

VARIABILIDAD DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS DEBIDO AL CAMBIO CLIMATICO EN LA PROVINCIA CERCADO DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1 Introducción

El estudio del clima es un campo de investigación complejo y en rápida evolución, debido a la gran cantidad de factores que intervienen, el clima en la tierra nunca ha sido estático y ha sufrido variaciones en el transcurso de los años, estos cambios se deben a causas naturales y a la actividad humana que en busca de un mayor desarrollo económico está matando al planeta; de esta manera se ven los cambios en los diferentes parámetros climáticos tales como las precipitaciones, temperaturas, etc.

Estos cambios de parámetros traen como consecuencia; temperaturas máximas más elevadas: sequías, estrés térmico y riesgo de daños a varios cultivos; temperaturas mínimas más elevadas y menos días fríos, días de heladas y días de frío en casi todas las zonas terrestres: disminución de la morbilidad y natalidad humana relacionadas con el frío, distribución y actividad de algunas plagas y vectores de enfermedades; episodios de precipitaciones más intensas: daños provocados por inundaciones, desprendimientos de tierra y avalanchas, y erosión del suelo. Observaciones efectuadas en todos los continentes, evidencian que numerosos sistemas naturales están siendo afectados por cambios del clima regional, particularmente por un aumento de la temperatura. Toda vez que tiene una cantidad creciente de fuentes de calor, tales como edificaciones, acciones antrópicas, sustitución del suelo natural por pavimento, en el cual el agua escurre rápidamente casi en su totalidad y por las descargas que pudieran realizar los motores de combustión interna a la atmosfera (contaminantes y vapor de agua).

El clima influye y determina todas las actividades del hombre, un cambio de temperaturas y precipitaciones vienen a afectar principalmente a la parte agrícola, la fauna, etc.

La presente investigación realiza un estudio de variaciones en la provincia Cercado de departamento de Tarija en el cual se realizó el análisis de los registros mensuales de las temperaturas y la precipitación por estación.

1.2 Problemática

Las angustias e inquietudes creadas por el desequilibrio climático y la escasez de los recursos hídricos en la región, constituyen hoy un signo de mayor preocupación sobre un posible cambio climático. En efecto, el mayor problema ambiental previsto para los próximos cincuenta o cien años no es otro que ese posible cambio climático provocado por el notable incremento de los gases invernadero que genera la actividad humana. El clima es un factor esencial en todos los elementos del paisaje, "actualmente, la tierra está experimentando un calentamiento acelerado observado desde medidas de siglo XIX y cabe la posibilidad de que aumente para el siglo XXI, esto genera una gran preocupación en la sociedad humana ya que es de gran importancia en el sistema social, económico, en la producción agrícola, los recursos hídricos, fenómenos meteorológicos, vegetación, biodiversidad y sanidad.

Así también la variación de las lluvias que hoy en día se puede observar como a consecuencia de su variabilidad muchas zonas dejaron de ser las mismas de antes, lugares donde llovía hoy sufren de sequías y lugares secos hoy en día se inundan.

El calentamiento de las temperaturas observado podría deberse en gran medida a la variabilidad natural, esta variabilidad, y otros factores humanos podrían haber contrarrestado un calentamiento global aún mayor.

1.3 Justificación

Este trabajo es realizado con el fin de promover una conciencia activa acerca de la situación actual que vive el mundo gracias a la acción humana, determinada por la actividad industrial, la emanación de gases en todos los aspectos y el uso en exceso de los recursos necesarios para mantener un clima estable en el planeta.

Hacer ver también nuestra contribución personal porque no contamos con un pensamiento o una actitud ambientalista, eso se evidencia en nuestro diario vivir, cuando conducimos nuestro auto con sus gases perjudiciales, cuando dejamos la llave del agua abierta o una luz encendida sin necesidad, cuando creamos desechos de todo tipo y no somos capaces de al menos ponerlos en un lugar adecuado y dejamos que se degraden, cuando en nuestro consumismo impulsivo no racionamos y vamos gastando poco a poco los recursos del planeta y finalmente cuando permitimos a conciencia que se talen hectáreas de árboles que son necesarios en el intercambio de gases nocivos produciendo lo esencial para la respiración del ser humano.

Lastimosamente en la actualidad no notamos que la temperatura está ascendiendo y que las precipitaciones están variando con el pasar de los años y que nos está perjudicando progresivamente, no le damos la prioridad suficiente y no lo ponemos en consideración junto con los problemas políticos y sociales que afronta el Mundo. Literalmente estamos matando a la tierra, por eso se busca crear conciencia al analizar estos datos de precipitaciones, temperaturas y poder ver cómo es que a pesar que no somos un país que generamos una notable contaminación igual nos vemos afectados por esta.

1.4 Objetivo general

Determinar la variabilidad de las precipitaciones y temperaturas debido al cambio climático en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.5 Objetivos Específicos

- Analizar la variación de precipitaciones que se presentó en el transcurso de los años.
- Analizar la variación de temperaturas que se presentó en el transcurso de los años.
- Análisis de las sequías debido a la influencia del cambio climático.
- Analizar la influencia de las temperaturas debido al crecimiento urbano de la ciudad de Tarija.

1.5 Hipótesis

¿La influencia del cambio climático en los últimos años en la provincia Cercado del departamento de Tarija deberá ser considerado para una mayor planificación y gestión de recursos naturales ?

1.6 Limitantes

El siguiente estudio se lo realizo para la provincia de Cercado del departamento de Tarija, se analizó los datos de precipitaciones medias mensuales, medias anuales, temperaturas mensuales (máximas, medias mínimas) y temperaturas medias anuales.

CAPITULO II MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

2.1.1 El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se define como el proceso por el cual las masas de agua cambian de estado y posición relativa en el planeta.



Figura 1. Ciclo hidrológico

fuelle:https://www.ecured.cu/Ciclo_del_agua

Es un proceso continuo en el que una molécula de agua describe un ciclo cerrado pasando por varios estados de agregación de la materia diferentes. Las etapas que contempla el ciclo hidrológico del agua son 5: Evaporación, Condensación, Precipitación, Escorrentía y Transporte. Se definen de la siguiente manera:

1.-Evaporación: La evaporación es un proceso físico que consiste en el traspaso gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, en función de un aumento natural o artificial de la temperatura. Con la intensificación del desplazamiento, las partículas escapan hacia la atmósfera transformándose en vapor.

2.-Condensación: Consiste al cambio de estado del vapor de agua contenido en las masas de aire presentes en la atmósfera a fase líquida consecuencia de un enfriamiento de las mismas.

3.-Precipitación: El fenómeno de precipitación se produce cuando la humedad relativa del vapor de agua presente en la atmósfera es del 100 %. Si la temperatura es suficientemente baja la precipitación puede ser en forma de nieve.

4.-Escorrentía: Se define como el tránsito de agua que circula por una cuenca de drenaje, siendo la diferencia entre el caudal de precipitación menos los caudales evapotrasnpirado e infiltrado en el terreno causante éste último de la recarga de acuíferos subterráneos.

5.-Transporte: Movimiento de las masas de agua en estado líquido por toda la superficie terrestre formando ríos, lagos, mares y océanos.

El ciclo hidrológico es el fenómeno de circulación global del agua producido fundamentalmente por la energía solar, e influenciado por las fuerzas de gravedad y la rotación de la Tierra. Así, a partir de la recepción de energía solar que es la fuente de generación exterior se puede comenzar a describir el ciclo del agua con la generación de vapor de agua hacia la atmósfera por evaporación del agua líquida desde lagos, ríos, océanos, mares y por evapotranspiración desde suelos y vegetación. Luego ,bajo determinadas condiciones meteorológicas(presión, temperatura y humedad) este vapor se condensa esto es cambiando nuevamente de estado formando microgotas de agua líquida que se mantienen suspendidas en el aire debido a la turbulencia natural. El agrupamiento de estas microgotas da lugar a los aerosoles y sucesivamente a la formación de nubes. Luego, a través de la dinámica de las masas de aire (circulación atmosférica) se concreta la principal transferencia de agua atmosférica hacia las masas continentales en forma de precipitación.¹

El agua proveniente de la precipitación (en estado sólido y/o líquido) sigue distintos caminos cuando llega a la superficie terrestre en función de las características edáficas, topográficas, fitográficas, urbanas, etc. Puede ser interceptad por la vegetación, convertirse en flujo

¹ Definición de ciclo hidrológico http://www.academia.edu/4422692/1_Conceptos_Hidrologicos_Basicos

superficial sobre el terreno (escurrimiento superficial) o infiltrarse en el suelo dando lugar a la formación de acuíferos (aguas subterráneas) que, eventualmente gracias al escurrimiento subterráneo, alimentan ríos, lagos, humedales o descargan directamente en el mar. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera por el proceso de evaporación. El ingreso de agua al ambiente subterráneo se realiza por el fenómeno de infiltración. Su desplazamiento desde el suelo por las zonas de aireación y saturación, se denomina percolación.²

2.1.2 Hidrología

La Hidrología es la ciencia que estudia el agua y sus manifestaciones en la atmósfera, sobre y debajo de la superficie terrestre; estudia asimismo sus propiedades y sus interrelaciones naturales. Asimismo podríamos subdividir a la Hidrología en:

- Hidrología Superficial: la cual estudia las corrientes de agua que riegan la superficie de la tierra y su almacenamiento en depósitos naturales (lagos, lagunas, ciénagas).
- Hidrología Subterránea: en la que se incluyen los estudios del agua subterránea (acuíferos).

Desde el punto de vista de la Ingeniería Civil, veremos que la Hidrología incluye los métodos para determinar el caudal como elemento de diseño de las obras que tienen relación con el uso y protección del agua, como es el caso de represas, canales, acueductos y drenaje pluvial, entre otros.³

Importancia y objetivos de la Hidrología.

En el aspecto más general, un Proyecto Hidráulico está íntimamente ligado a los usos que el hombre hace del agua, pudiendo ser éstos los que la utilizan con fines de aprovechamiento y los que suministran protección contra los posibles efectos dañinos de ésta. Se acepta que la Ingeniería Hidráulica es la rama de la Ingeniería Civil que se ocupa de planificar, proyectar y construir las obras hidráulicas, entendiéndose que son éstas las que cumplirán la función de captar, conducir,

²Guevara P. E., 2004 *Hidrología Ambiental*, Carabobo, Venezuela

³ Guevara P. E., 2004 *Hidrología Ambiental*, Carabobo, Venezuela

regular y protegernos de las aguas. Cualquier obra civil, cuyas dimensiones y características hayan sido establecidas atendiendo principalmente a criterios y normas hidráulicas e hidrológicas, es una obra o proyecto hidráulico. De esta forma, el uso de la Hidrología en la Ingeniería Civil, es fundamental para el planeamiento, diseño y operación de los proyectos hidráulicos, pues es el que se orienta hacia los parámetros hidrológicos de diseño. Sin embargo, dada la dependencia de esta ciencia de los aspectos meteorológicos y ambientales, los resultados deberán ser considerados como estimados en muchos casos y por lo tanto será necesario complementar las incertidumbres con métodos probabilísticos.

Si el diseño en Ingeniería Civil se orienta al uso del agua con fines de Aprovechamiento, la Hidrología es empleada, por ejemplo, para estimar la posibilidad o no de realizar el abastecimiento de demandas de agua en una población, desde fuentes superficiales (Ríos, lagos) o Subterráneas.

Entre los usos más comunes del agua con fines de Aprovechamiento se destacan:

- **Abastecimiento Urbano.** Es el uso asociado a la satisfacción de los requerimientos futuros de Demanda de agua para consumo doméstico, uso público, comercial, e industrial, principalmente. Una vez que se ha determinado el valor de la Demanda de agua, los métodos de la Hidrología permiten realizar el análisis de la fuente que va a suministrarla. El estudio hidrológico incluye aquí el análisis de Caudales Medios y Mínimos en la fuente, entre otros.
- **Riego Agrícola.** Mediante el aprovechamiento del agua se garantiza la oferta de agua necesaria en el suelo para garantizar el crecimiento de las plantas empleadas en la producción agrícola (consumo consuntivo). Los estudios hidrológicos en este uso se centran en el análisis del Clima, Evapotranspiración y Lluvia en períodos cortos.
- **Hidroelectricidad.** Este es el caso en que se captan caudales de corrientes superficiales (ríos) y se aprovechan las diferencias de cota para generar energía eléctrica a través de la transformación de la energía hidráulica. Para este tipo de Proyectos de Ingeniería Civil, los estudios hidrológicos determinan la capacidad que tiene la fuente para suministrar la demanda de energía, analizan las magnitudes de las crecientes que pueden atacar a las obras

civiles y cuantifican los procesos de sedimentación y determinan las condiciones de la descarga.

Otro de los usos del agua es cuando se realizan obras de Protección, entre las que podríamos mencionar:

- Control de Crecidas. Comprende las obras y acciones encaminadas a impedir los daños que ocasionan los desbordamientos de aguas en los ríos u otros cuerpos superficiales en centros urbanos, plantaciones, etc.
- Control de Erosión. Consiste en impedir la acción erosiva del agua, tanto en cauces como en el suelo.

Con las obras de Protección, la Hidrología da a la Ingeniería Civil los métodos que analizan los regímenes de caudales medios y extremos (máximos) de las corrientes de agua en los tramos de influencia de las obras viales, en las zonas que requieren de alcantarillados de aguas lluvias, y en las zonas inundables adyacentes a los cauces.

Finalmente, sean Obras de Aprovechamiento o de Protección, podremos pensar que los métodos de la Hidrología recolectan y procesan información histórica, programan y ejecutan actividades de campo en topografía, batimetrías, aforos líquidos y sólidos, toma y análisis de muestras de sedimentos, entre otros. Los resultados de éstos producen información sobre los siguientes aspectos:

- Características climatológicas y morfométricas de las zonas que tienen influencia sobre el área del proyecto Civil.
- Selección y capacidad de la fuente que suministrará el caudal que se entregará a los beneficiarios del proyecto.
- Magnitud de los eventos extremos (Crecientes y Sequías), que pueden poner en peligro la estabilidad de las obras civiles, o a los procesos de navegación o el suministro confiable de agua a los usuarios.

- Transporte de sedimentos hacia las obras de captación y almacenamiento, o erosión de cauces naturales.⁴

2.1.3 Precipitacion

Precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie de la tierra esta incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo también rocío y escarcha que en algunas regiones constituye una parte pequeña pero apreciable de la precipitación. El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal y única entrada de agua a una cuenca. También es fundamental en la previsión de avenidas, diseño de obras públicas, estudios de erosión, etc.⁵

Se le conoce como precipitación, a la caída de agua, de las nubes, sea en estado líquido o sólido, que les permita caer hasta el suelo. Cuanto mayor es la cantidad de vapor de agua en el aire, se incrementan las precipitaciones, absorben la energía irradiada por la tierra, y tiene mayor capacidad para producir tormentas eléctricas. La precipitación se puede originar por diversas causas a) Orográfica: debido a las tierras ubicadas en la altura, las masas de aire se ven forzada a elevarse cuando menos parcialmente. b) Convección: el calentamiento diferencial de la superficie terrestre o marina, produce áreas cálidas, que provocan la elevación de masas de aire caliente. c) Convergencia: cuando dos masas de aire se encuentran formando un ángulo obtuso y se produce un ascenso de aire húmedo. d) Causa ciclónica: suele denominarse precipitación frontal y puede incluir la lluvia de convergencia, ya que la zona de transición, entre las dos masas de aire, puede considerarse como un frente. La precipitación, se origina, por los cinturones permanentes y semipermanentes de presión, donde el aire está sometido a movimientos ascendentes o descendientes, y las condiciones dan lugar a la humedad, o aridez. Los sistemas de vientos locales y regionales afectan en gran manera, a la precipitación; las fuertes brisas de mar locales, la estimulan, mientras que si son de tierra, la inhiben. En escalas mucho mayor, los vientos monzónicos que soplan hacia el mar o proceden del mar, y los lagos situados tierra adentro, o las

⁴ Guevara P. E., 2004 *Hidrología Ambiental*, Carabobo, Venezuela

⁵ Sánchez J. (2016) *Precipitaciones*, Salamanca, España

grandes extensiones de agua pueden dar lugar localmente a aumentos de la precipitación, sobre las zonas situadas, tras dichas masas de agua, en la dirección del viento dominante.⁶

2.1.4 Temperatura

La temperatura en la superficie terrestre viene determinada por la cantidad de calor almacenado, que a su vez, depende del flujo de calor, en ese punto; radiación solar (entrada) y radiación terrestre (salida), así como de los diversos mecanismos que intervienen en los procesos. Los mecanismos pueden ser el grado de evaporación y el escurrimiento superficial. La distribución de calor dentro del sistema climático, se da mediante las circulaciones atmosféricas y oceánicas.⁷

2.1.5 Efecto invernadero

Es un proceso mediante el cual la energía de onda larga, emitida por la superficie terrestre, es retenida por las nubes y los gases de invernadero, sin afectar la entrada de los rayos UV provenientes del sol. Son los responsables de mantener la temperatura 33 °C, habitable para los organismos vivos, de lo que estaría normalmente.



Figura 2 Efecto invernadero

Fuente: <https://www.ck12.org/na/el-efecto-invernadero>

⁶ Sánchez J. (2016) Precipitaciones, Salamanca, España

⁷ Salazar P. A. (2015) Variabilidad de la temperatura y de la precipitación en la ciudad de Toluca, estado de México

La temperatura de la tierra, está determinada por tres partes: (1) la cantidad de luz solar que recibe la tierra: (2) la cantidad de luz solar que es reflejada en la superficie de la tierra y que por tanto no es absorbida y (3) grado en que la atmósfera retienen el calor irradiado por la tierra (dispersión). Un aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera ha de comportar un incremento de la temperatura. Y en la actualidad la atmósfera es más rica en gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) o el óxido nitroso (N₂O), que cien años atrás.⁸

2.1.6 Cambio climático

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el cambio climático tiene una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). Se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénico en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras.

De acuerdo a Fuentes (2000) el cambio climático se genera cuando existe una variación significativa y permanente en los elementos climáticos en un amplio espacio geográfico, con duración de 100.000 y 10.000 años, por ejemplo, la sucesión de periodos glaciares e interglaciares.⁹

2.1.7 Clima urbano

Las áreas urbanas reproducen a escala local los cambios e impactos observados a escala global. Y éstas surgen por la conversión de terrenos de área verde, en áreas de cultivo, o a ser sustituido, por asfalto o concreto. Los controles primarios sobre el clima térmico de una ciudad, son el tipo y la densidad de las superficies urbanas, esto es, el área superficial total de edificios y carreteras, además de la geometría de los edificios.¹⁰

⁸ Salazar P. A. (2015) Variabilidad de la temperatura y de la precipitación en la ciudad de Toluca, estado de México

⁹ Córdova Sáez, K. 2010, Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, Caracas, Venezuela.

¹⁰ Córdova Sáez, K. 2010, Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, Caracas, Venezuela.

El cambio de usos de suelo, tiene un impacto directo en la capa planetaria alterando el régimen, de la temperatura y la precipitación, el clima urbano es un clima regional modificado. Y la urbanización surge por la construcción social de espacios y lugares, usos y coberturas de los suelos y el continuo y persistente proceso de urbanización. Ésta genera islas de calor (por la maquinaria que desprende calor, las calefacciones y el tráfico rodado) e islas de lluvia (generada por las acciones antrópicas que genera núcleos de condensación), con impacto en la humedad y la ventilación. Las edificaciones modifican la velocidad del viento. La composición del aire se modificada, debido a las emisiones de contaminantes, derivadas de acciones antrópicas y naturales. En muchos casos las emisiones de grandes cantidades de sustancias a la atmósfera han la capacidad de equilibrio de este sistema, ocasionando con ello la alteración del ambiente natural.¹¹

2.1.8 Formación de islas de calor urbano

Las actividades, estructuras y características de los materiales, con que se encuentra construida la superficie urbana emiten células que podrían contribuir al incremento de la temperatura. El componente urbano de mayor superficie horizontal expuesta a la radiación solar es el pavimento, el cual en la mayoría de los casos posee alta absorptividad, y elevada capacidad térmica. Haciendo que su contribución al efecto de isla de calor urbana sea significativa.¹²

La isla térmica urbana, “consiste en la mayor calidez de las ciudades, respecto al medio rural”. Ésta se genera por las propiedades térmicas y calóricas de los materiales de construcción urbana: el calor antropogénico, como producto de los procesos de combustión: la disminución de la evaporación, debido a la sustitución del suelo natural por pavimento: una menor pérdida del calor sensible, debido a la reducción de la velocidad del viento: la rugosidad de las edificaciones: el aumento de la absorción de radiación solar por las múltiples reflexiones, y al aumento de la radiación de onda larga: que es absorbida y remitida hacia el suelo, por la contaminación atmosférica urbana, regularmente existen áreas más cálidas en zonas de construcciones de alta densidad, carentes de vegetación, mientras que las más frías, se caracterizan por el predominio

¹¹ Córdova Sáez, K. 2010, Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, Caracas, Venezuela.

¹² Córdova Sáez, K. 2010, Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, Caracas, Venezuela.

de áreas verdes y bajas densidades residenciales. En las áreas más cálidas pueden surgir la formación de islas de calor, favorecida por los materiales de construcción, que son lentos en calentarse y en enfriarse, almacenan una cantidad importante de energía, así como por el reemplazo de las superficies naturales por superficies impermeables, donde hay menos agua disponible para la evaporación, la cual contrarresta el calentamiento del aire. Las superficies oscuras, como las carreteras de asfalto, absorben más radiación solar y adquieren temperaturas mucho más altas que las superficies de color claro.¹³

En las primeras horas del día la intensidad de calor que se registra en la ciudad resulta ser débil, incluso frío, ya que algunos edificios proveen de sombras extensas, así como debido a los materiales de construcción, pero cuando se desarrolla la isla de calor, pueden existir diferencias de temperatura entre el campo rural y la ciudad de 2 a 8 ° C. Las islas de calor, se forman cuando el aire caliente se acumula en el centro de la ciudad por los edificios y las calles pavimentadas.¹⁴

2.1.8 Formación de islas de lluvia urbana



Figura 3. Lluvia urbana

Fuente: <https://fmradiourbana.com.a>

La magnitud de las lluvias originadas en la zona urbana son inducidas por causas naturales y por acciones antrópicas. En las áreas urbanas la ausencia de grandes extensiones de agua

¹³ Córdova Sáez, K. 2010, Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, Caracas, Venezuela.

¹⁴ Córdova Sáez, K. 2010, Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, Caracas, Venezuela.

estancada y la rápida eliminación que corre por la superficie por medio de cloacas hace disminuir la evaporación local. Cuando reina la calma y el tiempo, es bueno, las calles aprisionan el aire cálido que retienen su humedad, porque se deposita menos cantidad de rocío en las superficies cálidas de la ciudad. Además la falta de una extensa cobertura vegetal elimina gran parte de la evapotranspiración, lo cual constituye una importante fuente del aumento de calor urbano.¹⁵

2.1.9 Contaminación atmosférica urbana

La contaminación de aire es otro de los rasgos característicos de la ciudad y un importante factor de riesgo para la población. La contaminación en el área urbana, puede deberse a varios factores, uno por efecto natural; a través de polvo, polen y cenizas, y el otro por factores antropógenos, que suceden en la ciudad, la contaminación del aire, la circulación de los automóviles y la distribución de los contaminantes en los sitios cercanos a la zona industrial y el centro urbano, además del incremento de calor, energía que contribuye a elevar la temperatura ambiente en la ciudad y su periferia. Este aire caliente arrastra consigo la carga de contaminación, luego se expande hacia los bordes de la ciudad y vuelve a formarse un sistema circulatorio. Los más altos niveles de contaminación se presentan en el centro de la ciudad, producida por la emisión de gases vehiculares, los contaminantes se extienden hasta una altura de 700 metros, sobrepasando rara vez los 1000, y frecuentemente exceden los 500 metros. Por lo que los contaminantes contribuyen al desarrollo de la isla nocturna de calor. En la estación fría los vientos transportan con más frecuencia los contaminantes hacia fuera de la ciudad que en el verano.¹⁶

2.2 Marco institucional

2.2.1 Organización mundial de meteorología (OMM)

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) es un organismo especializado de las Naciones Unidas, integrado por 191 Estados y Territorios Miembros. Es el portavoz autorizado del sistema de las Naciones Unidas sobre el estado y el comportamiento de la atmósfera de la

¹⁵ Salazar P. A. (2015) Variabilidad de la temperatura y de la precipitación en la ciudad de Toluca, estado de México.

¹⁶ Salazar P. A. (2015) *Variabilidad de la temperatura y de la precipitación en la ciudad de Toluca, estado de México.*

Tierra, su interacción con la tierra y los océanos, el tiempo y el clima que genera, y la consiguiente distribución de los recursos hídricos.

Como el tiempo, el clima y el ciclo del agua no conocen fronteras nacionales, la cooperación internacional es esencial para el desarrollo de la meteorología y la hidrología operativa, así como para recoger los beneficios derivados de su aplicación. La OMM proporciona el marco en el que se desarrolla esta cooperación internacional.

Su predecesora fue la Organización Meteorológica Internacional (OMI), fundada en 1873 para facilitar el intercambio transfronterizo de información meteorológica. Tras su creación en 1950, la OMM fue designada, en 1951, organismo especializado de las Naciones Unidas. Su mandato abarca las esferas de la meteorología (tiempo y clima), la hidrología operativa y las ciencias geofísicas conexas. Desde su creación, la OMM ha contribuido de forma decisiva y singular a la seguridad y al bienestar de la humanidad. Además, fomenta la colaboración entre los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales y promueve la aplicación de la meteorología en muchos ámbitos.

La OMM continúa facilitando el intercambio libre y sin restricciones de datos, información, productos y servicios, en tiempo real o casi real, sobre cuestiones relacionadas con la seguridad y la protección de la sociedad, el bienestar económico y la protección del medio ambiente. Asimismo, contribuye a la formulación de políticas en esas esferas a escala nacional e internacional.

En base a estudios realizados la OMM recomienda trabajar con datos de estaciones que tengan un registro mayor a 30 años para obtener resultados aceptables al tiempo de analizar el cambio climático.

2.2.2 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Creado por mandato del D.S. 08465/1968 en fecha 4 de septiembre de 1968, es un organismo técnico descentralizado del Estado, bajo tuición del Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Rector de la actividad de monitoreo, registro y procesamiento de información meteorológica, hidrológica, presta servicios especializados en estos campos.

Dentro de sus competencias está además la de ejercer autoridad de toda la actividad meteorológica e hidrológica en el territorio del Estado Plurinacional.

Los datos de precipitaciones y temperaturas se recogieron de esta institución, se pudo contar con registros de 10 estaciones meteorológicas, de las cuales solo se trabajó con 6, esto por el registro de años y algunas de ellas no contaban con registros e temperaturas. Las mencionadas a continuación son las estaciones con la que se elaboró el estudio. También mencionar que no todas estas estaciones corresponden a la provincia Cercado, se las utilizo como apoyo ya que se encuentran cercanas a la provincia Cercado.

- 1.- Estación del Aeropuerto: provincia Cercado
- 2.- Estación de Coimata: provincia Méndez
- 3.- Estación de Cenavit: provincia Avilés
- 4.- Estación de San Jacinto Sud: provincia Cercado
- 5.- Estación de Sella Quebrada: provincia Méndez
- 6.- Estación de Yesera Norte: provincia Cercado

2.3 Estudios de cambio climático

2.3.1 El cambio climático en el mundo

El cambio climático es una amenaza para el desarrollo mundial y para los esfuerzos para poner fin a la pobreza. Si no se adoptan medidas urgentes el cambio climático podrían sumir en la pobreza a otros 100 millones de personas para 2030.

Diversos países y comunidades de todo el mundo ya están sufriendo fuertes impactos derivados del cambio climático, entre los que se incluyen sequías, inundaciones, desastres naturales más frecuentes e intensos, y aumento del nivel del mar. Y los sectores más vulnerables son los más afectados.

- Con el Acuerdo de París, el mundo se comprometió a mantener para fin de siglo el aumento de las temperaturas medias mundiales por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales y "proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento" aún más, a 1,5 °C.

- Las temperaturas mundiales ya se han elevado 1,2 °C por encima de los niveles preindustriales. El cambio climático incrementa la volatilidad y pone en peligro los esfuerzos para poner fin a la pobreza.
- Si no se adoptan urgentemente medidas para reducir la vulnerabilidad, brindar acceso a los servicios básicos y generar resiliencia, para 2030 unos 100 millones de personas más podrían verse empujadas a la pobreza como consecuencia de los impactos del cambio climático.
- Los impactos de los desastres naturales extremos equivalen a la pérdida de USD 520 000 millones en consumo anual, y cada año sumen en la pobreza a unos 26 millones de personas.
- El cambio climático ya está generando impactos reales y mensurables en la salud humana, y se espera que esos efectos se agraven. Los contaminantes asociados con las emisiones de carbono provocan actualmente más de 7 millones de muertes prematuras al año, y se estima que los costos directos para la salud se situarán entre los USD 2000 millones y USD 4000 millones al año para 2030.
- La desnutrición ha sido identificada como el mayor impacto (PDF, en inglés) del cambio climático en la salud en el siglo xxi. Según previsiones, por cada 1 °C adicional de aumento en las temperaturas mundiales, se producirá una disminución del 6 % en el rendimiento de los cultivos de trigo en todo el mundo y una caída del 10 % en los de arroz, (PDF, en inglés) lo que repercutirá significativamente en la desnutrición y el retraso en el crecimiento de los niños en regiones pobres o con escasa seguridad alimentaria. Asimismo, se prevé que para 2030 unos 7,5 millones de niños más presentarán retraso en el crecimiento (de los cuales 4 millones mostrarán retraso grave), cifra que se incrementará a 10 millones (PDF, en inglés) para 2050.

El cambio climático se está convirtiendo en un potente factor impulsor de las migraciones internas.

- Según el informe Groundswell: Prepararse para las migraciones internas provocadas por impactos climáticos, publicado recientemente por el Banco, para 2050 más de 143 millones de personas de tres regiones (África al sur del Sahara, América Latina y Asia meridional) podrían verse obligadas a trasladarse dentro de sus propios países para escapar de los

impactos de evolución lenta del cambio climático, como el estrés hídrico y la reducción de las cosechas.

- Mediante una acción concertada, que incluya esfuerzos mundiales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y una sólida planificación del desarrollo en los países, esta cifra de 143 millones podría reducirse significativamente, hasta en un 80 %, es decir, 100 millones de personas menos.

El financiamiento que se necesita para encarar una transición ordenada hacia una economía mundial resiliente y de bajo nivel de emisiones de carbono se estima en el orden de los billones de dólares, no de miles de millones.

- En los próximos 15 años, el mundo requerirá unos USD 90 billones para invertir en infraestructura nueva, principalmente en los países en desarrollo y de ingreso mediano. (i) Por lo tanto, es crucial que se adopten con urgencia decisiones acertadas en favor de una infraestructura resiliente frente al cambio climático, que garantice un desarrollo con bajo nivel de emisiones de carbono. Si se actúa ahora, se ahorrarán enormes costos más adelante.
- La Agencia Internacional de Energía estima que para limitar el aumento de la temperatura mundial a menos de 2 °C para fines del siglo, se requerirá invertir en promedio USD 3,5 billones al año en el sector energético hasta 2050.

Las iniciativas contra el cambio climático ofrecen una enorme oportunidad para procurar un desarrollo mundial sostenible, con posibilidades de inversión del orden de los billones de dólares y la capacidad de impulsar la innovación y crear industrias ecológicas y nuevos empleos.¹⁷

El calentamiento en nuestro planeta es evidente probado con una serie de pruebas concretas, La evidencia la podemos indicar a continuación:

- El aumento de la temperatura de la atmósfera en tierra y mar;

¹⁷ Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco (2010). *Desarrollo y cambio climático 2010*, Washington, DC 20433.

- El aumento en el nivel de la humedad atmosférica , posible gracias a la capacidad del aire caliente para contener más vapor de agua que el aire frío,
- La disminución de la superficie cubierta por la nieve;
- La retracción del hielo marítimo mundial;
- La migración de muchas especies de animales y plantas de climas más cálidos hacia los polos o a mayores altitudes;
- El aumento de la temperatura del mar, con el resultado de aumentar su nivel de expansión térmica.
- El avance de la ocurrencia de un evento asociado con la primavera, como las inundaciones de los ríos y lagos resultantes de la descongelación, las plantas que florecen y la migración de los animales.

Estos datos proporcionan evidencia material seguro que el clima está realmente calentando.

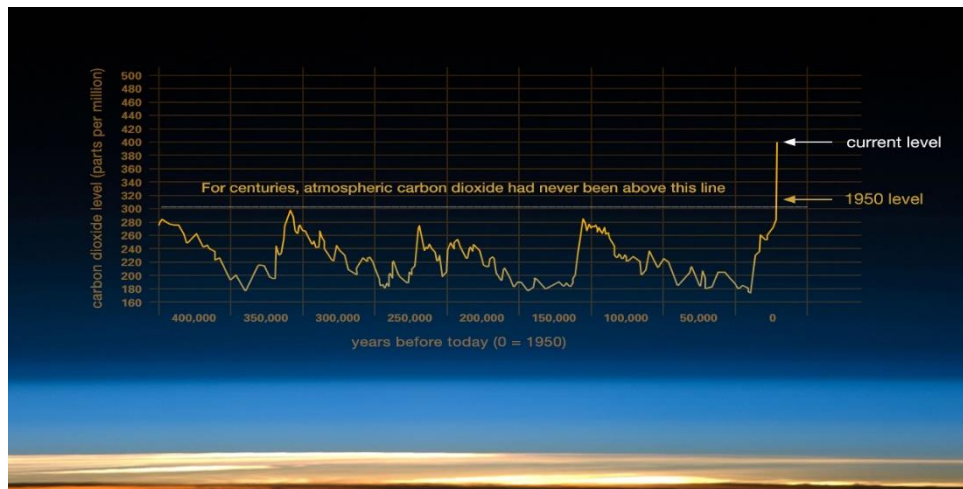


Figura 4. Imagen de la NASA sobre el CO₂

Fuente: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco (2010). *Desarrollo y cambio climático 2010*, Washington, DC 20433.

La temperatura promedio de la superficie del planeta ha subido aproximadamente 1.1 grados Celsius desde fines del siglo XIX, un cambio generado principalmente por el aumento de dióxido de carbono y otras emisiones a la atmósfera hechas por el hombre. La mayor parte del calentamiento ocurrió en los últimos 35 años, con 16 de los 17 años más cálidos registrados desde

2001. No solo fue 2016 el año más cálido registrado, sino que ocho de los 12 meses que componen el año - de enero a septiembre, con la excepción de junio - fueron los más cálidos en el registro de los respectivos meses.

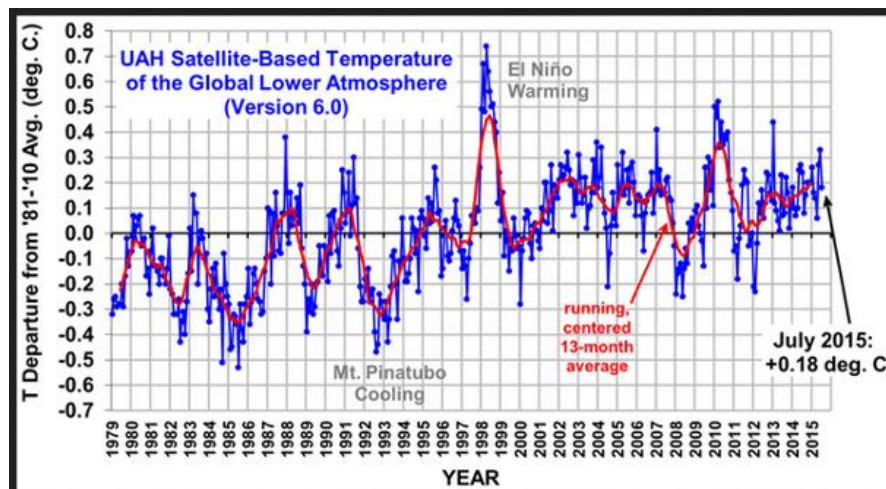
Las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida han disminuido en masa. Datos de la NASA muestran que Groenlandia perdió entre 150 y 250 kilómetros cúbicos de hielo por año entre 2002 y 2006, mientras que la Antártida perdió aproximadamente 152 kilómetros cúbicos de hielo entre 2002 y 2005.

Retiro glacial

Los glaciares se están retirando en casi todas partes del mundo incluso en los Alpes, el Himalaya, los Andes, las Montañas Rocosas, Alaska y África.

Disminución de la capa de nieve

Las observaciones satelitales revelan que la cantidad de capa de nieve en la primavera en el hemisferio norte ha disminuido en las últimas cinco décadas y que la nieve se está derritiendo antes.¹⁸



Figuran 5. Temperaturas Medias de la Superficie Mundial 2015

Fuente: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco (2010). Washington.

¹⁸ Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco (2010). *Desarrollo y cambio climático 2010*, Washington, DC 20433.

La determinación de la temperatura global de la superficie se hace de los datos recogidos en la tierra, sobre todo en las estaciones de medición de temperatura en las ciudades y océanos, por medio de barcos y batitermógrafos.

Se ha realizado una selección de estaciones a considerar, que son vistos como más fiable, y se hace una corrección en caso de que estaban cerca de las zonas residenciales con el fin de compensar el efecto de "isla de calor", creado en las ciudades. Se combinan las tendencias de todas las secciones a continuación, para llegar a una anomalía de la temperatura global.

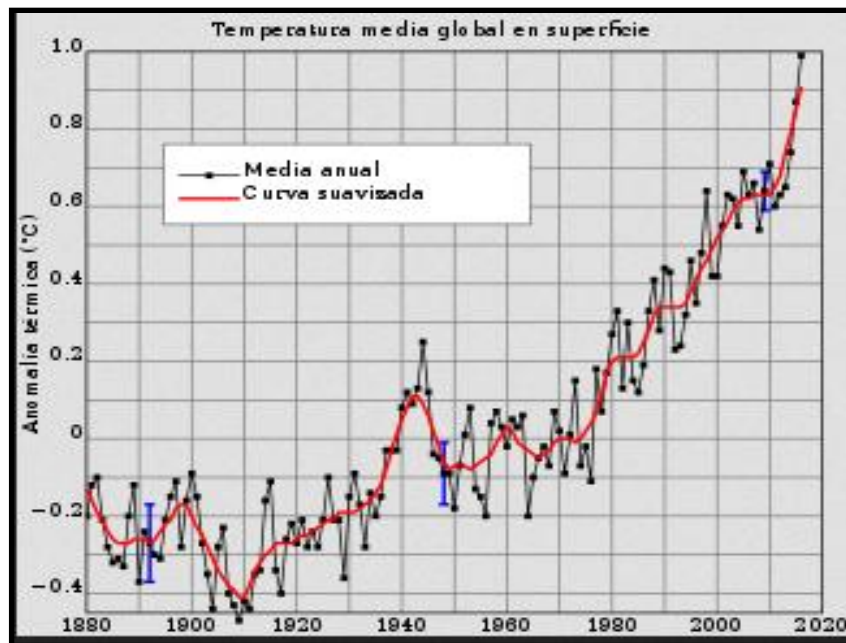


Figura 6. Temperaturas Medias de la Superficie

Fuente: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco (2010 Washington, DC 20433).

2.3.2 El cambio climático en Bolivia

Bolivia es el segundo país más vulnerable de Sudamérica y el quinto menos preparado para mitigar los daños del cambio climático, según una investigación del programa ND-GAIM Country Index, del proyecto Iniciativa de Adaptación Global de la Universidad de Notre Dame (Estados Unidos). Este dato corrobora lo que hace un par de años advirtió la Organización de las Naciones Unidas (ONU): que Bolivia era uno de los países más expuestos al fenómeno del calentamiento global.

Según el estudio norteamericano, Bolivia se encuentra en el puesto 124 de 181 países estudiados y es el segundo país más vulnerable de Sudamérica a ser golpeado por el cambio.

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) presentó en 2014 un informe en el que se alertaba ya de los problemas que sufriría Bolivia por el cambio climático, pese a que el país es uno de los que menos incide en ese fenómeno, dada su baja emisión de gases de efecto invernadero.

En Bolivia, el desborde de los ríos Chapare, 24, Vinchuta y Coni, ocurrido en tres municipios del trópico de Cochabamba, provocó la inundación de más de 20 viviendas y cerca de 3.000 familias damnificadas, además caminos y puentes sufrieron daños.

La vulnerabilidad medioambiental de Bolivia, según la ONU, se debe entre otras razones a la existencia en el país de ecosistemas variables, una creciente deforestación y una falta de información científica para afrontar el problema del cambio climático.

El informe del PNUD concluía que la temperatura media de Bolivia está experimentando aumentos que podrían ser de hasta dos grados centígrados en 2030 y de 5 a 6 grados hasta 2100.

La ONU también constató cambios significativos en los patrones de lluvia, con un descenso en zonas secas y un incremento en el área húmeda de la selva amazónica.

Entre las recomendaciones del PNUD a Bolivia figuraban el freno a la deforestación y el diseño de un nuevo marco regulatorio para hacer frente al cambio climático.

Así, en 2015, el fenómeno de El Niño asolaba el país e intensificaba los periodos de sequía. Como trágico ejemplo, el lago Poopó, ubicado en la zona del altiplano de Oruro, se secaba y quedaba reducido a un pequeño humedal.

A esos problemas se añade también una falta de control de la contaminación de los ríos por parte de las compañías del sector minero, clave para la economía del país. El negocio de la minería absorbe además el agua que necesitan muchas áreas rurales y urbanas del país y su expansión afecta al medio ambiente por la creciente deforestación de bosques próximos a las cuencas mineras.

Cambio climático, sequías interminables, contaminación de los ríos, mala gestión administrativa, falta de cultura medioambiental, el crecimiento desordenado de las ciudades, el urbanismo y el desarrollo hicieron que el año pasado Bolivia atravesase su peor crisis de agua en 25 años por la conjunción de todos estos factores. La escasez de agua potable llegó a afectar a cinco de los nueve departamentos del país.¹⁹

El aporte boliviano de las emisiones globales de CO₂ es de muy poca relevancia, respecto a países como Estados Unidos o China. En ese sentido, podemos preguntar: ¿queremos realmente comparar una población de poco más de 10 millones de habitantes (Bolivia) con un gigante de más de 1.3 mil millones de habitantes? Tomando los índices per cápita, y cuando se incluye la masiva deforestación, Bolivia aventaja fácilmente a China en emisiones de dióxido de carbono y se coloca no muy lejos de los Estados Unidos.²⁰

Bolivia deforesta aproximadamente entre 200.000 y 250.000 hectáreas por año, es una cantidad impresionante. Frenar la deforestación y lograr una mejor planificación de los asentamientos humanos es clave.

En los años pasados se han realizado diferentes ejercicios respecto al desarrollo de modelos climáticos regionales para Bolivia. Se puede mencionar sobre todo los esfuerzos del Instituto de Física de la Atmósfera de la UMSA de La Paz y de la Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN) de Santa Cruz. Donde se pudo observar un aumento de temperatura global de 4 grados centígrados al año 2100 (comparado a la era pre-industrial) se traduce a un aumento regional en el Altiplano y la cordillera de entre 7-10°C. Para 2030 esto significaría un aumento de temperatura regional comparado con temperaturas actuales de entre 1 – 2.5°C. En relación a las precipitaciones, las incertidumbres de los modelos climáticos son todavía más grandes que para la temperatura, especialmente en la región andina. Lo que se espera a manera general para los trópicos y subtropicos, es que las regiones ya secas se volverán aún más secas, las regiones húmedas más húmedas (la época de lluvia tiende a acortarse, pero al mismo tiempo es más intensa).²¹

¹⁹ <http://www.lostiempos.com/tendencias/medio-ambiente/20170406/bolivia-muy-vulnerable-al-cambio-climatico>

²⁰ Cambio climático en Bolivia. Autor: D.R. Instituto Boliviano de la Montaña

²¹ Dirk H. Cambio climático en Bolivia (2015). Instituto Boliviano de la Montaña, La Paz Bolivia

2.3.3 El cambio climático en Tarija

Tarija es un lugar conocido por el cálido clima que ofrece, de hecho, uno de los factores por los que muchas personas de otras partes del país que terminaron asentándose en esta tierra por el clima templado que presenta.

Si bien desde hace muchas décadas se viene hablando de una alteración del clima provocado por las acciones humanas, el “Cambio Climático”, ha rebasado todos los cálculos científicos iniciales, respecto al incremento de la temperatura media global, los impactos sobre el clima en las diferentes regiones del mundo y de las consecuencias que esto implica para la población humana.

El Cambio Climático, se manifiesta en la disminución y discontinuidad de las lluvias, la prolongación del tiempo de sequía, la ocurrencia insólita de “heladas” y nevadas, el incremento de las temperaturas extremas (“olas de calor”), intensificación de inundaciones y otros eventos climáticos, que tienen consecuencias negativas para la economía, la salud, la convivencia pacífica de las poblaciones humanas y, afectan el patrimonio natural.

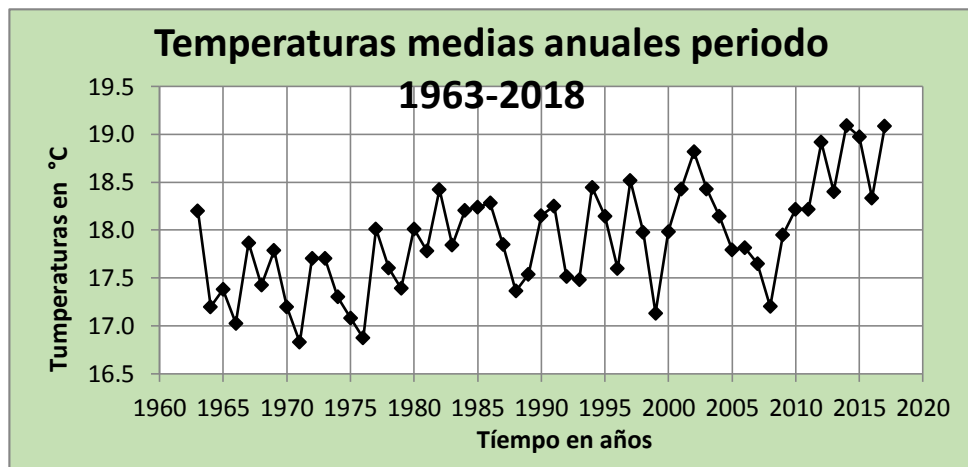


Figura 7. Tendencia de temperaturas para Tarija

Fuente:elaboracion propia

Favoreciendo la ampliación de la pobreza, la generación de conflictos sociales y la degradación ambiental; debilitando las potencialidades para el desarrollo sustentable.

Estos resultados, muestran que la temperatura media anual registrada en la estación Aeropuerto presenta una tendencia ascendente.

Departamento de Tarija es muy vulnerable al cambio climático

Las temperaturas extremas registradas este año en el departamento de Tarija fueron superiores a otras regiones del país, por lo que está considerado como una zona muy vulnerable al efecto del cambio climático.

En el año 2010 la provincia Gran Chaco experimentó nevada, un fenómeno nunca antes presente en su región, y que en el caso del Valle Central, hubo un récord de temperatura mínima con 10 centígrados bajo cero, causando mortandad de peces y otras especies de plantas y animales. Además se tiene la sequía, erosión, granizada e incendios forestales que devastan la producción agropecuaria, silvicultura, apicultura y la viticultura. En lo que corresponde a la viticultura, el cambio climático ira obligando paulatinamente a los productores de uva a buscar terrenos más altos para que no se pierda la calidad del vino de altura, toda vez que en el Valle Central las horas de frío se han reducido de 800 a 250. La pérdida de bosques que se cuantifica en miles de hectáreas. “Este tipo de problema causa la pérdida de la biodiversidad y migración de especies, que a su vez provoca otros daños en la salud, como la peste bubónica nunca antes conocida en estas regiones, que es causada por las pulgas de las ratas que tienden a migrar del bosque a zonas urbanas”. Otro aspecto importante es que la ciudad de Tarija, sin ser un centro industrial ni una metrópoli, tiene concentraciones alarmantes de carbono y el grado de contaminación urbana es similar a un centro industrial. “La ciudad de Tarija no tiene alta densidad poblacional y sin embargo sufre problemas de abastecimiento de cantidad y calidad de agua, energía eléctrica, gas y graves dificultades en la administración de desechos y aguas residuales.”²²

Sequía amenaza a la provincia cercado Cercado

Por la falta de agua, centenares de familias campesinas en Cercado pierden su producción agrícola. La falta de agua en las comunidades pone en riesgo también a la ganadería vacuna, caprina,

²² www.elpaionline.com/index.php/noticiastarija/item/13168-departamento-de-tarija

porcina, avícola y a la producción piscícola, debido a que muchas zonas del valle central se dedican a la crianza de diferentes especies de animales en grandes cantidades.

Pero la escasez de agua en Cercado no solo afecta a la agricultura y la ganadera, sino también a varias escuelas rurales, sobre todo en aquellas más lejanas, donde los estudiantes ya no cuentan con el líquido elemento para el consumo y mucho menos para las baterías de baño, “debido a que las fuentes de los sistemas de agua potable se están secando”.²³

²³ www.elpaionline.com/index.php/noticiastarija/item/13168-departamento-de-tarija

CAPITULO III ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES

3.1 Características del área de estudio

La precipitación promedio anual en la provincia Cercado es de 683.8mm., por año, valor que varía desde los 308 mm por año, en San Agustín Norte en la zona dela sub-cuenca del río Santa Ana, hasta los 1.251,2 mm por año, en Calderillas en la parte alta dela sub-cuenca del río Tolomosa, es decir la precipitación es mayor en cercanías a la cordillera-de Sama.

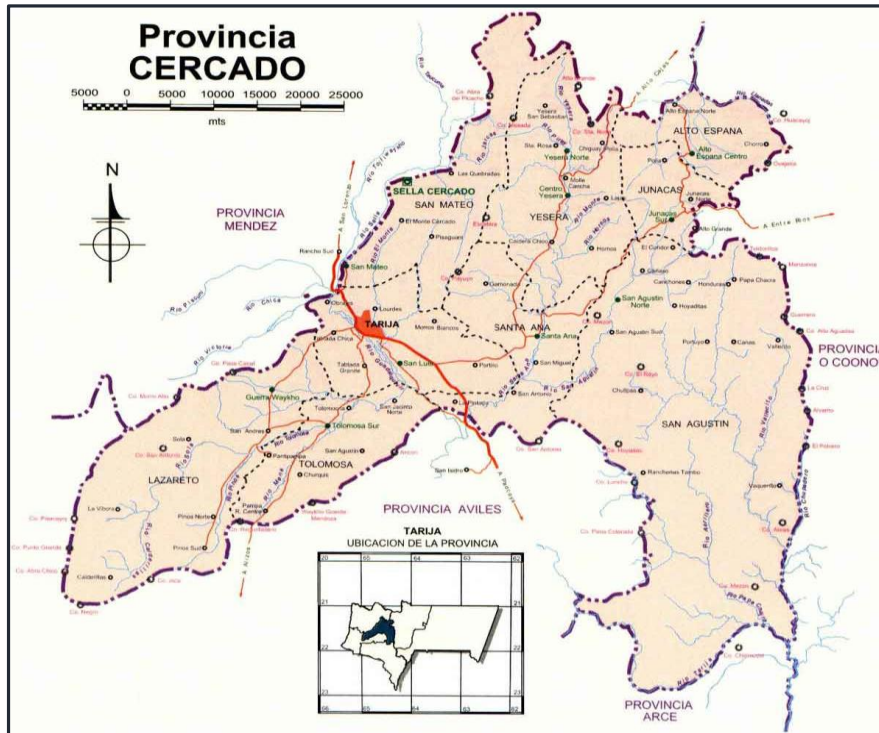


Figura 8. Mapa de la Provincia Cercado

Fuente: <https://www.educa.com.bo/geografia/provincia-cercado-tarija-mapa>

La precipitación se caracteriza por periodos relativamente cortos de lluvias (noviembre-abril), con regímenes de precipitaciones muy variables en cuanto a frecuencia e intensidad y con un periodo largo de estiaje (mayo-octubre), periodo en el cual es más notorio el déficit de agua en las sub-cuencas de los ríos Santa Ana, Sella y El Monte. También se presenta precipitaciones máximas en 24 horas en un promedio de 111 mm., y 70 días con lluvia. Se presentan vientos débiles a moderados de dirección variable de origen local, el régimen normal de vientos en la provincia Cercado, que corresponde en gran parte al Valle central de Tarija, está determinado por el ingreso de masas de aire denso a través de la fractura geológica de la Angostura, razón por la cual, la

intensidad, así como la dirección predominante se modifica al distribuirse tanto hacia el norte como al sur, de este punto de referencia.

El aporte de caudal en los ríos está directamente relacionado con la precipitación, el área de recarga de la cueca, la cobertura vegetal, la composición geológica, el relieve del terreno y los suelos.

En Cercado tenemos tres sub-cuencas que abastecen de agua a la ciudad de Tarija, estas son:

Cuenca del río Guadalquivir

El agua del río Guadalquivir se constituye en la recarga efectiva de los acuíferos, nace en el extremo norte de la serranía de Sama (río Chamata) y desemboca en La Angostura. La cuenca es tributaria del río Bermejo, afluente del río Paraguay y perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del río de La Plata. Sus principales afluentes son los ríos Santa Ana, Tolomosa y Camacho. El río Guadalquivir a partir del angosto (Comunidad La Angostura) recibe el nombre de río Tarija, el cual al unirse con el río Itau forman el río Grande de Tarija, éste a la vez se une en las Juntas de San Antonio (triángulo de Bermejo) con el río Bermejo, que son afluentes de la cuenca del río de La Plata.

La cordillera Oriental define los límites de la cuenca del río Guadalquivir, cuyas alturas máximas están representadas por la serranía de Sama que tiene una altura de 4.600m, en tanto que las alturas mínimas alcanzan los 1680m., en la cuenca baja que forma parte del Valle Central.

Cuenca del río Tolomosa

La cuenca del río Tolomosa es la más importante del municipio Cercado, la misma que cuenta con importantes recursos hídricos y áreas de cultivo bajo riego, están inmersas las principales comunidades: Tolomosa, San Andrés, Bella Vista, Tablada Grande, y en la parte baja de esta cuenca se encuentra la represa del proyecto multipropósito de San Jacinto. Esta cuenca tiene como principales sub-cuencas a Sola, Pinos, Mena, El Molino, Tablada y afluentes directos del Tolomosa, que a su vez se encuentran los principales ríos casi del mismo nombre como: Sola, Pinos, Mena, El Molino y la Quebrada Seca de La Tablada. El cauce principal de la red hidrográfica es el curso del río Tolomosa, nace en los cerros Punta Grande y Morro Alto, a 3.800 m.s.n.m. con el nombre de Sola y corre en dirección oeste- este hasta su confluencia con el río Pinos que nace a una altitud aproximada de 2.500m.s.n.m en los cerros Muyuloma e Inga, al unirse los ríos Sola y Pinos (en la comunidad de Bella Vista), recibe el nombre de río Tolomosa.

En la comunidad de Tolomosa Grande desemboca al embalse de la presa San Jacinto, aguas abajo de la presa San Jacinto el río Tolomosa desemboca en el río Guadalquivir a 1.700 m.s.n.m. Cuenca del río Santa Ana.

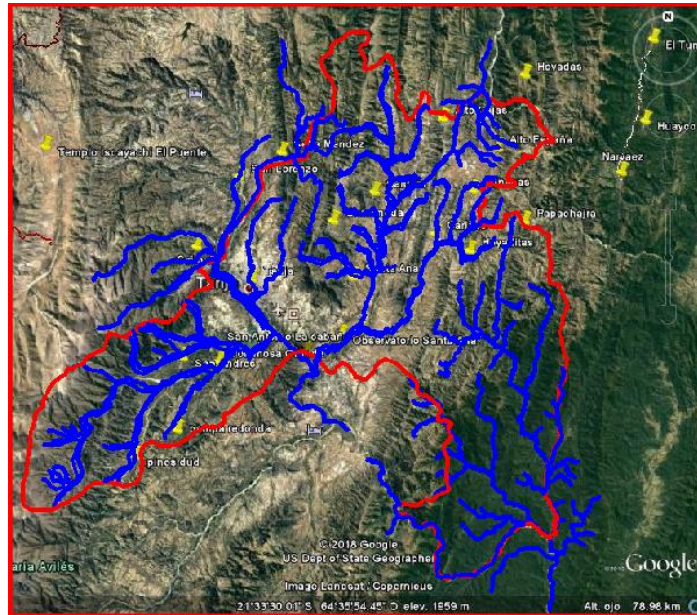


Figura 9. Mapa con los principales afluentes a la cuenca del Río Guadalquivir de la provincia Cercado

Fuente: elaboración propia

Es la segunda en importancia dentro del municipio, especialmente en cuanto a superficie, sin embargo tiene limitaciones respecto a la disponibilidad de recursos hídricos, áreas bajo riego y vegetación. Entre las principales sub-cuencas están, Yesera, San Agustín, Gamoneda y Afluentes directos del Santa Ana y corre entre sus cursos los principales ríos de Yesera, San Agustín, y Gamoneda.

3.2 Análisis de la información disponible

Para este estudio se trabajó con 6 estaciones que contaban con mayor registro de datos, tanto de precipitaciones y temperaturas.

Las estaciones que se analizaron son las siguientes:

Tabla 1. Estaciones de Estudio y años de registro de precipitaciones

ESTACIÓN	REGISTRO DE PRECIPITACIONES
AEROPUERTO	DESDE 1963-2018
CENAVIT	DESDE 1980-2018
COIMATA	DESDE 1980-2018
SAN JACINTO SUD	DESDE 1975-2018
SELLA QUEBRADA	DESDE 1980-2018
YESERA NORTE	DESDE 1980-2018

Fuente: elaboración propia.

Con el software Clid MD se realizó el análisis de datos de las precipitaciones medias mensuales y medios anuales.

El software Clic-MD facilita el manejo de grandes cantidades de datos de los elementos del clima, creando gráficas para visualizar miles de datos en segundos. El sistema informático Clic-MD permite la organización, almacenamiento y manipulación de datos climáticos que se utilizan en el análisis de diferentes índices agroclimáticos. El software Clic-MD, puede ser de utilidad para: Almacenar, de manera ordenada, miles de datos de clima de estaciones meteorológicas georeferenciadas.

Revisar la congruencia de los datos de las temperaturas y precipitaciones, Mediante el tés de Cramer, la prueba de Pettitt y la prueba de Smirnov-Kolmogorov. Calcular los índices agroclimáticos, elaboración de climogramas, gráfica de la longitud del periodo de crecimiento, gráficas de probabilidad de lluvia y estadística descriptiva de los elementos del clima. Con lo cual es posible mejorar las actividades agrícolas y reducir los daños al medio ambiente. Clic-MD permite conocer el periodo de lluvia continua, esencial para elegir la variedad de los cultivos, optimizando el uso del agua de lluvia ayudando así, a la conservación de acuíferos y obteniendo un mayor rendimiento con los cultivos, Cálculo de las tendencias de cambio climático y análisis

de las anomalías climáticas y de los eventos climáticos extremos, ayudando con esto a los tomadores de decisiones para aprovechar los efectos positivos del cambio climático.²⁴

3.3 Revisión de datos

3.3.1 Pruebas de normalización

Se realizó la prueba de normalización para los datos de precipitaciones esto para ver que los datos estén dentro de los normales y si hay algún dato que este fuera de lo normal revisar por qué y justificarlo sino proseguir a eliminarlo, las pruebas que se realizaron fueron el tés de Cramer y la prueba de Pettitt en estas pruebas se observó normalidad en los datos. El software Clid MD, realiza estas pruebas.

3.3.2 Pruebas de homogeneidad

Las pruebas para demostrar que una serie De tiempo de una variable es razonablemente homogénea tienen por objetivo Garantizar que las variaciones contenidas en las observaciones corresponden sólo a los procesos climáticos/meteorológicos y no a otros factores. Para este estudio se realizó la prueba de Smirnov-Kolmogorov en la cual los datos se ajustan con un nivel de significancia del 95% de confiabilidad. El software Clid MD, realiza la prueba de Smirnov-Kolmogorov.

3.3.3 Completacion de datos

Se realizó la completacion de datos mediante la regresión lineal múltiple ya que es el que mejor se ajustaba a las condiciones de la información obtenida.

3.4 Probabilidad de lluvia

La función Gamma es el modelo de probabilidad empleado para el análisis de los datos mensuales históricos de precipitación.

Con Clic-MD se calcula automática y rápidamente la curva de la precipitación acumulada por mes y en dos periodos, esto permite inferir el cambio climático entre un periodo de referencia y el periodo a evaluar.

²⁴ Bautista F., A. Pacheco., D.A. Bautista-Hernández. 2014. Análisis del cambio climático con datos mensuales (Clic-MD). Skiu.

3.4.1 Elaboración de gráficos de probabilidad de lluvias para la estación del aeropuerto

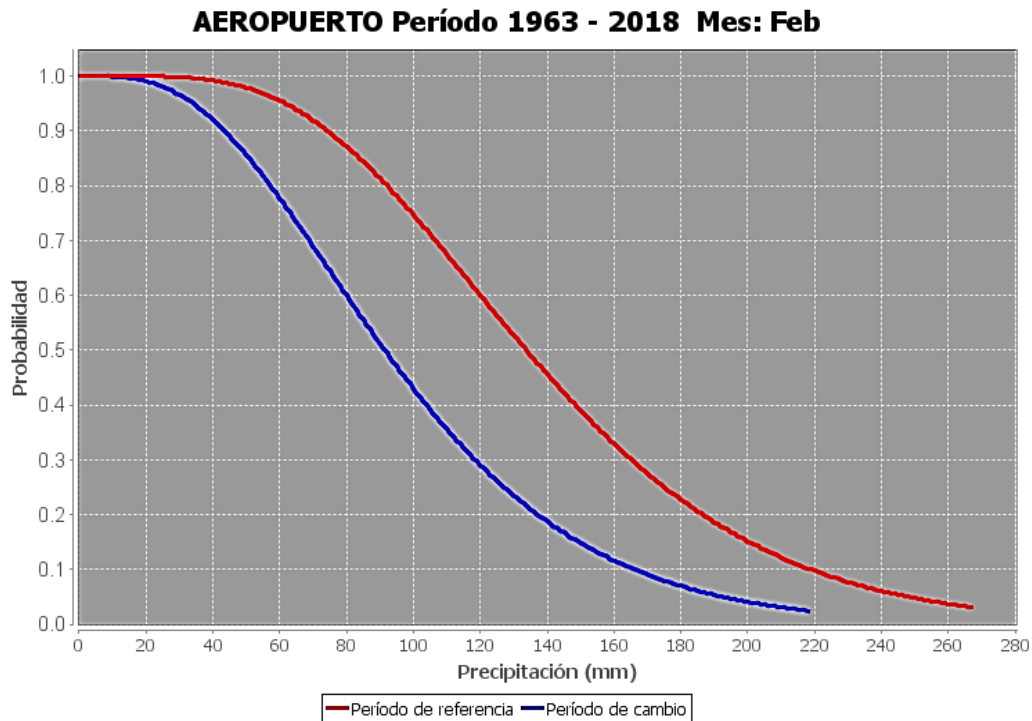


Figura 10 probabilidad de lluvia estación Aeropuerto, periodo de referencia : 1963-1980. periodo de cambio : 2010-2018 para el mes de febrero

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis de las probabilidades de lluvias para los diferentes meses, se tomó como parámetros: 150mm, 100mm, 50mm. Se trabajó con dichos parámetro ya que al realizar un análisis se obtuvo que en los meses de mayor concentración de precipitación esta oscila entre una media de 150mm. Otro parámetro que se tomó en cuenta es la precipitación necesaria para los cultivos, al ser una región que se dedica a la agricultura la demanda que requieren la mayoría de las hortalizas esta entre los 100 y 150 mm de precipitación por mes.

3.5 Índices de sequías

Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).

El índice SPI considera la lluvia como única variable, para determinar si una región o en un periodo hay déficit o exceso de precipitación respecto a las condiciones normales. Involucra ajustar registros históricos mensuales de precipitación a la función de distribución probabilística gamma. Los valores del SPI representan el número de desviaciones estándar que cada observación mensual se aleja de su promedio histórico, que se presenta por el cero, los valores negativos representan el déficit de la precipitación con respecto al promedio histórico y los positivos el excedente. Con esto

se permite analizar diversas escalas de tiempo, es decir los ajustes y transformaciones se pueden hacer con registro de precipitación acumulada en uno o más meses lo que permite identificar la frecuencia, intensidad y duración a corto, mediano y largo plazo.

Su cualidad más relevante del SPI es que puede ser calculado, en forma simple, para una gran variedad de escalas temporales, lo cual lo hace apto para el estudio de sequía cortas (importantes para la agricultura) o muy prolongadas (relevantes para evaluar la disponibilidad de agua subterránea, la escorrentía y los niveles de lagos o reservorios de agua) (Nuñez 2005).

Estas escalas temporales pueden ir desde uno hasta veinticuatro meses de registros de precipitación y cada cálculo tiene una aplicación diferente, como se indica a continuación:

SPI-3 provee una estimación estacional de la precipitación.

SPI-12 refleja los patrones de precipitación a largo plazo, usualmente relacionado a caudales de ríos, niveles de almacenamiento de presas, etc.

SPI-24 captura la variabilidad de baja frecuencia, evitando el ciclo anual explícito. Es importante mencionar que el SPI es una herramienta de monitoreo y diagnóstico del fenómeno.

Con Clic-MD se calcula automática y rápidamente SPI basado en la función Gamma, la cual es más acorde con la distribución de la lluvia. El SPI, es un índice que se calcula a partir de los datos de precipitación acumulada mensual de una serie de datos suficientemente larga, con base en varios periodos de tiempo, en este caso, se hizo para 3, 12, meses.

Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidad, y a continuación esta se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero.

A cada valor de la precipitación acumulada se le asigna un valor de la función y se determina la probabilidad de ocurrencia de esta función que coincide con la probabilidad de precipitación (SPI del dato de precipitación acumulada).

Indices de sequía en periodos de 3 meses para la estación del Aeropuerto

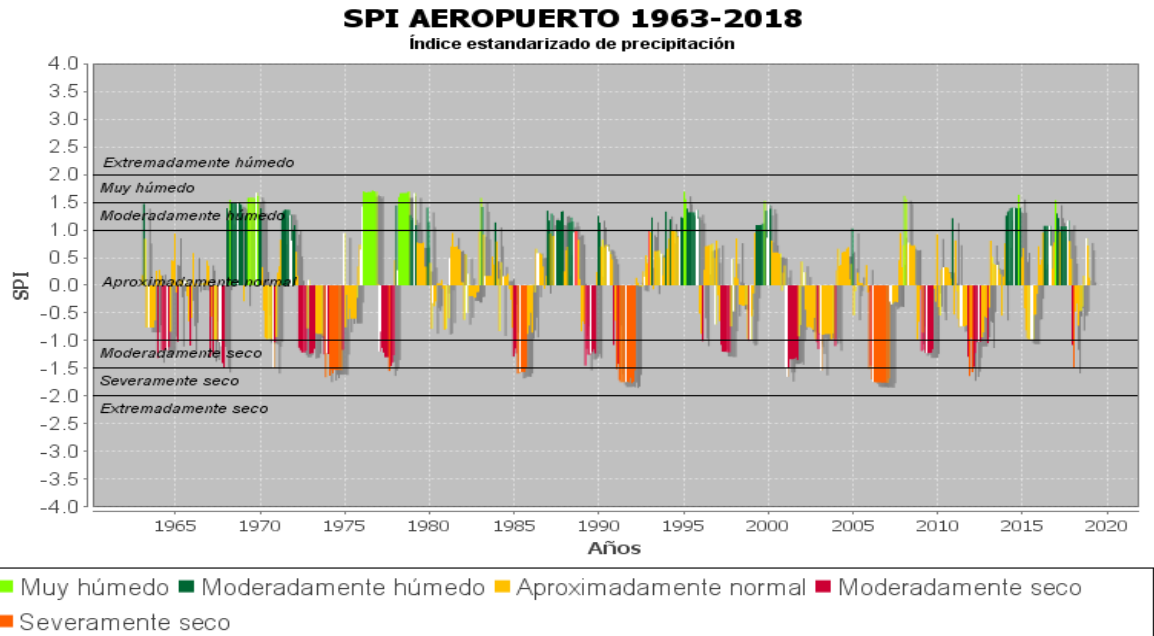


Figura 11 Índices de sequía en periodos de 3 meses para la estación del Aeropuerto periodo 1963-2018.

Fuente: elaboración propia

Índices de sequía en periodos de 12 meses para la estación del Aeropuerto

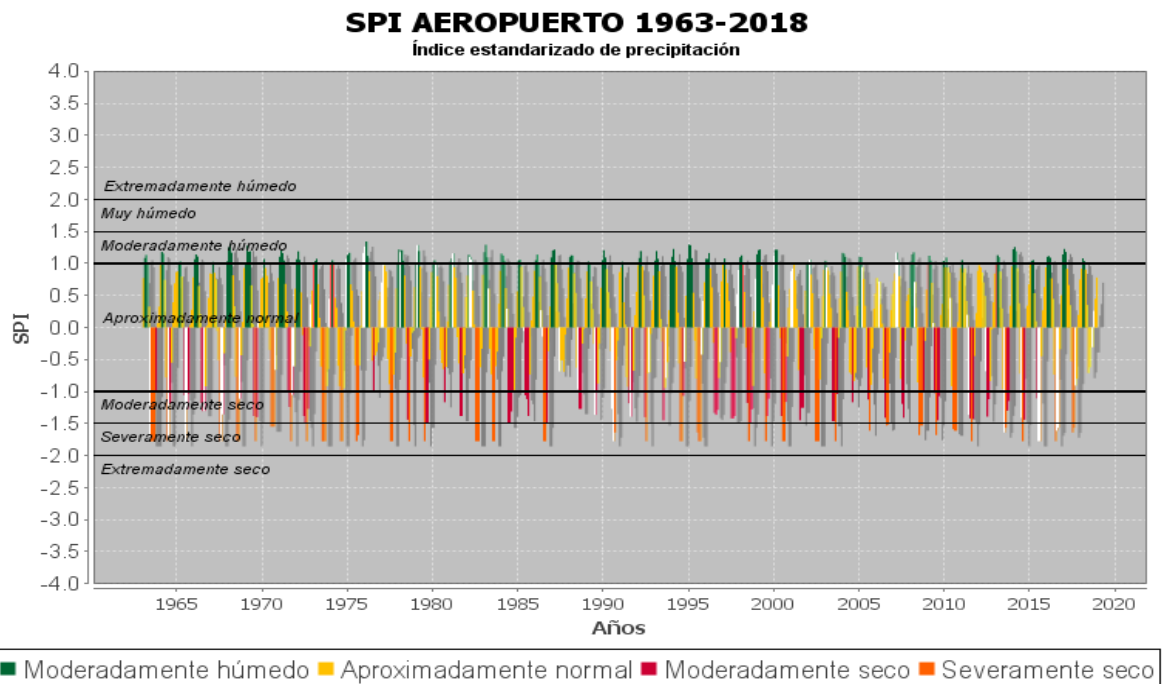


Figura 12. Índices de sequía en periodos de 12 meses para la estación del Aeropuerto, periodo 1963-2018.

Fuente: elaboración propia

CAPITULO IV ESTUDIO DE LAS TEMPERATURAS

4.1 Clima

Tarija está localizada al Sur de Bolivia. Tarija tiene una temperatura promedio de 18 grados centígrados. Tarija tiene un clima cálido y seco característico de los valles.

Tarija se encuentra a 1,854 metros sobre el nivel del mar. Está situada en el hemisferio sur del planeta. Las estaciones frías (otoño e invierno) van de mayo a septiembre y la temporada caliente (primavera y verano) de octubre a abril, también considerada como la temporada de lluvias.

Clima de primavera en Tarija: el clima de primavera es ligeramente cálido y agradable, con algunas lluvias. La temporada de primavera en Tarija va del 21 de septiembre al 21 de diciembre con una máxima promedio de 25 C (77 F) y una baja promedio de 8,3 C (47,3 F).

Clima de verano en Tarija: el tiempo de verano es ligeramente cálido y agradable, con algunas lluvias. La temporada de verano en Tarija va del 21 de diciembre al 21 de marzo, con una máxima promedio de 24 C (76 F) y una baja promedio de 11,3 C (52,7 F).

Clima de otoño en Tarija: clima de otoño es agradable. La temporada de otoño en el Tarija va de 21 de marzo al 21 de junio con una máxima promedio de 22 °C y una baja promedio de 6.7 °C.

Clima de invierno en Tarija: El clima de invierno es agradable, pero más frío que en otras temporadas, se considera la estación seca. Temporada de invierno en el Tarija va de 21 de junio al 21 de septiembre con una máxima promedio de 20,7 °C y una baja promedio de 1.0 °C.

4.2 Análisis de la información disponible

Se realizaron los análisis de las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales.

Se trabajó con 6 estaciones que contaban con registros de datos de temperaturas de periodos mayores iguales o mayores a 30 años.

Las estaciones que se analizaron son las siguientes:

Tabla 2. Estaciones de Estudio y años de registro de temperaturas.

ESTACIÓN	REGISTRO DE TEMPERATURAS
AEROPUERTO	DESDE 1963-2018

CENAVIT	DESDE 1980-2018
COIMATA	DESDE 1980-2018
SAN JACINTO SUD	DESDE 1976-2018
SELLA QUEBRADA	DESDE 1980-2018
YESERA NORTE	DESDE 1980-2018

Fuente: elaboración propia

Con el software Clid MD se realizó el análisis de datos de las temperaturas el software permite analizar datos medios mensuales y medios anuales de temperatura.

4.3 Revisión de datos

Se prosiguió a realizar pruebas de normalización y homogeneidad de los datos de las temperaturas. Así también se completó algunos datos faltantes de la estación de san Jacinto y Yesera con el método de regresión lineal múltiple tomando como estación de referencia la estación del Aeropuerto siendo esta última con datos completos en su registro.

4.3.1 Pruebas de normalización

Para las pruebas de normalización las pruebas que se realizaron fueron, t és de Cramer y la prueba de Pettitt en estas pruebas se observó normalidad en los datos. esto para ver que los datos estén dentro de los normales y si hay algún dato que este fuera de lo normal revisar por qué y justificarlo sino proseguir a eliminarlo. Estas pruebas fueron realizadas con el software Clid-MD.

4.3.2 Pruebas de homogeneidad

Las pruebas para demostrar que una serie De tiempo de una variable es razonablemente homogénea tienen por objetivo Garantizar que las variaciones contenidas en las observaciones corresponden sólo a los procesos climáticos/meteorológicos y no a otros factores. Para este estudio se realizó la prueba de Smirnov-Kolmogorov, con el uso del software Clid-MD donde los datos se ajustan con un nivel de significancia del 95% de confiabilidad.

4.4 Anomalías climáticas

Las anomalías de temperatura son las diferencias entre la temperatura media del año en cuestión (o algún periodo de años) y un período de referencia considerado normal.

Los eventos o periodos extremos son aquellos que tienen valores muy altos o muy bajos de los elementos del clima, con una probabilidad de ocurrencia de 0.01 a 0.05, lo cual se puede identificar con la distribución normal de los datos.

Con Clic-MD se calcula automáticamente las anomalías de temperaturas con la distribución normal de datos de las temperaturas, esto permite encontrar el cambio climático entre un periodo de referencia y el periodo a evaluar.

CAPITULO V APLICACIÓN PRACTICA

5.1 Características del area de estudio

Tarija es la capital departamental y la única sección municipal de la provincia Cercado. Se encuentra situada en el valle central del departamento de Tarija y limita al norte y oeste con la provincia Méndez, al este limita con la provincia O'Connor y al sur con las provincias Avilés y Arce. Su clima es templado, con una temperatura promedio de 18°C. Tarija tiene acceso vial hacia la frontera con la Argentina, y con las ciudades de Sucre y Potosí. Sus recursos hídricos están distribuidos en dos cuencas: la del río Santa Ana y la de los ríos Tolomosa y Sella, este último afluente del río Guadalquivir.

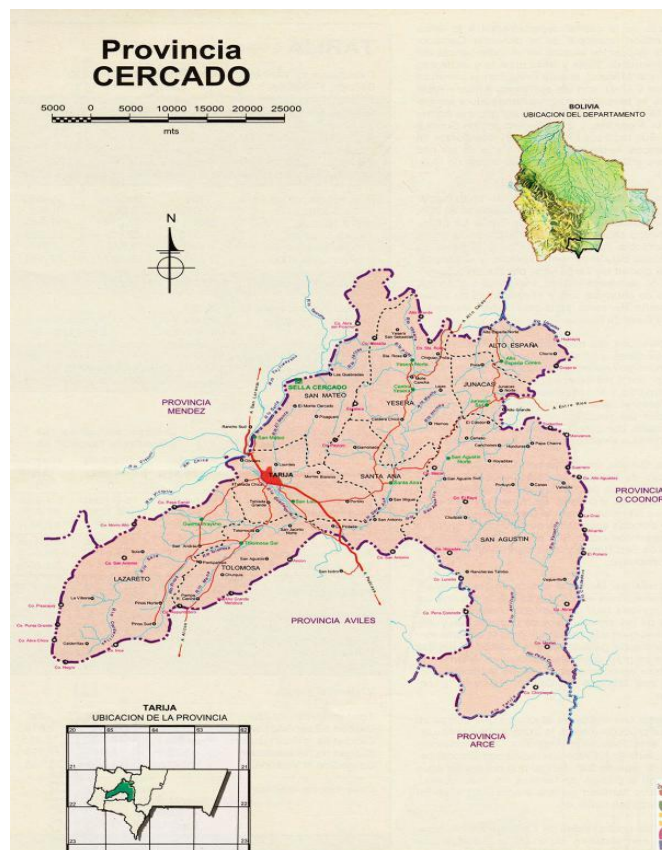


Figura 13 Mapa de la provincia Cercado

Fuente: <https://www.educa.com.bo/geografia/provincia-cercado-tarija-mapa>

Tarija se encuentra a 1,854 metros sobre el nivel del mar, es una de las grandes atracciones turísticas de Bolivia por arquitectura colonial, está situada en el hemisferio sur del planeta. Las estaciones frías (otoño e invierno) van de mayo a septiembre y la temporada caliente (primavera y verano) de octubre a abril, también considerada como la temporada de lluvias.

Las estaciones en Tarija

Clima de primavera en Tarija: el clima de primavera es ligeramente cálido y agradable, con algunas lluvias. La temporada de primavera en Tarija va del 21 de septiembre al 21 de diciembre con una máxima promedio de 25 °C y una baja promedio de 8,3 °C.

Clima de verano en Tarija: el tiempo de verano es ligeramente cálido y agradable, con algunas lluvias. La temporada de verano en Tarija va del 21 de diciembre al 21 de marzo, con una máxima promedio de 24 °C y una baja promedio de 11,3 C.

Clima de otoño en Tarija: clima de otoño es agradable. La temporada de otoño en el Tarija va de 21 de marzo al 21 de junio con una máxima promedio de 22 °C y una baja promedio de 6.7 °C.

Clima de invierno en Tarija: El clima de invierno es agradable, pero más frío que en otras temporadas, se considera la estación seca. Temporada de invierno en el Tarija va de 21 de junio al 21 de septiembre con una máxima promedio de 20,7 °C y una baja promedio de 1.0 °C.

5.2 Análisis de la variación de precipitaciones

Análisis de las probabilidades de precipitaciones medias mensuales de 50mm, 100mm, 150mm para los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre, diciembre en periodos de 10 años con el software Clid MD. Se realizó el análisis cada 150mm, 100mm, 50mm ya que la precipitación media en los meses con más agua es de 150mm.

5.2.1 Análisis de probabilidades para la estación del Aeropuerto

Tabla 3. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación Aeropuerto, mes de enero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1963-1980	95	64	30
1981-1990	100	98	76
1991-2000	98	78	44
2001-2010	94	58	23
2011-2018	100	80	30

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación del Aeropuerto mes de febrero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1963-1980	97	78	38
1981-1990	93	40	7
1991-2000	98	64	20
2001-2010	93	31	0
2011-2018	83	42	15

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación del Aeropuerto mes de Marzo

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1963-1980	70	23	15
1981-1990	80	30	7

1991-2000	60	25	9
2001-2010	90	45	10
2011-2018	100	42	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación del Aeropuerto mes abril

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1963-1980	15	0	0
1981-1990	20	0	0
1991-2000	9	0	0
2001-2010	0	0	0
2011-2018	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación Aeropuerto mes Octubre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1963-1980	23	2	0
1981-1990	21	0	0
1991-2000	15	0	0
2001-2010	40	0	0
2011-2018	24	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Análisis de probabilidades estación del Aeropuerto mes de noviembre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1963-1980	50	16	5
1981-1990	49	12	0
1991-2000	75	25	0
2001-2010	70	20	0
2011-2018	60	21	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 9. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación del Aeropuerto mes de diciembre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1963-1980	90	62	34
1981-1990	100	85	45
1991-2000	92	56	24
2001-2010	92	55	20
2011-2018	99	76	34

Fuente: elaboración propia

5.2.2 Análisis de probabilidades para la estación de Coimata

Tabla 10. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Coimata mes de Enero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	99	76	36
1990-1999	99	84	52
2000-2009	100	99	70
2010-2018	86	58	32

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Análisis de probabilidades de la estación de Coimata mes de febrero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	80	58	28
1990-1999	90	78	32
2000-2009	97	72	27
2010-2018	92	62	25

Fuente: elaboración propia

Tabla 12. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Coimata mes de marzo

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	72	52	18
1990-1999	85	60	16
2000-2009	100	75	10
2010-2018	50	15	5

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Coimata mes de abril

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	32	0	0
1990-1999	0	0	0
2000-2009	14	0	0
2010-2018	17	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Coimata mes de octubre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	15	0	0
1990-1999	26	0	0
2000-2009	40	15	7
2010-2018	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Coimata mes de noviembre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	70	30	10
1990-1999	86	13	0
2000-2009	72	20	3
2010-2018	28	2	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Coimata mes de diciembre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	98	84	55
1990-1999	96	68	31
2000-2009	52	80	97
2010-2018	17	39	73

Fuente: elaboración propia

5.2.3 Análisis de probabilidades para la estación del Cenavit

Tabla 17. Análisis de probabilidades de la estación de Cenavit mes de enero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	100	3	0
1990-1999	78	38	13
2000-2009	77	42	20
2010-2018	98	55	10

Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Cenavit mes de febrero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	100	2	0
1990-1999	70	18	3
2000-2009	88	36	7
2010-2018	85	33	5

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Cenavit mes de marzo

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	100	0	0
1990-1999	60	20	0
2000-2009	91	30	0
2010-2018	22	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Cenavit mes de abril

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	0	0	0
1990-1999	20	0	0
2000-2009	8	0	0
2010-2018	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Análisis de probabilidades de la estación de Cenavit mes de octubre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	0	0	0
1990-1999	26	8	0
2000-2009	0	0	0
2010-2018	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 22. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Cenavit mes de noviembre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	70	3	0
1990-1999	36	4	0
2000-2009	0	0	0
2010-2018	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 23. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Cenavit mes de diciembre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	100	18	0
1990-1999	98	26	0
2000-2009	80	35	10
2010-2018	73	23	5

Fuente: elaboración propia

5.2.4 Análisis de probabilidades para la estación de Sella Quebrada

Tabla 24. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Sella Quebrada mes de enero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	100	98	12
1990-1999	100	78	28
2000-2009	97	73	42
2010-2018	98	87	60

Fuente: elaboración propia

Tabla 25. Análisis de probabilidades de la estación de Sella Quebrada mes de febrero

Periodo de años	Probabilidad % de 50mm	Probabilidad % de 100mm	Probabilidad % de 150mm
1980-1989	100	71	12
1990-1999	100	62	0
2000-2009	87	46	15
2010-2018	97	86	62

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Sella Quebrada mes de marzo

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	97	57	15
1990-1999	81	41	17
2000-2009	96	30	0
2010-2018	82	38	11

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Sella Quebrada mes de abril

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	3	0	0
1990-1999	5	0	0
2000-2009	0	0	0
2010-2018	35	9	2

Fuente: elaboración propia

Tabla 28. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Sella Quebrada mes de octubre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	0	0	0
1990-1999	14	0	0
2000-2009	20	4	0
2010-2018	20	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 29. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Sella Quebrada mes de noviembre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	88	30	0
1990-1999	62	25	10
2000-2009	46	8	0
2010-2018	68	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 30. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Sella Quebrada mes de diciembre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	99	81	36
1990-1999	95	55	16
2000-2009	96	68	36
2010-2018	97	53	8

Fuente: elaboración propia

5.2.5 Análisis de probabilidades para la estación de Yesera Norte

Tabla 31. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Yesera Norte mes de enero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	96	72	40
1990-1999	100	92	45
2000-2009	98	75	35
2010-2018	100	95	68

Fuente: elaboración propia

Tabla 32. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Yesera Norte mes de febrero

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	97	72	41
1990-1999	97	55	12
2000-2009	98	68	25
2010-2018	97	72	42

Fuente: elaboración propia

Tabla 33. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Yesera Norte mes de marzo

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	85	52	26
1990-1999	80	37	12
2000-2009	95	50	15
2010-2018	87	20	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 34. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Yesera Norte mes de abril

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1980-1989	25	0	0
1990-1999	20	0	0
2000-2009	0	0	0
2010-2018	30	5	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 35. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Yesera Norte mes de octubre

Periodo de años	Probabilidad % de 50mm	Probabilidad % de 100mm	Probabilidad % de 150mm
1980-1989	32	0	0
1990-1999	18	0	0
2000-2009	31	5	0
2010-2018	12	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 36. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Yesera Norte mes de noviembre

Periodo de años	Probabilidad % de 50mm	Probabilidad % de 100mm	Probabilidad % de 150mm
1980-1989	95	7	0
1990-1999	85	35	9
2000-2009	45	0	0
2010-2018	62	9	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de Yesera Norte mes de diciembre

Periodo de años	Probabilidad % de 50mm	Probabilidad % de 100mm	Probabilidad % de 150mm
1980-1989	96	70	27
1990-1999	99	65	15
2000-2009	93	50	18
2010-2018	78	47	26

Fuente: elaboración propia

5.2.6 Análisis de probabilidades para la estación de San Jacinto Sud

Tabla 38. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de San Jacinto Sud, mes de enero.

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1976-1980	97	33	0
1981-1990	99	73	28
1991-2000	88	43	12
2001-2010	99	70	23
2011-2018	100	90	45

Fuente: elaboración propia

Tabla 39. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de San Jacinto Sud, mes de febrero.

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1976-1980	76	12	0
1981-1990	96	56	18
1991-2000	90	34	5
2001-2010	90	63	36
2011-2018	99	75	30

Fuente: elaboración propia

Tabla 40. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de San Jacinto Sud mes de marzo

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1976-1980	68	28	8

1981-1990	63	36	18
1991-2000	89	44	14
2001-2010	92	51	19
2011-2018	52	10	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 41. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de San Jacinto Sud, mes de abril.

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1976-1980	0	0	0
1981-1990	12	0	0
1991-2000	8	0	0
2001-2010	10	0	0
2011-2018	10	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 42 Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de San Jacinto Sud mes de octubre

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1976-1980	40	0	0
1981-1990	18	0	0
1991-2000	35	0	0
2001-2010	36	18	12
2011-2018	45	9	2

Fuente: elaboración propia

Tabla 43. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de San Jacinto Sud, mes de noviembre.

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1976-1980	93.	0	0
1981-1990	85	25	0
1991-2000	71	17	0
2001-2010	80	32	11
2011-2018	54	10	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 44. Análisis de probabilidades de lluvia para la estación de San Jacinto Sud, mes de diciembre.

Periodo de años	Probabilidad de 50mm (%)	Probabilidad de 100mm (%)	Probabilidad de 150mm (%)
1976-1980	99	87	45
1981-1990	90	55	37
1991-2000	97	40	4
2001-2010	92	58	30
2011-2018	92	42	10

Fuente: elaboración propia

5.3 Análisis de las anomalías de temperaturas

5.3.1 Variación de temperaturas de la estación del aeropuerto

Temperatura media anual.

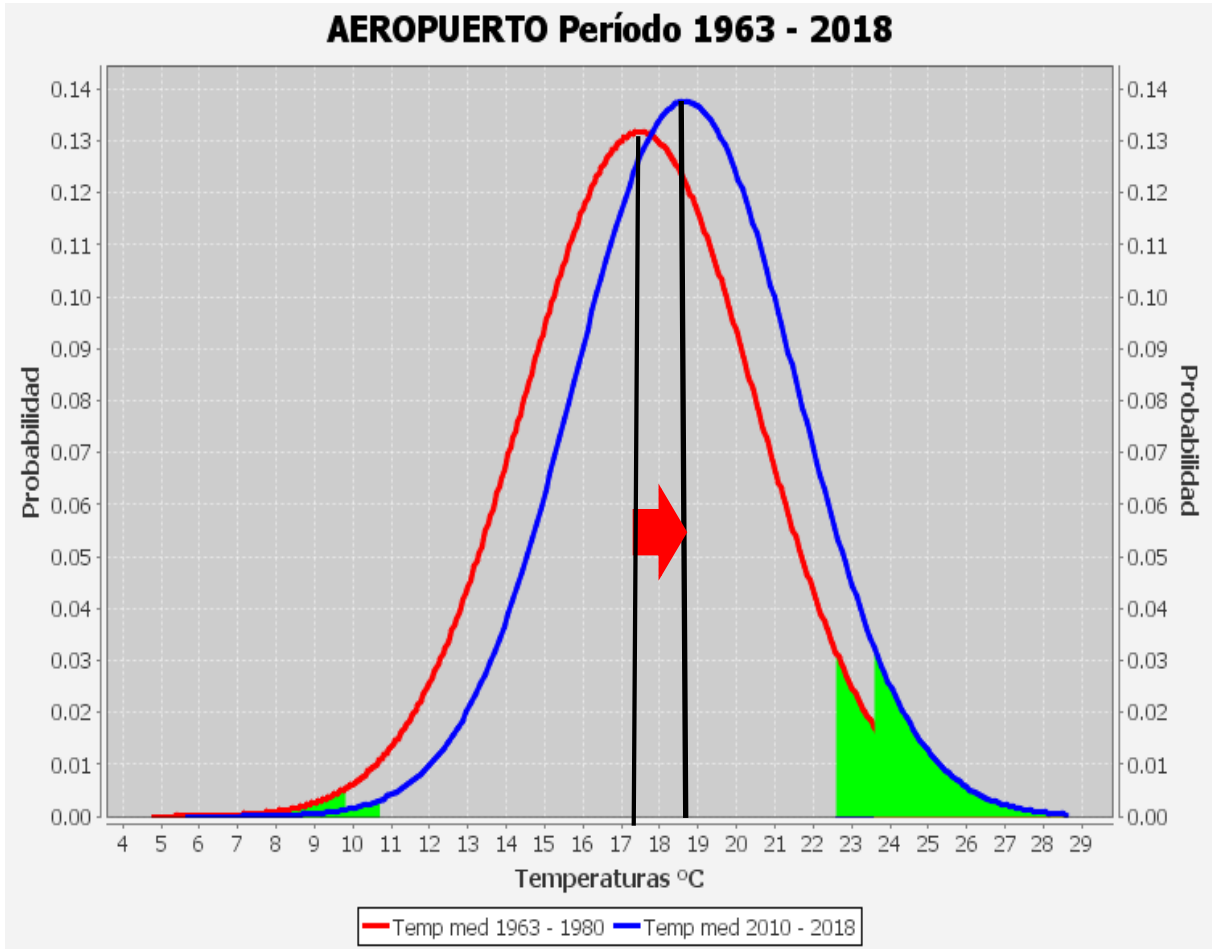


Figura 14 anomalía de temperatura media anual para la estación del Aeropuerto, periodo 1963-1980, periodo de comparación 2010-2018

Fuente: obtenida con el software Clid -MD

Los valores mínimos han desaparecido y los valores máximos han aumentado, el valor promedio ha pasado de 17,5 a 18,5, presentando una anomalía de más de 1°C entre los periodos de 1963-1980 a 2010-2018 en la estación del Aeropuerto.

Temperatura máxima anual

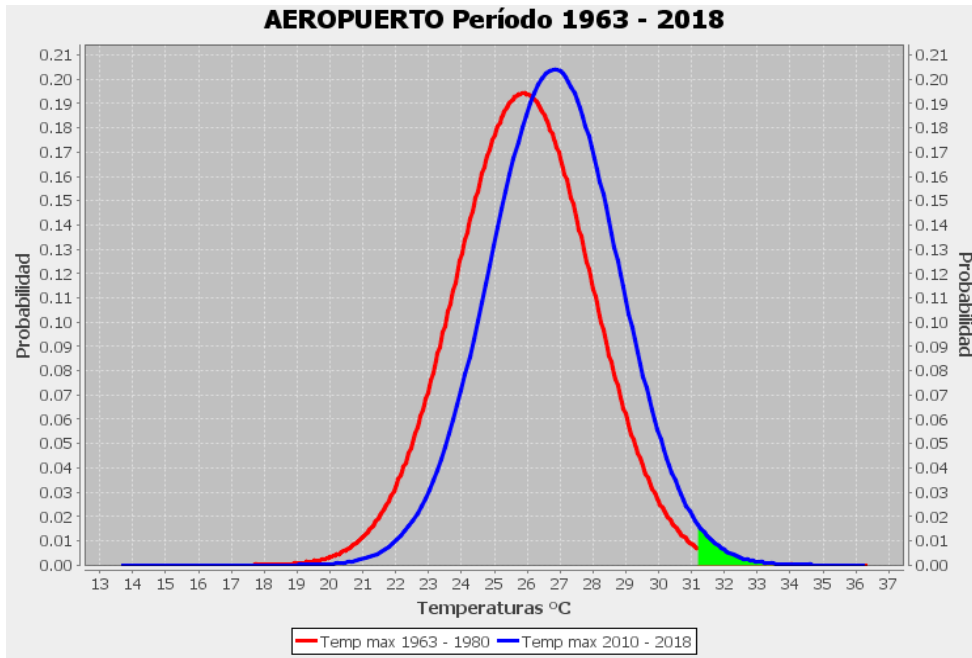


Figura 15. Anomalia de temperatura máxima anual para la estación del Aeropuerto, periodo 1963-1980, periodo de comparación 2010-2018

Temperatura mínima anual

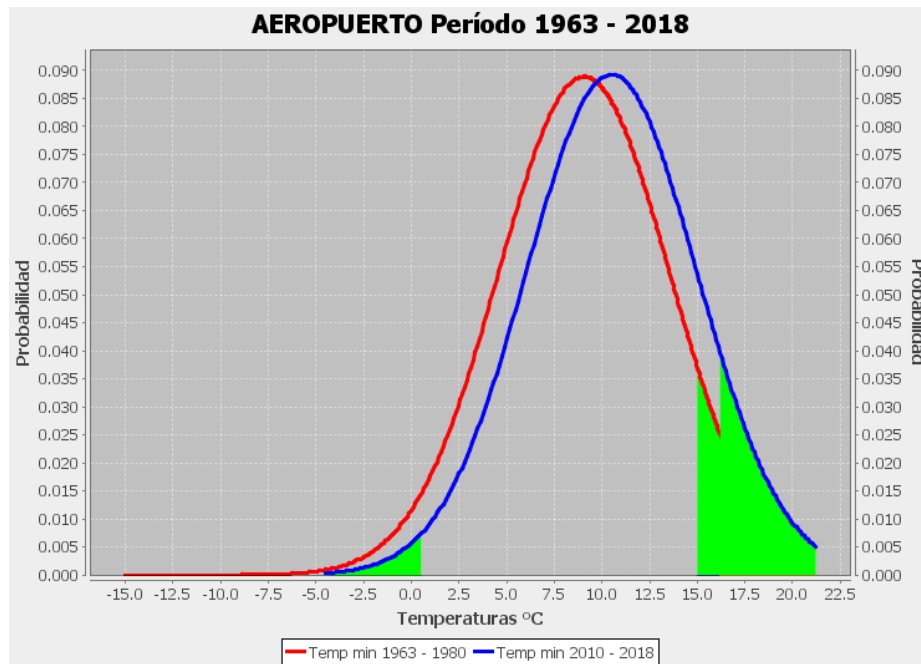


Figura 16. Anomalia de temperatura mínima anual para la estación del Aeropuerto, periodo 1963-1980, periodo de comparación 2010-2018

ESTACIÓN DEL AEROPUERTO

Tabla 45. Variación de temperaturas para la estación del Aeropuerto desde 1963-2018

Periodo de años	Valor promedio °C		
	Temperatura máxima anual	Temperatura media anual	Temperatura mínima anual
1963-1980	25.8	17.5	9.3
1981-1999	26	18	10
2000-2018	26.5	18.5	10.5

Fuente: elaboración propia

5.3.2 Variación de temperaturas de la estación de Coimata

Tabla 46. Variación de temperaturas para la estación de Coimata desde 1980-2018

Periodo de años	Valor promedio °C		
	Temperatura máxima anual	Temperatura media anual	Temperatura mínima anual
1980-1999	24.5	16.7	9.1
2000-2018	25.5	17.4	9.3

Fuente: elaboración propia

5.3.3 Variación de temperaturas de la estación Cenavit

Tabla 47. Variación de temperaturas para la estación de Cenavit desde 1980-2018

Periodo de años	Valor promedio °C		
	Temperatura máxima anual	Temperatura media anual	Temperatura mínima anual
1980-1999	26.4	18.2	9.8
2000-2018	26.5	18.2	9.7

Fuente: elaboración propia

5.3.4 Variación de temperaturas de la estación San Jacinto Sud

Tabla 48. Variación de temperaturas para la estación de San Jacinto Sud desde 1980-2018

Periodo de años	Valor promedio °C		
	Temperatura máxima anual	Temperatura media anual	Temperatura mínima anual
1980-1999	27.5	18.4	9
2000-2018	28.5	19.2	10

Fuente: elaboración propia

5.3.5 Variación de temperaturas de la estación Sella Quebrada

Tabla 49. Variación de temperaturas para la estación de Sella Quebrada desde 1980-2018

Periodo de años	Valor promedio °C		
	Temperatura máxima anual	Temperatura media anual	Temperatura mínima anual
1980-1999	25.5	17.5	9.3
2000-2018	25.7	17.6	9.5

Fuente: elaboración propia

5.3.6 Variación de temperaturas de la estación de Yesera Norte

Tabla 50. Variación de temperaturas para la estación de Yesera Norte desde 1980-2018

Periodo de años	Valor promedio °C		
	Temperatura máxima anual	Temperatura media anual	Temperatura mínima anual
1980-1999	21.7	15	8
2000-2018	22.4	15.2	8.1

Fuente: elaboración propia

5.4 Análisis de la variación de las temperaturas debido al crecimiento urbano

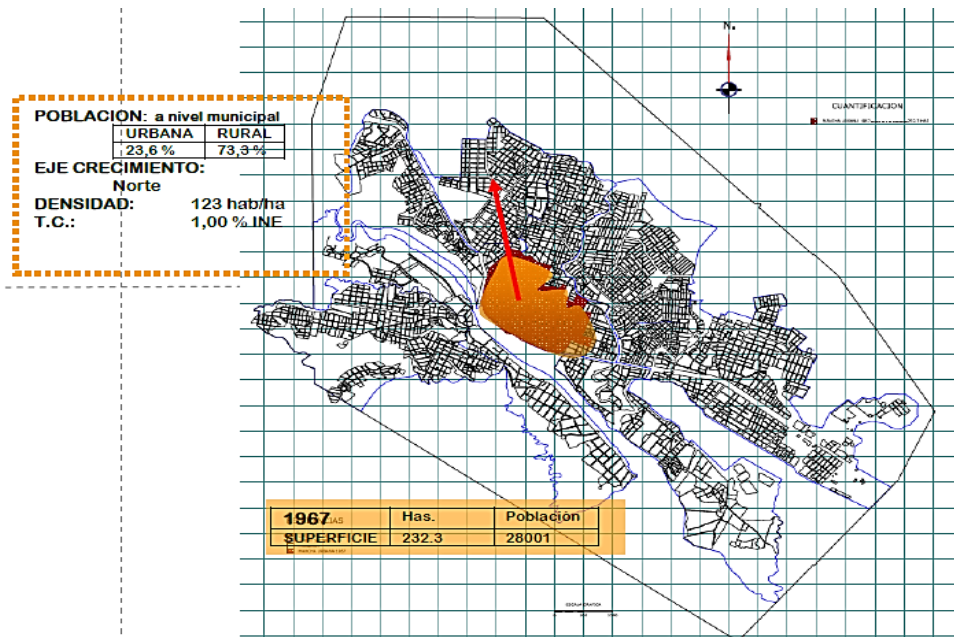


Figura 17 Área urbana en el año 1967 ciudad de Tarija.
Fuente: INE, PMOT CERCADO Migración y apropiación espacial.

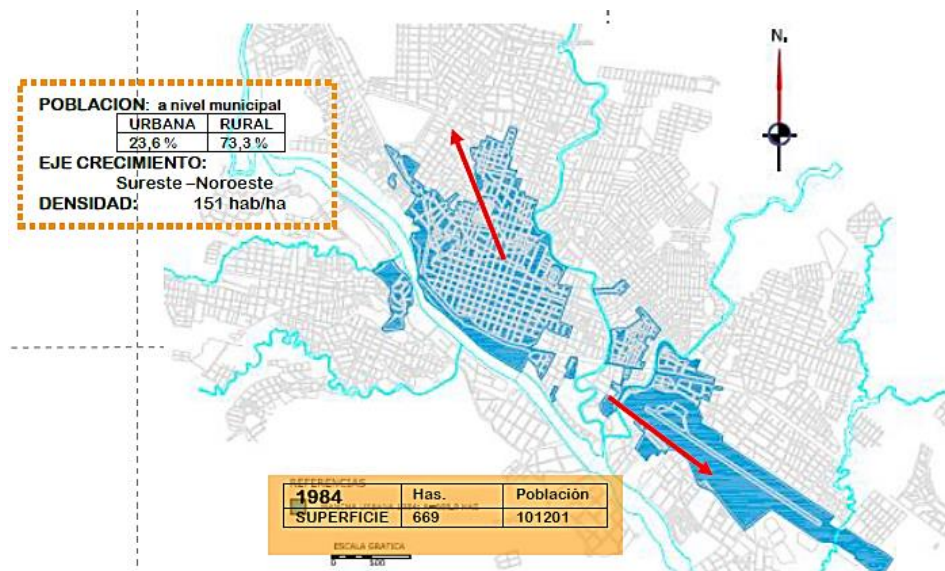


Figura 18. Área urbana en el año 1984 ciudad de Tarija
Fuente: INE, PMOT CERCADO Migración y apropiación espacial

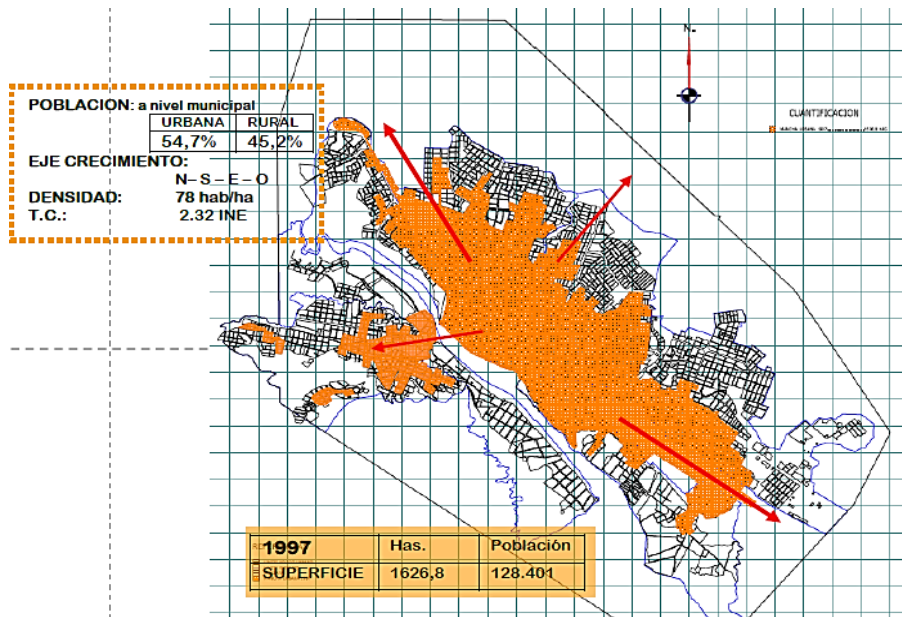


Figura 19. Área urbana en el año 1997 ciudad de Tarija.
Fuente: INE, PMOT CERCADO Migración y apropiación espacial

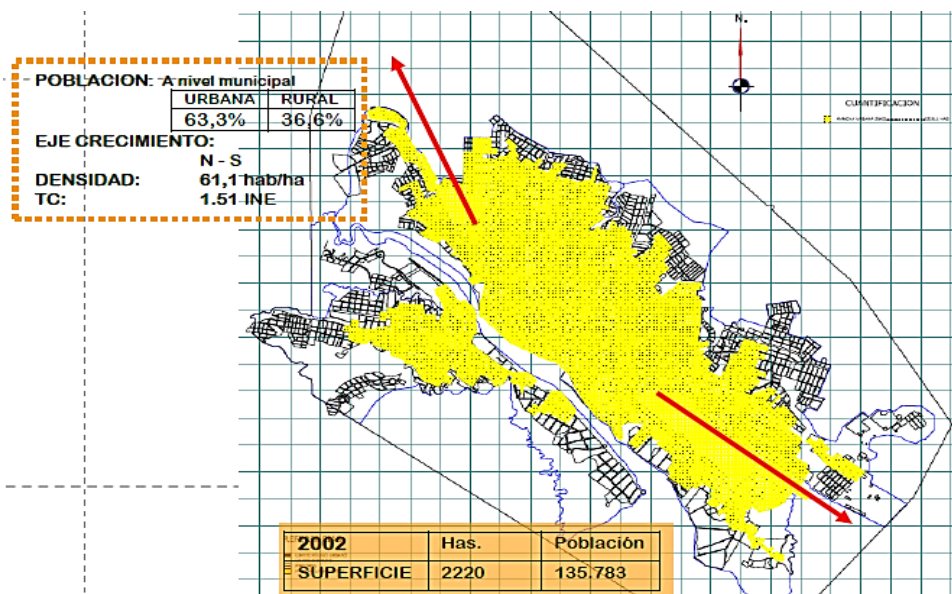


Figura 20. Área urbana en el año 2002 ciudad de Tarija.

Fuente: INE, PMOT CERCADO Migración y apropiación espacial

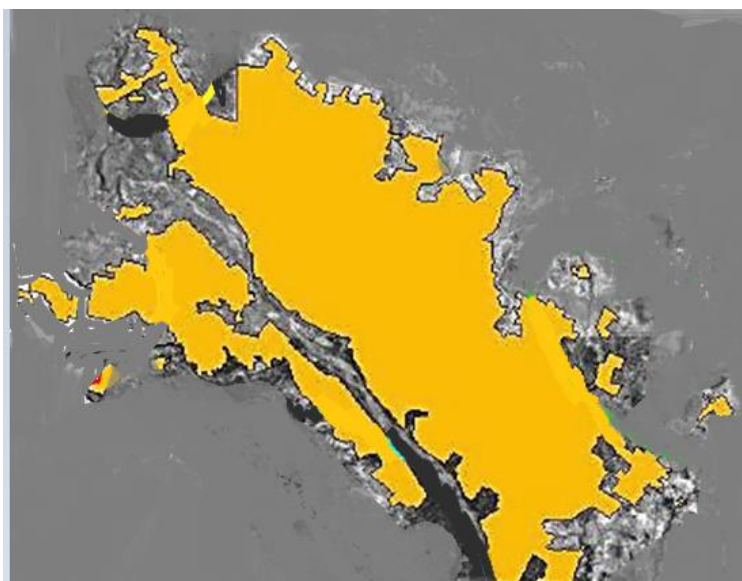


Figura 21. Área urbana en el año 2018 ciudad de Tarija

Fuente: INE, PMOT CERCADO Migración y apropiación espacial

Variación de las temperaturas en el area urbana debido a su crecimiento.

Tabla 51. Variación de temperaturas en el area urbana debido a su crecimiento

Periodo de años	Area de crecimiento Has	Poblacion habitantes	Temperatura maxima anual °C	Temperatura media anual °C	Temperatura minima anual °C
1963-1974	232	28001	26	17,5	9
1975-1985	669	101201	26,1	17,7	9,4
1986-1996	1626	128401	26,2	17,9	9,6
1997-2007	2220	135783	26,3	18,1	10
2008-2018	4101	171489	26,6	18,5	10,5

Fuente: elaboración propia

5.5 Análisis de las sequías mediante el índice estandarizado de precipitación (SPI).

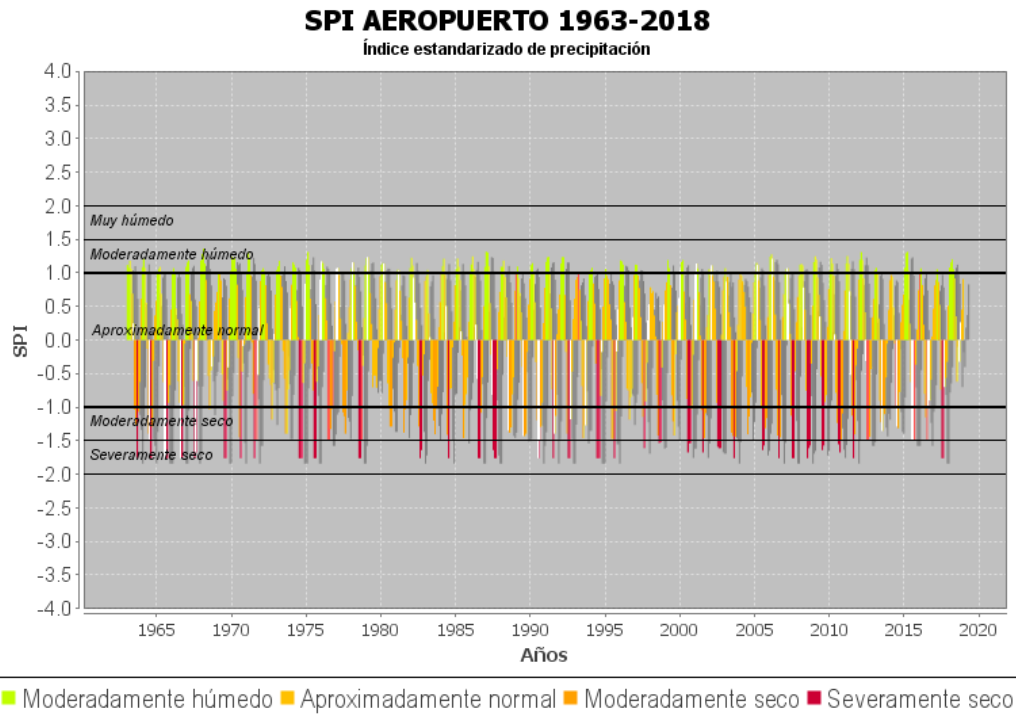


Figura 22. SPI para la estación del Aeropuerto periodo 1963-2018 cada 3 meses.

Fuente: elaboración propia

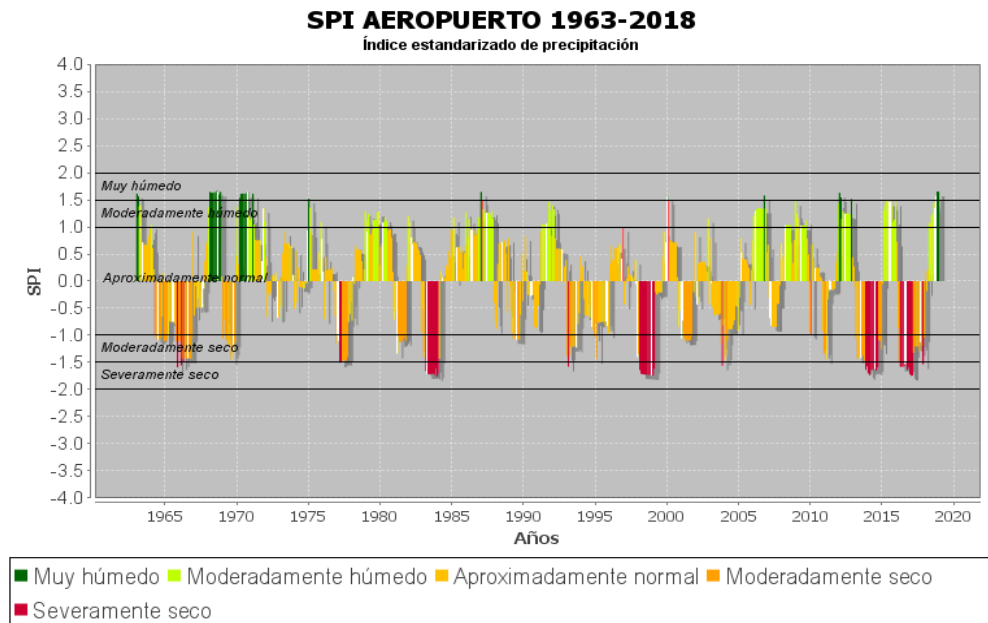


Figura 23. SPI para la estación del Aeropuerto periodo 1963-2018 cada 12 meses.

Fuente: elaboración propia.

5.5.1 Estación del Aeropuerto SPI cada 3 y 12 meses

Tabla 52. SPI cada 3 y 12 meses para la estación del Aeropuerto

Periodo de años de estudio	Cada 3 meses		Cada 12 meses	
	Número que se presenta el evento	Numero de sequías por año	Número que se presenta el evento	Numero de sequías por año
1971-1980	8	0.8	2	0.2
1981-1990	9	0.9	9	0.9
1991-2000	11	1.1	12	1.2
2001-2010	15	1.5	0	0
2011-2018	3	0.33	21	2.33

Fuente: elaboración propia

5.5.2 Estación de Coimata SPI cada 3 y 12 meses

Tabla 53. SPI cada 3 y 12 meses para la estación de Coimata

Periodo de años de estudio	Cada 3 meses		Cada 12 meses	
	Número que se presenta el evento	Numero de sequías por año	Número que se presenta el evento	Numero de sequías por año
1981-1990	10	1	2	0.2
1991-2000	10	1	7	0.7
2001-2010	11	1.1	0	0
2011-2018	10	1.1	50	5.56

Fuente: elaboración propia

5.5.3 Estación de Cenavit SPI cada 3 y 12 meses

Tabla 54.SPI cada 3 y 12 meses para la estación de Cenavit

Periodo de años de estudio	Cada 3 meses				Cada 12 meses			
	Número que presenta el evento	que se el	Numero de sequías por año	de	Número que presenta el evento	que se el	Numero de sequías por año	de
1981-1990	9		0.9		0		0	
1991-2000	18		1.8		18		1.8	
2001-2010	20		2		4		0.4	
2011-2018	16		1.6		11		1.22	

Fuente: elaboración propia

5.5.4 Estación de San Jacinto Sud SPI cada 3 y 12 meses

Tabla 55.SPI cada 3 y 12 meses para la estación de San Jacinto Sud

Periodo de años de estudio	Cada 3 meses				Cada 12 meses			
	Número que presenta el evento	que se el	Numero de sequías por año	de	Número que presenta el evento	que se el	Numero de sequías por año	de
1981-1990	13		1.3		9		0.9	
1991-2000	12		1.2		5		0.5	
2001-2010	14		1.4		1		0.1	
2011-2018	9		1		4		0.4	

Fuente: elaboración propia

5.5.5 Estación de Sella Quebrada SPI cada 3 y 12 meses

Tabla 56.SPI cada 3 y 12 meses para la estación de Sella Quebrada

Periodo de años de estudio	Cada 3 meses		Cada 12 meses	
	Número que se presenta el evento	Numero de sequías por año	Número que se presenta el evento	Numero de sequías por año
1981-1990	1	0.1	1	0.1
1991-2000	5	0.5	19	1.9
2001-2010	6	0.6	15	1.5
2011-2018	8	0.88	4	0.44

Fuente: elaboración propia

5.5.6 Estación de Yesera Norte SPI cada 3 y 12 meses

Tabla 57.SPI cada 3 y 12 meses para la estación de Yesera Norte

Periodo de años de estudio	Cada 3 meses		Cada 12 meses	
	Número que se presenta el evento	Numero de sequías por año	Número que se presenta el evento	Numero de sequías por año
1981-1990	10	1	1	0.1
1991-2000	17	1.7	10	1
2001-2010	9	0.9	19	1.9
2011-2018	4	0.44	1	0.1

Fuente: elaboración propia

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se determino la variabilidad de las precipitaciones y temperaturas debido al cambio climático en la provincia Cercado del departamento de Tarija. Donde se obtuvo los siguientes resultados:

Para la variabilidad de precipitaciones en el transcurso de los años:

Para la estación del Aeropuerto en la ultima decada las lluvias aumentaron en los meses enero, febrero y marzo habiendo mas probabilidad de que ocurran precipitaciones medias mensuales de mas de 150mm. Mientras que en los meses de noviembre, diciembre estas disminuyeron.

Para la estación de Coimata en la ultima decada todos los meses disminuyeron las precipitaciones.

Para la estación de Cenavit en la ultima decada el mes de enero aumento su probabilidad de lluvia mientras que los demas meses disminuyeron.

Para la estación de sella quebrada los meses de febrero, abril y noviembre aumentaron sus precipitaciones, mientras que los demas meses se mantuvo como decadas antes sin variar mucho al respecto.

Para la estación de san jacinto las probabilidades aumentaron en los meses de enero, febrero, mientras que diciembre se mantuvo y los demas meses hubo disminucion de precipitacion.

Para la estación de yesera las precipitaciones aumentaron en los meses de enero, febrero, mientras que noviembre y diciembre hubo gran disminucion de las probabilidades de precipitaciones medias mensuales mayores a 50mm.

La variación de temperaturas que se presentó en el transcurso de los años:

Para la estación del aeropuerto se pudo observar que desde 1965 hasta el 2018 las temperaturas medias anuales se han desfasado, tienen un incremento de 1°C, tanto en las maximas, medias y minimas. Para las estaciones de coimata, Cenavit, sella quebrada y Yesera el incremento de temperaturas es menor a 0.5°C. Para la estación de San Jacinto el incremento de temperaturas desde 1976 hasta el 2018 es de 1°C.

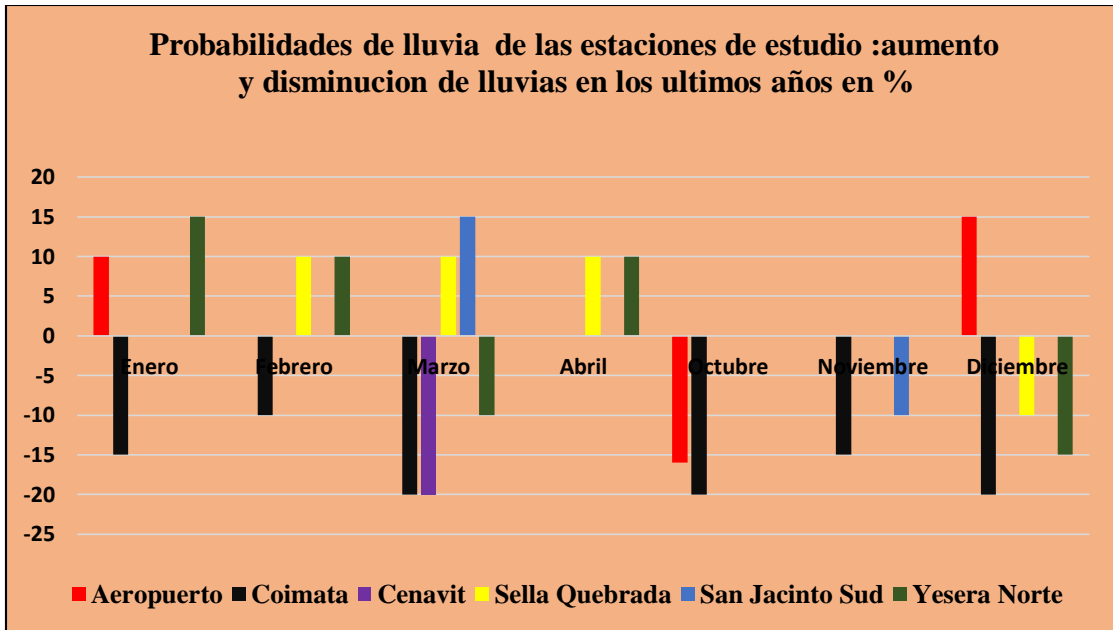


Figura 24. Resultados del aumento, disminución de probabilidades de lluvia en las estaciones de estudio en los últimos años.

Fuente: elaboración propia

Tanto en la precipitación y en la temperatura de la estación del Aeropuerto se puede ver como el crecimiento de la ciudad influye en la variación de estos parámetros, el cambio de temperatura media anual que se puede evidenciar, esto se debe a que las ciudades atrapan calor en sus edificaciones y asfaltados, los cuales en la noche desprenden el calor. Las zonas urbanas están expuestas a las consecuencias del cambio climático por el estrés causado por el intenso calor, las precipitaciones extremas, inundaciones, deslizamientos de tierras, la contaminación atmosférica y la escasez de agua. Los impactos se intensifican cuando hay un daño en la provisión de servicios, infraestructura y vivienda.

En la actualidad, se puede decir que cae la misma cantidad de lluvia que en otras épocas, pero llueve de manera diferente, debido a las islas de calor que se forman en la ciudad, la deforestación, la contaminación, que son la principal causa de la formación de nubes verticales las cuales dan como resultado precipitaciones pluviales extremas, aguaceros más tormentosos

acompañados de granizo, que son de mayor intensidad y durante menos tiempo, que causan inundaciones y vendavales que tiran árboles y cables de luz.

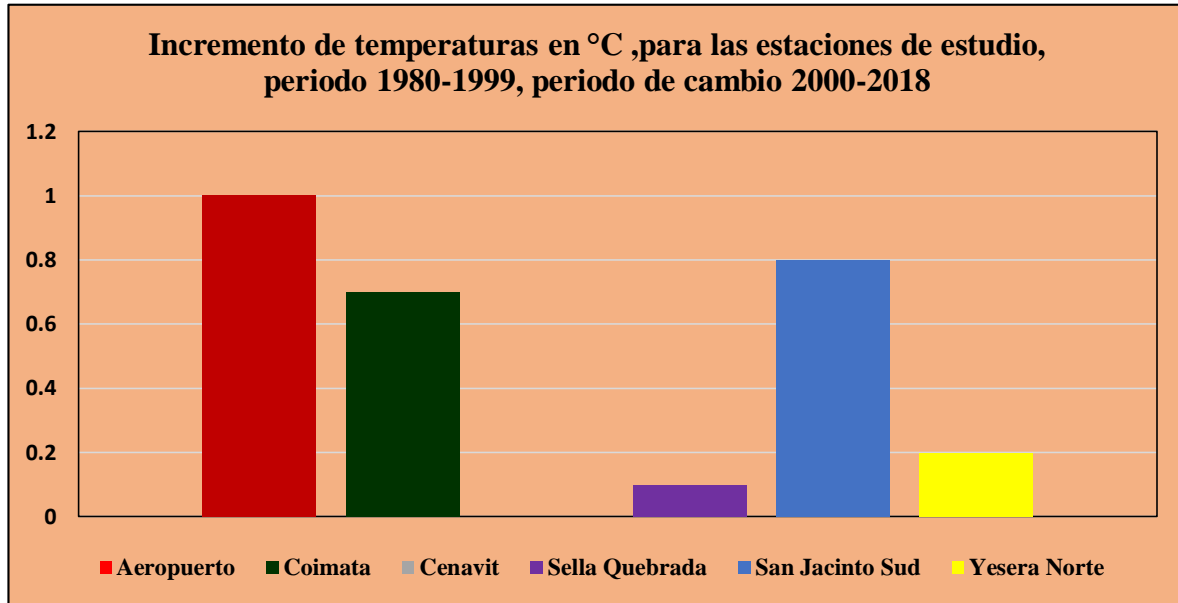


Figura 25. Resultados del incremento de temperatura en los últimos años en las estaciones de estudio.

Fuente: elaboración propia

Las sequías debido a la influencia del cambio climático se analizaron mediante SPI Índice Estandarizado de Precipitación, donde se puede apreciar que en la última década las estaciones de Aeropuerto, Coimata, Cenavit, Sella Quebrada tienen un aumento tanto en el SPI de 3 meses y en el SPI de 12 meses.

El SPI de 3 meses refleja las condiciones de humedad y sequías a corto y medio plazo, el aumento de eventos de periodos severamente secos afecta durante las importantes etapas de la producción agrícola.

El SPI de 12 meses generalmente se vinculan con cauces fluviales, niveles de los reservorios e incluso niveles de las aguas subterráneas los cuales se ven afectados al haber aumentos de números de eventos de periodos severamente secos que se presentan por año.

Mientras que las estaciones de yesera y san Jacinto presentaron una disminución en los periodos severamente secos en los últimos años.

La influencia del cambio climático en los últimos años en la provincia Cercado del departamento de Tarija debe ser considerado para una mayor planificación y gestión de recursos naturales, ya que las lluvias y temperaturas tienen variaciones considerables comparadas con décadas anteriores.

La variación de temperaturas y precipitaciones en la última década ha presentado un sin número de desastres naturales, las sequías que afectan a la sociedad en general.

En la última década las lluvias urbanas verticales presentan un incremento, lo cual viene a afectar a las comunidades cercanas a la ciudad, las cuales sufren algunas de las descargas, que en su gran parte forman el granizo, también la ciudad se ve afectada ya que al haber bastante material sólido provoca el fallo de los servicios básicos como drenajes y alcantarillados que al no funcionar eficazmente provocan inundaciones en el transcurso de estas lluvias.

El incremento en las temperaturas que es un hecho en la provincia Cercado nos traerá consecuencias a futuro, como: escases de agua, mayores sequías, mayor concentración de precipitaciones pluviales extremas, aguaceros más tormentosos acompañados con granizo, Así también la comunidad agricultora se verá afectada ya que varias especies de plantas no se adaptan a este cambio climático, incrementando los índices de pobreza en la provincia.

6.2 Recomendaciones

Se deben tener en cuenta en los estudios hidrológicos que se planea realizar en la provincia Cercado, tengan como base información de calidad, para que reflejen de la mejor manera los posibles comportamientos o variación de los factores climáticos, con el fin de determinar el cambio climático que puedan generar efectos positivos o negativos en la región, para así diseñar planes de prevención en los que se busque aprovechar el cambio de los mismos de la mejor manera posible.

Para hacer una planificación adecuada es indispensable que los involucrados comprendan el significado de los términos relacionados con el cambio climático y su adaptación, para una mejor gestión de los recursos naturales.

Es necesario llevar a cabo estudios que analicen las causas de la deforestación y degradación ambiental. Los bosques ayudan a mantener el equilibrio ecológico y la biodiversidad, limitan la erosión en las cuencas hidrográficas e influyen en las variaciones del tiempo y en el clima. Asimismo, abastecen a las comunidades rurales de diversos productos, como la madera, alimentos,

combustible, forrajes, fibras o fertilizantes orgánicos. Una de las mayores amenazas para la vida del hombre en la Tierra es la deforestación, ya que es la principal consecuencia de la variabilidad de temperatura.

El software CLIC-MD facilita: la organización, almacenamiento y manejo de millones de datos climáticos (temperatura y precipitación mensual). El cálculo de los índices agroclimáticos, mejorando las actividades agrícolas y reduciendo daños al medio ambiente. El cálculo del periodo de lluvia continua, esencial para la elección de las variedades de cultivos, optimizando el uso del agua de lluvia (ayudando a la conservación de acuíferos) y obteniendo mayor rendimiento económico. La identificación de las tendencias del cambio climático a nivel local, lo cual permite la prevención de los efectos negativos y el aprovechamiento de los efectos positivos de este cambio climático.