

MODELO DE PRONÓSTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE SAL

Lázaro Amoroso Rodríguez^{1*}, Pedro Delisle Ybonet^{2*}, Evelyn Quesada^{3†}

¹Sede Central del Pacífico, Universidad de Costa Rica,
²Departamento de Física, Universidad de Guantánamo, Cuba
³Fábrica de Quesos de Monteverde

Recibido abril 2016; aceptado mayo 2017

Abstract

This article evaluates gross salt production as a function of evaporation and precipitation, as variables, using simple and quadratic linear regression statistical analysis. Crude salt production and meteorological variables records belonging to 35 years, are used for a case study in Caimanera, Guantánamo Bay, Cuba. The (r) coefficient of correlation is used for a regression model. The results of different statistical models are shown and compared, and information generated from these results is discussed as the basis for a mathematical forecasting model that allows decision making to optimize production.

Resumen

En este artículo se evalúa la producción de sal bruta como función de las variables meteorológicas evaporación y precipitación usando el análisis estadístico de regresión lineal y cuadrática. Se utiliza como caso de estudio la producción bruta de sal y registros de variables meteorológicas en 35 años de producción de la salina de Caimanera, Guantánamo, Cuba. Para la selección del modelo de regresión, se usa el coeficiente de correlación (r). Se muestran y comparan los resultados de los distintos modelos estadísticos, y se discute la información de estos como fundamento para un modelo matemático de pronóstico que permita la toma de decisiones que optimicen la producción.

Key words: Extraction of salt, meteorological variables, model, prognosis.

Palabras clave: Extracción de sal, variables meteorológicas, modelo, pronóstico.

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de la influencia de algunos elementos meteorológicos en el proceso de obtención de cloruro de sodio en las lagunas de evaporación de las salinas litorales, ha tenido lugar por algunos científicos en diversas partes del mundo. Tal es el caso del estudio realizado en la salina de Torre Vieja, en España [1] donde se hizo un análisis de la evolución y situación actual de las fluctuaciones en la producción bruta de sal en función del comportamiento de determinados elementos meteorológicos, lo cual fue utilizado para realizar un profundo cambio en la estructura

* lazaro.amoroso@ucr.ac.cr

empresarial y ampliación de los mercados de comercialización, con beneficio económico y social para la población del territorio donde está enclavada dicha salina.

Los procesos globales que ocurren en el planeta, que se identifican como cambio climático, están relacionados con las variables meteorológicas que son factores determinantes en la producción de sal y producción a cielo abierto. Sin embargo, no existen estudios que establezcan la asociación existente entre producción de sal y variables meteorológicas mediante un modelo basado en el análisis matemático. Establecer las correlaciones pertinentes como el que se expone en el presente trabajo, constituye el fundamento de un modelo de pronóstico que podría emplearse para la producción de sal. Este enfoque podría ser útil y extenderse para evaluar los posibles efectos del cambio climático en los sistemas a cielo abierto, bosques tropicales y reservas biológicas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los resultados que se presentan hacen referencia a la producción bruta de sal anual en la salina "Frank País" del municipio de Caimanera, Cuba, durante los 35 años comprendidos entre 1970 y el 2004 (Tabla 1). Este municipio se encuentra geográficamente situado en la parte sur de la provincia, a los 19° 59' 2'' de latitud norte y 75° 9' 53'' de longitud oeste. Se escogió esta salina por la base de datos que dispone y por su largo historial de producción, brindando la posibilidad de selección de las variables meteorológicas basado en la experiencia de producción. Estas variables fueron: evaporación y precipitación y la temperatura controladas en dos estaciones meteorológicas de la salinera, por un periodo de 35 años. Sin embargo, en este artículo se hará referencia-como enfoque preliminar- a la evaporación y precipitación.

TABLA 1. Extracción Anual de Sal en toneladas en la Salina "Frank País". Período: 1970-2004

AÑOS	EXTRACCIÓN	AÑOS	EXTRACCIÓN	AÑOS	EXTRACCIÓN
1970	52403	1982	175472	1994	44967
1971	78634	1983	200876	1995	69325
1972	43429	1984	234080	1996	104389
1973	82983	1985	195486	1997	150095
1974	109062	1986	155153	1998	61348
1975	111183	1987	213160	1999	57874
1976	133334	1988	161749	2000	119062
1977	102980	1989	211614	2001	100136
1978	90546	1990	210255	2002	121297
1979	53322	1991	172086	2003	156458
1980	128001	1992	170736	2004	165572
1981	134919	1993	55941		

En general, el método empleado fue el tratamiento de datos a partir del análisis de regresión. Se hizo un análisis de tendencia de series de tiempo empleando el programa WinStat en su versión Beta 1.1 Israel Borrajero. Además, los programas SPSS, Microsoft Excel y CurveSpert 1.3 permitieron analizar las relaciones entre las variables estudiadas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra el comportamiento de la extracción anual desde 1970 – 2004. Aplicando el programa WINSTAT (versión Beta 1.1) para hacer el análisis de tendencia para esta serie de tiempo, se obtuvo el siguiente resultado:

Prueba de Wald-Wolfowitz

Wald-Wolfowitz 3.883216

Resultado : Alfa1 = 0.0001 < Alfa0 = 0.0500

Prueba de Spearman

Spearman 0.786247

Resultado : Alfa1 = 0.4317 > Alfa0 = 0.0500

Prueba de Mann

Mann 1.070774

Resultado : Alfa1 = 0.2843 > Alfa0 = 0.0500

Intersecciones 3

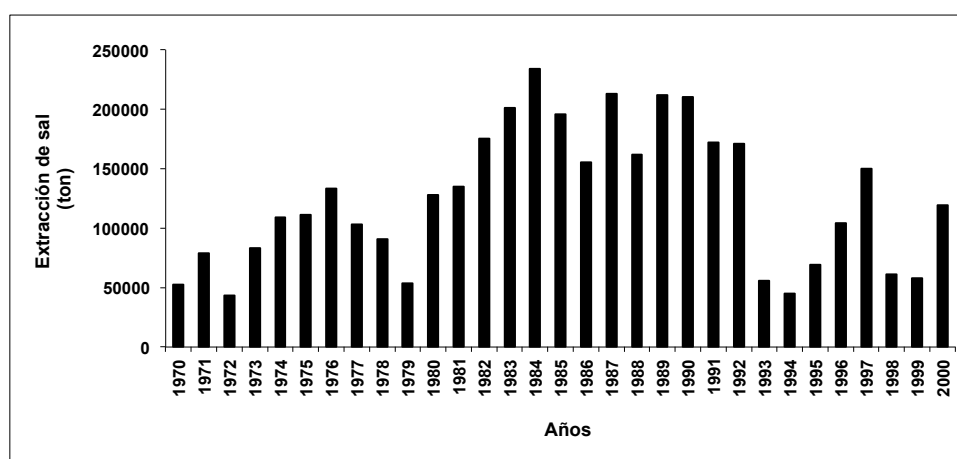


FIGURA 1. Comportamiento de la producción bruta Anual (extracción) de sal durante el período de 1970 hasta el 2004.

De lo anterior se concluye que el estadígrafo de persistencia corta es significativo para 0.05, pero el de tendencia global no lo es, presentando un comportamiento sinusoidal con un crecimiento marcado entre 1981 y 1992, según se aprecia en la figura 1. Buscando las posibles causas de este comportamiento, se procedió a analizar si existe alguna relación matemática entre la producción bruta de sal y la variable evaporación. Para ello se empleó como base datos los valores mensuales y anuales de la evaporación registrada en la Salina durante los 35 años del estudio.

PRODUCCIÓN BRUTA O EXTRACCIÓN DE SAL EN FUNCIÓN DE LA EVAPORACIÓN

Para conocer de qué manera pudiera influir el proceso de evaporación en la salina en la extracción anual, se utilizaron los programas Curve Expert 1.3 y Microsoft Excel. Al correlacionar los valores de extracción anual de sal con los valores de la evaporación anual en la salina, fueron obtenidas dos correlaciones significativas, cuyos valores de sus respectivos coeficientes de correlación (r) y errores

MODELO DE PRONÓSTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE SAL

estándares (S), se muestran en la Tabla 2. Las gráficas correspondientes a estas correlaciones aparecen en los figuras 2 y 3.

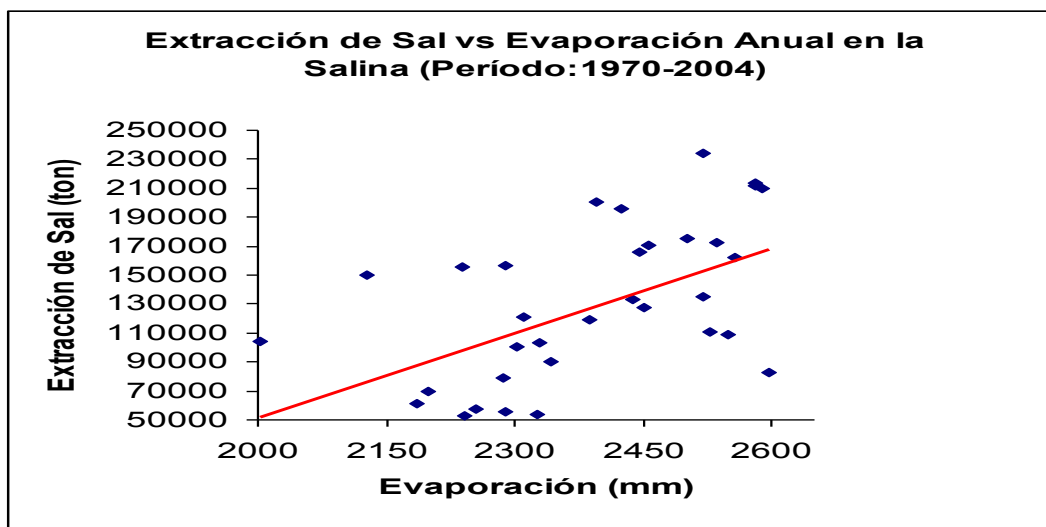


FIGURA 2. Correlación del tipo lineal entre extracción de sal y evaporación anual en la salina: "Frank País" (Coeficiente de correlación: $r = 0.51$; Error Standard: $S = 51821$; Coeficiente de determinación: $D = 0.2601$).

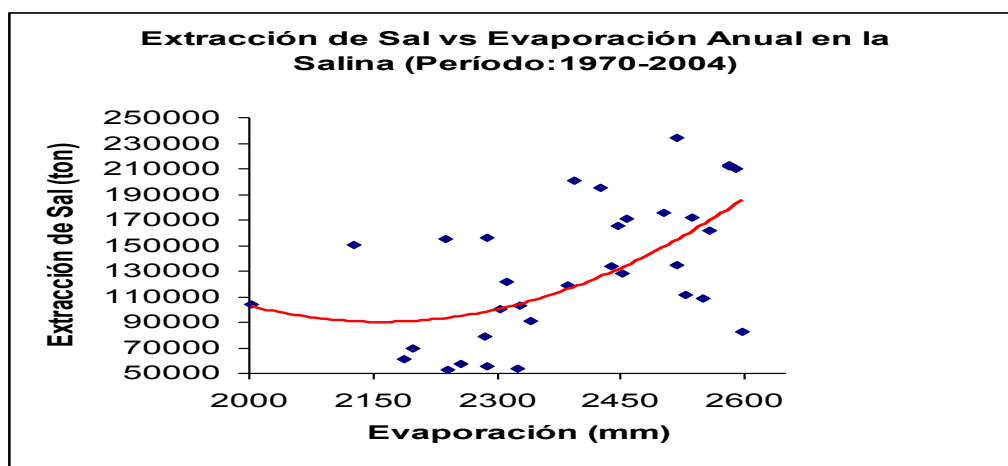


FIGURA 3. Correlación del tipo cuadrática entre la extracción de sal y la evaporación anual en la salina "Frank País". (Coeficiente de correlación: $r = 0.58 \approx 0.6$; Error Standard: $S = 50\ 117$ Ecuación de regresión: $y = 2423041 - 2161x + 0.5x^2$; Coeficiente de determinación: $D = 0.36$)

TABLA 2. Valores del coeficiente de correlación (r) y error estándar (S) entre la extracción anual y la evaporación anual en la salina "Frank País". Período: 1970-2004.

Tipo de correlación	r	S
lineal	0.51	51 821
cuadrática	0.58	47 163

Como se puede apreciar, de estas correlaciones la cuadrática es la que puede brindar una información más confiable, ya que posee un coeficiente de correlación (r) mayor, así como también un menor error estándar. De modo que tomando el valor de r para este tipo de correlación, se calculó el coeficiente de determinación: $D = r^2 = (0.58)^2 \approx (0.6)^2 = 0.36$.

De lo anterior se concluye que el 36 % de la variabilidad de la extracción anual total de sal (o producción bruta de sal) se explica por el proceso de la evaporación en las lagunas de la salina.

Por tanto, si de la extracción anual total de sal ($Ex. An_{(Total)}$) desconocida para cualquier año futuro, se pudiera determinar el valor del 36 % de esa extracción que se explica por el proceso de evaporación anual en la salina ($Ex. An_{(por\ Evap)}$), entonces sería posible calcular, de forma aproximada, esa extracción anual total ($Ex. An_{(Total)}$), por alguna relación matemática, donde la $Ex. An_{(Total)}$ estaría en función, entre otros factores, de la $Ex. An_{(por\ Evap)}$, es decir:

$$Ex. An_{(Total)} = f(Ex. An_{(por\ Evap)})$$

De modo que:

$Ex. An_{(Total)}$ Representa el 100 % de toda la extracción de Sal para ese año.

$Ex. An_{(por\ Evap)}$Representa el 36 % de toda la extracción de Sal para ese año.

Entonces se obtiene la siguiente proporción:
$$\frac{Ext. An_{Total}}{Ext. An_{Por\ Evap.}} = \frac{100}{36} \quad (1)$$

De donde:
$$Ext. An_{Total} = \frac{Ext. An_{Por\ Evap.} \times 100}{36} \quad (2)$$

Para resolver la ecuación (2) fue necesario determinar el valor de la extracción anual por evaporación ($Ex. An_{(Por\ Evap)}$). Para ello, se determinó la relación de esta con la evaporación anual que se produjo en la salina ($Ev.An_{(Sal)}$), lo cual fue posible empleando la ecuación de regresión correspondiente (Ver figura 3):

$$y = 2423041 - 2161x + 0.5 x^2 \quad (3)$$

Entonces, basado en esta ecuación (3) se puede plantear con cierto grado de aproximación que:

$$Ex. An_{(por\ Evap)} = 2423041 - 2161(Ev.An_{(Sal)}) + 0.5 (Ev.An_{(Sal)})^2 \quad (4)$$

Se debe entender que la ecuación (2) informa acerca de la extracción de sal que se obtendría solamente por el proceso de evaporación, que sería aproximadamente un 36 % del total de la sal extraída durante todo un año. En realidad, hay que tener en cuenta ciertos factores físicos que influyen directamente sobre el comportamiento de este proceso. Por ejemplo, la variabilidad diaria del viento y la temperatura, la cual determina la mayor o menor cantidad de humedad en el aire y la variabilidad de la tensión de vapor sobre la superficie a evaporar. Por otro lado, se debe considerar el factor humano que durante el período de 35 años en que se basa este estudio, no estuvo exento de cometer errores a la hora de realizar las mediciones de la evaporación anual en la salina, factor determinante en esta ecuación. La ecuación (2) será más eficiente en la medida en que las mediciones de la $Ev.An_{(Sal)}$ sean más confiables y los resultados con ella obtenidos influirán en la veracidad de la extracción de sal calculada con la ecuación (1). Por tanto, al trabajar con la ecuación (1), los resultados que se obtengan de ella deben ser comparados con el valor promedio histórico de extracción de sal, que para este período de estudio (1970-2004) es de 126 512,2 ton. Además, en dependencia de cómo influyan los factores que favorecen la evaporación y los que la retardan en determinados años, así será mayor o menor el valor de extracción anual de sal que se pronostique.

PRODUCCIÓN BRUTA O EXTRACCIÓN DE SAL EN FUNCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

La extracción necesita un acelerado ritmo de evaporación para elevar la concentración de la salmuera. La lluvia, por el contrario, disminuye dicha concentración retardando la evaporación, provocando una merma en la obtención de sal.

MODELO DE PRONÓSTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE SAL

Al analizar de qué forma la precipitación en la salina pudiera influir en el proceso de extracción de sal, se procesaron los valores anuales de esta variable durante el período de estudio (Tabla 3).

TABLA 3. Valores de la precipitación anual en la salina “Frank País” durante el período 1970-2004

Año	Precip. (mm)	Extracción	Años	Precip. (mm)	Extracción	Años	Precip. (mm)	Extracción
1970	517	52403	1982	452	17742	1994	9614	44967
1971	506	78634	1983	430	200876	1995	955	69325
1972	1062	43429	1984	448	234080	1996	585	104389
1973	535	82983	1985	560	195486	1997	415	150095
1974	324	109062	1986	640	155153	1998	951	61348
1975	359	111183	1987	6.3603	213160	1999	603	57874
1976	386	133334	1988	628	161749	2000	526	119062
1977	934	102980	1989	441	211614	2001	696	100136
1978	709	90546	1990	843	210255	2002	656	121297
1979	1019	53322	1991	413	172086	2003	544	156458
1980	661	128001	1992	479	170736	2004	363.11	165572
1981	497	134919	1993	1313	55941			

Con estos datos se analizó el comportamiento de la lluvia en la salina durante este período de 35 años y se obtuvo el resultado ilustrado en la figura 4.

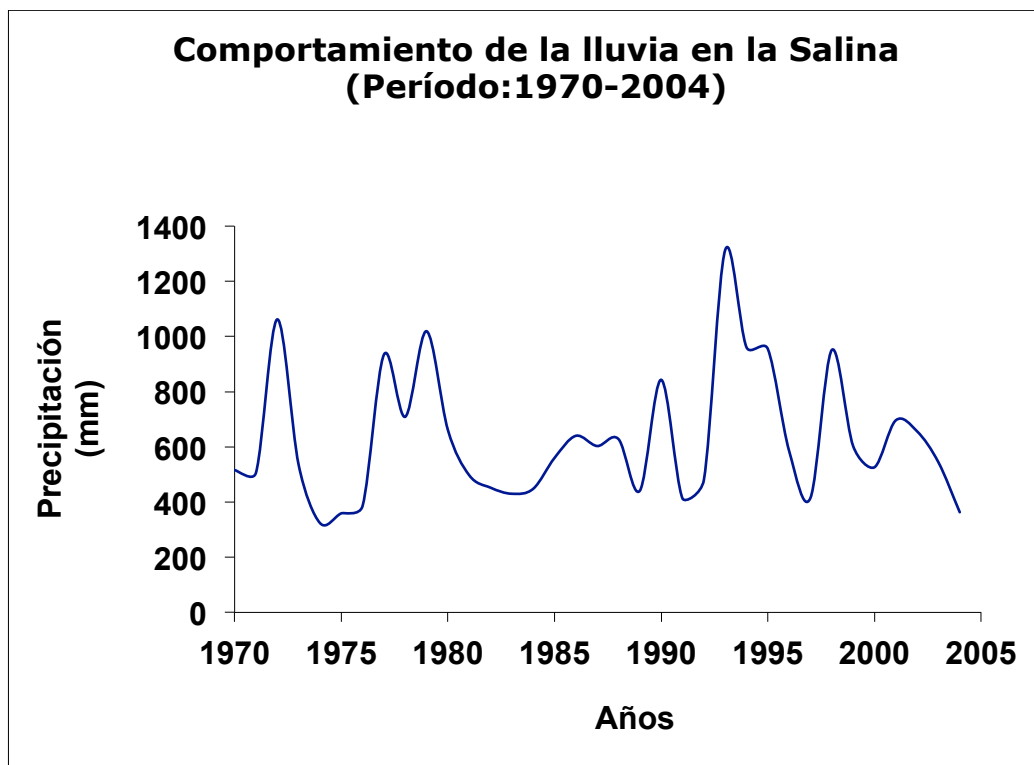


FIGURA 4. Comportamiento de la precipitación anual en la salina “Frank País” durante el período: 1970-2004.

Al aplicar el programa WINSTAT (versión 1.1) para realizar un análisis de tendencia de la serie de acumulados anuales de lluvia para la salina desde 1970 hasta el 2004, se observó que esta serie no muestra

tendencia significativa y en el período comprendido entre 1984 y 2004, tampoco la presenta. Por lo tanto, ella puede considerarse una serie homogénea con un comportamiento sinusoidal y un decrecimiento marcado entre 1981 y 1992 (Figura 5).

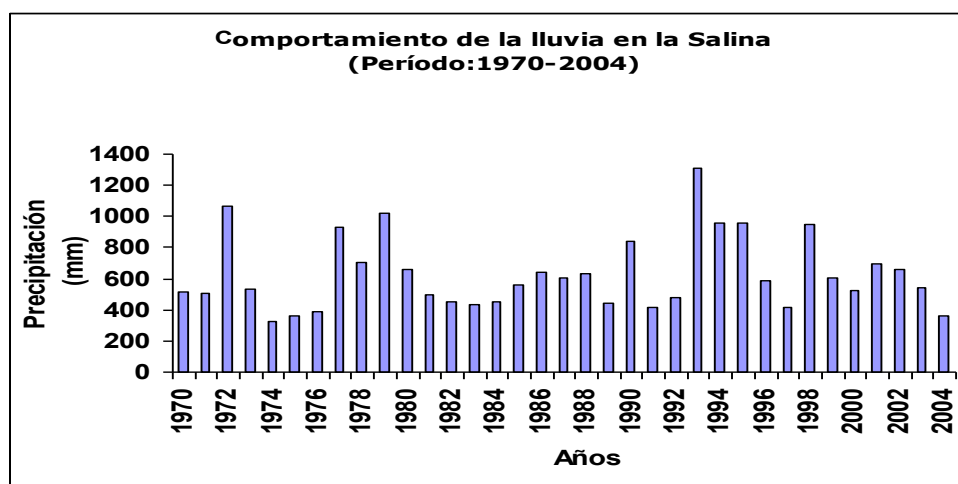


FIGURA 5. Comportamiento sinusoidal de la precipitación anual en la salina “Frank País” (Período: 1970-2004)

Se buscó la correlación entre la extracción anual de sal con esta variable, obteniéndose como resultado las correlaciones presentadas en la tabla 5.

TABLA 5. Valores del coeficiente de correlación (r) y error estándar(S) para la extracción anual vs precipitación anual en la salina “Frank País”. Período: 1970-2004

TIPO DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r)	ERROR ESTÁNDAR (S)
Lineal	0.55	47094
Cuadrática	0.55	47729
Cúbica	0.57	47786

El coeficiente de correlación lineal es idéntico al de la correlación cuadrática, pero la diferencia de sus respectivos errores estándares es significativa, ya que es de 635 unidades. Por otro lado la correlación cúbica posee mayor valor de r , pero también un error estándar mayor aún que las otras dos correlaciones (57 unidades más que en la correlación cuadrática y 692 unidades más que en la lineal). Por tanto, la correlación que se escogió como la más apropiada es la **relación lineal**. De modo que calculando para ésta el coeficiente de determinación, se tiene que:

$$D = r^2 = (0.55)^2 = 0.3025$$

Se concluye que el 30.3 % de la variabilidad de la Extracción Anual (o Producción Bruta) de Sal se explica por la precipitación anual que ocurre en la salina. Esto es, que la precipitación retarda el proceso de producción bruta de sal, influyendo así negativamente en un 30.3 % de su variabilidad. En la figura 6 se muestra el porcentaje en que la evaporación y la precipitación anuales influyen en la variabilidad de la extracción anual de sal, quedando el 36.1 % correspondiente a otros factores o influencias que no se han tenido en cuenta en este estudio.

MODELO DE PRONÓSTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE SAL

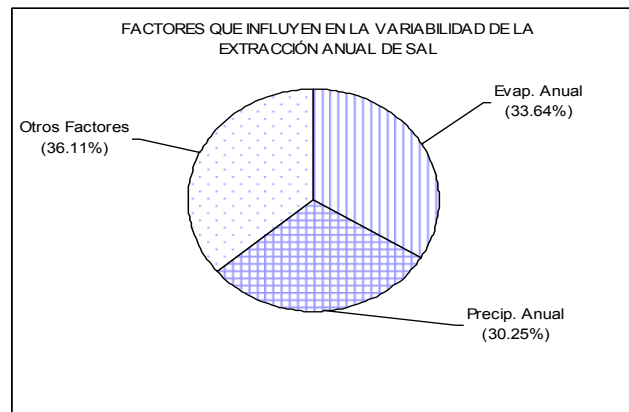


FIGURA 6. Factores que incluyen la extracción anual de sal en la Salina "Frank País. Período: 1970-2004

IV. CONCLUSIONES

El aumento de la evaporación se corresponde al aumento de la temperatura comprendido entre 1970 al 2004 a nivel global, observándose que aunque la precipitación en la salina se ha mantenido en sus niveles históricos el efecto de evaporación ha sido superior a los efectos provocados por las lluvias.

Las variables meteorológicas Evaporación y Precipitación juegan un papel significativo en la evolución de la curva de Producción Bruta de Sal. Se encontraron dos correlaciones significativas, una correlación del tipo cuadrática para la Extracción en función de la Evaporación y lineal para la Extracción en función de la Precipitación. Estos resultados muestran que es posible crear un modelo de pronóstico matemático para la producción de sal en específico y para cualquier otro sistema de producción a cielo abierto, mediante el análisis estadístico. Pero además sugiere un método para valorar la acción del cambio climático en la reacción y stress de los bosques tropicales, en toda su habita.

Este estudio requiere ampliar su alcance espacial y llevarlo a cabo a otros escenarios con características diferentes a la del país donde se realizó, así como también profundizar aún más, en el análisis de la influencia de otros factores climáticos que no se tuvieron en cuenta y que inciden en el proceso de extracción de sal a cielo abierto.

Señalamos que estos resultados no han sido contrastados con datos de laboratorio, lo cual sería beneficioso para ajustar los resultados obtenidos y obtener una aproximación más fina en la evaluación de la influencia de las variables meteorológicas en la producción de sal.

V. REFERENCIAS

- [1] Marco, A.; Celdrán, C.; Azorín M., *Inv. Geo*, 2004, 35, 105-132.
- [2] Handisyde, T.; Ross, M.; E. Allison., *Dep. Int. Dev.* 2005, 151.