsilon_t$$

Tenemos el nuevo polinomio  $q$  depende de  $E$ :

$$\delta(E) = 1 + \phi_1 E^1 + \dots + \phi_t E^t$$

Aplicando el factor común tenemos:

$$X_t = \alpha + \delta(E)\varepsilon_t$$

Finalmente tenemos:

$$X_t = \alpha + \delta(E)\varepsilon_t$$

### 3.5.4.3. Autocorrelación

En una serie de tiempo ocurre que los valores que toma una variable en el tiempo no son independientes entre sí, porque el valor determinado depende de los valores anteriores. Se mide de dos formas: (Villavicencio, 2010).

#### **Función de Autocorrelación**

Mide la correlación entre dos variables separadas por k periodos.

$$\rho_j = \text{corr}(X_j, X_{j-k}) = \frac{\text{cov}(X_j, X_{j-k})}{\sqrt{V(X_j)}\sqrt{V(X_{j-k})}}$$

Propiedades:

- $\rho_0 = 1$
- $-1 \leq \rho_j \leq 1$
- *Simetría*  $\rho_j = \rho_{-j}$

#### **Función de autocorrelación parcial**

Mide la correlación entre dos variables separados por k periodos.

$$\pi_j = \text{corr}(X_j, X_{j-k}/X_{j-1}X_{j-2} \dots X_{j-k+1})$$

$$\pi_j = \frac{\text{cov}(X_j - \hat{X}_j, X_{j-k} - \hat{X}_{j-k})}{\sqrt{V(X_j - \hat{X}_j)}\sqrt{V(X_{j-k} - \hat{X}_{j-k})}}$$

## Transformación de una serie de tiempo

La transformación se usa para estabilizar una serie de tiempo antes de estimar modelos y es necesario para modelos ARIMA. Cuando se observa una serie no estacionaria. La serie presenta una tendencia lineal y una estacional muy marcada. Además, las fluctuaciones aumentan con el tiempo por lo que la variabilidad tampoco es constante. Por lo tanto, antes de ajustar un modelo estacionario tenemos que transformar la serie original (Berrendero, 2017).

- Estabilización de la varianza. - Para estabilizar la variabilidad se toman logaritmos.
- Eliminación de tendencia. - Para eliminar una tendencia aproximadamente lineal es diferenciar la serie, es decir, considerar la serie de diferencia entre una observación y la anterior en lugar de una serie original.  $\nabla x_t = x_t - x_{t-1}$
- Eliminación de estacionalidad. - para eliminar la estacionalidad de una serie mensual se puede tomar diferencias estacionales de orden 12. Si  $x_t$  es la serie que queremos desestacionalizar, calculando.  $\nabla_{12} x_t = x_t - x_{t-12}$

## Prueba de Ljung – Box

Se utiliza para probar si una serie de observaciones en un periodo de tiempo son aleatorias e independientes (Villavicencio, 2010).

Ho: Las autocorrelaciones son independientes.

Ha: Las autocorrelaciones no son independientes

$$LB = n(n + 2) \sum_{k=1}^m \left( \frac{\hat{\rho}_k^2}{n - k} \right) \sim \chi^2_{(m)}$$

Donde n es el tamaño de muestra y m es la longitud de rezago.

### **Ruido Blanco**

Un proceso  $\varepsilon_t$  se denomina ruido blanco de media igual a cero Varianza constante y No estar serialmente correlacionada(Monsalve & Harmath, 2015).

La prueba está basada en un contraste de hipótesis.

$H_0$  : Ruido blanco  $> 0.05$

$H_1$  : No hay Ruido Blanco  $< 0.05$

### **Prueba de Raíz Unitaria de Dickey - Fuller**

Para llevar a cabo un análisis adecuado de series de tiempo es vital determinar si los datos siguen un proceso estacionario o no estacionario. El método para verificar si un conjunto de datos proviene de un proceso estacionario, se llama la prueba Dickey-Fuller o prueba de DF en abreviatura(Quintana & Mendoza, 2016).

La prueba está basada en un contraste de hipótesis.

$H_0$  : La serie no estacionaria (raíz unitaria)  $> 0.05$

$H_1$  : La serie es estacionaria  $< 0.05$

#### 3.5.4.4. Modelos No Lineales y Transformaciones

Al construir modelos de regresión se tiene el objetivo de conseguir un modelo con R2 que aproxime al 100% teniendo en cuenta que no existen datos atípicos.

Cuando no se debe incluir variables predictoras al modelo se tiene dos casos:

- Regresión polinómica
- Transformación de variables.

##### Regresión Polinómica

La forma más sencilla de incorporar flexibilidad a un modelo lineal es introduciendo nuevos predictores obtenidos al elevar a distintas potencias el predictor original (Amat, 2017).

Partiendo del modelo lineal

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon$$

Se obtiene un modelo polinómico de grado  $d$  a partir de la ecuación

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \dots + \beta_d x_i^d + \varepsilon_i$$

Los modelos polinómicos se pueden ajustar mediante regresión lineal por mínimos cuadrados ya que, aunque generan modelos no lineales, su ecuación no deja de ser una ecuación lineal con predictores  $x, x^2, x^3, \dots, x^d$ .

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis del comportamiento de la temperatura en los últimos 16 años en la región Puno.

El comportamiento de la temperatura frente al cambio climático en la región Puno ha generado alertas importantes. Por lo tanto, es necesario estudiar en nuestra región y específicamente la temperatura de los distritos de Yunguyo y Cabanillas y así determinar si existen cambios en el rendimiento de la quinua. Para cumplir con nuestros objetivos se realizó la recolección de información de SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) de la oficina descentralizada de Puno. De las series históricas de la temperatura media mensual de los distritos de Yunguyo y Cabanillas. Los datos se muestran durante los años 2003-2018

Tabla 1  
Temperatura media mensual del distrito de Yunguyo (2003 - 2018)

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOT	SET	OCT	NOV	DIC
2003	10.0	10.1	9.5	8.9	7.6	6.1	5.9	6.5	7.2	9.4	13.9	10.9
2004	9.1	9.2	9.7	8.9	6.1	5.1	5.1	6.4	8.1	9.3	10.5	10.6
2005	10.0	9.6	9.8	9.1	7.0	5.1	5.9	6.3	7.3	8.7	9.4	10.2
2006	8.6	9.0	9.4	8.6	6.3	5.6	5.2	6.8	7.8	9.0	9.6	10.2
2007	9.9	9.9	9.2	9.2	7.4	6.9	5.3	6.8	7.8	9.2	8.8	9.3
2008	8.8	9.0	6.3	8.2	5.8	5.2	5.2	6.3	7.5	8.7	10.0	9.0
2009	9.1	9.1	8.8	8.1	6.6	4.1	5.6	5.5	7.9	9.1	9.7	9.5
2010	8.9	9.3	9.2	8.4	8.1	5.9	4.6	5.9	7.1	8.1	8.6	8.8
2011	8.3	7.6	7.8	7.5	6.1	5.1	3.9	5.3	6.6	7.3	9.3	8.0
2012	7.4	7.2	8.7	8.5	6.9	5.8	6.1	6.8	8.5	9.9	10.1	9.4
2013	8.8	9.2	9.5	8.3	8.2	8.3	6.4	6.9	8.0	8.8	10.2	9.5
2014	9.0	9.3	9.3	8.8	7.1	6.5	5.9	6.9	7.1	8.8	10.0	10.2
2015	8.6	8.9	9.3	8.4	7.0	7.3	6.3	7.8	8.4	9.5	10.7	10.3
2016	10.9	10.6	11.0	9.5	7.5	6.3	6.8	3.8	8.9	9.4	10.0	10.6
2017	9.6	10.3	9.5	9.0	7.9	6.6	6.6	7.4	8.3	9.3	10.8	9.9
2018	9.2	9.4	9.5	9.0	7.4	6.2	6.4	6.8	8.2	9.3	10.7	10.0



*Fuente:* Datos obtenidos de SENAMHI Puno

Tabla 2

*Temperatura media mensual del distrito de Cabanillas (2003 - 2018)*

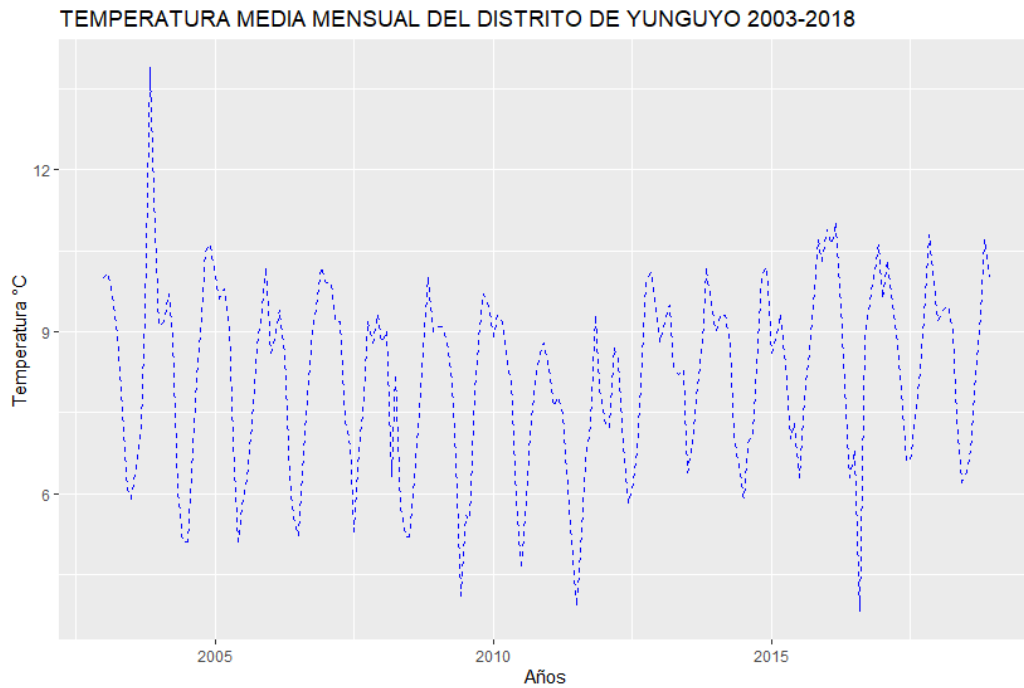
AÑOS	ENER	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2003	10.9	11.0	10.2	9.8	8.9	6.5	7.2	7.8	8.9	10.6	11.5	11.9
2004	10.4	10.7	11.2	10.4	8.8	7.0	6.9	7.6	9.8	11.5	12.2	12.2
2005	11.6	10.4	11.1	10.7	8.8	7.0	8.0	7.9	9.6	10.5	10.3	10.8
2006	9.6	10.7	10.5	9.3	7.4	6.9	5.6	8.5	9.7	10.8	11.3	11.3
2007	10.0	10.7	9.9	9.7	9.5	8.3	7.3	9.8	9.0	10.7	10.7	10.6
2008	9.8	10.1	9.5	9.8	7.8	7.6	6.8	8.2	9.5	10.7	11.6	10.5
2009	10.3	10.1	9.9	9.2	8.9	7.3	5.1	8.0	10.3	11.3	11.8	11.9
2010	11.7	11.7	11.4	11.0	9.2	8.9	8.2	8.9	10.2	11.3	12.0	11.4
2011	11.3	10.1	9.9	9.9	8.4	8.1	7.2	8.7	9.7	11.0	11.9	10.8
2012	10.5	10.0	9.7	9.9	8.1	6.8	7.0	7.9	9.7	11.8	12.3	11.1
2013	10.3	10.9	11.1	9.7	9.5	7.1	7.5	8.3	10.1	11.2	12.0	10.9
2014	10.3	10.7	10.7	10.1	9.5	9.1	7.6	7.5	9.7	10.1	11.3	11.8
2015	10.0	10.4	10.3	9.0	8.8	7.8	6.8	8.5	10.6	10.9	12.5	11.9
2016	12.5	11.7	11.8	10.5	9.4	8.6	8.2	9.2	9.9	11.2	11.8	12.2
2017	10.6	11.1	10.0	9.8	9.8	8.3	7.9	9.6	9.6	10.7	11.5	10.7
2018	9.9	9.7	11.0	9.6	9.1	7.6	7.5	8.1	9.1	11.1	12.5	11.0

*Fuente:* Datos obtenidos de SENAMHI Puno

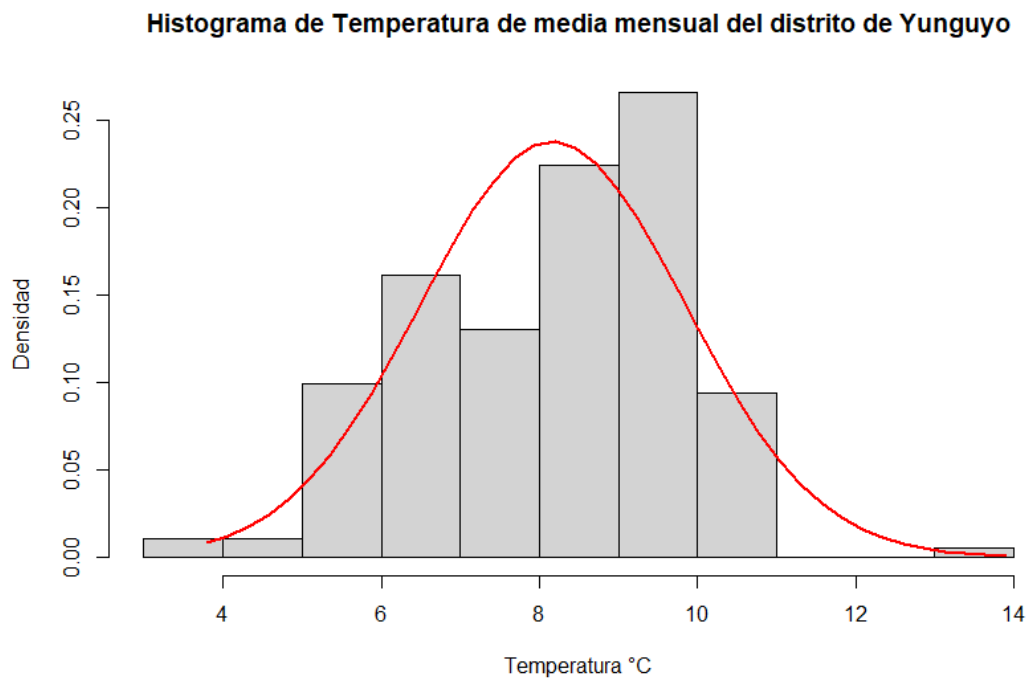
## 4.2. Análisis Estadístico de la Serie de Tiempo del distrito de Yunguyo

### 4.2.1. Identificación del modelo

En la Figura 1, se observa el comportamiento de la serie de temperatura media mensual del distrito de Yunguyo 2003 – 2018 y fue obtenido mediante el software R. La serie de tiempo parece variar alrededor de un nivel fijo. Además, la serie presenta picos altos y picos bajos lo que indica que parecen no estar espaciados uniformemente o no sería una serie estacionaria.



*Figura 1.* Temperatura media mensual del distrito de Yunguyo entre los años 2003-2018  
Fuente: SENAMHI Puno



*Figura 2.* Temperatura media mensual del distrito de Yunguyo entre los años 2003-2018  
Fuente: SENAMHI Puno

En la Figura 2 se observa un histograma con la curva normal donde los valores individuales de la serie de tiempo de temperatura giran en torno a su media, esto significa que la serie es estacionaria en media. Además, tiene una deformación horizontal asimétrica de  $-0.2717562$ .

**TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL DISTRITO DE YUNGUYO 2003-2018**

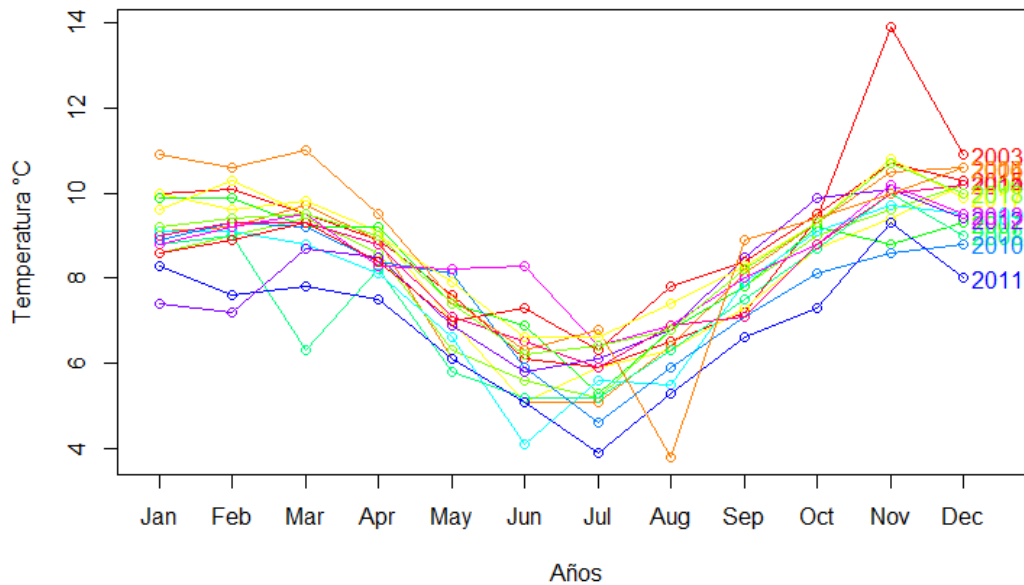


Figura 3. Temperatura media mensual por años del distrito de Yunguyo.  
Fuente: SENAMHI Puno

En la Figura 3 se muestra la descomposición de las series de tiempo de la temperatura media mensual de la estación Tahuaco – Yunguyo ubicado a una Lat.: 16° 18' 28.2" S Long.: 69° 4' 29" W alt.:3888 m s.n.m. Tipo convencional - Meteorológica del distrito de Yunguyo durante los años 2003-2018, donde se observa que la temperatura media mensual es variable, el periodo de las temperaturas medias mensuales mínimas bajas, ocurre en junio y julio, registrándose en junio del año 2009 4.1°C con desviación estándar de  $\pm 1.01$  °C y en julio de año 2011 3.9°C, con desviación estándar de  $\pm 0.78$  °C , el pico más bajo o valor atípico ocurre en agosto del año 2016 con 3.8°C con desviación estándar de  $\pm 0.94$  °C, las temperaturas medias mensuales máximas altas, ocurre en los meses de noviembre con 10.1°C  $\pm 1.19$ °C y diciembre con 9.8°C  $\pm 0.76$ °C, el pico más alto o atípico fue en noviembre de al año 2003 con 13.9°C. La tendencia de serie tiempo de temperatura media mensual se considera a su comportamiento o movimiento a largo plazo, en la figura 3 se muestra la descomposición por años y observamos que a partir de los meses abril con 8.7°C  $\pm 0.50$ °C y mayo con 7.1°C  $\pm 0.73$ °C la temperatura decrece hasta los meses junio con 6.0°C  $\pm 1.01$ °C y julio con 5.7°C  $\pm 0.78$ °C, luego la temperatura muestra una tendencia creciente hasta octubre con una temperatura media de 9.0°C  $\pm 0.61$ °C, noviembre con 10.1°C  $\pm 1.19$ °C y diciembre con 9.8°C  $\pm 0.76$ °C

## Análisis de la Autocorrelación

### FAC de Temperatura Media mensual del distrito de Yunguyo

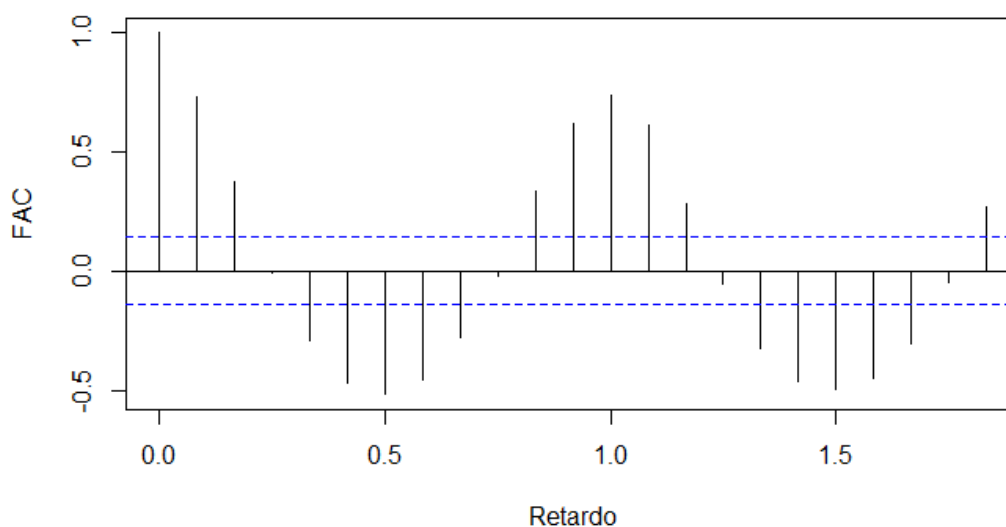


Figura 4. Correlograma de FAC de serie de tiempo de temperatura del distrito de Yunguyo  
Fuente: SENAMHI Puno

### FACP de Temperatura Media mensual del distrito de Yunguyo

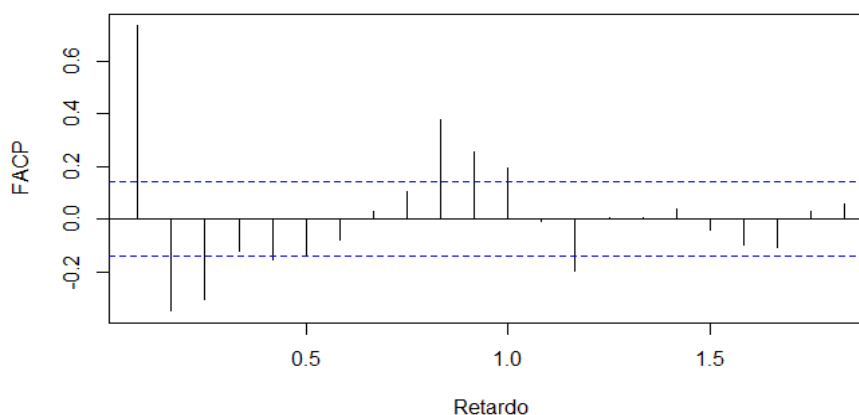


Figura 5. Correlograma de FACP de serie de tiempo de temperatura de Yunguyo  
Fuente: SENAMHI Puno

Observando la figura 4 se determina que las líneas discontinuas representan las bandas de confianza al 95% por defecto. Entonces La primera barra es muy significativa y la segunda barra también es significativo, la tercera barra también es significativo, pero en otro sentido al ser negativa, estas barras superan los límites de pruebas de hipótesis o que terminan fuera de la banda discontinua de confianza. Por lo tanto, existe autocorrelación en el periodo señalado cuando el error o perturbación

está relacionado consigo mismo. Analizando la serie de tiempo se determina que es una serie estacionaria porque hace efecto a estaciones.

Además, observando las Figura 4 y Figura 5 se puede pensar que es un modelo AR(1) o MA(1) porque existen retardos en ambos correlogramas que están fuera del intervalo de confianza.

Para saber si la serie de tiempo de temperatura media mensual es estacionario, confirmaremos lo dicho anteriormente con la prueba de Dickey – Fuller y ejecutado en R.

### **Prueba de Dickey - Fuller**

H0: La serie es no estacionaria: Tiene raíz unitaria

H1: La serie es estacionaria: No tiene raíz unitaria

```
> #Prueba de Dickey-Fuller  
> adf.test(Tempyts)
```

Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: Tempyts  
Dickey-Fuller = -8.2167, Lag order = 5, p-value = 0.01  
alternative hypothesis: stationary
```

Al realizar la prueba aumentada de Dickey-Fuller (ADF), obtenemos un p-valor = 0.01. Como el p-valor=0.01 < 0.05, rechazamos Ho. Entonces podemos concluir que nuestra serie de tiempo de temperatura media mensual del distrito de Yunguyo es **estacionaria**.

### **PRIMERA DIFERENCIA DE LA SERIE**

En la figura 6 se observa que la media es cero y los datos están alrededor del cero. Por lo tanto, ahora se confirma la serie de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo es estacionaria.

### PRIMERAS DIFERENCIAS

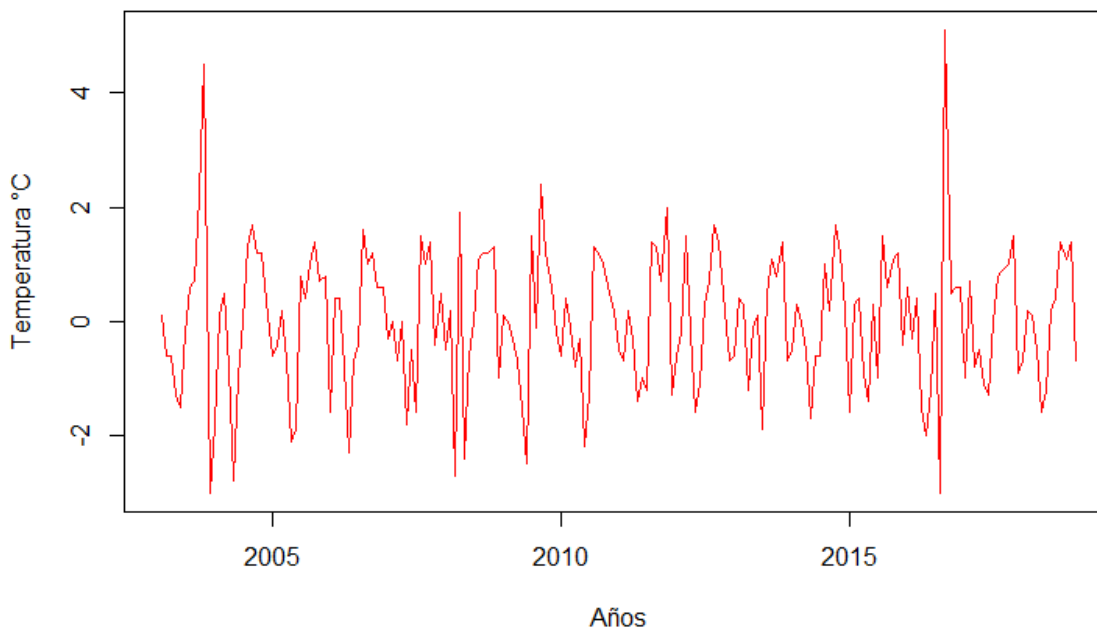


Figura 6. Serie de tiempo después de la primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo  
Fuente: SENAMHI Puno

Para confirmar la estacionariedad en una primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo aplicamos nuevamente la prueba de Dickey – Fuller

```
> adf.test(seriedif,alternative ="stationary")
```

Augmented Dickey-Fuller Test

data: seriedif

Dickey-Fuller = -8.8566, Lag order = 5, p-value = 0.01

alternative hypothesis: stationary

En esta primera diferencia  $p\text{-value}=0.01$  y es menor a 0.05. Por lo tanto, rechazamos  $H_0$  entonces podemos concluir que nuestra serie de tiempo de temperatura media mensual del distrito de Yunguyo es estacionaria.

Con una sola diferencia se ha logrado estacionariedad en la serie de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo. Por lo tanto, ya podemos hacer una ARIMA, para esto se identificó la forma del modelo que se utilizará. La identificación del

modelo se realizó comparando las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales calculadas con los datos de las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales teóricas de los diferentes modelos ARIMA.

### **Modelo ARIMA**

A continuación, se muestra la función de autocorrelación y la función de autocorrelación parcial, que son muy importantes para la identificación de los modelos iniciales. Estas dos funciones nos sirven para saber cuántas medias móviles y cuantos autoregresivos se utilizarán en nuestro modelo ARIMA.

En la figura 7 se observa la función de auto correlación en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo, las líneas discontinuas representan las bandas de confianza al 95% entonces tiene 17 barras significativas entre positivas y negativas estas barras superan los límites de pruebas de hipótesis o que terminan fuera de la banda discontinua de confianza. Por lo tanto, existe autocorrelación en el periodo señalado.

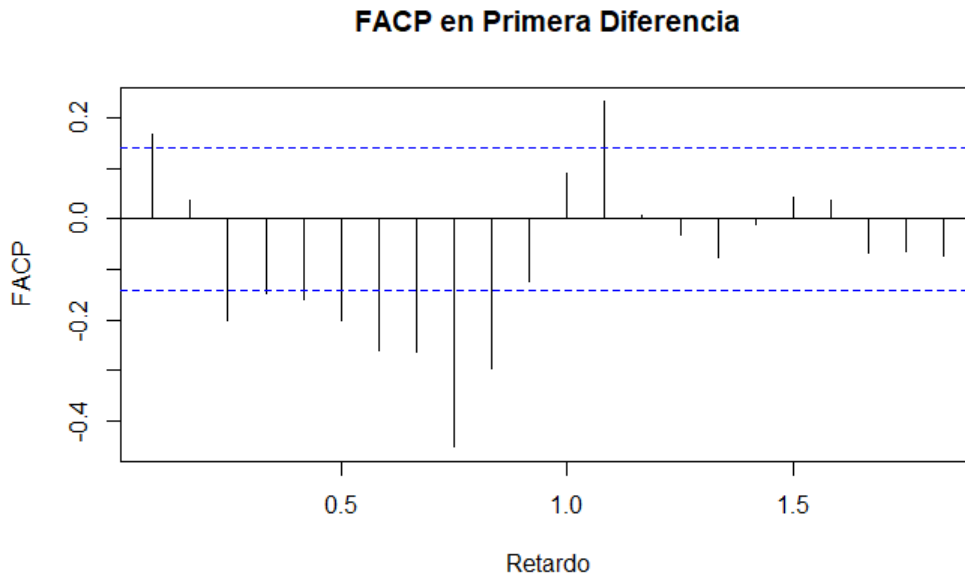


Figura 7. Correlograma de la FACP correlación en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo.  
Fuente: SENAMHI Puno

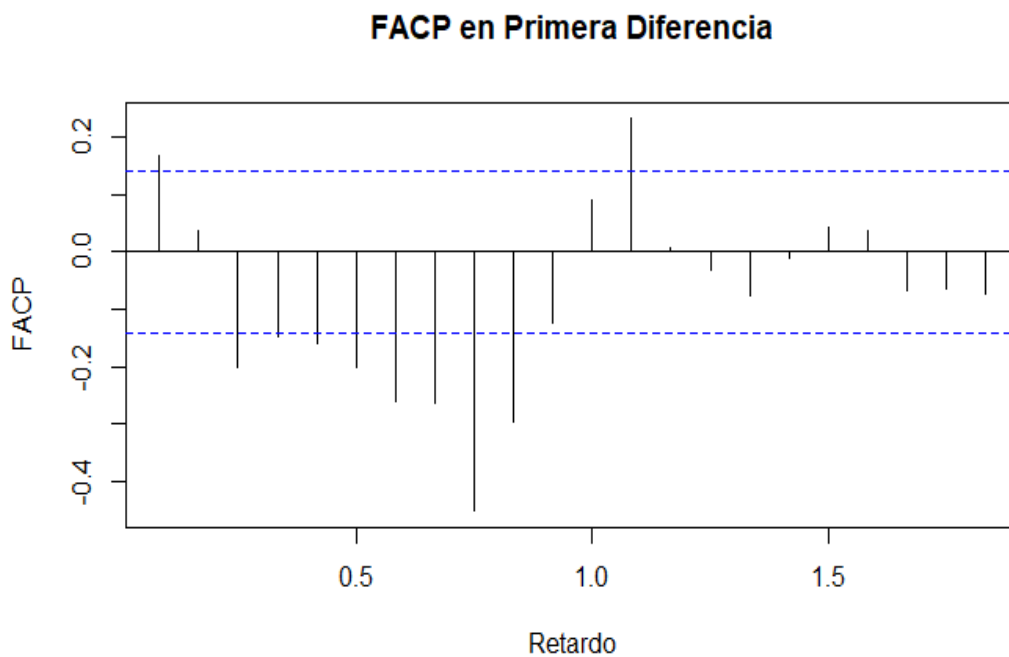
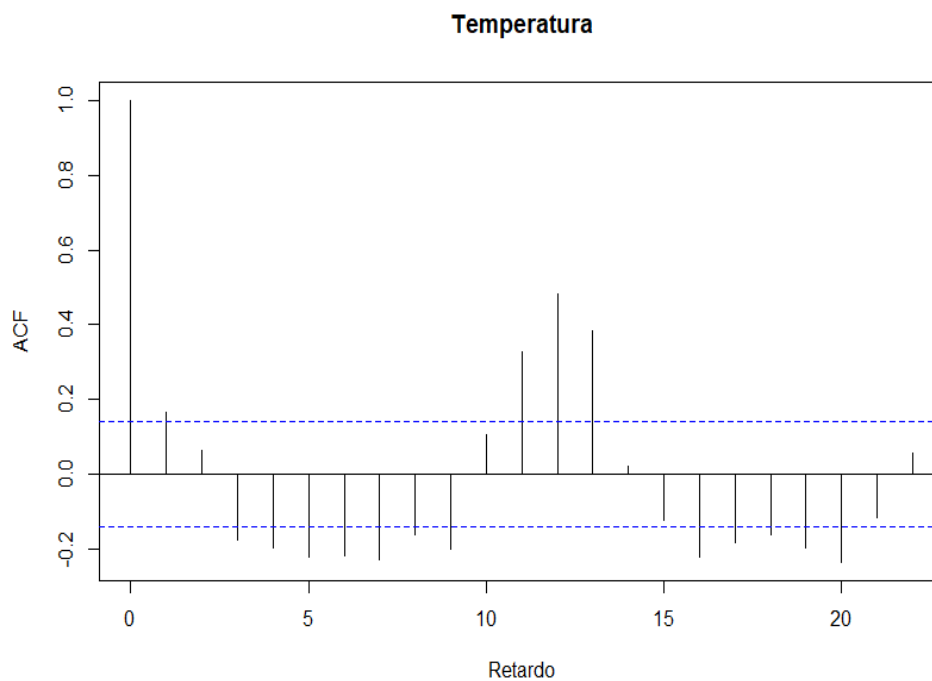


Figura 8. Correlograma de la FACP en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo  
Fuente: SENAMHI Puno

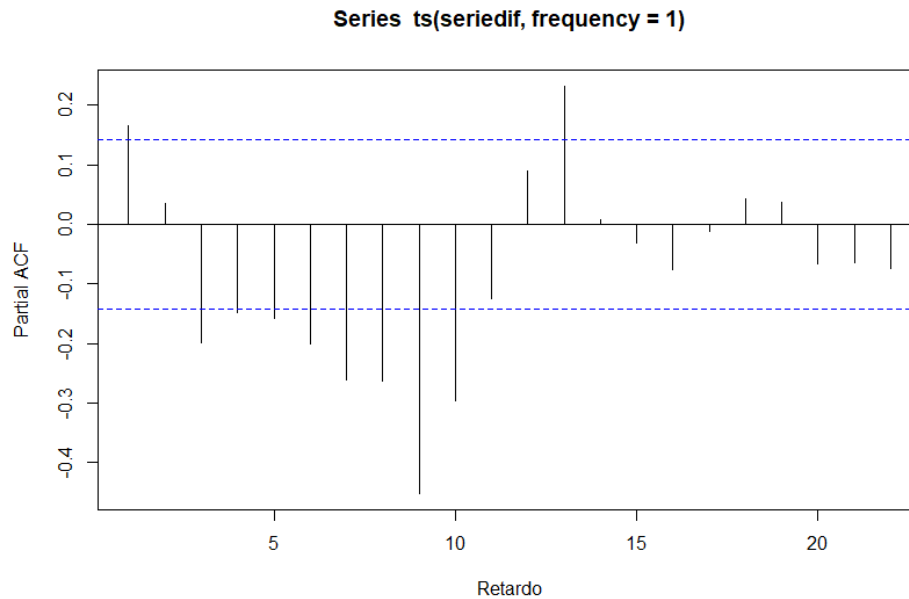


En la figura 8 se observa la función de auto correlación parcial en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo, las líneas discontinuas representan las bandas de confianza al 95% entonces tiene 10 barras significativas entre positivas y negativas estas barras superan los límites de pruebas de hipótesis o que terminan fuera de la banda discontinua de confianza. Por lo tanto, existe autocorrelación en el periodo señalado.



*Figura 9.* Correlograma de rezagos de Función de autocorrelación y coincidencias con las frecuencias

Fuente: SENAMHI Puno



*Figura 10.* Correlograma de rezagos de la Función de autocorrelación parcial y coincidencias con las frecuencias  
Fuente: SENAMHI Puno

En las figuras 7 y 8 se aprecia el número de autorregresivos y el número de medias móviles con estos datos podemos generar el modelo ARIMA.

Para identificar cual es el proceso ARIMA que ha generado la serie de tiempo de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo es que es necesario que los datos sean estacionarios y esa condición se ha cumplido. Cuando la serie fue estacionaria se ha obtenido las funciones de autocorrelación simple y la función de autocorrelación parcial con la finalidad de determinar el proceso ARIMA(p,d,q). en el modelo ARIMA(p,d,q), el procesos autorregresivo es representado por p, las diferencias son representados por d y proceso de las medias móviles se representa por q.

Observando las figuras 9 y 10 de la parte regular se obtiene (p, d, q). El AR (1) proviene del decrecimiento rápido inicial de la función de autocorrelación parcial (Figura 10) y el AR(2) proviene que la función de autocorrelación parcial (figura 10) presenta el segundo retardo significativo en la mayoría de los periodos.

#### 4.2.2. Ajuste del modelo

Call:

```
arima(x = Tempts, order = c(3, 1, 1))
```

Coefficients:

```
      ar1      ar2      ar3      ma1  
0.8727 -0.0318 -0.3217 -0.9746  
s.e. 0.0696 0.0932 0.0695 0.0239
```

sigma^2 estimated as 1.03: log likelihood = -275.32, aic = 560.63

Usando la notación ARIMA, el modelo ajustado se puede escribir como:

$$\hat{Y}d_t = 0.8727Y_{t-1} - 0.0318Y_{t-2} - 0.3217Y_{t-3} - 0.9746e_{t-1} + E$$

Observando la prueba de coeficientes tenemos que ar1, ar3 y ma1 son altamente significativos.

```
> coeftest(modelo1)
```

z test of coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
ar1	0.872668	0.069566	12.5445	< 2.2e-16 ***
ar2	-0.031770	0.093207	-0.3408	0.7332
ar3	-0.321659	0.069458	-4.6310	3.639e-06 ***
ma1	-0.974615	0.023949	-40.6962	< 2.2e-16 ***

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Se obtiene un intervalo de confianza del 95% para  $\sigma^2$

```
> confint(modelo1)
```

	2.5 %	97.5 %
ar1	0.7363214	1.0090150
ar2	-0.2144517	0.1509127
ar3	-0.4577946	-0.1855237
ma1	-1.0215532	-0.9276766

Al ejecutar en R el modelo ARIMA con la serie de tiempo original con 3 autorregresivo, una diferencia y 1 media móvil. Tenemos los coeficientes autorregresivos y el coeficiente para la media móvil y graficando tenemos:

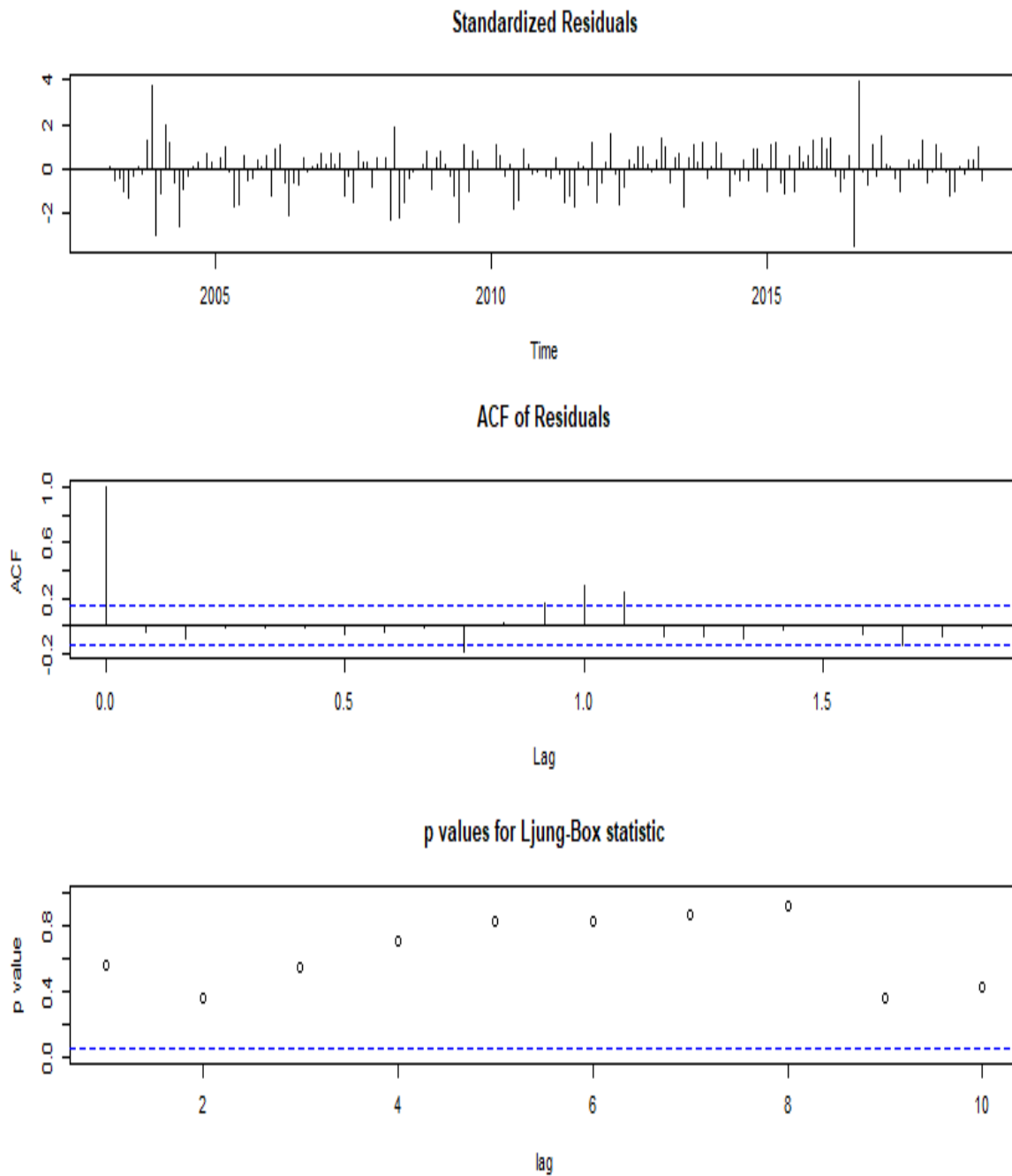


Figura 11. Evaluación de residuos para la serie de temperatura media mensual del distrito de Yunguyo. Aplicando un ARIMA (3,1,1)

Fuente: SENAMHI Puno

En la figura 11 de los residuos estandarizados no se evidencia tendencia, entonces podemos decir que la varianza y la media son constantes. Por lo tanto, el modelo obtenido ha sabido interpretar la serie de la temperatura media del distrito de Yunguyo. La función autocorrelación de los residuos muestra autocorrelaciones no significativas.

Además, todos los valores de la p para la prueba Ljung-Box están muy por encima de 0.05. Por lo tanto, los datos estudiados no son dependientes.

Aplicado la prueba estadística de Ljung-Box static que se utilizó para revisar si existe el ruido blanco.

Mediante el software R tenemos:

```
> Box.test(residuals(modelo1), type = "Ljung-Box")
```

```
Box-Ljung test
```

```
data: residuals(modelo1)
```

```
X-squared = 0.35877, df = 1, p-value = 0.5492
```

p-value = 0.5492 es mayor a 0.05 entonces existe ruido blanco. Por lo tanto, nuestro modelo se ajusta bien, Además, el ruido blanco significa que el error tiene media igual cero, su varianza es constante y no esta serialmente correlacionada. Finalmente calculamos el error, graficamos el error (Figura 11) y comprobamos que efectivamente el error tiene media igual a cero.

### 4.2.3. Validación del modelo

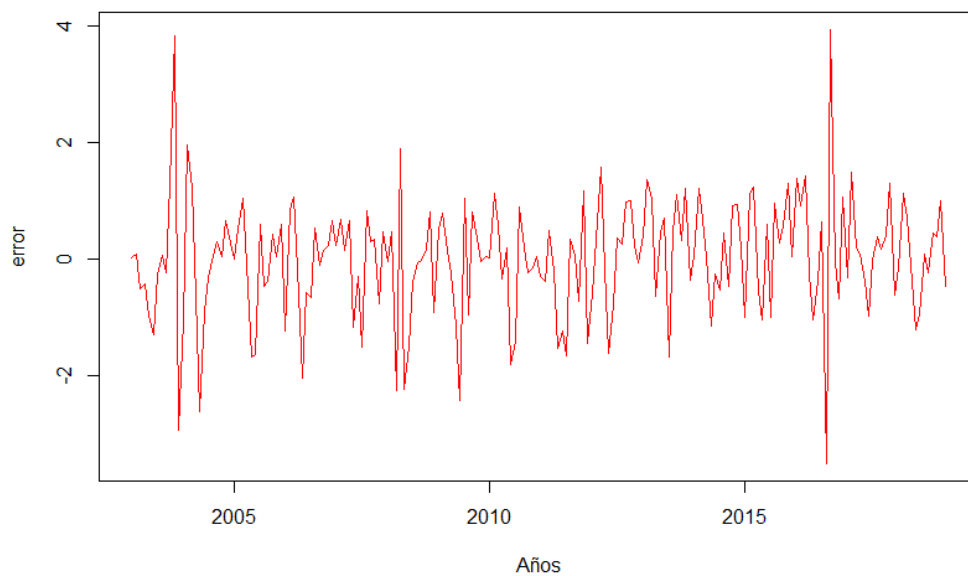


Figura 12. Comprobación del error: Media igual a cero  
Fuente: SENAMHI Puno

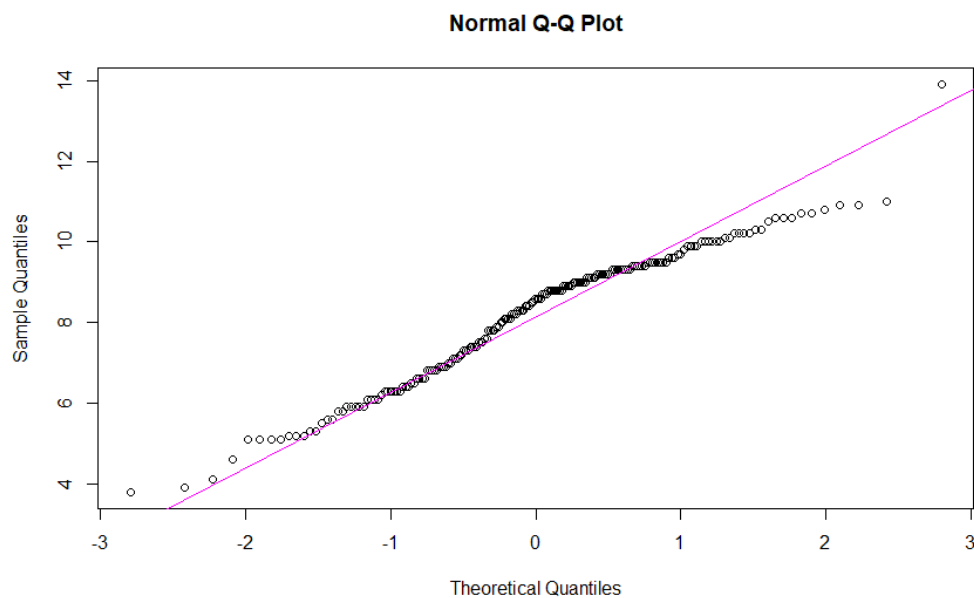


Figura 13. Q-Qplot Cuartiles normales de la serie de temperatura media mensual del distrito de Yunguyo  
Fuente: SENAMHI Puno

En la figura 13 podemos observar que todos los valores ya descansan en una línea y no están por todos lados. Por lo tanto, como todos los gráficos apoyan el supuesto de que no hay un patrón en los residuales, podemos seguir adelante y calcular el pronóstico de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo.

#### 4.2.4. Pronóstico utilizando el modelo ARIMA

Como se ha comprobado que nuestro modelo es bueno entonces podemos realizar pronósticos para 10 meses.

```
> pronostico <- forecast::forecast(modelo1,h=10)
```

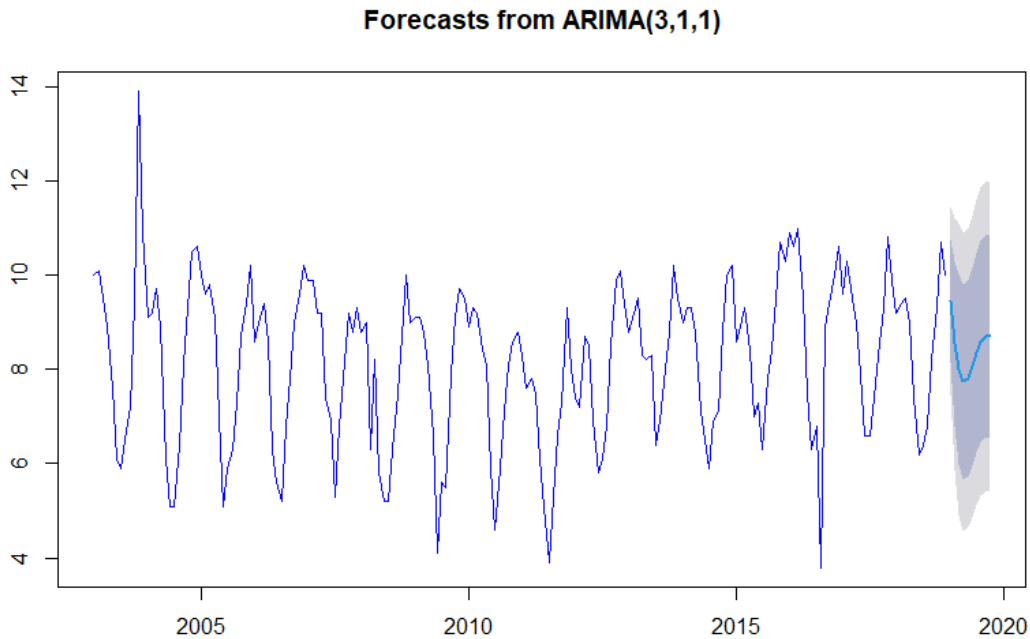
```
> pronostico
```

Tabla 3  
*Pronósticos*

Meses	Año	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
Jan	2019	9.457693	8.156762	10.758624	7.46809	11.44729
Feb	2019	8.556354	6.807821	10.304887	5.882204	11.2305
Mar	2019	8.012175	5.992279	10.032071	4.923011	11.10134
Apr	2019	7.74036	5.668762	9.811958	4.572125	10.9086
May	2019	7.810368	5.738602	9.882135	4.641875	10.97886
Jun	2019	8.055138	5.96403	10.146246	4.857064	11.25321
Jul	2019	8.353948	6.231502	10.476394	5.107947	11.59995
Aug	2019	8.584415	6.443108	10.725722	5.309568	11.85926
Sep	2019	8.697311	6.553096	10.841526	5.418017	11.9766
Oct	2019	8.692395	6.547298	10.837491	5.411753	11.97304

Fuente. Datos obtenidos de SENAMHI Puno

Al interpretar el pronóstico para enero del 2019 nos indica que la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo será de 9.45 °C y con un nivel de confianza del 95% este puede variar entre 7.46 °C a 11.44 °C.



*Figura 14.* Pronóstico ARIMA de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo  
Fuente: SENAMHI Puno

En la figura 14 podemos observar que el pronóstico de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo, es que posiblemente la tendencia se mantenga para los próximos 10 meses, considerando como modelo tres autorregresivos, una diferencia y una media móvil. El pronóstico se muestra con una línea azul con intervalos de predicción del 80% y 95%.

## **DESCOMPOSICION DE LA SERIE DE TIEMPO**

En la Figura 15 Se Analiza la serie de tiempo desde el punto de vista de sus componentes estructurales:

$$\textit{Serie observada} = \textit{Tendencia} + \textit{Efecto estacional} + \textit{Residuos}$$

En el modelo de la figura 13 la serie observada es el resultado de la suma de una tendencia que decrece luego es creciente y representa el comportamiento de la serie a largo plazo, un efecto estacional que nos describe los comportamientos atípicos en ciertas fechas de la temperatura media mensual y finalmente tenemos el componente residual que describe las variaciones a corto plazo, generalmente son impredecibles.



### Decomposition of additive time series

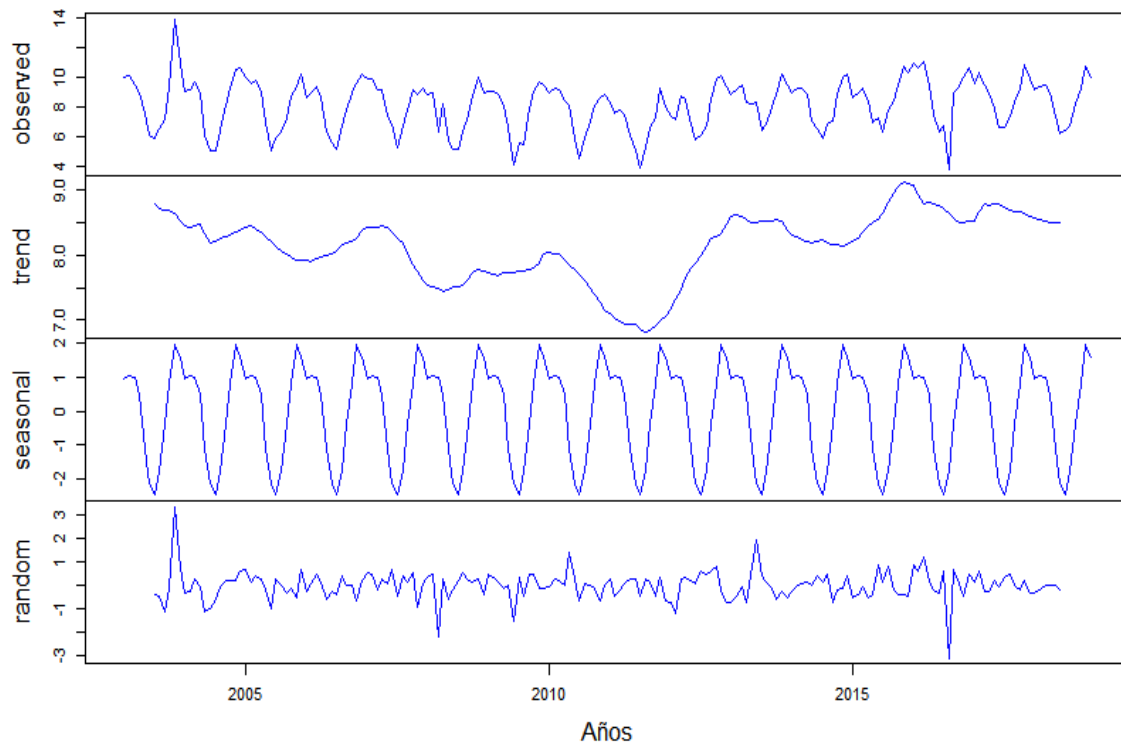
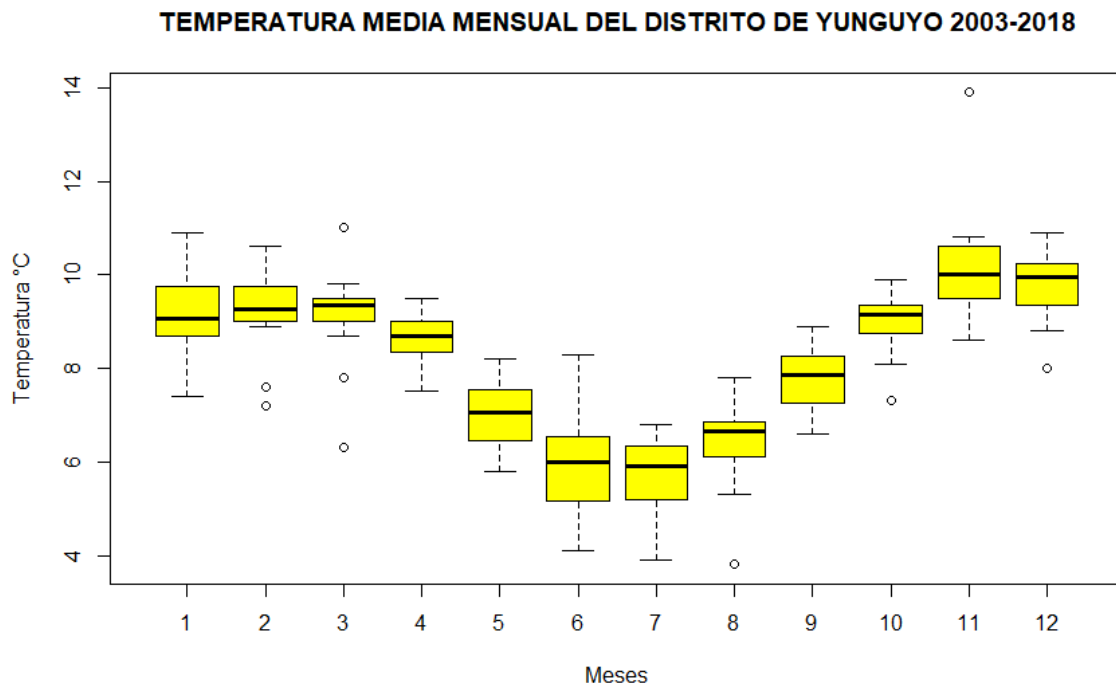


Figura 15. Descomposición de series de tiempo del distrito de Yunguyo de los años 2003-2018  
Fuente: SENAMHI Puno

En la Figura 16 se observa la temperatura media mensual de enero de todos los años entre 2003 a 2018 se encuentra entre los valores extremos de 7.3 °C a 11°C. Sin embargo, la mayor cantidad de datos de temperatura están entre 8.5°C a 9.9°C. Además, se determina que el 50% de los datos de temperatura es menor o igual 9°C, el 75% de los datos de temperatura es menor o igual a 9.9 °C y finalmente el 25% de los datos de temperatura es menor a igual a 8.5 °C. Además, podemos apreciar que los picos más bajos de temperatura están en los meses de junio y julio, mientras que los picos más altos en temperatura se presentan en los meses de noviembre y diciembre.



*Figura 16.* Diagrama de cajas de la temperatura media mensual de distrito de Yunguyo.  
Fuente: SENAMHI Puno

### 4.3. Relación entre la temperatura y el rendimiento en la producción de quinua en el distrito de Yunguyo.

Para encontrar esta relación utilizo la técnica del análisis de regresión polinomial considerando las variables temperatura media mensual (°C) y Rendimiento expresado en kg/Ha.

Tabla 4  
*Temperatura (X) y rendimiento (Y) del distrito de Yunguyo*

<b>Campaña agrícola</b>	<b>Rendimiento (Kg./Ha.)</b>	<b>Temperatura °C</b>
2003/2004	981.25	9.38
2004/2005	1049.69	9.33
2005/2006	1111.11	8.61
2006/2007	1125	9.13
2007/2008	1006.45	8.13
2008/2009	1222.22	8.54
2009/2010	1226.19	8.9
2010/2011	1289.77	7.77
2011/2012	1290.16	7.77
2012/2013	1057.97	9.1
2013/2014	1156.4	8.89
2014/2015	1315.79	8.7
2015/2016	1206.73	9.82
2016/2017	1289.34	9.47
2017/2018	1096.77	9.2

*Fuente:* Datos obtenidos de SENAMHI y la Dirección regional agraria Puno  
Fuente: SENAMHI y Dirección Regional Agraria Puno

Para encontrar la relación entre las dos variables se utilizó el software R teniendo los siguientes resultados:

```
> summary(modelo_poli9y)
```

Call:

```
lm(formula = Rendimientoy ~ poly(Temperaturay, 9), data = Datosy)
```

Residuals:

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
1.42652 9.81141 -41.10673 41.39526 -0.07343 14.70869 31.99422 -  
0.19373 0.19627 0.06298  
11 12 13 14 15  
-55.07134 40.44149 0.01587 -1.89408 -41.71340
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1161.66	12.19	95.258	2.42e-09 ***
poly(Temperaturay, 9)1	-122.51	47.23	-2.594	0.04861 *
poly(Temperaturay, 9)2	101.73	47.23	2.154	0.08384 .
poly(Temperaturay, 9)3	23.39	47.23	0.495	0.64147
poly(Temperaturay, 9)4	206.40	47.23	4.370	0.00722 **
poly(Temperaturay, 9)5	-182.56	47.23	-3.865	0.01182 *
poly(Temperaturay, 9)6	-137.45	47.23	-2.910	0.03340 *
poly(Temperaturay, 9)7	-90.68	47.23	-1.920	0.11293
poly(Temperaturay, 9)8	-76.00	47.23	-1.609	0.16852
poly(Temperaturay, 9)9	-158.22	47.23	-3.350	0.02033 *

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 47.23 on 5 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9347, Adjusted R-squared: 0.8173

F-statistic: 7.957 on 9 and 5 DF, p-value: 0.01716

Determinamos que nuestro modelo es:

$$y = 1161.66 - 122.51x + 101.73x^2 + 23.39x^3 + 206.40x^4 - 182.56x^5 - 137.45x^6 - 90.68x^7 - 76.00x^8 - 158.22x^9 + e$$

El intercepto del modelo es 1161.66 conocido como  $B_0$  y  $B_1 = 122.51$ ,  $B_4=206.40$ ,  $B_5=-182.56$ ,  $B_6=-137.45$  y  $B_9=-158.22$  son significativos. Además. El R cuadrado es 0.9347 y el R cuadrado ajustado es 0.8173, lo cual indica que el modelo ajusta a los datos con bastante eficiencia. Para comprobarlo visualmente se grafican los datos y se traza el polinomio que se generó con el modelo (Figura 17).  $p\text{-value}=0.01716$  es bajo, lo que indica que al menos uno de los predictores introducidos en el modelo está relacionado con la variable de respuesta rendimiento de la quinua. Los p-values individuales de los predictores  $\text{Temperatura}^1$ ,  $\text{Temperatura}^4$ ,  $\text{Temperatura}^5$ ,  $\text{Temperatura}^6$  y  $\text{Temperatura}^9$  son bajos, lo que apunta a que un polinomio de grado 9 es suficiente para modelar el rendimiento de la quinua. La explicación del modelo es, si la temperatura es de 0 °C entonces el rendimiento de la quinua es de 1161.66 kg/Ha. Por lo tanto, influye directamente la temperatura media mensual al rendimiento de la quinua.

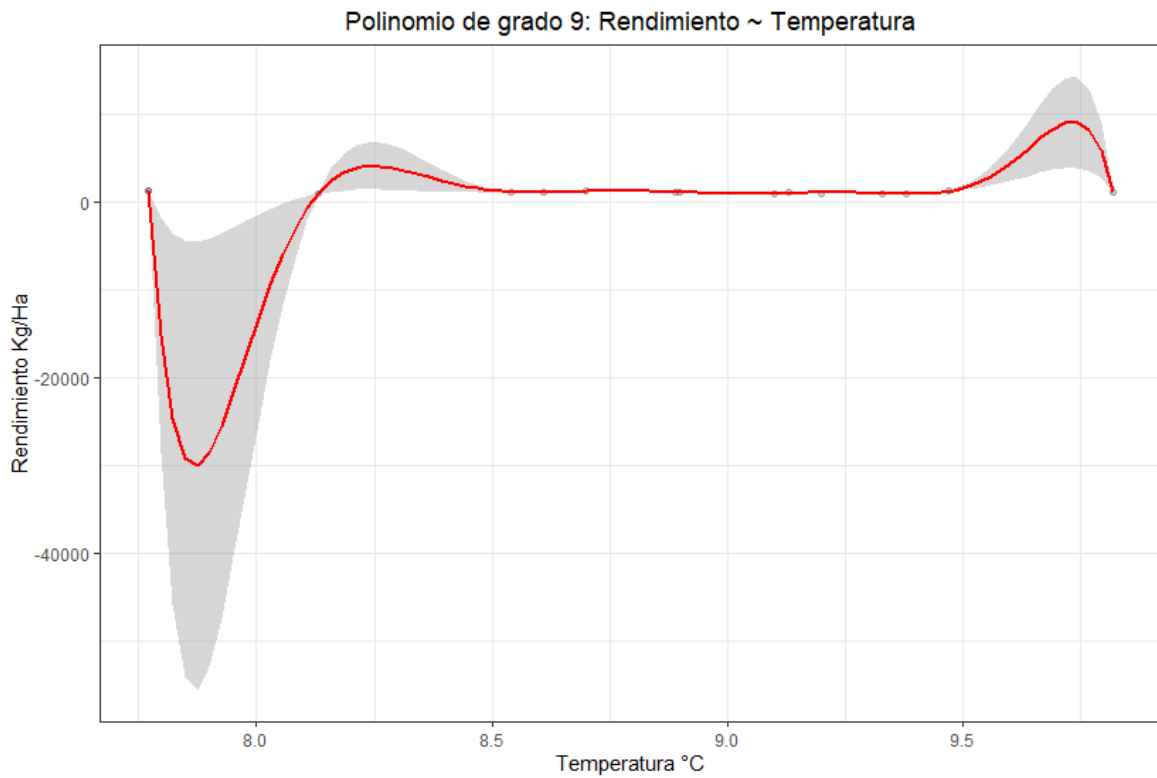


Figura 17. Relación entre rendimiento de la quinua y temperatura del distrito de Yunguyo 2003-2018

Fuente: SENAMHI y Dirección Regional Agraria Puno

#### 4.4. Análisis estadístico de la serie de Tiempo del distrito de Cabanillas

##### 4.4.1. Identificación del modelo

Observando la Figura 18, se tiene una serie de temperatura media mensual del distrito de Cabanillas 2003 – 2018 y fue obtenido mediante el software R. Además, la serie presenta picos muy bajos esto significa que no están espaciados uniformemente. Por lo tanto, observando el grafico podemos determinar que al parecer es una serie estacionaria.

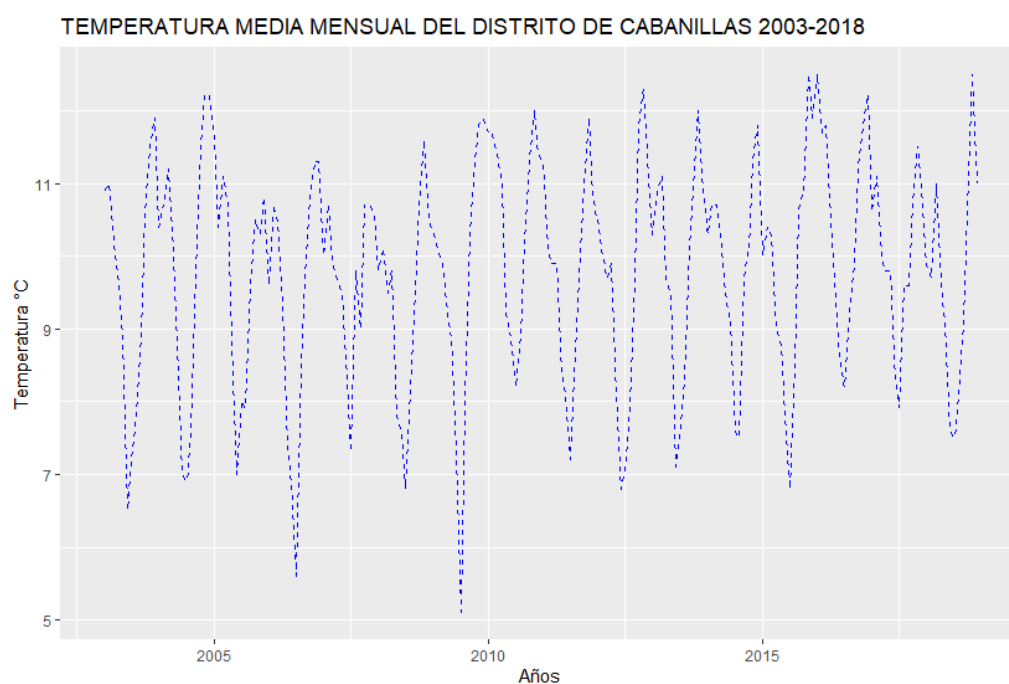


Figura 18. Temperatura media mensual del distrito de Cabanillas entre los años 2003-2018  
Fuente: SENAMHI Puno

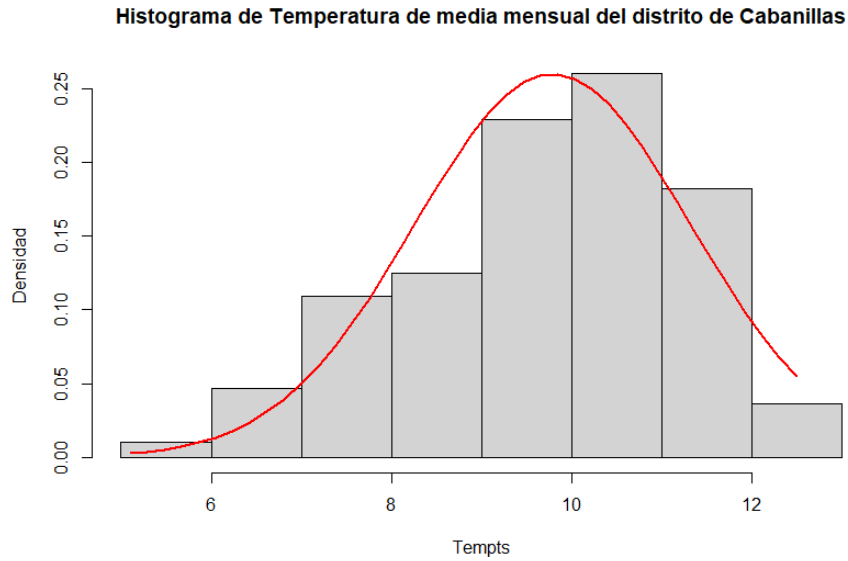


Figura 19. Histograma con curva normal de temperatura media mensual del distrito de Cabanillas entre los años 2003-2018  
Fuente: SENAMHI Puno

En la Figura 19 se observa un histograma con la curva normal donde los valores individuales de la serie de tiempo de temperatura giran en torno a su media, esto significa que la serie es estacionaria en media. Además, tiene una deformación horizontal asimétrica de  $-0.5041948$

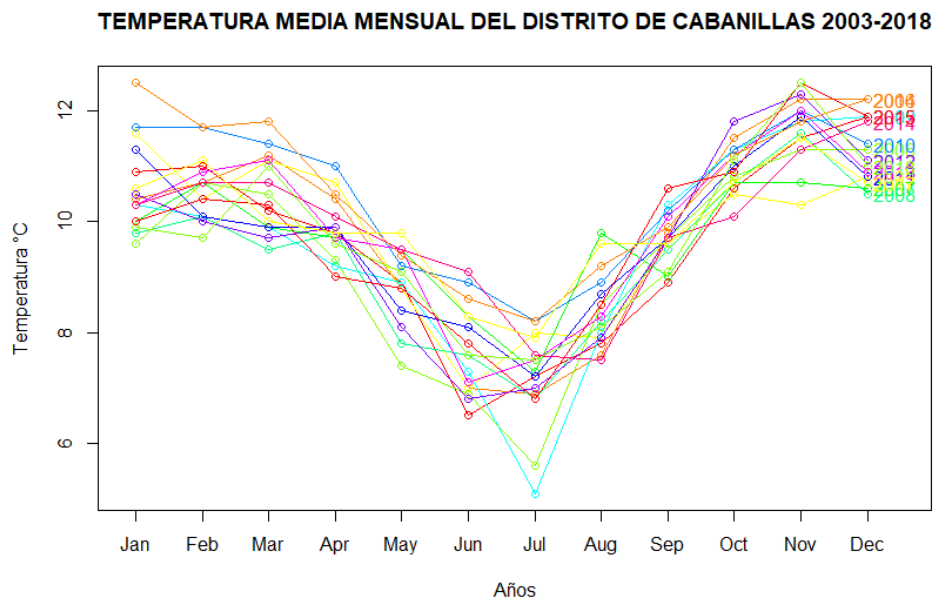


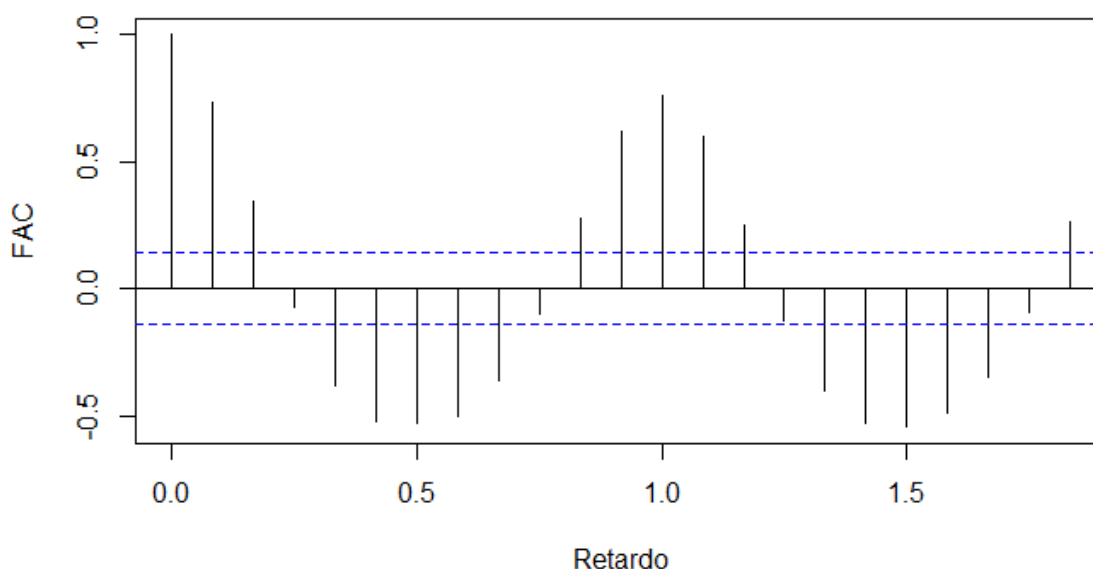
Figura 20. Temperatura media mensual por años del distrito de Cabanillas  
Fuente: SENAMHI Puno

En la Figura 20 se muestra la descomposición de las series de tiempo de la temperatura media mensual de la estación Cabanillas ubicado a una Lat.:  $15^{\circ} 38' 20.79''$  S Long.:

70° 20' 47.79" W alt.:3885 m s.n.m. Tipo convencional - Meteorológica del distrito de Cabanillas durante los años 2003-2018, donde se observa que la temperatura media mensual es variable, el periodo de las temperaturas medias mensuales mínimas bajas, ocurre en junio y julio, registrándose en junio del año 2003 6.5°C con desviación estándar de  $\pm 0.80$  °C y en julio de año 2009 5.1°C con desviación estándar de  $\pm 0.85$  °C , las temperaturas medias mensuales máximas altas, ocurre en los meses de noviembre con 12.5°C  $\pm 0.61$ °C que corresponde a los años 2015 y 2018, y diciembre con 12.2°C  $\pm 0.59$ °C. La tendencia de serie tiempo de temperatura media mensual se considera a su comportamiento o movimiento a largo plazo, en la figura 17 se muestra la descomposición por años y observamos que a partir de los meses abril con 9.9°C  $\pm 0.54$ °C en promedio y mayo con 8.9°C  $\pm 0.67$ °C la temperatura decrece hasta los meses junio con 7.7°C  $\pm 0.80$ °C en promedio y julio con 7.2°C  $\pm 0.85$ °C, luego la temperatura muestra una tendencia creciente hasta noviembre con una temperatura media de 11.7°C  $\pm 0.61$ °C en promedio, y diciembre con 11.3°C  $\pm 0.59$ °C en promedio.

#### Análisis de la Autocorrelación

**FAC de Temperatura Media mensual del distrito de Cabanillas**



*Figura 21.* Correlograma de FAC de serie de tiempo de temperatura del distrito de Cabanillas

Fuente: SENAMHI Puno



### FACP de Temperatura Media mensual del distrito de Cabanillas

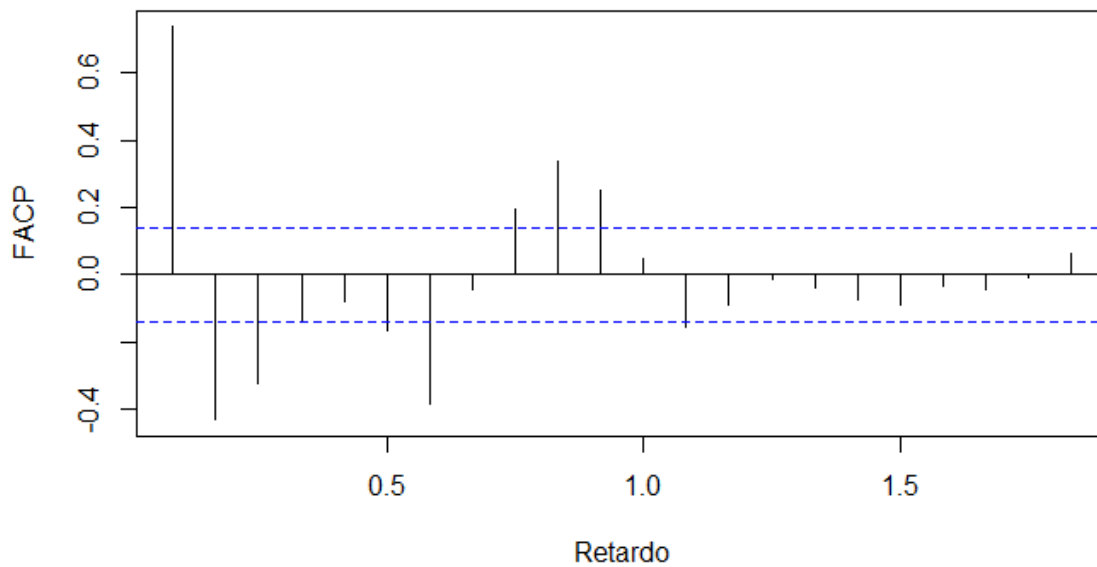


Figura 22. Correlograma de FACP de serie de tiempo de temperatura del distrito de Cabanillas  
Fuente: SENAMHI Puno

Confirmaremos lo mencionado anteriormente con la prueba Dickey – Fuller y ejecutado en R.

#### Prueba de Dickey - Fuller

H0: La serie es no estacionaria: Tiene raíz unitaria

H1: La serie es estacionaria: No tiene raíz unitaria

```
> adf.test(Tempcts)
```

Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: Tempcts
```

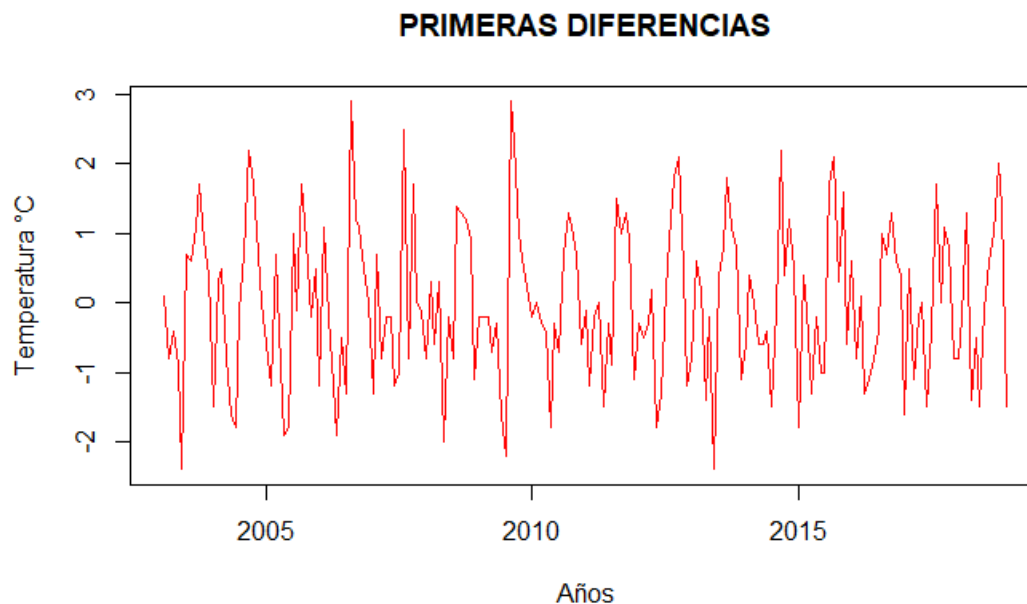
```
Dickey-Fuller = -8.4765, Lag order = 5, p-value = 0.01
```

```
alternative hypothesis: stationary
```

Al realizar la prueba aumentada de Dickey-Fuller (ADF), obtenemos un p-valor = 0.01. Como el p-valor < 0.05, rechazamos Ho. Entonces podemos concluir que nuestra serie de tiempo de temperatura media mensual del distrito de Cabanillas es **estacionaria**.

## PRIMERA DIFERENCIA DE LA SERIE

En la figura 23 se observa que la media es cero y los datos están alrededor del cero. Por lo tanto, ahora se confirma la serie de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas es estacionaria.



*Figura 23.* Serie de tiempo después de la primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas  
Fuente: SENAMHI Puno

Para confirmar la estacionariedad en una primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas aplicamos nuevamente la prueba de Dickey – Fuller

```
> adf.test(seriedif,alternative = "stationary")
```

Augmented Dickey-Fuller Test

data: seriedif

Dickey-Fuller = -7.3484, Lag order = 5, p-value = 0.01

alternative hypothesis: stationary

En esta primera diferencia  $p\text{-value}=0.01$  y es menor a 0.05. Por lo tanto, rechazamos  $H_0$  entonces podemos concluir que nuestra serie de tiempo de temperatura media mensual del distrito de Cabanillas es estacionaria.

Con una sola diferencia se ha logrado estacionariedad en la serie de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas. Por lo tanto, ya podemos hacer una ARIMA, para esto se identificó la forma del modelo que se utilizará. La identificación del modelo se realizó comparando las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales calculadas con los datos de las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales teóricas de los diferentes modelos ARIMA.

### **Modelo ARIMA**

A continuación, se muestra la función de autocorrelación y la función de autocorrelación parcial, que son muy importantes para la identificación de los modelos iniciales. Estas dos funciones nos sirven para saber cuántas medias móviles y cuantos autoregresivos se utilizarán en nuestro modelo ARIMA.

En la figura 24 se observa la función de auto correlación en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas, las líneas discontinuas representan las bandas de confianza al 95% entonces tiene 17 barras significativas entre positivas y negativas estas barras superan los límites de pruebas de hipótesis o que terminan fuera de la banda discontinua de confianza. Por lo tanto, existe autocorrelación en el periodo señalado.

### FAC en Primera Diferencia

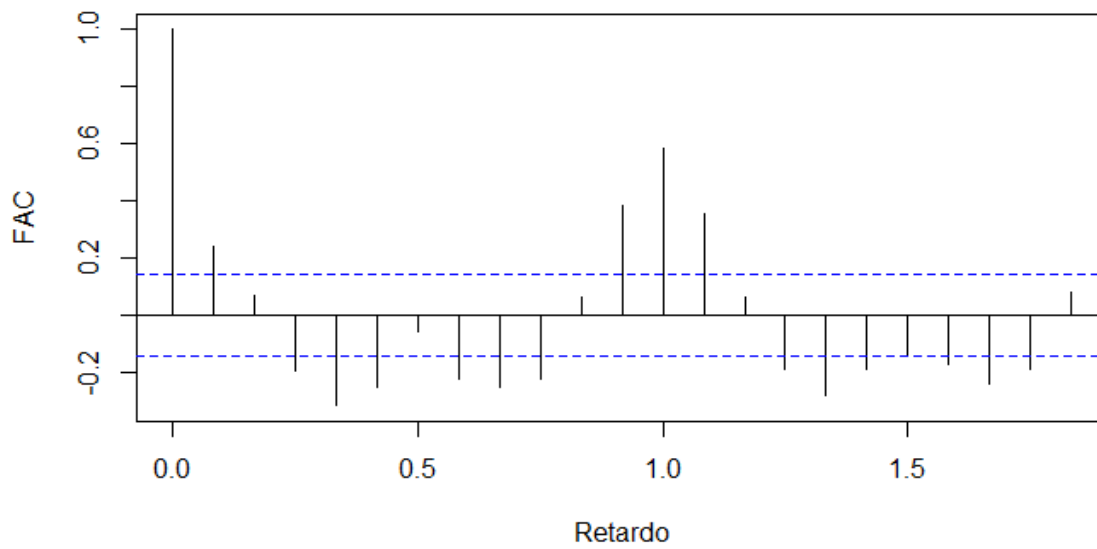


Figura 24. Correlograma de FAC en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas.  
Fuente: SENAMHI Puno

### FACP en Primera Diferencia

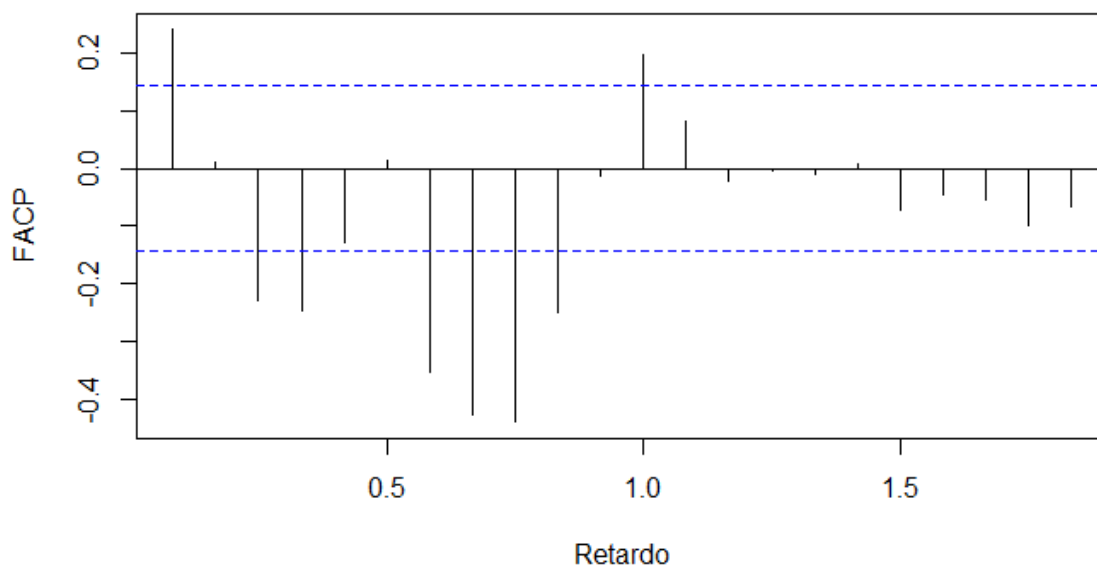


Figura 25. Correlograma de la FACP en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Yunguyo  
Fuente: SENAMHI Puno

En la figura 25 se observa la función de auto correlación parcial en primera diferencia de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas, las líneas discontinuas representan las bandas de confianza al 95% entonces tiene 8 barras significativas entre positivas y negativas estas barras superan los límites de pruebas de hipótesis o que terminan fuera de la banda discontinua de confianza. Por lo tanto, existe autocorrelación en el periodo señalado.

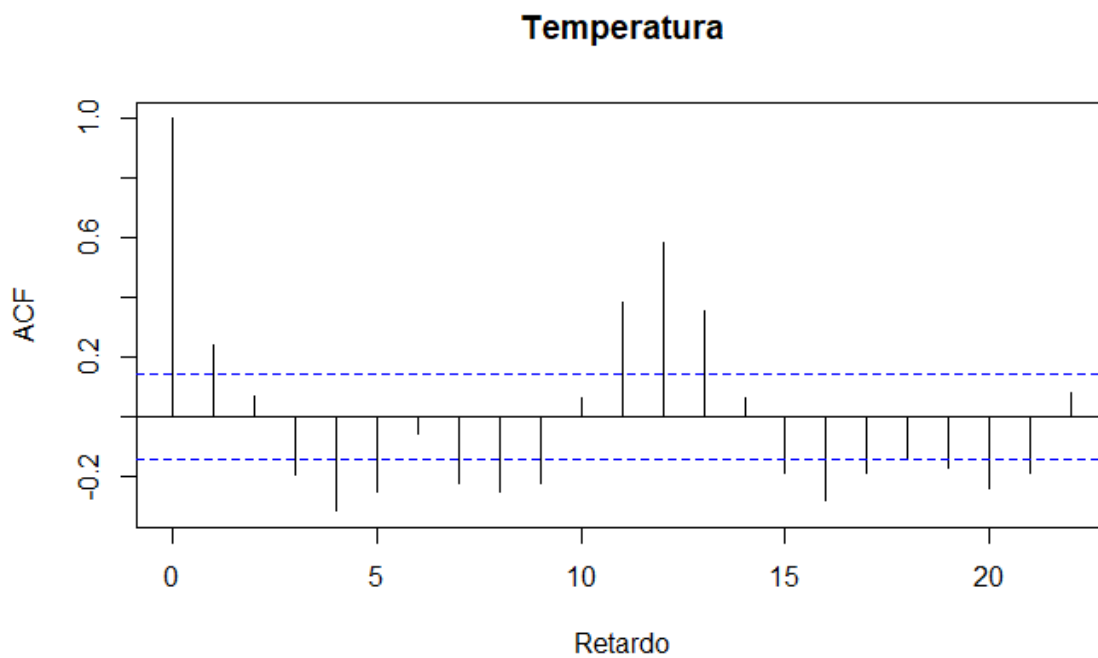
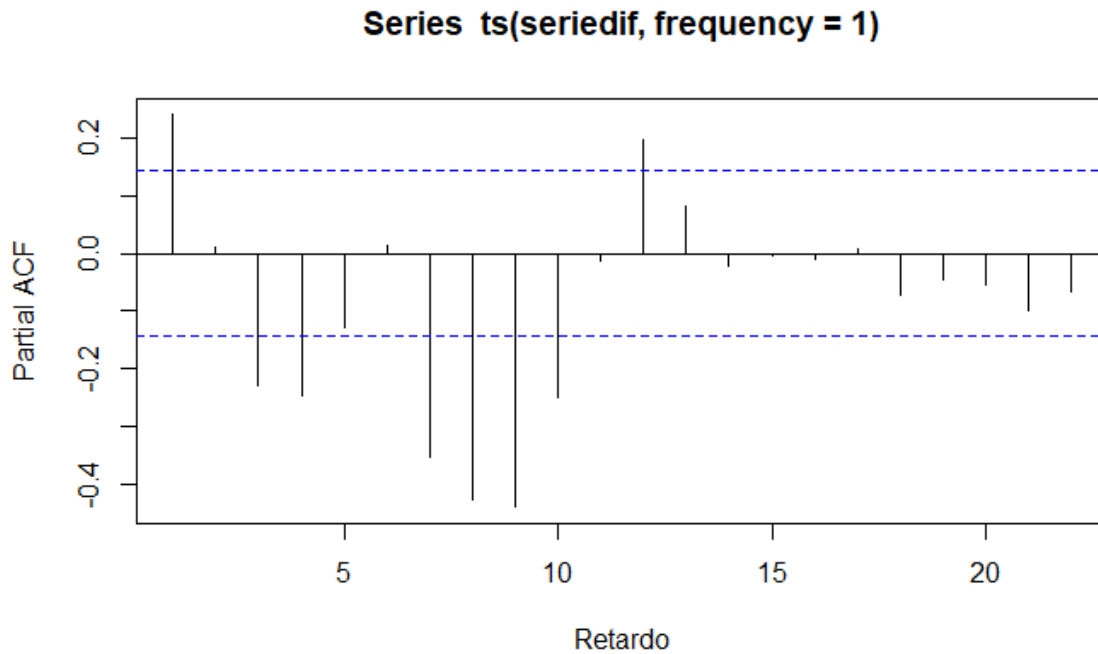


Figura 26. Correlograma de rezagos de función de autocorrelación y coincidencias con las frecuencias

Fuente: SENAMHI Puno



*Figura 27.* Correlograma de rezagos de la función de autocorrelación parcial y coincidencias con las frecuencias

Fuente: SENAMHI Puno

En las figuras 24 y 25 se aprecia el número de autorregresivos y el número de medias móviles con estos datos podemos generar el modelo ARIMA.

Para identificar cual es el proceso ARIMA que ha generado la serie de tiempo de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas es que es necesario que los datos sean estacionarios y esa condición se ha cumplido. Cuando la serie fue estacionaria se ha obtenido las funciones de autocorrelación simple y la función de autocorrelación parcial con la finalidad de determinar el proceso ARIMA(p,d,q). en el modelo ARIMA(p,d,q), el procesos autorregresivo es representado por p, las diferencias son representados por d y proceso de las medias móviles se representa por q.

Observando las figuras 26 y 27 de la parte regular se obtiene (p, d, q). El AR (1) proviene del decrecimiento rápido inicial de la función de autocorrelación parcial (Figura 10) y el AR(2) proviene que la función de autocorrelación parcial (figura 10) presenta el segundo retardo significativo en la mayoría de los periodos.

#### 4.4.2. Ajuste del Modelo

Call:

```
arima(x = Tempcts, order = c(3, 1, 1))
```

Coefficients:

```
      ar1      ar2      ar3      ma1
0.9114 -0.0729 -0.3355 -1.0000
s.e. 0.0680 0.0955 0.0686 0.0351
sigma^2 estimated as 0.7685: log likelihood = -248.57, aic = 507.15
```

Usando la notación ARIMA, el modelo ajustado se puede escribir como:

$$\hat{Y}d_t = 0.9114Y_{t-1} - 0.0729Y_{t-2} - 0.3355Y_{t-3} - 1.0000e_{t-1} + E$$

Observando la prueba de coeficientes tenemos que ar1, ar3 y ma1 son altamente significativos.

```
>coefest(modelo1)
```

z test of coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
ar1	0.911410	0.068035	13.3961	< 2.2e-16 ***
ar2	-0.072913	0.095467	-0.7638	0.445
ar3	-0.335466	0.068573	-4.8921	9.977e-07 ***
ma1	-0.999999	0.035106	-28.4849	< 2.2e-16 ***

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Se obtiene un intervalo de confianza del 95% para  $\sigma^2$

```
> confint(modelo1)
```

```
> confint(modelo1)
```

```
      2.5 %      97.5 %
ar1 0.7780638 1.0447572
ar2 -0.2600245 0.1141981
ar3 -0.4698659 -0.2010651
ma1 -1.0688063 -0.9311923
```

Al ejecutar en R el modelo ARIMA con la serie de tiempo original con 3 autorregresivo, una diferencia y 1 media móvil. Tenemos los coeficientes autorregresivos y el coeficiente para la media móvil y graficando tenemos:

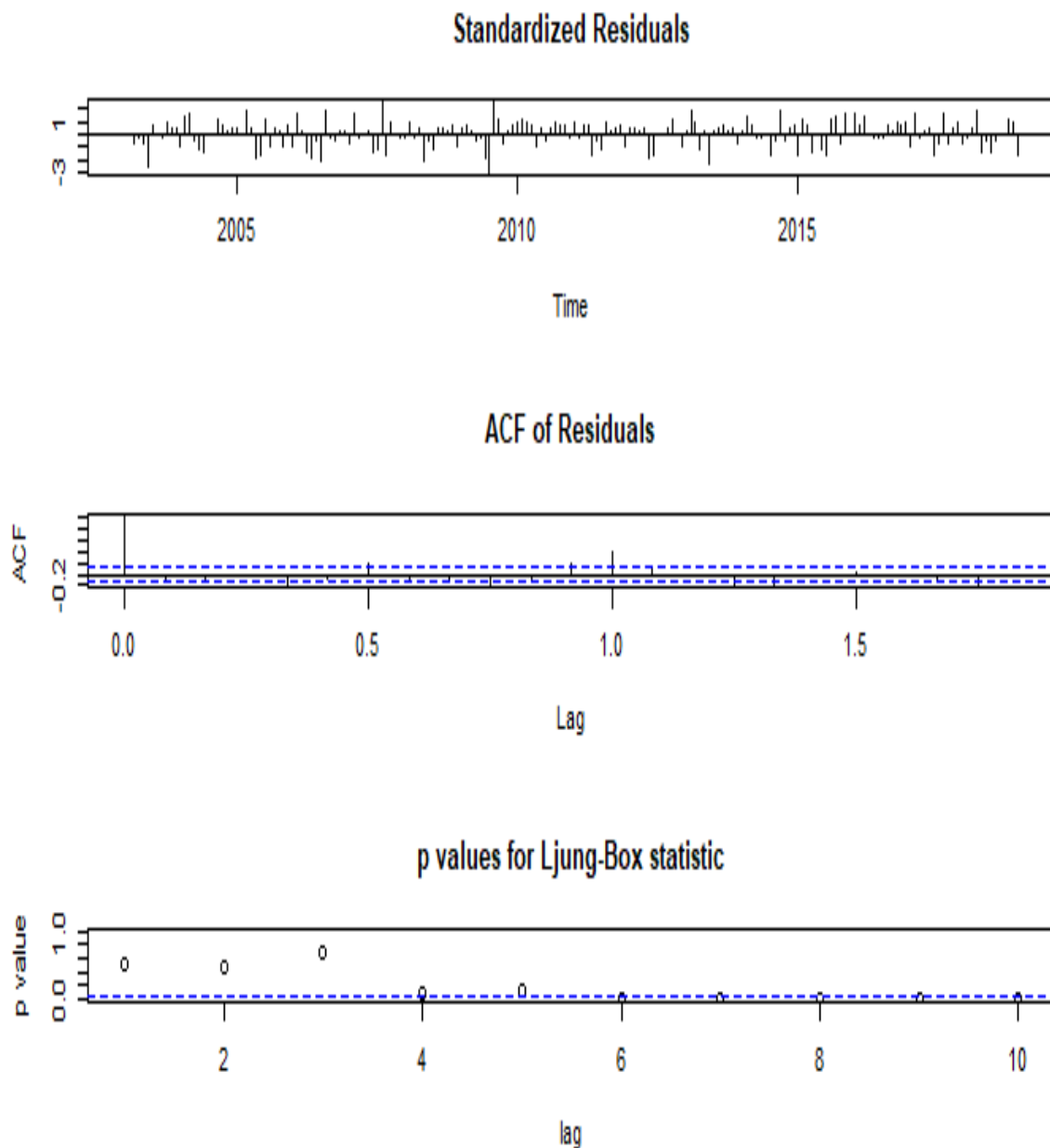


Figura 28. Evaluación de residuos para la serie de temperatura media mensual del distrito de Cabanillas. Aplicando un ARIMA (3,1,1)  
Fuente: SENAMHI Puno

En la figura 28 de los residuos estandarizados no se evidencia tendencia, entonces podemos decir que la varianza y la media son constantes. Por lo tanto, el modelo obtenido ha sabido interpretar la serie de la temperatura media del distrito de Cabanillas. La función autocorrelación de los residuos muestra autocorrelaciones no significativas.



Además, todos los valores de la p para la prueba Ljung-Box están muy por encima de 0.05. Por lo tanto, los datos estudiados no son dependientes.

Aplicado la prueba estadística de Ljung-Box static que se utilizó para revisar si existe el ruido blanco.

Mediante el software R tenemos:

```
> Box.test(residuals(modelo1), type = "Ljung-Box")
```

Box-Ljung test

```
data: residuals(modelo1)
```

```
X-squared = 0.45263, df = 1, p-value = 0.5011
```

p-value = 0.5011 es mayor a 0.05 entonces existe ruido blanco. Por lo tanto, nuestro modelo se ajusta bien, Además, el ruido blanco significa que el error tiene media igual cero, su varianza es constante y no esta serialmente correlacionada. Finalmente calculamos el error, graficamos el error (Figura 11) y comprobamos que efectivamente el error tiene media igual a cero.

### 4.4.3. Validación del modelo

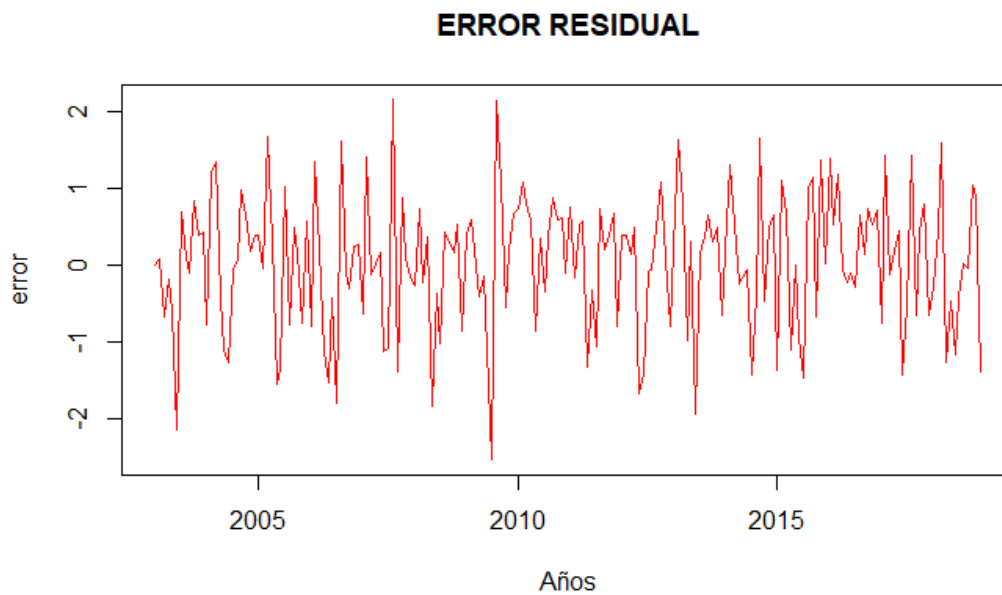


Figura 29. Comprobación del error: Media igual a cero  
Fuente: SENAMHI Puno

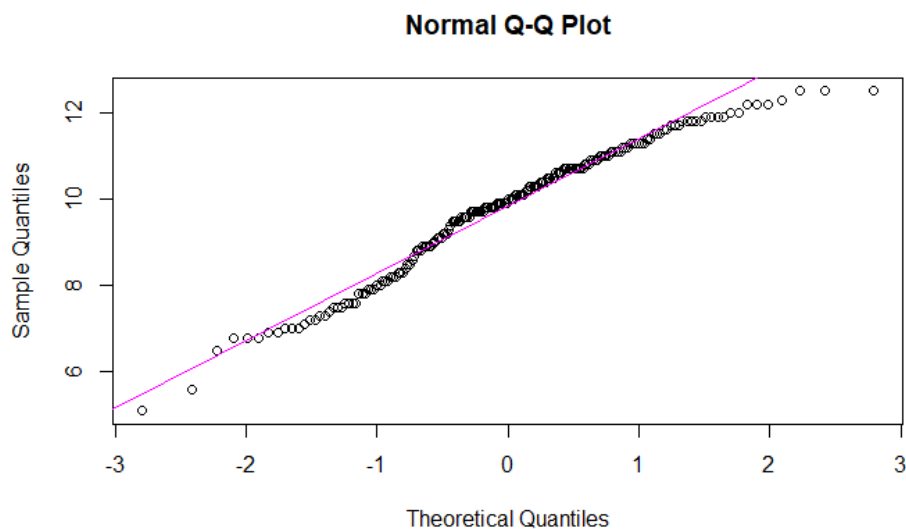


Figura 30. Q-Qplot Cuartiles normales de la serie de temperatura media mensual del distrito de Yunguyo  
Fuente: SENAMHI Puno

En la figura 30 podemos observar que todos los valores ya descansan en una línea y no están por todos lados. Por lo tanto, como todos los gráficos apoyan el supuesto de que

no hay un patrón en los residuales, podemos seguir adelante y calcular el pronóstico de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas.

#### 4.4.4. Pronóstico utilizando el modelo ARIMA

Como se ha comprobado que nuestro modelo es bueno entonces podemos realizar pronósticos para 10 meses.

Tabla 5  
*Pronósticos*

Meses	Año	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
Jan	2019	10.249732	9.123336	11.37613	8.527058	11.97241
Feb	2019	9.205648	7.677663	10.73363	6.868797	11.5425
Mar	2019	8.811962	7.056287	10.56764	6.126888	11.49704
Apr	2019	8.780969	6.99258	10.56936	6.045865	11.51607
May	2019	9.13168	7.340965	10.9224	6.393018	11.87034
Jun	2019	9.58565	7.752236	11.41906	6.781686	12.38962
Jul	2019	9.984229	8.093909	11.87455	7.093234	12.87522
Aug	2019	10.196746	8.273598	12.11989	7.255545	13.13795
Sep	2019	10.209083	8.280033	12.13813	7.258856	13.15931
Oct	2019	10.071123	8.141487	12.00076	7.12	13.02224

Fuente: Datos obtenidos de SENAMHI y la Dirección regional agraria Puno

Al interpretar el pronóstico para enero del 2019 nos indica que la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas será de 10.24 °C y con un nivel de confianza del 95% este puede variar entre 8.52 °C a 11.97 °C.

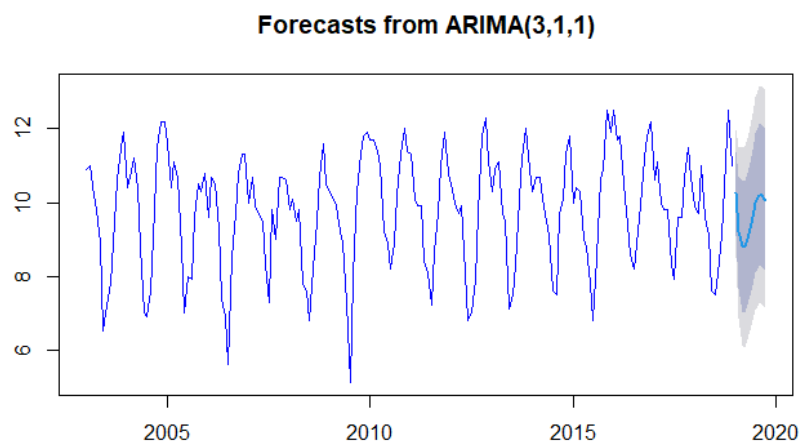


Figura 31. Pronostico ARIMA de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas

Fuente: SENAMHI Puno

En la figura 31 podemos observar que el pronóstico de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas, es que posiblemente la tendencia se mantenga para los próximos 10

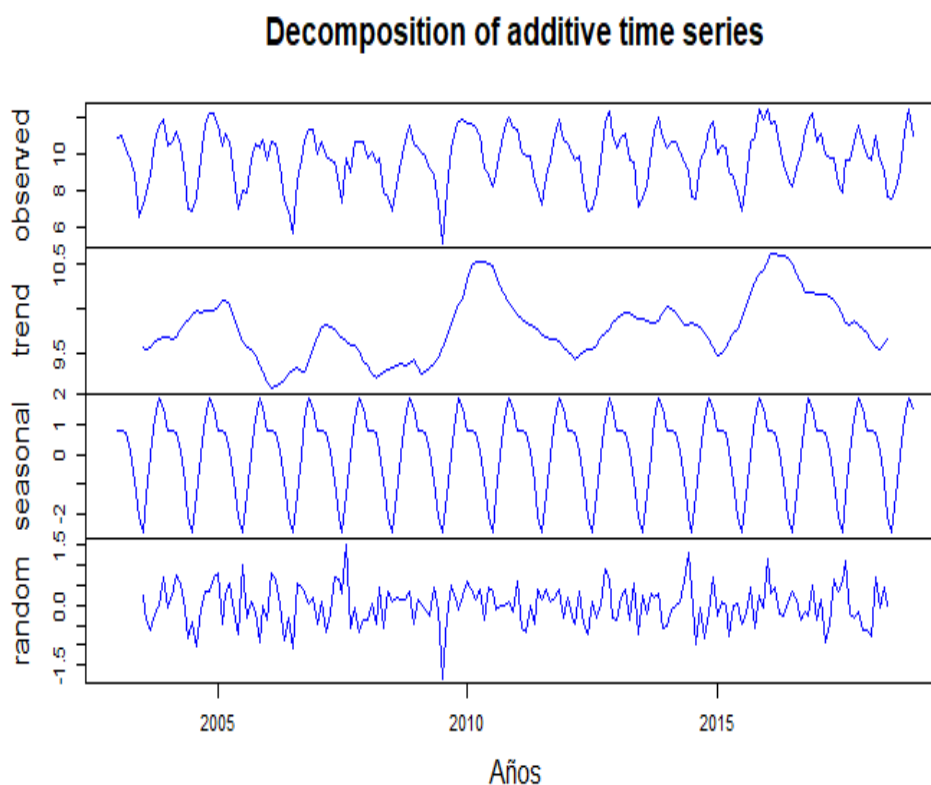
meses, Considerando como modelo tres autorregresivos, una diferencia y una media móvil. El pronóstico se muestra con una línea azul con intervalos de predicción del 80% y 95%

## DESCOMPOSICION DE LA SERIE DE TIEMPO

En la Figura 32 Se Analiza la serie de tiempo desde el punto de vista de sus componentes estructurales:

$$\text{Serie observada} = \text{Tendencia} + \text{Efecto estacional} + \text{Residuos}$$

En el modelo de la figura 32 la serie observada es el resultado de la suma de una tendencia que decrece luego es creciente y representa el comportamiento de la serie a largo plazo, un efecto estacional que nos describe los comportamientos atípicos en ciertas fechas de la temperatura media mensual y finalmente tenemos el componente residual que describe las variaciones a corto plazo, generalmente son impredecibles.



*Figura 32.* Descomposición de series de tiempo del distrito de Cabanillas de los años 2003-2018  
Fuente: SENAMHI Puno

En la Figura 32 se observa visualmente los grupos o meses de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas a través de sus cuartiles. Podemos apreciar que los picos más bajos de temperatura están en los meses de junio y julio teniendo un valor atípico en el mes de julio de 5.1.°C mientras que los picos más altos en temperatura se presentan en los meses de noviembre y diciembre teniendo un valor atípico en el mes de noviembre de 12.5°C.

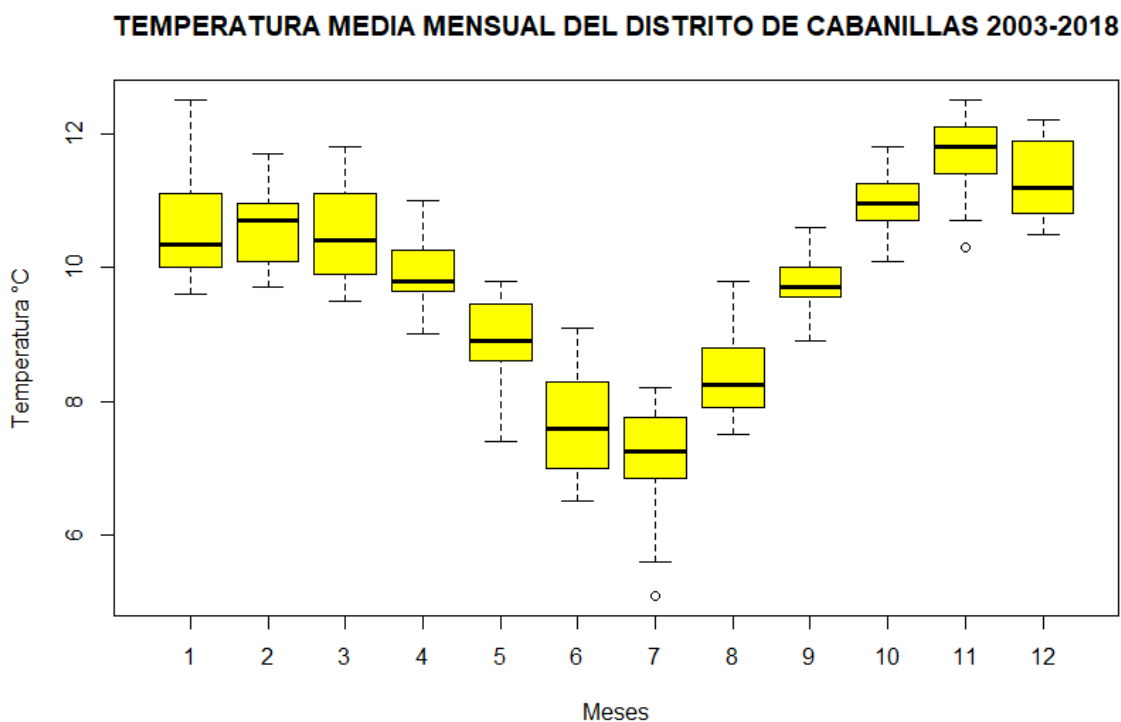


Figura 33. Diagrama de cajas de la temperatura media mensual de distrito de Cabanillas.  
Fuente: SENAMHI Puno

La degradación medioambiental es un hecho. Sus manifestaciones son observables: contaminación de los cuerpos de agua, extinción de las especies, pobreza, enfermedades, contaminación del aire, cambios en el clima, desastres naturales. El cambio climático se manifiesta con prolongadas precipitaciones, aumento de la temperatura, períodos largos de sequía, cambio de dirección de los vientos, deshielo en los polos, cambios en las migraciones de los animales, tormentas, ciclones, maremotos y aumento del nivel del mar. Los datos publicados en los informes dan cifras alarmantes y un ascenso de la temperatura, las precipitaciones y el aumento del nivel del mar(Díaz, 2012). La temperatura máxima del mes de mayo, como indicadora probable del comportamiento general de la temperatura en el estado de Zacatecas, México, está aumentando en la *subregión* que corresponde a la Región Hidrológica 12 Parcial (Río Santiago), en la cual cuatro estaciones climatológicas de las



ocho procesadas mostraron tendencia ascendente significativa, con un valor medio del incremento de  $2.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , entre la media reciente y la de largo periodo (Campos-Aranda, 2015). Los efectos del cambio climático ya están ocurriendo en Argentina, tal como lo indican estudios de orden internacional y nacional. Entre 1960 y 2010, la temperatura aumentó  $0,5^{\circ}\text{C}$  en la región centro-norte del país mientras que las temperaturas mínimas aumentaron aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  y las temperaturas máximas se redujeron prácticamente en la misma proporción durante ese período de tiempo (Camilloni, 2018). Las temperaturas máximas presentan tendencias significativas a nivel anual del incremento promedio de  $0.04^{\circ}\text{C/año}$  con evidencia leve (0.05), asimismo las tendencias de las temperaturas medias muestran un evidente (0.01) cambio de incremento en  $0.025^{\circ}\text{C/año}$ , solo en estación Macusani disminuye con evidencia leve (0.05). Las temperaturas mínimas a nivel de cuenca presentan un incremento de  $0.0004^{\circ}\text{C/año}$ , mientras Arapa y Progreso presenta cambio negativa con 0.01; Las precipitaciones pluviales presentan tendencias negativas de  $0.70\text{mm/año}$  a nivel de cuenca Ramis, pero no se identifica una tendencia regional marcada de disminución. (Belizario, 2015)

#### 4.5. Relación entre la temperatura y el rendimiento en la producción de quinua en el distrito de Cabanillas.

Para encontrar esta relación utilizo la técnica del análisis de regresión lineal simple considerando las variables temperatura media mensual (°C) y Rendimiento expresado en kg/Ha.

Tabla 6  
*Temperatura (X) y rendimiento (Y) del distrito de Cabanillas*

<b>Campaña Agrícola</b>	<b>Rendimiento (Kg./Ha.)</b>	<b>Temperatura Media Mensual °C</b>
2003/2004	1,173.08	10.49
2004/2005	1,318.52	10.92
2005/2006	1,042.86	9.86
2006/2007	1,114.71	10.32
2007/2008	924.53	9.78
2008/2009	1,316.22	10.08
2009/2010	1,456.41	11.14
2010/2011	1,351.02	10.50
2011/2012	1,018.00	10.18
2012/2013	1,020.63	10.71
2013/2014	1,108.26	10.61
2014/2015	1,164.95	10.16
2015/2016	901.75	11.31
2016/2017	1,048.33	10.71
2017/2018	1,026.79	10.20

*Fuente:* Datos obtenidos de SENAMHI Puno

Fuente: SENAMHI y Dirección Regional Agraria Puno

Para encontrar la relación entre las dos variables se utilizó el software R teniendo los siguientes resultados:

```
> summary(modelo_poli9)
```

Call:

```
lm(formula = Rendimiento ~ poly(Temperatura, 9), data = Datosc)
```

Residuals:

```
 1    2    3    4    5    6    7    8    9   10  
-84.47880 -0.89618 0.73449 4.14254 -0.20808 -12.01785 0.12104 97.93012 -  
45.52710 -9.70569  
  
11   12   13   14   15
```

-20.90211 66.94678 -0.01407 17.99431 -14.11938

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1132.40	18.07	62.656	1.96e-08 ***
poly(Temperatura, 9)1	147.06	70.00	2.101	0.08964 .
poly(Temperatura, 9)2	-179.83	70.00	-2.569	0.05009 .
poly(Temperatura, 9)3	-60.21	70.00	-0.860	0.42901
poly(Temperatura, 9)4	-348.71	70.00	-4.982	0.00417 **
poly(Temperatura, 9)5	-169.56	70.00	-2.422	0.05994 .
poly(Temperatura, 9)6	-197.55	70.00	-2.822	0.03701 *
poly(Temperatura, 9)7	24.03	70.00	0.343	0.74536
poly(Temperatura, 9)8	310.44	70.00	4.435	0.00680 **
poly(Temperatura, 9)9	-68.03	70.00	-0.972	0.37575

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 70 on 5 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9343, Adjusted R-squared: 0.8161

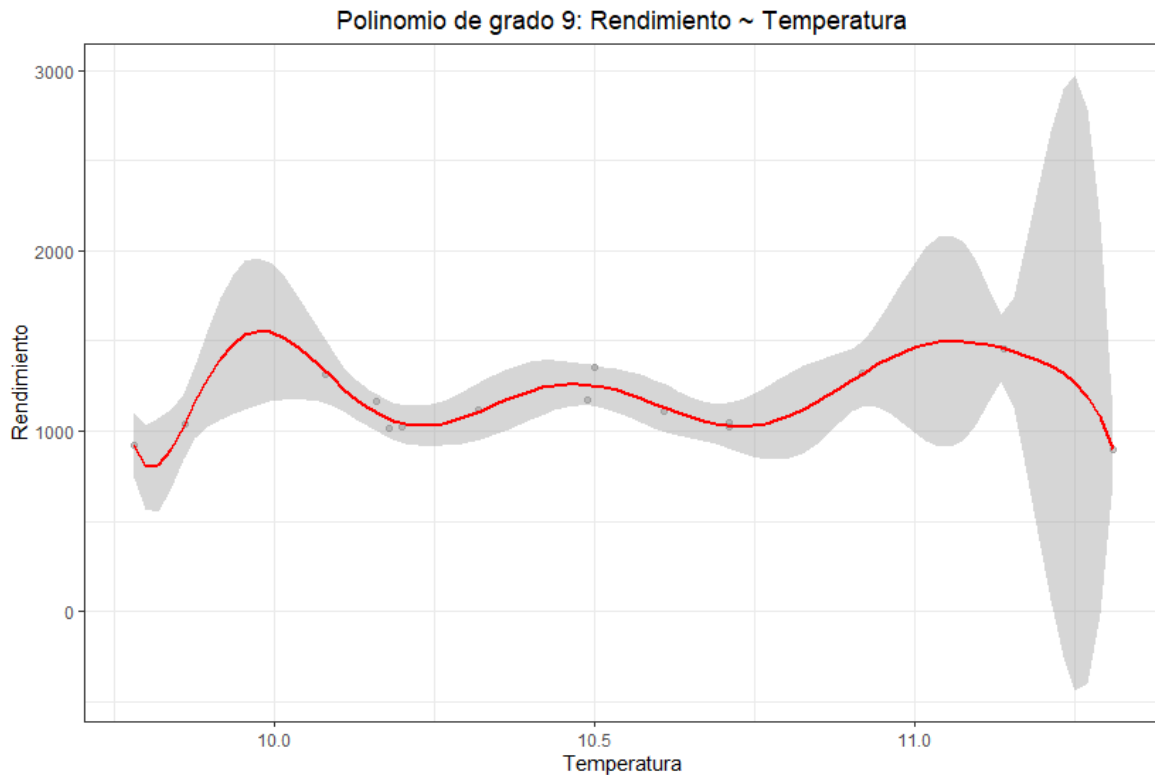
F-statistic: 7.904 on 9 and 5 DF, p-value: 0.01742

Determinamos que nuestro modelo es:

$$y = 1132.40 + 147.06x - 179.83x^2 - 60.21x^3 - 348.71x^4 - 169.56x^5 - 197.55x^6 + 24.03x^7 + 310.44x^8 - 68.03x^9 + e$$

El intercepto del modelo es 1132.40 conocido como  $B_0$  y  $B_1 = 147.06$ ,  $B_4 = -348.71$ ,  $B_6 = -197.55$  y  $B_8 = 310.44$  son significativos. Además. El R cuadrado es 0.9343 y el R cuadrado ajustado es 0.8161, lo cual indica que el modelo ajusta a los datos con bastante eficiencia. Para comprobarlo visualmente se grafican los datos y traza el polinomio que se generó con el modelo (Figura 34).  $p\text{-value} = 0.01742$  es bajo, lo que indica que al menos uno de los predictores introducidos en el modelo está relacionado con la variable de respuesta rendimiento de la quinua. Los p-values individuales de los predictores  $\text{Temperatura}^4$ ,  $\text{Temperatura}^6$  y  $\text{Temperatura}^8$  son bajos, lo que apunta a que un polinomio de grado 9 es suficiente para modelar el rendimiento de la quinua. La explicación del modelo es, si la temperatura es de 0 °C entonces el rendimiento de la quinua es de 1132.40 kg/Ha. Por lo tanto, influye directamente la temperatura media mensual al rendimiento de la quinua.





*Figura 34.* Relación entre rendimiento de la quinua y temperatura del distrito de Cabanillas 2003-2018  
Fuente: SENAMHI y Dirección Regional Agraria Puno

Las variables climáticas como la temperatura máxima y mínima promedio anual, participación de la agricultura en el PIB regional, precio de cultivo, tasa de analfabetismo, población económicamente activa ocupada e índice de consumo alimenticio *per cápita* regional influyen significativamente en el rendimiento de la producción agrícola alimentaria más importantes como papa, habas, quinua, cebada, trigo, maíz y cañihua en Puno, Perú (Tonconi, 2015). Los factores climáticos como, precipitación, humedad y temperatura, aceleraron el proceso de desglaciación en los Andes, influyendo en la vulnerabilidad actual de los sistemas agrícolas al cambio climático. En contraste, países como, Perú, Argentina, Chile, Bolivia y Uruguay registrarán temperaturas más bajas que afectarán su producción y rendimiento en cultivos como la quinua, papa, tarwi, entre otros cultivos (Lozano *et al.*, 2021).

## CONCLUSIONES

El modelo del comportamiento de la temperatura en la producción de la quinua en el distrito de Yunguyo es un polinomio de grado 9.  $y = 1161.66 - 122.51x + 101.73x^2 + 23.39x^3 + 206.40x^4 - 182.56x^5 - 137.45x^6 - 90.68x^7 - 76.00x^8 - 158.22x^9 + e$  y el modelo del comportamiento de la temperatura en la producción de la quinua en el distrito de Cabanillas es un polinomio de grado 9  $y = 1132.40 + 147.06x - 179.83x^2 - 60.21x^3 - 348.71x^4 - 169.56x^5 - 197.55x^6 + 24.03x^7 + 310.44x^8 - 68.03x^9 + e$

La temperatura media mensual es variable en el distrito de Yunguyo, el periodo de las temperaturas medias mensuales mínimas bajas, ocurre en junio y julio, registrándose en junio del año 2009  $4.1^{\circ}\text{C}$  con desviación estándar de  $\pm 1.01^{\circ}\text{C}$  y en julio de año 2011  $3.9^{\circ}\text{C}$ , con desviación estándar de  $\pm 0.78^{\circ}\text{C}$ , el pico más bajo o valor atípico ocurre en agosto del año 2016 con  $3.8^{\circ}\text{C}$  con desviación estándar de  $\pm 0.94^{\circ}\text{C}$ , las temperaturas medias mensuales máximas altas, ocurre en los meses de noviembre con  $10.1^{\circ}\text{C} \pm 1.19^{\circ}\text{C}$  y diciembre con  $9.8^{\circ}\text{C} \pm 0.76^{\circ}\text{C}$ , el pico más alto o atípico fue en noviembre de al año 2003 con  $13.9^{\circ}\text{C}$  y el modelo de predicción del comportamiento de la serie de tiempo de temperatura media mensual distrito de Yunguyo es el modelo ARIMA:  $\hat{Y}d_t = 0.8727Y_{t-1} - 0.0318Y_{t-2} - 0.3217Y_{t-3} - 0.9746e_{t-1} + E$ . La temperatura media mensual es variable en el distrito de Cabanillas, el periodo de las temperaturas medias mensuales mínimas bajas, ocurre en junio y julio, registrándose en junio del año 2003  $6.5^{\circ}\text{C}$  con desviación estándar de  $\pm 0.80^{\circ}\text{C}$  y en julio de año 2009  $5.1^{\circ}\text{C}$  con desviación estándar de  $\pm 0.85^{\circ}\text{C}$ , las temperaturas medias mensuales máximas altas, ocurre en los meses de noviembre con  $12.5^{\circ}\text{C} \pm 0.61^{\circ}\text{C}$  que corresponde a los años 2015 y 2018, y diciembre con  $12.2^{\circ}\text{C} \pm 0.59^{\circ}\text{C}$  y el modelo de predicción del comportamiento de la serie de tiempo de la temperatura media mensual del distrito de Cabanillas es el modelo ARIMA:  $\hat{Y}d_t = 0.9114Y_{t-1} - 0.0729Y_{t-2} - 0.3355Y_{t-3} - 1.0000e_{t-1} + E$

El p-value:  $0.01716 < 0.05$ , lo que nos indica que al menos uno de los predictores introducidos en el modelo está relacionado con la variable de respuesta rendimiento de la quinua y ajusta a los datos con bastante eficiencia, El R-cuadrado es 0.9347 y el R-cuadrado ajustado es 0.8173, lo cual indica que el modelo es capaz de explicar el 81.73% de la variabilidad observada en rendimiento de la quinua. Por lo tanto, es suficiente que un polinomio de grado 9 para modelar el rendimiento de la quinua en función de la temperatura en el distrito de Yunguyo. El p-value:  $0.01742 < 0.05$ , lo que nos indica que al menos uno de



los predictores introducidos en el modelo está relacionado con la variable de respuesta rendimiento de la quinua y ajusta a los datos con bastante eficiencia, El R-cuadrado es 0.9343 y el R-cuadrado ajustado es 0.8161, lo cual indica que el modelo es capaz de explicar el 81.61% de la variabilidad observada en rendimiento de la quinua. Por lo tanto, es suficiente que un polinomio de grado 9 para modelar el rendimiento de la quinua en función de la temperatura en el distrito de Cabanillas.



## RECOMENDACIONES

Aplicar los modelos ARIMA para realizar pronósticos y tomar decisiones en las diferentes instituciones.

Al doctorado en estadística aplicada realizar convenios con SENAMHI para obtener datos y tener investigaciones con más de una variable.

Aplicar los modelos SARIMA para buscar patrones en las series temporales y luego realizar predicciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberto, J. M. (2009). Análisis de series temporales. *Revista Ingeniería Industrial*, 8(1), 21–33.
- Amat, R. J. (2017). *Regresión no lineal: Regresión Polinómica, Regression Splines, Smooth Splines y GAMs*. RPubS. [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/250069](https://rpubs.com/Joaquin_AR/250069)
- Andrade, M. (2018). *Clima y eventos extremos del Altiplano Central Perú-boliviano 1981 - 2010*. <https://doi.org/10.4480/GB2018.N01>
- Ángel, M., Parra, G., Zoraida, N., & Leguizamón, P. (2018). *La quinua ( Chenopodium quinoa Willd ) en los sistemas de producción agraria 1*. 13(1), 0–3. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n1a6>
- Apaza, V., Cáceres Sanizo, G., Estrada Zuñiga, R., & Pinedo Taco, R. E. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/76/1/Apaza-Catalogo\\_de\\_variedades...quinua.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/76/1/Apaza-Catalogo_de_variedades...quinua.pdf)
- Arzapalo, Q. D., Huamán, C. K., Quispe, S. M., & Espinoza, S. C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 81(1), 44–54. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2015000100006](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000100006)
- Bárcena, A., Samaniego, J., Miguel Galindo, L., Ferrer, J., Eduardo Alatorre, J., Stockins, P., Reyes, O., Sánchez, L., & Mostacedo, J. (2017). *La Economía Del Cambio Climático En América Latina Y El Caribe Una Visión Gráfica*. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42228/1/S1701215\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42228/1/S1701215_es.pdf)
- Belizario, Q. G. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú. *Re. Invetig. Altoandina*, 17, 47–52. <https://doi.org/http://doi.org/10.18271/ria.2015.77>
- Berrendero, J. R. (2017). *Análisis básico de series temporales con R*. <https://rpubs.com/joser/SeriesTemporalesBasicas>

- Berruezo, J. A., & Jiménez, J. D. (2017). Situación del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Resumen de las Cumbres de París, COP21 y de Marrakech, COP22. *Revista de Salud Ambiental*, 17(1), 34–39. <https://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/839>
- Bustamante, G. L. F., & Chill, R. (2018). *Aplicación de períodos de sequía controlada en cultivos de*. <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/3059>
- Camilloni, I. (2018). Argentina y el Cambio Climático. *Repositorio Institucional CONICET Digital*, 6. <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- Campos-Aranda, D. F. (2015). Búsqueda del cambio climático en la temperatura máxima de mayo en 16 estaciones climatológicas del estado de Zacatecas, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(3), 143–160. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222015000300010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222015000300010&script=sci_arttext)
- Campos, F. (2018). *Análisis de series temporales en R. ARIMA*. <https://www.diegocalvo.es/analisis-de-series-temporales-en-r-arima/>
- Carrasco, C. F. (2016). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, periodo 1997 - 2014 TT - Effects of climate change in production and performance in quinua Juli district, period 1997 - 2014. *Comuni@cción*, 7(2), 38–47. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572008000200015>
- Chavez, L. F. (2018). *Universidad Nacional San Agustín*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4766>
- Correa, M. A. Q., Galván Fernández, M. A., & Guadarrama Brito, M. E. (2018). *Análisis Del Cambio Climático De La Región De Zumpango De Ocampo, Estado De México Como Base Del Desarrollo Regional*. [http://conricyt13.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwjV07a8MwED7SZAlDwtrSJ2jpljiOZNF1qNpKanCiNHYh7WISWYEM6ZDE4I4ZO\\_cn-Y9VZyiUThl1dzruQHziXsAMGrZ3X-YoHKPas\\_VuQko3H7u5z5zIDLh7FLZS02x1Xg28YTw314Yb8DvUr5NYa1WWlnF x3xtrcse8x4fekfQoszBNTBNpP9FzsEJ](http://conricyt13.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwjV07a8MwED7SZAlDwtrSJ2jpljiOZNF1qNpKanCiNHYh7WISWYEM6ZDE4I4ZO_cn-Y9VZyiUThl1dzruQHziXsAMGrZ3X-YoHKPas_VuQko3H7u5z5zIDLh7FLZS02x1Xg28YTw314Yb8DvUr5NYa1WWlnF x3xtrcse8x4fekfQoszBNTBNpP9FzsEJ)
- Criollo, K., & Salomea, C. (2018). *Análisis de Ciclo de Vida de la Quinua (Chenopodium Quinoa) producida en la provincia de Imbabura*. 96.

[https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15242/1/UPS - ST003447.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15242/1/UPS-ST003447.pdf)

- Cuadros, C. T. A. (2017). El cambio climático y sus implicaciones en la salud humana. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 159. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.ccis>
- Damonte, G., Cabrera, A., & Miranda, F. (2017). *Problemas vinculados al cambio y variabilidad climáticos y modelos ejemplares de adaptación por regiones en el Perú*. 1–63. <http://repositorio.grade.org.pe/handle/GRADE/372>
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37, 227–240. <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/bitstream/handle/123456789/1392/CISO20123702-227-240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espitia, C., Mejia, N., & Pulido, P. (2017). *Estudio De Prefactibilidad Para La Elaboración Y Comercialización De Proteína Vegetal a Base De Quinua En Empaque Al Vacío En Bogotá*. 1–60. [http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15455/1/Prefactibilidad Proteína Vegetal.pdf](http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15455/1/Prefactibilidad%20Prote%20na%20Vegetal.pdf)
- Feo, O., Solano, E., Beingolea, L., Aparicio, M., Villagra, M., José Prieto, M., García, J., Jiménez, P., Betancourt, Ó., Aguilar, M., Beckmann, J., Gastañaga, M. del C., Llanos-Cuentas, A., Osorio, A. E., & Silveti, R. (2009). Climate change and health in the andean region. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(1), 83–93.
- Fernández, J. L. U. (2013). *Sus Causas Y Efectos Medioambientales Climate Change : Causes and Environmental Effects*. 76,95,96. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>
- Flores, R. C. (2018). Climate change in university students' social representations | El cambio climático en las representaciones sociales de los estudiantes universitarios. *Revista Electronica de Investigacion Educativa*, 20(1), 122–132. <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1443>
- Frankel, J. (2015). *El Grano Milagroso y su Lado Oscuro : Un estudio sobre la demanda de la quinua y sus efectos en los sistemas de producción de la comunidad de Cabana*.
- Garc, M., Leguizam, N. P., & Fonseca-l, D. (2018). *Miguel García-Parra, Nubia Plazas*

- Leguizamón, Dania Fonseca-López. *Potencial nutricional de semillas de quinua (Chenopodium quinua willd) en Colombia: una revisión*. 1(1), 85–93.
- Giraldo, N. (2006). *Notas de Clase Series de Tiempo con R*. [http://www.unalmed.edu.co/~ndgiraldo/Archivos\\_Lectura/Archivos\\_curso\\_Series\\_EIO/Notas de Clase. Series de Tiempo con R.pdf](http://www.unalmed.edu.co/~ndgiraldo/Archivos_Lectura/Archivos_curso_Series_EIO/Notas_de_Clase_Series_de_Tiempo_con_R.pdf)
- Herrán, C. (2012). El cambio climático y sus consecuencias para América Latina. *Proyecto Energía y Clima de La Fundación Friedrich Ebert - FES*, 1, 5–10. <https://doi.org/10.1021/ja00035a029>
- Julio, R., & Miranda, P. (2015). *Cambio climático, energía y propiedad intelectual*. 305–320.
- Kayeth, S., Torrado, F., & Parra, J. D. (2018). *Descripción de las saponinas en quinua (Chenopodium quinoa willd) en relación con el suelo y el clima: Una revisión*. 82(2), 241–249.
- Lagos, S., G., & Vélez, C., C. (2010). Protocolo de Kyoto. *Dirige El Programa de Cambio Climático*. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49118433/InformeKioto-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1644504477&Signature=V3POc6iK~ruDwDgbHOIUqcpEbbpLofSE76T1QFCqqJYNfTufDbV15kXcdbFppa2kSn2uciO-UmKUgLMo0taKGIvDMj1mLEIZB5UhVvFv-UwV4IeeI4hLyjqsVCem-m4JO24tJbQ1H8eGnN0vBZeBWAQ5S5ZXJ6wAXdGxScZXE9gRyM3OaOpNS67WDy89~axvQ12cHibcfnxCLn7EpP0O6zYt0m8UhUNYogAR22BTFvxKYtLFMYo0~lPw2Gupodz0LQ~hHBDtohVjd6VvQu5r4I-HzPX-ot11FItI~U7a-zndZGEZvhiYrodhq9~vR0Wncib~bfr~G8hLh7JPJpilQ\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49118433/InformeKioto-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1644504477&Signature=V3POc6iK~ruDwDgbHOIUqcpEbbpLofSE76T1QFCqqJYNfTufDbV15kXcdbFppa2kSn2uciO-UmKUgLMo0taKGIvDMj1mLEIZB5UhVvFv-UwV4IeeI4hLyjqsVCem-m4JO24tJbQ1H8eGnN0vBZeBWAQ5S5ZXJ6wAXdGxScZXE9gRyM3OaOpNS67WDy89~axvQ12cHibcfnxCLn7EpP0O6zYt0m8UhUNYogAR22BTFvxKYtLFMYo0~lPw2Gupodz0LQ~hHBDtohVjd6VvQu5r4I-HzPX-ot11FItI~U7a-zndZGEZvhiYrodhq9~vR0Wncib~bfr~G8hLh7JPJpilQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- Laqui, C. Y. (2017). *Efecto de la variación de los elementos climáticos en la producción de quinua, en la cuenca del río Ilave - Puno*. [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4024>
- Lozano, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). El cambio climático y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101–108.



- Magaña, V., Conde, C., Sánchez, O., & Gay, C. (2000). Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. *México: Una Visión Hacia El Siglo XXI. El Cambio Climático En México, December 2014*, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2007.12.005>
- Mamani, R. O. (2015). *Efectos de cambio climático en la alta del distrito de Ilave-El Collao*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1777>
- Mantilla, F. (2015). Técnicas de muestreo. In *Un enfoque a la investigación de mercados*. [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=tecnicas+del+muestreo+n+o+probabilistico+libro&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=tecnicas+del+muestreo+n+o+probabilistico+libro&btnG=)
- Marca, S. V., Chaucha Jove, W., Quispe Quispe, J. C., & Mamani Centón, V. (2011). Comportamiento actual de los agentes de la cadena productiva de quinua en la región Puno. *Dirección Regional Agraria Puno, 1*, 8–80. [https://www.agropuno.gob.pe/files/documentos/biblioteca/agentes\\_cp\\_quinua\\_q.pdf](https://www.agropuno.gob.pe/files/documentos/biblioteca/agentes_cp_quinua_q.pdf)
- Medrano, A. M., & Torrico, J. C. (2016). Consecuencias del incremento de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano sur de Bolivia. *CienciAgro*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BO2021100011>
- Miranda, R., Carlesso, R., Huanca, M., Mamani, P., & Borda, A. (2008). *Rendimiento y acumulación de nitrógeno en la quinua ( Chenopodium quinoa Willd ) Yield and nitrogen accumulation in quinoa ( Chenopodium quinoa Willd ) produced with manure and supplementary irrigation*. 21–29. <https://www.analiseenconomico.azc.uam.mx/index.php/ra/article/view/230>
- Monsalve, A., & Harmath, P. (2015). *Introducción al análisis de series de tiempo con aplicaciones a la economía y finanzas* (Issue September 2016).
- Necco, G. V. (2012). *Impactos potenciales del cambio climático en la seguridad regional en América Latina*. 1–36. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-seguridad/08995.pdf>
- Nina, D. A. (2014). *Cambio climático y seguridad alimentaria, un análisis en la producción agrícola*. 3, 59–70.
- Nivardo, N. T. (2017). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) alternativa de seguridad alimentaria para zonas desérticas. *Ciencia & Desarrollo, 0*(19).

<http://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/CYD/article/view/404/355>

- Ordaz, J. L., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A., & Serna, B. (2010). *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) @BULLET Sede Subregional en México. Costa Rica, Efectos del Cambio Climático sobre la Agricultura*. <http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25921/lcmex1972.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ordoñez, P. M. L. (2017). *Universidad Inca Garcilaso De La Vega*. [http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1920/TESIS\\_GUERRE RO GUTIERREZ, MELISSA JAQUELINE.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1920/TESIS_GUERRE%20RO%20GUTIERREZ,%20MELISSA%20JAQUELINE.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Pabon, J. D. (2003). El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*, 111–119. <https://doi.org/10.15446/rcdg>
- Pulido, D. A. P., Forero Longas, F., & Cabrera Navarro, S. A. (2016). Evaporación Osmótica: Fundamentos Y Aplicaciones En La Concentración De Jugos De Fruta. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 135. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)135-144](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)135-144)
- Quintana, L., & Mendoza, M. (2016). *Econometría básica: modelos y aplicaciones a la economía mexicana*. 408.
- Reyes, F. M. (2016). *Análisis de Series de Tiempo Univariadas y multivariadas mediante los modelos ARIMA y MVAR*.
- Rivera, V. L. E. (2018). *Representaciones sociales sobre el cambio climático de la población urbana en la región Puno* [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8010>
- Rodas, Z. (2017). Industrialización de la quinua. *Revistas.Unjbg.Edu.Pe*. <http://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/CYD/article/viewFile/91/74>
- Rodó, P. (2020). *Modelo ARMA*. <https://economipedia.com/definiciones/modelo-arma.html>
- Salazar Palacios, P. A. (2018). *Rendimiento de quinua variedad "Salcedo INIA" (Chenopodium quinoa Willd) con cinco densidades de siembra bajo condiciones del valle de Huaral-Lima-2015*. [http://200.48.38.121/bitstream/handle/USANPEDRO/4407/Tesis\\_56234.pdf?sequenc](http://200.48.38.121/bitstream/handle/USANPEDRO/4407/Tesis_56234.pdf?sequenc)

e=1&isAllowed=y

- Samame, J. C. M., Monteza, V. A. T., Monteza, V. A. T., Diaz, J. C. A., Diaz, J. C. A., Cabrera, H. I. M., & Cabrera, H. I. M. (2018). Clasificación automática de tipos de semilla de quinua a través de descriptores de color. *Revista Científica INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(2).  
<http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/718/655>
- Sanabría, A. K. M., & Lazo, R. H. O. (2018). Aclimatación a la alta temperatura y tolerancia al calor (TL50) en 6 variedades de *Chenopodium quinoa*\*. *Revista Peruana de Biología*, 25(2), 147. <https://doi.org/10.15381/rpb.v25i2.14689>
- Sánchez, G. J. A. (2017). *Aplicaciones de la Semilla Germinada de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en la mejora Nutricional de los preparados Alimentarios*.  
[https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10042/CRUZ VALDERRAMA%2C Marcos Antonio.pdf?sequence=1\\*%5ELWPDOM%5E-amp;%5ELWPDOM%5E\\*isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10042/CRUZ%20VALDERRAMA%20Marcos%20Antonio.pdf?sequence=1*%5ELWPDOM%5E-amp;%5ELWPDOM%5E*isAllowed=y)
- Soares, D., García, A., & Manzano, L. S. R. (2018). Cambio climático. Percepciones sobre manifestaciones, causas e impactos en el Distrito de Temporal Tecnificado Margaritas-Comitán, Chiapas. *Ciencia Ergo Sum*, 25(1).  
<https://search.proquest.com/docview/2040754644?accountid=13031>;
- Suarez, S. T. A. (2018). *Caracterización agromorfológica de 10 variedades de quinua (Chenopodium quinoa willd.) y su relación con el rendimiento, bajo condiciones de campo en la costa central* [Universidad Científica del Sur].  
<http://repositorio.cientifica.edu.pe:8080/xmlui/handle/UCS/553>
- Tonconi, Q. J. (2015). Producción agrícola alimentaria y cambio climático: un análisis económico en el departamento de Puno, Perú. *Idesia (Arica)*, 33(2), 119–136.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6371477>
- Velasco, M. H., Morales Acoltzi, T., Estrella Chulim, N., Díaz Ramos, R., Juárez Sánchez, J. P., Hernández Vázquez, M., & Bernal Morales, R. (2015). Trends and variability of climate change indices: agricultural focus, in two regions of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(7), 1587–1599.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5346433&info=resumen&idioma=E>



NG

Véliz, C. C. (2011). Estadística para la administración y los negocios. In *Primera Edición*.  
*Pearson Educación. México.*

Villavicencio, J. (2010). *Introducción a Series de Tiempo Por: John Villavicencio*  
*CONTENIDO.* 1–34.  
[http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4\\_BxecUaZmg%3D](http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D)

Vizcarra, T. A., Rodríguez, G. T., Huallpartupa, D. R., & Prieto, J. M. (2015). Efecto de la  
relación de agua y tiempo de proceso térmico sobre el volumen de expansión y atributos  
sensoriales de *Chenopodium quinoa* Willd. *Ciencia & Desarrollo*, 19, 29–35.  
<http://www.revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/475>

Zuñiga, A. C. E., Rodriguez, J. C., Vásquez, J. Ñ., & Pari, J. G. Z. (2018). Capacidad de  
carga de pastos de puna húmeda en un contexto de cambio climático. *Revista*  
*Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 361–368.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6600451>



## ANEXOS

Anexo 1:

**Temperatura media mensual del distrito de Yunguyo periodo 2003-2018**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio
2003	10.0	10.1	9.5	8.9	7.6	6.1	5.9	6.5	7.2	9.4	13.9	10.9	8.8
2004	9.1	9.2	9.7	8.9	6.1	5.1	5.1	6.4	8.1	9.3	10.5	10.6	8.2
2005	10.0	9.6	9.8	9.1	7.0	5.1	5.9	6.3	7.3	8.7	9.4	10.2	8.2
2006	8.6	9.0	9.4	8.6	6.3	5.6	5.2	6.8	7.8	9.0	9.6	10.2	8
2007	9.9	9.9	9.2	9.2	7.4	6.9	5.3	6.8	7.8	9.2	8.8	9.3	8.3
2008	8.8	9.0	6.3	8.2	5.8	5.2	5.2	6.3	7.5	8.7	10.0	9.0	7.5
2009	9.1	9.1	8.8	8.1	6.6	4.1	5.6	5.5	7.9	9.1	9.7	9.5	7.8
2010	8.9	9.3	9.2	8.4	8.1	5.9	4.6	5.9	7.1	8.1	8.6	8.8	7.7
2011	8.3	7.6	7.8	7.5	6.1	5.1	3.9	5.3	6.6	7.3	9.3	8.0	6.9
2012	7.4	7.2	8.7	8.5	6.9	5.8	6.1	6.8	8.5	9.9	10.1	9.4	7.9
2013	8.8	9.2	9.5	8.3	8.2	8.3	6.4	6.9	8.0	8.8	10.2	9.5	8.5
2014	9.0	9.3	9.3	8.8	7.1	6.5	5.9	6.9	7.1	8.8	10.0	10.2	8.2
2015	8.6	8.9	9.3	8.4	7.0	7.3	6.3	7.8	8.4	9.5	10.7	10.3	8.5
2016	10.9	10.6	11.0	9.5	7.5	6.3	6.8	3.8	8.9	9.4	10.0	10.6	8.8
2017	9.6	10.3	9.5	9.0	7.9	6.6	6.6	7.4	8.3	9.3	10.8	9.9	8.8
2018	9.2	9.4	9.5	9.0	7.4	6.2	6.4	6.8	8.2	9.3	10.7	10.0	8.5
Max	10.9	10.6	11.0	9.5	8.2	8.3	6.8	7.8	8.9	9.9	13.9	10.9	
Min	7.4	7.2	6.3	7.5	5.8	4.1	3.9	3.8	6.6	7.3	8.6	8.0	

Anexo 2:

**Temperatura media mensual de campaña agrícola de la quinua distrito de Yunguyo (2003 - 2018)**

AÑOS	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	PROM
2003 - 2004	7.2	9.4	13.9	10.9	9.1	9.2	9.7	8.9	6.1	<b>9.38</b>
2004 - 2005	8.1	9.3	10.5	10.6	10.0	9.6	9.8	9.1	7.0	<b>9.33</b>
2005 - 2006	7.3	8.7	9.4	10.2	8.6	9.0	9.4	8.6	6.3	<b>8.61</b>
2006 - 2007	7.8	9.0	9.6	10.2	9.9	9.9	9.2	9.2	7.4	<b>9.13</b>
2007 - 2008	7.8	9.2	8.8	9.3	8.8	9.0	6.3	8.2	5.8	<b>8.13</b>
2008 -2009	7.5	8.7	10.0	9.0	9.1	9.1	8.8	8.1	6.6	<b>8.54</b>
2009 - 2010	7.9	9.1	9.7	9.5	8.9	9.3	9.2	8.4	8.1	<b>8.90</b>
2010 - 2011	7.1	8.1	8.6	8.8	8.3	7.6	7.8	7.5	6.1	<b>7.77</b>
2011 - 2012	6.6	7.3	9.3	8.0	7.4	7.2	8.7	8.5	6.9	<b>7.77</b>
2012 - 2013	8.5	9.9	10.1	9.4	8.8	9.2	9.5	8.3	8.2	<b>9.10</b>
2013 - 2014	8.0	8.8	10.2	9.5	9.0	9.3	9.3	8.8	7.1	<b>8.89</b>
2014 - 2015	7.1	8.8	10.0	10.2	8.6	8.9	9.3	8.4	7.0	<b>8.70</b>
2015 - 2016	8.4	9.5	10.7	10.3	10.9	10.6	11.0	9.5	7.5	<b>9.82</b>
2016 - 2017	8.9	9.4	10.0	10.6	9.6	10.3	9.5	9.0	7.9	<b>9.47</b>
2017 - 2018	8.3	9.3	10.8	9.9	9.2	9.4	9.5	9.0	7.4	<b>9.20</b>

Anexo 3:

**Rendimiento de la quinua según temperatura media mensual del distrito de Yunguyo**

<b>Campaña agrícola</b>	<b>Rendimiento (Kg./Ha.)</b>	<b>Temperatura Media Mensual °C</b>
2003/2004	981.25	9.38
2004/2005	1049.69	9.33
2005/2006	1111.11	8.61
2006/2007	1125	9.13
2007/2008	1006.45	8.13
2008/2009	1222.22	8.54
2009/2010	1226.19	8.9
2010/2011	1289.77	7.77
2011/2012	1290.16	7.77
2012/2013	1057.97	9.1
2013/2014	1156.4	8.89
2014/2015	1315.79	8.7
2015/2016	1206.73	9.82
2016/2017	1289.34	9.47
2017/2018	1096.77	9.2

Anexo 4:

**Rendimiento de la quinua según temperatura media mensual del distrito de Cabanillas**

<b>Campaña Agrícola</b>	<b>Rendimiento (Kg./Ha.)</b>	<b>Temperatura Media Mensual °C</b>
2003/2004	1,173.08	10.49
2004/2005	1,318.52	10.92
2005/2006	1,042.86	9.86
2006/2007	1,114.71	10.32
2007/2008	924.53	9.78
2008/2009	1,316.22	10.08
2009/2010	1,456.41	11.14
2010/2011	1,351.02	10.50
2011/2012	1,018.00	10.18
2012/2013	1,020.63	10.71
2013/2014	1,108.26	10.61
2014/2015	1,164.95	10.16
2015/2016	901.75	11.31
2016/2017	1,048.33	10.71
2017/2018	1,026.79	10.20

Anexo 5:

**Características de las variedades mejoradas de quinua (Marca et al., 2011)**

Variedad	Origen	Periodo vegetativo (días)	Grano			Rendimiento (kg/ha)	Factores bióticos y abióticos	
			Tamaño	Color	Saponina		Tolerante	Susceptible
Chewecca	Orurillo - Asillo	165 a 180	Pequeño	Bianco	Dulce	1,000 a 2,500	Frío	
Illpa INIA	Sajama x Blanca de Juli	150 a 160	Grande	Bianco	Dulce	1,800 a 2,500	Mildiu, helada	
Blanca de Juli	Chucuito - Juli	160 a 180	Pequeño	Bianco	Semi dulce	1,200 a 2,500	Frío	Mildiu, granizo
Kancolla	Cabanillas-Puno	170 a 210	Mediano	Bianco	Amarga	1,100 a 2,500	Frío, granizo, Mildiu	
Salcedo INIA	Real boliviana x Sajama	160	Grande	Bianco	Dulce	1,200 a 2,500	Helada Mildiu	
Pasankalla	Acora - Puno	180 - 200	Grande	Plomo claro o castaño rojo	Dulce	2,000 a 3,500	Mildiu Humedad K'cona k'cona	Helada
Negra Collana	Selección de "Quytu jivras"	136 - 140	Grande	Negro opaco	Dulce	3,010	Mildiu, Helada, S equia	
Tahuaco I	Yunguyo Puno	160 - 180	Mediano	Bianco	Dulce	2,500 a 3,000	Mildiu	
Sajama	Real x línea 550 Illimani	140 - 160	Grande	Bianco	Dulce	2,500 a 3,500	Heladas, granizadas	
Rosado Taraco	Taraco - Puno	160 - 180	Mediano	Bianco	Amarga	1,22 a 2,000	Helada, granizada Aves	
Collado	llave - Puno	155 - 170	Mediano	Bianco	Semi-dulce	1,100 a 2,600	Mildiu, granizada	