

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
CARRERA DE ESTADÍSTICA  
MAESTRIA EN CIENCIA Y ANÁLISIS DE  
DATOS



UNA APROXIMACIÓN AL  
MODELAMIENTO DE  
PRECIPITACIONES PLUVIALES EN  
BOLIVIA, PERIODO 1990 - 2016

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN DEL MODULO 8: MINERÍA  
DE DATOS

Autor: Lic. Marisol Paredes Alarcon

Profesor: MSc. Alvaro Limber Chirino Gutierrez

La Paz - Bolivia

2024

# Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivo de la Investigación</b>	<b>1</b>
2.1. Objetivo General . . . . .	2
2.2. Objetivos Específicos . . . . .	2
<b>3. Motivación</b>	<b>2</b>
<b>4. Marco Teórico/Revisión de la literatura</b>	<b>3</b>
<b>5. Descripción de la Base de Datos</b>	<b>5</b>
<b>6. Metodología</b>	<b>7</b>
<b>7. Resultados y análisis</b>	<b>8</b>
7.1. Análisis descriptivo y depuración de datos . . . . .	8
7.2. Análisis de Componentes Principales . . . . .	10
7.3. Regresión logística . . . . .	12
<b>8. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>14</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>15</b>

# **1. Introducción**

Bolivia es un país muy diverso en distintos ámbitos, entre ellos los aspectos climáticos, geográficos, culturales y económicos. Esto implica que los impactos del cambio climático también serán muy variados y será importante estudiar uno de los aspectos que preocupan a futuro, como son los cambios en la precipitaciones pluviales.

La precipitación es el depósito de agua de la superficie de la Tierra, en forma de lluvia, nieve, hielo o granizo. Todos los valores de precipitación se expresan en milímetros (mm) de líquido equivalente de agua para el intervalo de tiempo estudiado. Un milímetro de lluvia corresponde a 1 litro de agua por metro cuadrado de superficie, o alrededor de 10 mm de nieve.

En Bolivia por su posición y variabilidad geográfica, se manifiesta una distribución pluvial irregular en la geografía del país y a lo largo del tiempo. Por lo que se debe enfrentar distintas deficiencias o excesos del agua, según la región que se vaya a estudiar.

Desde la preocupación por el cambio climático, y su afectación a distintos ámbitos, entre ellos la agricultura, interesa conocer de la precipitación: su distribución a través de los meses, su frecuencia y su intensidad y su relación con otras variables climatológicas, además de analizar su comportamiento y variabilidad en las diferentes regiones del país.

La producción sostenible de alimentos dependerá del uso sensato de los recursos hídricos, ya que el agua dulce para el consumo humano y la agricultura es cada vez más escasa. Por lo tanto, la recopilación, el procesamiento y el análisis de información meteorológica relativa a las precipitaciones pluviales constituirán un elemento clave en el desarrollo de estrategias para optimizar el uso del agua para la producción de cultivos e introducir prácticas efectivas de gestión del agua (Smith, 2000).

# **2. Objetivo de la Investigación**

El desglose del objetivo propuesto para este trabajo y de sus objetivos específicos es el siguiente.

## 2.1. Objetivo General

Analizar y modelar la relación entre la presencia/ausencia de precipitaciones pluviales en Bolivia, y el grado de influencia de variables meteorológicas relacionadas a las precipitaciones pluviales durante el periodo 1990 - 2016, que pueden manifestarse por el cambio climático.

## 2.2. Objetivos Específicos

- Identificar variables meteorológicas relevantes para la presencia/ausencia de precipitaciones pluviales Bolivia.
- Aproximar un modelo logit sobre la presencia/ausencia de precipitaciones pluviales, como parte de la minería de datos climatológicos.

## 3. Motivación

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) es el organismo de las Naciones Unidas para evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático. El IPCC prepara informes de evaluación integrales sobre el estado del conocimiento científico, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, y opciones para reducir el ritmo al que se está produciendo el cambio climático.

En los últimos informes se ofrecen nuevas estimaciones sobre las probabilidades de sobrepasar el nivel de calentamiento global de 1,5 °C en las próximas décadas, y se concluye que, a menos que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan de manera inmediata, rápida y a gran escala, limitar el calentamiento a cerca de 1,5 °C o incluso a 2 °C será un objetivo inalcanzable (IPCC, 2014, 2021).

Los impactos del cambio climático en las poblaciones han aumentado el número de personas afectadas y un elemento vital que será necesario analizar se refiere a la tendencia, comportamiento y modelización de variables climatológicas, entre las que destaca el análisis de las precipitaciones pluviales.

En general, al analizar la variabilidad de la precipitación y la estimación de probabilidades en su aplicación a la agricultura, se trata de saber con que frecuencia el suelo recibirá determinada cantidad de precipitación y la frecuencia con que ese suelo recibirá una cantidad inferior o superior a ella. Por ello se propone trabajar como aproximación a la ausencia/presencia de precipitaciones pluviales como una probabilidad, por ejemplo proxima a 0.5 y además que esta pueda ser modelada combinando otro tipo de variables climatológicas recolectadas por estaciones metereológicas situadas en distintas regiones del país. Para analizar la variabilidad de la precipitación se requiere contar con datos medidos por muchos años y en diferentes lugares de una región, estado o país, y esta información histórica esta disponible de forma abierta por el Instituto Nacional de Estadística para los años 1990 al 2016, es decir un periodo de 26 años que puede brindar una primera exploracion desde la perspectiva de la minería de datos aplicada a información climatológica, importante dentro del contexto mundial y nacional de cambio climático.

## **4. Marco Teórico/Revisión de la literatura**

Bolivia se caracteriza por tener diferenciado sus pisos ecológicos en tres principales regiones: Altiplano, Valles y Llanos, de los cuales se desprenden diferentes ecosistemas que diferencian el comportamiento climático de la región. Es un país mediterráneo que se expande desde la Cuenca del Amazonas en el Este hasta los Andes en el Oeste. Bolivia se encuentra completamente dentro de latitudes tropicales, pero las condiciones climáticas varían fuertemente de tropicales en las partes bajas hasta condiciones polares en las partes más altas de los Andes. Las temperaturas están en función de la altura. En la mayoría de las localidades las precipitaciones son mayores durante el verano del hemisferio sur. Las tierras bajas del norte tienen un clima tropical húmedo con temperaturas altas, alta humedad y altas precipitaciones durante todo el año. Las tierras bajas del Sur si bien mantienen temperaturas altas ahí el clima es más bien seco. En las áreas montañosas las temperaturas y las precipitaciones varían considerablemente. En el Altiplano el clima es árido y frío.

Estas condiciones climáticas variadas del país, también se ven afectadas por fenómenos como El Niño y La Niña, que son las fases positivas (calientes) y negativas (frías) de un fenómeno conocido como El Niño Southern Oscillation (ENSO, por sus siglas en inglés) que modifican drásticamente el comportamiento climático en muchas regiones del territorio boliviano. Durante El Niño, el Altiplano sufre típicamente una disminución de lluvias, en tanto que en regiones bajas se observa un aumento relativo de precipitación, de por sí elevada. Sin embargo, la señal de El Niño sobre el territorio boliviano no es totalmente clara, pues sequías e inundaciones extremas no siempre coinciden con las fases positivas o negativas de ENSO. Si bien en la zona altiplánica es donde más fuertemente se observan los efectos de ENSO, la zona oriental de Bolivia recibe también una importante influencia del Atlántico (principalmente a través de la contribución de humedad). Esto hace que la señal de ENSO sea más compleja sobre la zona Este de Bolivia.

El impacto más importante del calentamiento global se manifiesta sobre el ciclo hídrico. Esto significa el derretimiento de los glaciares, falta de agua potable, pérdida de los bofedales, cambios en el régimen de precipitaciones como ser lluvias más intensas, atraso del inicio de la época de lluvias, lluvia en vez de nieve en alta montaña, además de mayor evapotranspiración <sup>1</sup>.

Diversos modelos estadísticos han intentado sintetizar o explicar aspectos de las precipitaciones pluviales. Algunas investigaciones en otros países, analizan aspectos climatológicos de la precipitación con metodología multivariante y análisis de componentes principales, además de modelos de regresión logística (Armengot y cols., 2000).

En Bolivia ha sido incipiente el desarrollo de este problema. Una perspectiva y variable importante con los datos climatológicos es el factor tiempo, pero también lo es el componente espacial (geográfico) pensado como la importancia de la ubicación espacial de las estaciones meteorológicas. Podría ser interesante utilizar información de datos geoespaciales abiertos (Coetsee y cols., 2020; Jeffrey y cols., 2001). Sobre el desarrollo y modelamiento de la estadística espacial hay suficiente sustento teórico (Cressie, 1994), y

---

<sup>1</sup>Fenómeno por el que parte del agua pasa a la atmósfera por evaporación directa del agua del suelo y por transpiración de las plantas.

una serie de herramientas informáticas que coadyuvan en la resolución de los diferentes problemas (Pebesma y Bivand, 2023).

Estudios centrados en el cambio climático en Bolivia se abordan como documentos desde la perspectiva económica, implementando modelos climáticos (Andrade, 2014) y también analizando impactos sobre la biodiversidad (Andersen, 2014).

## 5. Descripción de la Base de Datos

La generación de estadísticas meteorológicas resultan relevantes para un adecuado seguimiento al comportamiento y tendencia de las diferentes variables meteorológicas, que permitan realizar una adecuada planificación y toma de decisiones. El Instituto Nacional de Estadística (INE) solicita información al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAHMI), para generar estadísticas e indicadores sobre el medio ambiente como un componente transversal a la información económica y socio demográfica. Su importancia crece por la demanda de información ante los fenómenos climáticos que influyen sobre las diferentes actividades socioeconómicas, por otra parte el problema del calentamiento global que ocasiona el cambio climático, afecta principalmente a países de economías en desarrollo como es el caso de Bolivia.

La base de datos recopilada por el INE proveniente del SENAHMI contiene las principales variables que permiten describir el comportamiento meteorológico: Temperatura media, máxima, mínima y extrema, precipitación pluvial, precipitación máxima en 24 horas, días con precipitación, días con helada, humedad relativa y dirección prevalente de los vientos.

El Universo está conformado por 36 principales Estaciones Meteorológicas ubicadas en los 9 departamentos del país: 2 en Chuquisaca, 4 en La Paz, 1 en Cochabamba, 1 en Oruro, 1 en Potosí, 4 en Tarija, 11 en Santa Cruz, 11 en Beni y 1 en Pando.

Las variables y sus etiquetas son las siguientes:

- AÑO Año
- MES Mes

- ESTACION Estación Meterológica
- DEPTO Departamento
- PROV Provincia
- REGION Región del Bolivia
- PRECIP\_PLUVIAL Precipitación pluvial en milímetros
- DIAS.PRECIP Días con precipitación
- PRECIP\_MAXIMA24Hrs Precipitación máxima en 24 horas
- HUM.RELATIVA Humedad relativa
- DIREC\_VIENTOS Direccion Prevalente y Velocidad Media de los Vientos
- DIR\_VEL\_MAXIMA\_VIENTO Direccion Velocidad Maxima del Viento
- TEMP\_MEDIA Temperatura media
- TEMP\_MAX Temperatura máxima media
- MAX\_EXTREM Temperatura máxima absoluta
- TEMP\_MIN Temperatura mínima media
- MIN\_EXTREM Temperatura Minima Absoluta
- DIAS.HELADA Días con helada
- PRESION\_ATMOSF Presión atmosférica
- LLUVIA Variable dicotómica (1=Llueve 0=No llueve)



## 6. Metodología

Sobre la base de datos detallada en el punto anterior:

- Se realizó un análisis descriptivo y gráfico previo de la información recolectada con las variables meteorológicas, considerando las estaciones, los departamentos, los meses y las regiones del país.
- Análisis por medio de gráficos de detección de valores faltantes y outliers, además de la cuantificación porcentual para las variables relevantes relacionadas con la precipitación pluvial.

En la imputación se probó la técnica HodDeck, donde los valores perdidos de la base de datos serían reemplazados con valores reales obtenidos de otras estaciones meteorológicas, los que se denominan donadores, y si bien coadyuva a que el promedio de las variables no sufra demasiada variación, se debe tomar en cuenta que al tratar con variables climatológicas se debe considerar varios factores adicionales, entre ellos las regiones geográficas del país, la temporalidad de los datos, entre otros, por lo que este método fue descartado y se optó por eliminar los registros faltantes para aquellas variables meteorológicas que tengan menor porcentaje de datos faltantes y sean altamente correlacionadas con la precipitación pluvial.

- Análisis descriptivo multivariable mediante el método de componentes principales, con el fin de resumir el conjunto de variables meteorológicas a un subconjunto de variables, y su representación gráfica mediante biplots combinadas con otras variables cualitativas como son las diferentes regiones y departamentos del país donde se ubican las estaciones meteorológicas.
- Ajuste de un modelo logístico para la ausencia/presencia de precipitaciones pluviales. Se trabajaron distintos modelos en función de una muestra de entrenamiento y prueba, además de establecer la precisión de cada modelo.

## 7. Resultados y análisis

### 7.1. Análisis descriptivo y depuración de datos

Se inicia con el análisis descriptivo de los datos, tomando en cuenta las variables principales. De este análisis resalta el comportamiento de una variable de interés como la precipitación pluvial, y los diagramas de cajas para cada una de las estaciones meteorológicas, tomando en cuenta en conjunto el periodo 1990 al 2016, como se observa abajo.

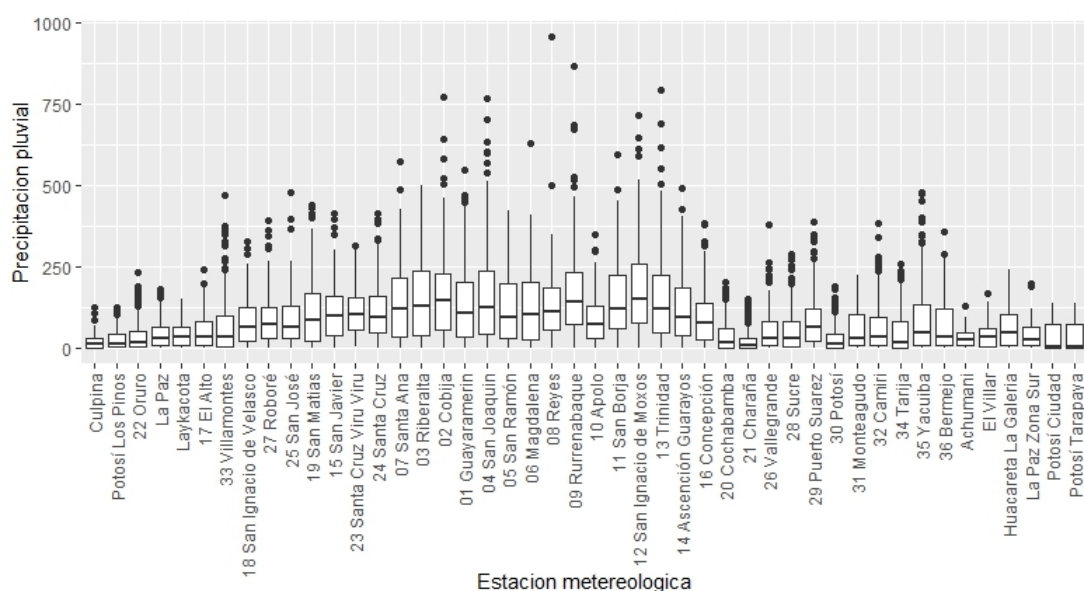


Figura 1: Comportamiento de las precipitaciones pluviales por estación

Se observa una diferencia entre estaciones dependiendo del departamento al que pertenecen. De acuerdo al gráfico anterior, resulta relevante revisar la precipitación pluvial por regiones en Bolivia, donde aquellas regiones ubicadas al norte del país, o de llanos orientales se revelan como las áreas donde se presentan mayores precipitaciones pluviales. Esto se advierte mejor con la gráfica del comportamiento de las precipitaciones por región de Bolivia como muestra la Figura 2.

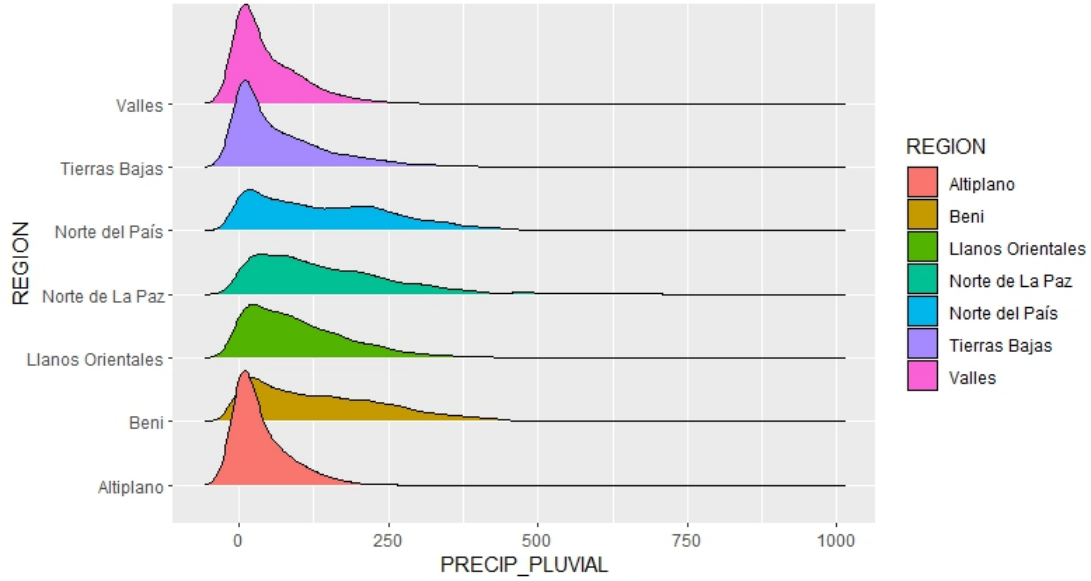


Figura 2: Comportamiento de las precipitaciones pluviales por región

Luego un análisis de datos faltantes que están presentes en la mayor parte de variables numéricas, como muestra la Figura 3.

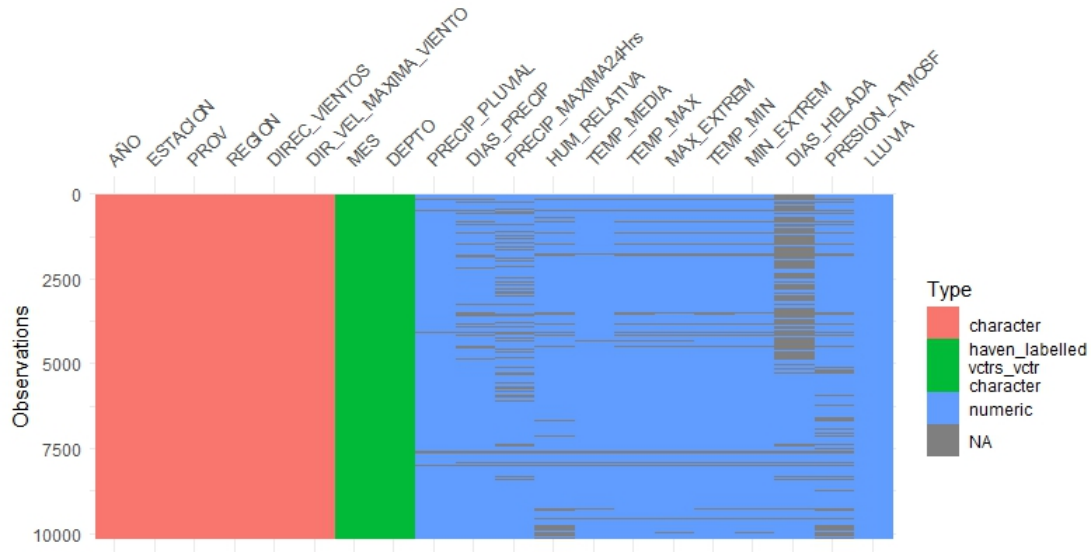


Figura 3: Datos faltantes en las variables

Cuantificando el porcentaje de datos faltantes se sitúan alrededor del 2,6 % y 9,18 % para las principales variables relacionadas a la precipitación pluvial. Luego de algu-

nas pruebas de imputación, se optó por eliminar aquellas variables con un porcentaje superior al 10 %, y se quedó finalmente con un total de 9.051 registros de los 10.179 originales, pero considerando solamente 7 variables cuantitativas con datos completos, que son precipitación pluvial, días con precipitación, temperatura media, temperatura máxima media, temperatura máxima absoluta, temperatura mínima media y temperatura mínima absoluta.

## 7.2. Análisis de Componentes Principales

Se inicia el análisis de los datos con las variables meterológicas, tomando en cuenta las variables elegidas. Primero un análisis de correlaciones de las variables, como muestra la Figura 4.

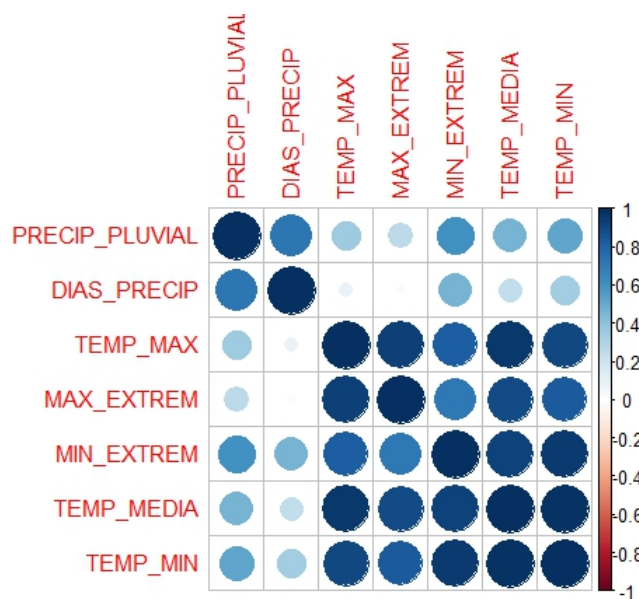


Figura 4: Matriz de correlaciones

El análisis de las correlaciones mostrado en la Figura 4 señala una degradación de color en la barra lateral. Mientras más se aproxime al color azul se da una mayor correlación positiva, y si se aproxima al rojo más intenso una correlación negativa más fuerte. También el tamaño del círculo muestra este grado de correlación entre indicadores.

Respecto de las variables resaltan las altas correlaciones entre las distintas temperaturas tanto medias, máximas y mínimas. En tanto que para la variable de interés que es la precipitación pluvial hay un grado de correlación positiva con los días de precipitación y la temperatura mínima absoluta.

Como parte del análisis exploratorio multivariable inicial, se generan los componentes principales, y el aporte de cada uno de ellos a la variabilidad total. Para las variables climatológicas la proporción a considerar corresponde a los dos primeros componentes que explican el 92,8 % de la varianza total (Figura 5).

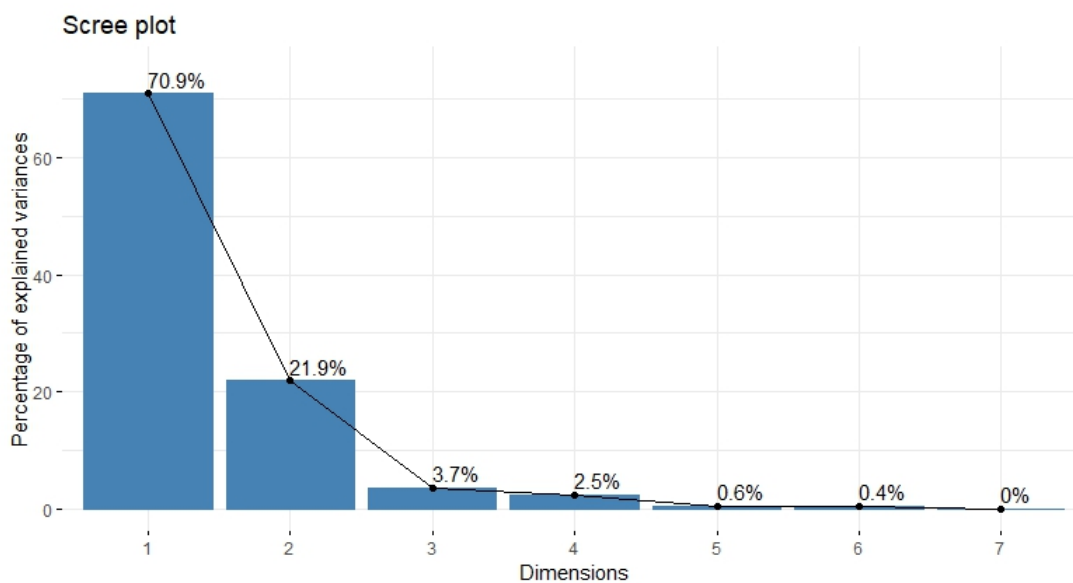


Figura 5: Porcentaje de Varianza explicada

Finalmente como parte del análisis multivariable inicial, se ha realizado un Biplot mostrando no solo el aporte de cada variable climatológica a la variabilidad total, sino también de algunas variables categóricas disponibles en la base de datos (individuos) como el área geográfica con el fin de un modelado posterior, ver Figura 6.

La representación Biplot es una representación gráfica de datos multivariantes en dos o tres dimensiones. Las representaciones de las variables son normalmente vectores y los individuos se representan por puntos. El prefijo 'bi' se refiere a la superposición en la misma representación de individuos y variables.

Para el biplot solamente se eligieron una parte de los datos totales, para fines de

poder apreciar algún comportamiento de las variables categóricas. Es interesante notar la agrupación separada que presentan los registros de una muestra de estaciones meteorológicas para el altiplano contraria a la proximidad de las regiones del norte del país o de los llanos con las variables de días de precipitación y precipitación pluvial.

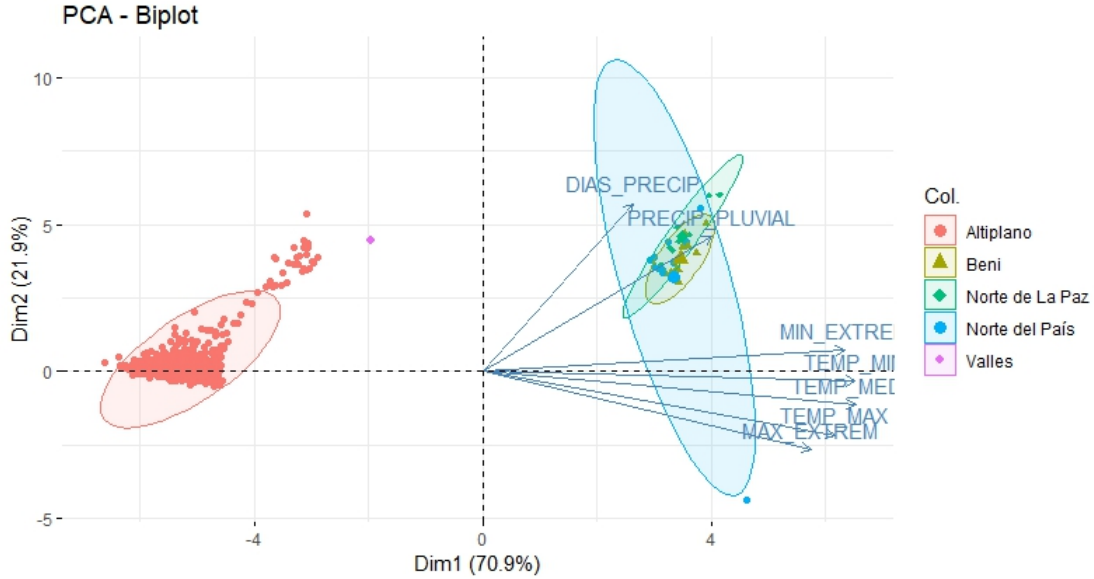


Figura 6: Biplot de variables y Regiones del país

### 7.3. Regresión logística

La regresión logística es un algoritmo de clasificación. Se utiliza para predecir un resultado categórico (1/0, Sí/No, Verdadero/Falso) dado un conjunto de variables independientes. Para representar resultados binarios/categóricos, utilizamos variables ficticias. También se puede considerar como un caso especial de regresión lineal cuando la variable de resultado es categórica, donde utilizamos el registro de probabilidades como variable dependiente. En palabras simples, predice la probabilidad de que ocurra un evento ajustando datos a una función logit.

Para ello se ha creado una variable dicotómica como 1 Lluvia y 0 No lluvia, y en base a la caracterización de la base de datos del SENAEMI tanto descriptiva como multivariable se ha considerado los meses de época seca y de época de lluvias que están bastante diferenciados en tiempo y espacio geográfico. Para ello se agruparon los meses

de octubre a marzo como aquellos que corresponden al resultado 1 de lluvia, y los meses de abril a septiembre como resultado 0 de no lluvia. Esta nueva variable dicotómica representa la variable dependiente, y considerando como variables predictoras resultantes del análisis previo a la región del país, la precipitación pluvial, temperatura media, temperatura máxima media, temperatura máxima absoluta, temperatura mínima media, y temperatura mínima absoluta.

Se dividieron los datos originales en dos conjuntos de datos denominados entrenamiento y de prueba. Se utilizó un conjunto de entrenamiento para construir el modelo y los datos de prueba se utilizaron para probar el ajuste del modelo propuesto. Se dividió el 70 % de los datos en entrenamiento y el 30 % en conjunto de prueba.

Comprobando diferentes modelos alternativos, se eligió aquel con las variables estadísticamente significativas. Resaltan entre ellas la gran influencia de las regiones del país, los niveles de precipitación pluvial, además de las temperaturas mínimas media y mínimas absolutas que definen el modelo logístico propuesto.

```
Call:
glm(formula = LLUVIA ~ REGION + PRECIP_PLUVIAL + TEMP_MIN + MIN_EXTREM,
     family = binomial(link = "logit"), data = trainbd)

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    1.727e+00  1.520e-01  11.358 < 2e-16 ***
REGIONBeni     -1.451e+01  4.745e-01 -30.571 < 2e-16 ***
REGIONLlanos Orientales -1.260e+01  4.431e-01 -28.447 < 2e-16 ***
REGIONNorte de La Paz  -1.363e+01  4.501e-01 -30.285 < 2e-16 ***
REGIONNorte del País   -1.516e+01  4.882e-01 -31.048 < 2e-16 ***
REGIONTierras Bajas    -9.249e+00  3.953e-01 -23.398 < 2e-16 ***
REGIONValles         -5.799e+00  2.364e-01 -24.531 < 2e-16 ***
PRECIP_PLUVIAL    1.466e-02  7.727e-04  18.979 < 2e-16 ***
TEMP_MIN         1.810e-01  2.786e-02   6.497 8.22e-11 ***
MIN_EXTREM       4.282e-01  2.224e-02  19.249 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

    Null deviance: 8845.5  on 6380  degrees of freedom
Residual deviance: 3607.3  on 6371  degrees of freedom
AIC: 3627.3

Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

Figura 7: Modelo Logit final

La precisión del modelo propuesto es 0,8843 o 88,43 % (Ver Figura 8). Este es un valor razonable para nuestro modelo, respecto de la aproximación de ausencia/presencia de lluvia en un determinado mes del año, para el periodo estudiado en Bolivia.

```

Confusion Matrix and Statistics

      clase2
      FALSE TRUE
FALSE  1164  165
TRUE   144 1197

      Accuracy : 0.8843
      95% CI   : (0.8715, 0.8962)
      No Information Rate : 0.5101
      P-Value [Acc > NIR] : <2e-16

      Kappa : 0.7685

      Mcnemar's Test P-Value : 0.2552

      Sensitivity : 0.8899
      Specificity : 0.8789
      Pos Pred Value : 0.8758
      Neg Pred Value : 0.8926
      Prevalence : 0.4899
      Detection Rate : 0.4360
      Detection Prevalence : 0.4978
      Balanced Accuracy : 0.8844

      'Positive' Class : FALSE

```

Figura 8: Precisión del Modelo Logit final

## 8. Conclusiones y recomendaciones

En resumen, el proceso de minería de datos aplicado a los datos meteorológicos provenientes del INE y recolectados por el SENAEMI a lo largo del periodo 1990 - 2016 pretenden aproximar técnicas estadísticas para la caracterización de una de sus variables importantes, como son las precipitaciones pluviales, contrastándolas con otras variables meteorológicas relacionadas. Esto resulta valioso debido a la demanda de información y sobre todo de análisis ante los fenómenos climáticos que forman parte del problema del calentamiento global que ocasiona el cambio climático, y que afecta principalmente a países de economías en desarrollo como Bolivia.

La aproximación al modelo de regresión logística pretende predecir la presencia o ausencia de lluvia en un mes, tomando un conjunto de variables meteorológicas seleccionadas de Bolivia. El modelo desarrollado ha mostrado una elevada precisión de 88,43 % de predicción del fenómeno.

Resaltan entre las características elegidas aquellas geográficas como son las regiones del país, entre las cuantitativas a los niveles de precipitación pluvial, además de las temperaturas mínimas media y mínimas absolutas que definen el modelo logístico pro-



puesto. El factor temporal, reflejado en los años no ha sido introducido porque exigiría otro tratamiento estadístico con series de tiempo.

Por último mencionar que se debe entender estos modelos como un elemento de apoyo, que no pretende suplantar las tareas fruto de la combinación entre modelos numéricos de predicción y series de tiempo, por una parte, ni el análisis, diagnosis y predicción elaborada por los profesionales de la Meteorología.

## Bibliografía

- Andersen, L. (2014). *La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos sobre la biodiversidad*. doi: 10.18235/0012682
- Andrade, M. (2014). *La economía del cambio climático en Bolivia: Validación de Modelos Climáticos* (Cepal, Ed.) (n.º 39829). Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Descargado de <https://ideas.repec.org/b/ecr/col013/39829.html>
- Armengot, R., Abelland, A., y Perez C., A. (2000). Evaluación de un modelo de regresión logística de lluvias intensas en territorio valenciano con el episodio de octubre de 2000. *Asociación Española de Climatología*. Descargado de <https://api.core.ac.uk/oai/oai:repositorio.aemet.es:20.500.11765/9218>
- Castro Calisaya, M. (2018, 05). Clusters de calidad de vida y cambio climático en Bolivia: un análisis espacial multitemporal aplicando Sistemas de Información Geográfica. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, 103 - 147.
- Coetzee, S., Ivanova, I., Mitsova, H., y Brovelli, M. (2020, 02). Open geospatial software and data: A review of the current state and a perspective into the future. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9, 90. doi: 10.3390/ijgi9020090
- Cressie, N. (1994). 4 - models for spatial processes. En J. L. Stanford y S. B. Vardeman (Eds.), *Statistical methods for physical science* (Vol. 28, p. 93-124). Academic Press. Descargado de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0076695X08602549>

doi: [https://doi.org/10.1016/S0076-695X\(08\)60254-9](https://doi.org/10.1016/S0076-695X(08)60254-9)

IPCC. (2014). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Jeffrey, S. J., Carter, J. O., Moodie, K. B., y Beswick, A. R. (2001). Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive of australian climate data. *Environmental Modelling Software*, 16(4), 309-330. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815201000081> doi: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00008-1](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00008-1)

Pebesma, E., y Bivand, R. (2023). *Spatial data science: With applications in R*. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC. Descargado de <https://doi.org/10.1201/9780429459016> doi: 10.1201/9780429459016

Smith, M. (2000). The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103(1), 99-108. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192300001210> doi: [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00121-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00121-0)