

Estudio de la variabilidad intraestacional de la precipitación en el departamento de puno

Liberio Mar A. ¹, Ever Menacho C. ²

Resumen

La variabilidad intraestacional de la precipitación en el altiplano puneño ha sido estudiado utilizando datos de precipitación total mensual para 18 estaciones climatológicas, agrupados en cuatro “cluster” con 5 estaciones cada uno, de los cuales fueron seleccionados en función a su importancia agrícola las siguientes estaciones: Puno, Chuquibambilla, Lagunillas y Huaraya Moho. Con la información de las estaciones seleccionadas se calculó la cantidad de información y la entropía informática, utilizando la teoría de información-entropía de Shannon. Se encontró que la variabilidad intraestacional de la precipitación está dado por los valores más altos de la entropía (2.8 bits) durante los meses de noviembre y diciembre para todas las estaciones, excepto Puno que en el mes de marzo mostró un valor alto de entropía (2.9 bits).

Palabras clave: variabilidad intraestacional, teoría información-entropía Shannon y precipitación.

Abstract

In this study, the intraseasonal variability of precipitation in the plateau of Puno, has been studied using total monthly precipitation data for 18 climatological station. However, and in order to reduce the number of stations, a grouping of four clusters was realised using multivariate analysis techniques. The stations selected were the following: Puno, Chuquibambilla, Lagunillas and Huaraya Moho. Total monthly precipitation data from the selected stations was used to calculate the amount of information and Shannon's information-entropy theory was used to calculate entropy. The findings show that the intraseasonal variability of precipitation responds to the highest values of entropy (2.8bits) during November and December for all stations except Puno that showed a high value of entropy in March (2.9bits). The means that in the months mentioned above the occurrence of precipitation shows high uncertainty owing probably to the presence of humid and dry sub-periods during the identified months.

Key words: intraseasonal variability, Shannon's information-entropy theory, precipitation.

1. Introducción

La principal actividad del departamento de Puno es la agricultura, el cual depende casi exclusivamente de la precipitación pluvial. Sin embargo esta variable climática tiene una alta variabilidad temporal y espacial, el cual en muchos años durante el periodo de lluvias ha generado impactos negativos en el rendimiento de las cosechas.

En nuestro país dentro del periodo de lluvias existen cierta alternancia de sub- periodos lluviosos y secos, es lo que se llama variabilidad intraestacional, el cual desde el punto de vista agrícola es crucial porque los cultivos para su desarrollo vegetativo requieren cierta cantidad de agua y si no cuentan con ella simplemente el cultivo no alcanza el desarrollo adecuado, reflejándose este efecto en la baja productividad.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente es muy importante conocer a detalle estos subperiodos de tal manera que se puedan hacer manejos adecuados de los cultivos y así disminuir la posibilidad de pérdidas en las cosechas. Por otro lado también se debe tener en cuenta que la variación intraestacional de la precipitación está relacionada con su variabilidad interanual, como por ejemplo el fenómeno de “el niño” y “la niña”, por lo tanto esta es otra razón por la cual se debe estudiar la variabilidad intraestacional de la precipitación.

En el presente trabajo se estudiara la variabilidad

intraestacional de la precipitación, determinando los meses con alta incertidumbre en la distribución de la precipitación, y cuyo origen puede estar en la presencia de sub-periodos húmedos y secos. Este análisis se realizara para lugares seleccionados de acuerdo a su importancia agrícola en el departamento de Puno. Todo el análisis realizara utilizando la teoría de información y entropía de Shannon.

Objetivos

- Identificar grupos o “cluster” de estaciones climáticas en el departamento de Puno.
- Determinar la variabilidad intraestacional de la precipitación, para las estaciones seleccionadas utilizando la teoría de la información – Entropía de Shannon.

1.1.1 Análisis Exploratorio de Datos

El Análisis Exploratorio de Datos (A.E.D.) es un conjunto de técnicas estadísticas cuya finalidad es conocer la estructura de los datos y las relaciones existentes entre ellas (Figueras, 2003). Sus objetivos son los siguientes:

- a) Tratamiento y evaluación de datos ausentes (missing).
- b) Identificación de casos atípicos (outliers).
- c) Comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes (normalidad, linealidad, homocedasticidad).

1.1.2 Análisis de conglomerado o Cluster (AC)

El análisis de conglomerados (“cluster analysis”) recoge una serie de técnicas, fundamentalmente algoritmos, que tienen por objeto la búsqueda de grupos similares de individuos (o variables) que se engloban en conglomerados lo más homogéneos

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina.
E-mail: lmarr@lamolina.edu.pe.

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina.
E-mail: emenacho@lamolina.edu.pe.

posibles. Entre los métodos que se han desarrollado para el análisis de conglomerados se distinguen dos grandes categorías: Métodos Jerárquicos y Métodos no jerárquicos.

1.1.3 Entropía y Teoría de la Información

El termino de entropía (del griego tropos= cambio, transformación) lo utilizo Rudolf Classius en 1831, quien es uno de los formuladores de la segunda ley de la termodinámica. La entropía debe ser definida tomando en cuenta consideraciones estadísticas y probabilísticas.

La entropía se define como “una medida de incertidumbre promedio, la cual se calcula a partir de la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los eventos, otra definición es “Magnitud termodinámica que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo, medida del desorden de un sistema”. (Bekenstein 2003).

El concepto de **entropía** se define como carencia de contenido de información en un mensaje. Estamos acostumbrados a pensar en información, como hechos, datos o evidencia en tal o cual asunto, pero en teoría la información se relaciona con la **incertidumbre**, y se mide en bits de información. (Pareja 2007).

La información está relacionada con el grado de incertidumbre acerca de un mensaje que recibiremos. A mayor incertidumbre, mayor información contendrá la fuente de mensajes. El lanzamiento de una moneda contiene dos posibles mensajes, cara y cruz. En cambio el lanzamiento de un dado tiene 6 posibles resultados, con lo que existirán 6 posibles mensajes para indicar el resultado. El lanzamiento de un dado contiene mayor información que el de una moneda.

La cantidad de información es una medida de la disminución de la incertidumbre acerca de un suceso. La cantidad de información es proporcional a la probabilidad de un suceso.

Un suceso i-esimo se denota como x_i , con probabilidad $p(x_i)$ y sea n el numero de sucesos , luego la cantidad de información I estará dado por:

$$I_i = -\log_2(p(x_i)) \dots \dots \dots (1)$$

Asignándole las “unidades” de Bits de información Así la cantidad de información que contiene el lanzamiento de un dado está dada por: $I = \log_2(6) = 2,58$ bits.

Entropía

Definición: Sea X una variable aleatoria discreta con probabilidad $p(x)$ y un conjunto de eventos posibles $A = \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}$

$$H(x) = -\sum p(x) \cdot \log_2 p(x) \text{ donde } x \in A \dots \dots (2)$$

Donde H(x), es definida como la entropía del sistema. En el caso del dado $H = -\sum 1/6 \cdot \log_2(1/6) = 2.58$ Bits .

2.1.4 Clima en el Altiplano Sudamericano

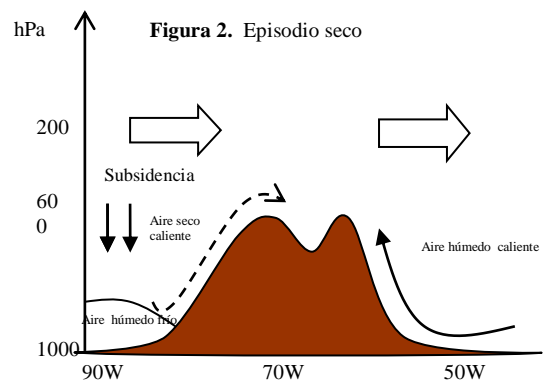
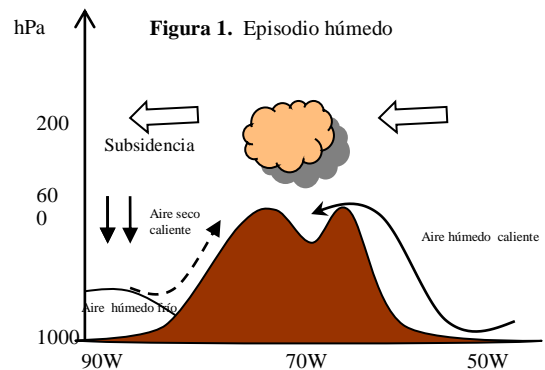
Por efecto de la altura de la superficie sobre el nivel del mar, la columna troposférica sobre el altiplano tiene en general un bajo contenido de vapor de agua. La humedad atmosférica es particularmente reducida durante el invierno austral cuando predomina sobre el Altiplano una circulación del oeste. Durante el verano la humedad aumenta como resultado de los episodios

de advección de masas de aire desde la cuenca amazónica.

La precipitación en el Altiplano se concentra fuertemente durante los meses de verano (diciembre a marzo), como resultado de la intensa actividad convectiva que se desarrolla sobre los andes centrales. Aceituno (1994).

Clement (2003), menciona que las condiciones climáticas a cualquier escala del tiempo sobre el altiplano están muy relacionadas a la circulación atmosférica en altura, con flujos del este, que permiten condiciones húmedas y flujos del oeste causando condiciones secas que influyen sobre la circulación atmosférica en altura a diferentes escalas e tiempo. Ver figuras 1 y 2.

La variabilidad intraestacional es un reflejo de la posición e intensidad de la alta de Bolivia, el cual es modulado por la ondas de Rossby que proviene de latitudes medias del pacifico del sur. El ciclo anual verano húmedo e invierno seco es causado por la expansión de los Estes ecuatoriales en la troposfera superior y seca en verano .La variabilidad intraestacional esta muy relacionada a los cambios del flujo zonal medio sobre el altiplano, reflejando cambios en la baroclinicidad entre las latitudes tropicales y subtropicales.



2. Materiales y métodos

Materiales

Información Meteorológica

Se utilizaron datos de precipitación total mensual de 20 estaciones meteorológicas para el periodo 1964 - 1984. Ver la tabla 1.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas del departamento de Puno utilizadas en el Estudio.

Estaciones Meteorológicas	Longitud (°)	Latitud (°)	Altura m.s.n.m
Ollaachea	70.29	13.48	2850
Puno	70.00	15.49	3820
Llally	70.53	14.56	3980
Pampauta	70.40	15.29	4400
Lagunillas	70.39	15.46	4200
Chuquibambilla	70.44	14.47	3971
Ayaviri	70.23	14.52	3928
Macusani	70.25	14.04	4341
Progreso	70.22	14.41	3970
Lampa	70.22	15.25	3892
Cabanillas	70.20	15.38	3900
Azangaro	70.11	14.55	3863
Arapa	70.07	15.08	3830
Muñani	69.67	14.46	3948
Huancane	69.45	15.12	3890
Huaraya Moho	69.29	15.23	3890
Capachica	69.50	15.37	3933
Mazo Cruz	69.42	16.44	4100
Ilave	69.38	16.05	3880
Juliaca	70.10	15.28	3826

Software especializado

- SPSS
- STATGRAPHICS
- MINITAB

2.2 Metodología

2.2.1 Selección de estaciones climatológicas

2.2.1.1 Análisis de la información

Con el propósito de ubicar ciertas características de las series de tiempo, tales como: valores “atípicos”, estacionalidad y su variabilidad temporal. Aplicaremos a las series el análisis de cajas los cuales se elaboran haciendo uso de ciertos parámetros estadísticos tales como: la mediana, quartiles y desviación estándar.

2.2.1.2 Análisis de conglomerados o “cluster”.

Con los datos de precipitación total mensual y para el período definido, se agruparan estaciones con similares características pluviométricas usando métodos los llamados jerárquicos (método de Ward).

2.2.2 Estudio de la variabilidad intraestacional de la precipitación

Para cada estación seleccionada se procederá a confeccionar las tablas de frecuencias con el fin de calcular las probabilidades de la precipitación y que luego fueron usadas para calcular:

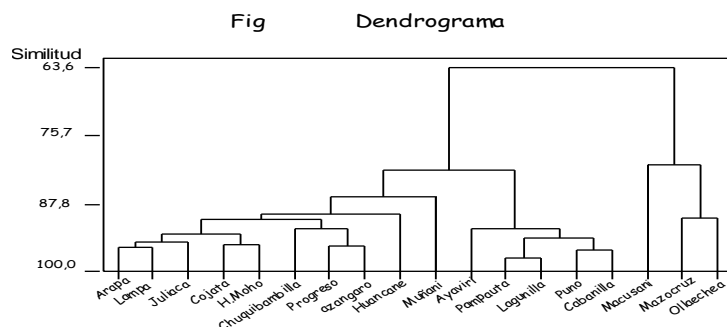
- La cantidad de información para cada “evento o clases” usando la expresión de Shannon $I(x) = -\log_2(p(x))$. en Bits
- La entropía para todo el sistema (cada mes) con la siguiente expresión: $H(x) = -\sum p(x) * \log_2(p(x))$ en Bits

3. Resultados y discusión

3.1 Selección de estaciones en el departamento de Puno

El agrupamiento de estaciones o “cluster” se muestran en el Dendrograma realizado usando el método Ward, el cual nos muestra 4 cluster:

- a) Cluster 1: Arapa, Juliaca, Progreso, Puno, Azangaro y Lampa.
- b) Cluster 2: Chuquibambilla, Ayaviri y Huancane
- c) Cluster 3: Pampauta, Lagunillas , Cabanillas y Mazo Cruz
- d) Cluster 4: Muñani, cojata y Huaraya Moho



3.2 Análisis de Información de precipitación

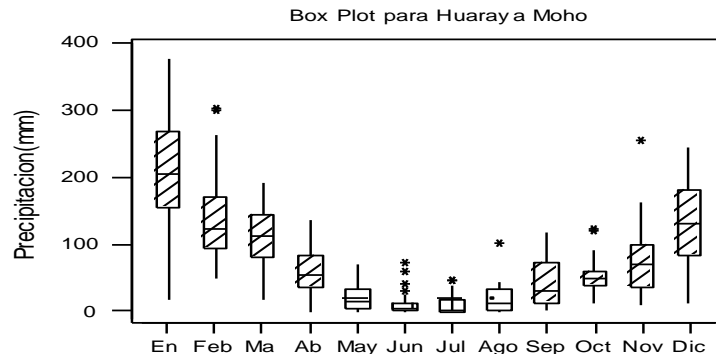
A partir de los “cluster” identificados, fueron seleccionados estaciones representativas usando criterios de estudios anteriores (Menacho 2007), para los cuales se realizo el análisis de precipitación, tal como se muestra a continuación.

Estación de Huaraya Moho: La precipitación durante el periodo de septiembre – Abril, muestra un

comportamiento estacional, registrándose los valores más altos durante el mes de Enero, con una importante variabilidad durante este mes. La

precipitación oscila entre 20 mm/mes y 360 mm/mes. Ver figura 4.

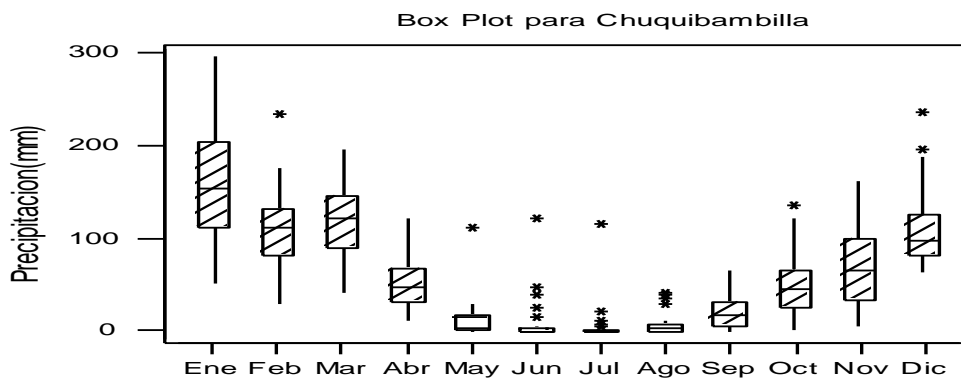
Figura 4. Precipitación en la estación de Huaraya Moho, Análisis de Cajas.



Estación de Chuquibambilla: El periodo de lluvias se inicia en septiembre y termina en Abril, tal como se muestra en la figura 4. La precipitación mas intensa se produce durante el mes de Enero, con valores que oscilan entre 110mm/mes a 200mm/mes. Sin embargo en años lluviosos la precipitación puede

llegar hasta 300 mm/mes, mientras que en caso contrario la precipitación solo alcanza valores de 30 mm/mes.

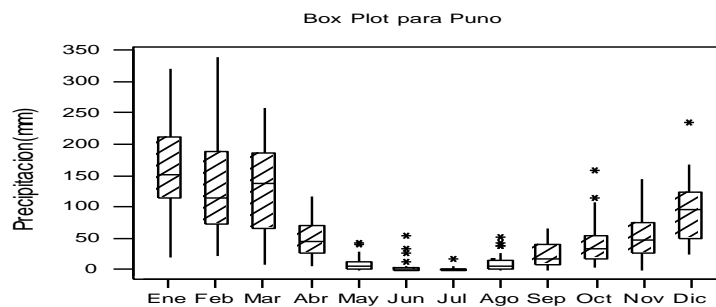
Figura 5. Precipitación en la estación de Chuquibambilla, Análisis de Cajas.



Estación de Puno. Las precipitaciones más intensas se registran durante el periodo de diciembre a Marzo. Sin embargo durante el mes de febrero la precipitación muestra una alta variabilidad, tal como se muestra en la figura 5. En años húmedos la precipitación puede alcanzar valores hasta de 340

mm/mes. En años secos la precipitación no baja los 70 mm/mes, esto puede deberse a la cercanía del lago Titicaca.

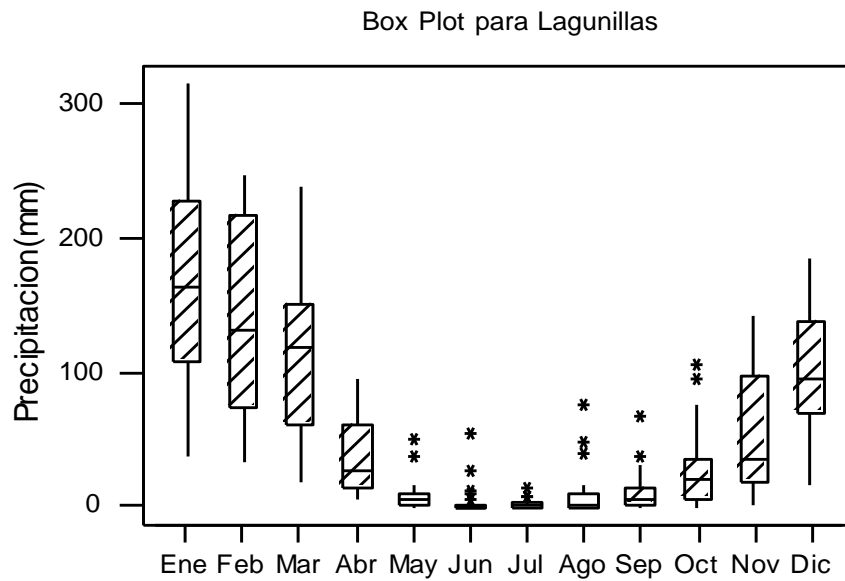
Figura 6. Precipitación en la estación de Puno, Análisis de Cajas.



Estación de Lagunillas: Las lluvias más intensas se registran durante los meses de Enero, Febrero y Marzo, tal como se observa en la figura 6. Sin embargo el mes de enero es el que registra los valores más altos en promedio (170 mm/mes). En años

húmedos la precipitación bordea los 300 mm/mes. El periodo seco se registra durante del periodo de Mayo – Agosto. Con ligeras y aisladas precipitaciones.

Figura 7. Precipitación en la estación de Lagunillas, Análisis de Cajas.



3.3 Análisis de la variabilidad intraestacional de la precipitación

Establecido los 4 cluster se efectuaron estudios de la información y entropía de Shannon para las estaciones seleccionadas. A continuación presentamos el análisis para cuatro ciudades más representativas para cada uno de los cluster encontradas.

Estación de Puno.

La tabla 1, nos muestra las frecuencias de precipitación total mensual para el mes de enero, en

base a 8 intervalos o clases, en este caso cada clase o suceso tienen una probabilidad $p(x)$ y la cantidad de información $I(x) = \log_2(1/p(x))$. Así para los sucesos (clases) 1 y 3 se tiene mayor cantidad de información (3.91 bits). Esto significa que los valores de precipitación correspondientes a esas clases, tienen alta incertidumbre en término de producirse esas cantidades, ya que pueden afectar al rendimiento de los cultivos, porque podría ser una cantidad insuficiente de precipitación.

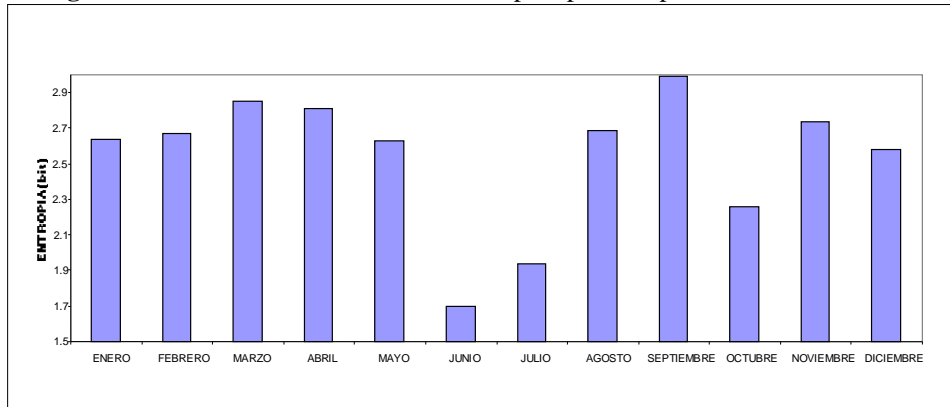
Tabla 2. Frecuencias, cantidad de información ($I(x)$) y entropía ($H(x)$) Para la estación de Puno.

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia	$p(x)$	$\log_2(1/p(x))$ Bits	$p(x) * \log_2(1/p(x))$ Bits
1	0.00	47.13	23.56	1	0.03	4.91	0.16
2	47.13	94.25	70.69	3	0.10	3.32	0.33
3	94.25	141.38	117.81	1	0.03	4.91	0.16
4	141.38	188.50	164.94	7	0.23	2.10	0.49
5	188.50	235.63	212.06	9	0.30	1.74	0.52
6	235.63	282.75	259.19	3	0.10	3.32	0.33
7	282.75	329.88	306.31	4	0.13	2.91	0.39
8	329.88	377.00	353.44	2	0.07	3.91	0.26
						I(x)	H(x)=2.65

En la figura 8, observamos la información para todo el año, donde podemos notar que, los meses de septiembre, marzo y abril tienen los valores más altos de entropía (3 y 2.8 bit), esto quiere decir que en los mencionados meses la cantidad de precipitación muestra mucha incertidumbre dentro del periodo de

lluvias, esto puede deberse a la alternancia sub-periodos secos y húmedos ocasionados por ciertos factores propios del lugar que modifican los flujos del este cargados de humedad provenientes de la cuenca Amazónica.

Figura 8. Variabilidad intraestacional de la precipitación para la estación de Puno.



Estación de Chuquibambilla

En este lugar los diferentes sucesos (clases) para el mes de Enero presentan valores de cantidad de información que bordean 2.3 bits, excepto las clases 2 y 8 que tienen 3.9 y 4.1 bits, tal como se muestran

en la tabla 3, sin embargo no podemos considerar como sucesos que aporten información significativa, es decir, son cantidades de precipitación que casi no se registran en este lugar, pero se debe tener en cuenta en planificación agrícola u otras actividades.

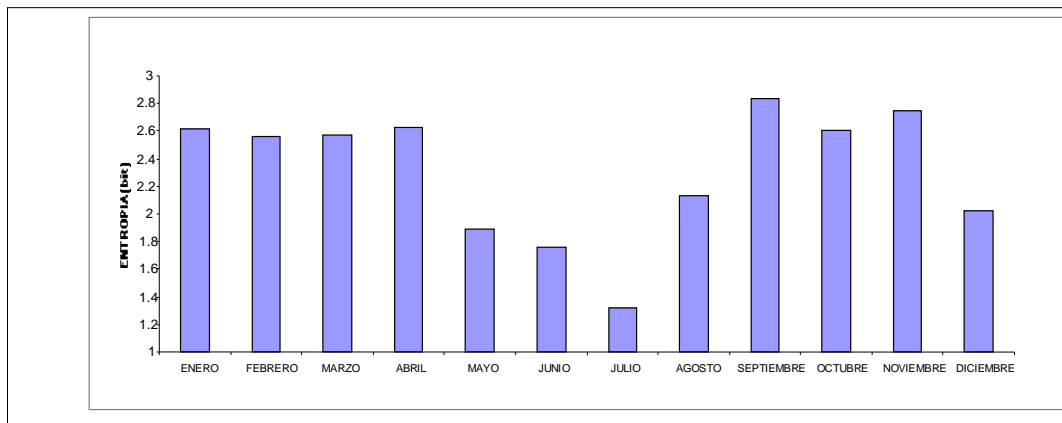
Tabla 3. Frecuencias, cantidad de información (I(x)) y entropía (H(x)) Para la estación de Chuquibambilla.

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca de Clase	Frecuencia	p(x)	log ₂ (1/p(x)) Bits	P(x)*log ₂ (1/p(x)) Bits
1	0	37	18.5	0	0		
2	37	74	55.5	2	0.07	3.91	0.26
3	74	111	92.5	5	0.17	2.58	0.43
4	111	148	129.5	6	0.20	2.32	0.46
5	148	185	166.5	7	0.23	2.10	0.49
6	185	222	203.5	6	0.20	2.32	0.46
7	222	259	240.5	3	0.10	3.32	0.33
8	259	296	277.5	1	0.03	4.91	0.16
						I(x)	H(x)=2.61

Dentro del periodo de lluvias (septiembre-Abril), en este lugar, el mes de noviembre presenta el valor mas alto de entropía (2.8 bit), tal como se observa en la figura 9, el cual nos indica que, en este mes la cantidad de precipitación tiene una importante incertidumbre en cuanto a su ocurrencia, esto puede atribuirse a que durante el mes de noviembre las

lluvias se alternan con periodos secos, y este comportamiento puede ser originado fundamentalmente por acción de la topografía sobre el flujo de viento del este que ingresan al altiplano puneño proveniente de la cuenca Amazónica.

Figura 9. Variabilidad intraestacional de la precipitación para la estación de chuquibambilla.



Estación de Lagunillas

Lagunillas, es una localidad que se encuentra muy alejado del Lago Titicaca. La cantidad de información mas altas son 3.32 y 4.91 bits, los cuales corresponden a los sucesos o clases 1, 2,4, 7 y 8.

Esto quiere decir que, de producirse las precipitaciones en los rangos o clases mencionados, pueden ocasionar daños al desarrollo y rendimiento de los cultivos.

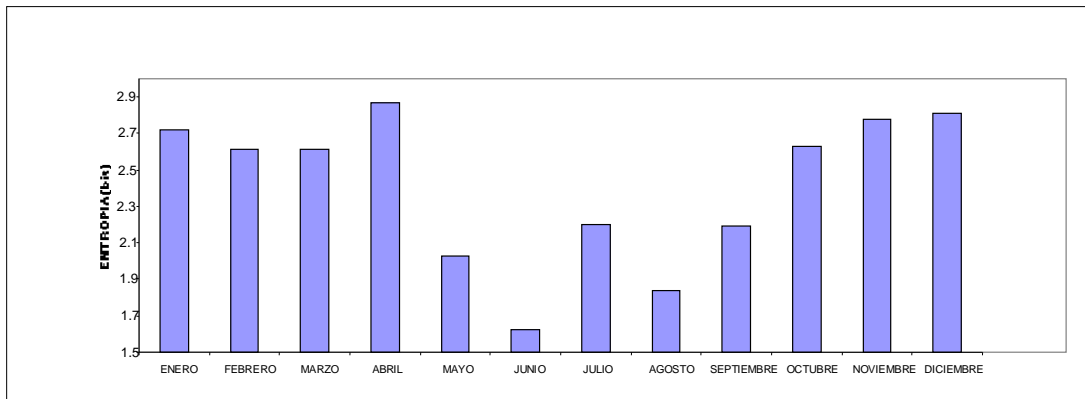
Tabla 4. Frecuencias, cantidad de información (I(x)) y entropía (H(x)) Para la estación de Lagunillas.

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia	p(x)	log ₂ (1/p(x)) Bits	p(x)*log ₂ (1/p(x)) Bits
1	0.00	39.25	19.63	1	0.03	4.91	0.16
2	39.25	78.50	58.88	3	0.10	3.32	0.33
3	78.50	117.75	98.13	4	0.13	2.91	0.39
4	117.75	157.00	137.38	3	0.10	3.32	0.33
5	157.00	196.25	176.63	9	0.30	1.74	0.52
6	196.25	235.50	215.88	5	0.17	2.58	0.43
7	235.50	274.75	255.13	4	0.13	2.91	0.39
8	274.75	314.00	294.38	1	0.03	4.91	0.16
						I(x)	H(x)=2.72

En Lagunillas, la entropía tiene su valor mas alto (2.8 bits) en el mes de diciembre, tal como se muestra en la figura 10, esto implica que este mes, las precipitaciones se producen con alta incertidumbre, es decir, no tienen un comportamiento definido dentro del periodo de lluvias, igual que en el caso de

Chuquibambilla. Esta situación puede ser originada por la presencia de sub periodos húmedos y secos. Esta anomalía de la precipitación es originado por la presencia de factores propios del lugar que alteran el comportamiento de sistemas atmosféricos que originan las lluvias en este lugar (flujos del este proveniente de la cuenca Amazónica).

Figura 10. Variabilidad intraestacional de la precipitación para la estación de lagunillas.



Estación Huaraya Moho

En este lugar la cantidad de información mas importante esta dado por los valores 3.32 y 4.91 bits (tabla 4), los cuales, representan a las clases 1,2 ,3 y

6, esto quiere decir que la cantidad de precipitación correspondientes a este rango, no es común para la zona, pero de producirse pueden generar impactos negativos en el desarrollo de cultivos instalados.

Tabla 4. Frecuencias, cantidad de información (I(x)) y entropía (H(x)) Para la estación de Huaraya Moho.

1	Límite	Límite		p(x)			
1	0.00	47.13	23.56	1	0.03	4.91	
2	47.13	94.25	70.69	3	0.10	3.32	
3	94.25	141.38	117.81	1	0.03	4.91	
4	141.38	188.50	164.94	7	0.23	2.10	
5	188.50	235.63	212.06	9	0.30	1.74	
6	235.63	282.75	259.19	3	0.10	3.32	
7	282.75	329.88	306.31	4	0.13	2.91	
8	329.88	377.00	353.44	2	0.07	3.91	
						I(x)	H(x)=2.65

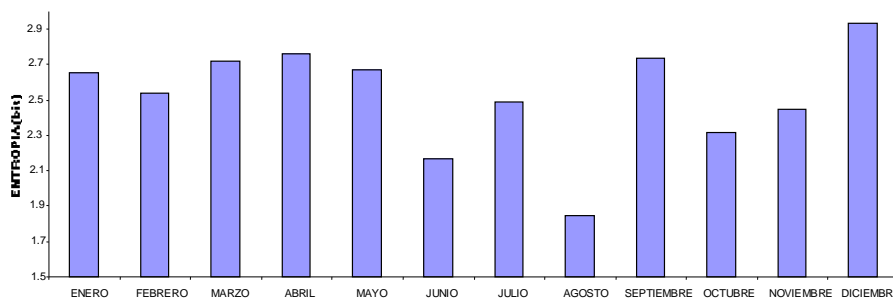
En Huaraya Moho, la entropía de la precipitación total mensual alcanza su mayor valor el mes de diciembre (3 bits). Esto indica que la precipitación que se registra presenta alta incertidumbre, es decir,

no tiene continuidad durante el mes, produciéndose, sub periodos húmedos y secos. Figura 11.

Esta variabilidad intraestacional de las lluvias en este lugar esta determinado fundamentalmente por la modificación del flujo del este proveniente de la

cuenca del amazonas mediante sus condiciones topográficas.

Figura 11. Variabilidad intraestacional de la precipitación para la estación de huaraya moho



4. Conclusiones

En el departamento de Puno se han identificado 4 grupos o “cluster”, de lugares que tienen un comportamiento pluviométrico similar. Los cluster son los siguientes:

- a) Arapa, Juliaca, Progreso, Puno, Azangaro y Lampa.
- b) Chuquibambilla, Ayaviri y Huancane
- c) Pampauta, Lagunillas, Cabanillas y Mazo Cruz
- d) Muñani, cojata y Huaraya Moho

La cantidad de información para todas las estaciones están representados mayormente por los valores de 3 a 4.9 bits. Esto nos indica que la cantidad de precipitación que se registran dentro de esos rangos, pueden tener un impacto negativo en el desarrollo y producción del cultivo.

El mayor valor de entropía (2,8 bits), se obtienen en las estaciones de Puno, Chuquibambilla, lagunillas y Huaraya Moho, durante los meses de noviembre y diciembre.

Durante el mes de marzo en Puno la entropía adquiere su mayor valor (2,9 bits).

La variabilidad intraestacional (alta incertidumbre) de la precipitación durante el periodo de lluvias, ocurre de manera notable durante los meses de noviembre, diciembre y también en marzo en el caso de Puno.

Recomendaciones

Realizar el mismo estudio, pero utilizando datos diarios de precipitación con el fin de encontrar en forma exacta los sub periodos húmedos y secos durante los meses encontrados y de esta manera determinar la variabilidad intraestacional de la precipitación con mayor detalle para el departamento de Puno.

Se debe realizar estudios para ver en que medida la variabilidad intraestacional esta relacionado con la variabilidad interanual de la precipitación.

Con fines de predicción climática de precipitación en el altiplano puneño se debe determinar índices de circulación atmosférica, considerando el efecto de los diferentes factores que modifican los flujos de viento a mesoescala.

5. Referencias bibliográfica

Aceituno, P. 1998 Climate elements of the south American Altiplano. *Rev. Geofis* 44, 37-55.

Aceituno, Montecinos. 1997 Patterns of convective cloudiness in south American during austral summer from OLR pentads. *American Meteor Soc.* 412 -413.

Bekenstein, J. 2003 Información y Entropía *Scientific American Latinoamérica* Año 2 No 15

Clement, C, Garreau, R The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Figueras, S. 2003 Análisis Exploratorio de datos. Universidad C. de Madrid, España.

Garreau, R, Aceituno P., 2001 Interannual rainfall variability over the south American Altiplano. *J. Clima* 14. 2779-2789.

Garreau, R., D., 2000 Intraseasonal variability of moisture and rainfall over the south American. *mon Wea Rev* 128 3379-3346.

Menacho, E. 2007 Pronóstico de precipitación para el departamento de Puno. Tesis. Grado de Magíster UNALM. Lima-Perú.

Pareja, D, 2007 Un homenaje a Claude Shannon. Universidad de Quindía.

Vblen, K. 2007 The Physical Geography of south American. Oxford University Press.