

Análisis para Modelo de Pronóstico de Producción de Sal.

Analysis for Model of Prognosis of Production of Salt.

Autor: MSc. Pedro A. Delisle-Ybonet.

Organismo: Universidad Guantánamo. Facultad Agroforestal, Guantánamo, Cuba.

E-mail: cl8pdy@frcuba.co.cu, pdeliste@cuq.co.cu

Resumen.

En el presente trabajo se da a conocer un estudio sobre la asociación existente entre dos variables meteorológicas y la extracción de sal en la Salina "Frank País" del municipio Caimanera, perteneciente a la Empresa Salinera de Guantánamo. La investigación se dirigió al estudio de las fluctuaciones en la Producción Bruta de Sal en función del comportamiento de las variables: Evaporación y Precipitación en la zona donde está ubicada la Salina. Se utilizó una base de datos mensuales y anuales (35 años) de Producción de Sal, Precipitación y Evaporación de la empresa, se procesaron estos datos y se analizó la tendencia de Extracción de Sal durante el período, demostrándose que el análisis estadístico permite establecer un modelo de pronóstico para la producción de sal que facilite la toma de decisiones que optimicen la producción, como evaluación de los efectos del cambio climático.

Palabras clave: extracción de sal; variables meteorológicas; salinas.

Abstract.

In the present work a study is announced about the association between two meteorological variables and the extraction of salt in the Salt works "Frank País" of the municipality of Caimanera, belonging to the Company of Salt of Guantánamo. The investigation went to the study of the fluctuations in the Gross Production of Salt according to the behavior of the variables: Evaporation and Precipitation in the area where the Saline are located. It was used a monthly and annual database (35 years) of Production of Salt, Precipitation and Evaporation of the company. This data were processed and was analyzed the tendency of Extraction of Salt during the period, it being demonstrated that the statistical analysis allows to establish a prognosis model for the production of salt that facilitates the decisions making that optimize the production, like evaluation of the effects of the climate change.

Keywords: extraction of salt; meteorological variables; salines.

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 Torrevieja en España, 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 empresarial y ampliación de los mercados de comercialización, con beneficio económico y social para la población del territorio donde está enclavada dicha salina, Marco, A. ; Celdrán, C. ; Azorín M., (2004).

El cambio climático genera impactos en los sistemas de producción a cielo abierto, en los bosques tropicales y reservas biológicas debido a: cambios en la temperatura del aire y de las aguas continentales, la radicación solar, la temperatura superficial del mar, otras variables oceanográficas (corrientes, velocidad del viento y acción de las olas), el incremento en el nivel del mar y en la frecuencia o intensidad de eventos extremos. Estas fluctuaciones, a su vez, generan cambios fisiológicos (crecimiento, reproducción, enfermedades), ecológicos (ciclos orgánicos e inorgánicos) y operacionales (selección de especies, selección del sitio, tecnología de cultivo y otros, Handisyde, T. ; Ross, M. ; E. Allison, (2005).

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, González Navarro, J. (2013).

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 desde el punto de vista estadístico. Con este trabajo el autor pretende dar a conocer las correlaciones matemáticas que se establecieron durante el estudio realizado, lo cual constituye el fundamento del modelo de pronóstico que pudiera emplearse para la producción de sal. Este modelo debe facilitar la toma de decisiones que optimicen la producción y abordar los posibles efectos del cambio climático en los sistemas a cielo abierto, bosques tropicales y reservas biológicas.

Desarrollo.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la parte sur de la provincia Guantánamo, a los 19° 59'2'' de latitud Norte y 75° 9' 53'' de longitud Oeste, donde se encuentra situada la salina de Caimanera, se escogió esta salina por la gran base de datos de que dispone y por su largo historial de producción, brindando la posibilidad de selección de las variables meteorológicas basado en la experiencia de producción. Las variables escogidas para correlacionar por el método del análisis de regresión fueron: Evaporación (mm), Precipitación (mm) y la Temperatura (°C) controladas en dos estaciones meteorológicas de la Salinera, por un periodo de 35 años, sin embargo en este artículo solo se hará referencia a las dos primeras variables.

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 15.0, Microsoft Excel y CurveSpert 1.3 permitieron analizar las relaciones entre las variables estudiadas. Además, para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el paquete *Statistic* 10.0, con una probabilidad de $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestran los datos de extracción de sal para cada uno de los 35 años comprendidos entre 1970 y el 2004. Se escogió este período por la continuidad de los datos, ya que después del año 2004, existieron interrupciones en la serie de datos por averías ocurridas en algunos instrumentos de medición, lo cual provocó que estos se mantuvieran fuera de servicio ocasionalmente.

Tabla 1. Extracción de sal en la salina “Franck País”. 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		

La figura 1 permite observar el comportamiento de la extracción anual de sal desde 1970 hasta 2004, donde se evidencian las fluctuaciones del proceso de extracción anual, lo cual podría deberse a varios factores, entre los cuales se encuentran las variables meteorológicas que ayudan al proceso como es la evaporación y otras que lo afectan, como es el caso de la precipitación.

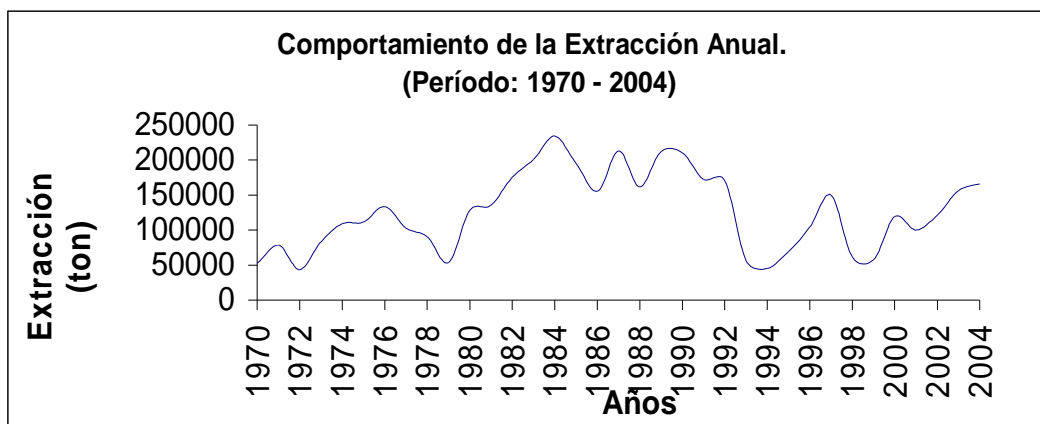


Figura1. Comportamiento de la Producción Bruta Anual (Extracción) de Sal durante el período de 1970 hasta el 2004

Haciendo un análisis de tendencia para esta serie de tiempo escogida (1970-2004), las pruebas arrojaron el siguiente resultado:

Prueba de Wald-Wolfowitz NUEVO.DAT[2]

Wald-Wolfowitz 3.883216

Resultado: Alfa1 = **0.0001** < Alfa0 = 0.0500

Prueba de Spearman NUEVO.DAT[2]

Spearman 0.786247

Resultado: Alfa1 = **0.4317** > Alfa0 = 0.0500

Prueba de Mann-Kendall NUEVO.DAT[2]

Mann-Kendall 1.070774

Resultado: Alfa1 = **0.2843** > Alfa0 = 0.0500 Intersecciones 3

De lo anterior se observa que el estadígrafo de persistencia corta (**0.0001**) de Walt – Wolfowitz, al compararlo con los estadígrafos de tendencia global de Spearman y Mann–Kendall (**0.4317** y **0.2843**, respectivamente) es significativo para 0.05, por lo que puede considerarse que **la serie es homogénea**; es decir, ni crece ni decrece, sino más bien tiene 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 la relación existente entre la **Producción Bruta de Sal** (o Extracción de Sal) y la variable **Evaporación**. Para ello se empleó la misma serie de 35 años, tomando los valores de la evaporación registrados en la Salina durante ese período.

Extracción de sal en función de la evaporación

Para conocer de qué manera pudiera influir en la Extracción Anual de Sal durante ese tiempo el Proceso de Evaporación en la Salina, se determinó en qué por ciento influyó dicha variable meteorológica en la variabilidad de esta actividad. De modo que, al correlacionar los valores de **Extracción Anual de Sal** con los valores de la **Evaporación Anual en la Salina**, fueron obtenidas dos regresiones a considerar, una lineal y otra cuadrática, como se informa en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores del coeficiente de correlación (r) y error estándar (S) para la Extracción Anual vs Evaporación Anual en la Salina “Frank País”. Período: 1970-2004.

Tipos de regresión	r	S
lineal	0.51	51 821
Cuadrática	0.58	47 163

De estas dos correlaciones la **cuadrática** es la más significativa por su coeficiente de correlación (r), así como por el error estándar (S). De modo que se calculó el coeficiente de determinación: $D = r^2 = (0.58)^2 \approx (0.6)^2 = 0.36$. De lo que **se concluye** lo siguiente: **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.**

De modo que la Extracción Anual Total de Sal (**Ex. An_(Total)**) además de depender de otros factores, está en función de la Extracción Anual que se produce sólo por el factor meteorológico **Evaporación**. Esto es: **Ex. An_(Total) = f(Ex. An_(por Evap))**. Por lo que para la Empresa Salinera:

Ex. An_(Total)..... Representa el 100 % de toda la extracción de sal para el año.

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

Entonces se establece 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) es necesario determinar el valor de **Ex. An_(Por Evap)** y para ello se determinó la relación de este proceso de extracción con la Evaporación Anual que se produjo en la **Salina (Ev.An_(Sal))**, lo cual fue posible empleando la ecuación de regresión cuadrática (Ver Fig. 3), esto es:

Y = 2423041 - 2161x + 0.5 x² (3) Que teniendo en cuenta las variables:

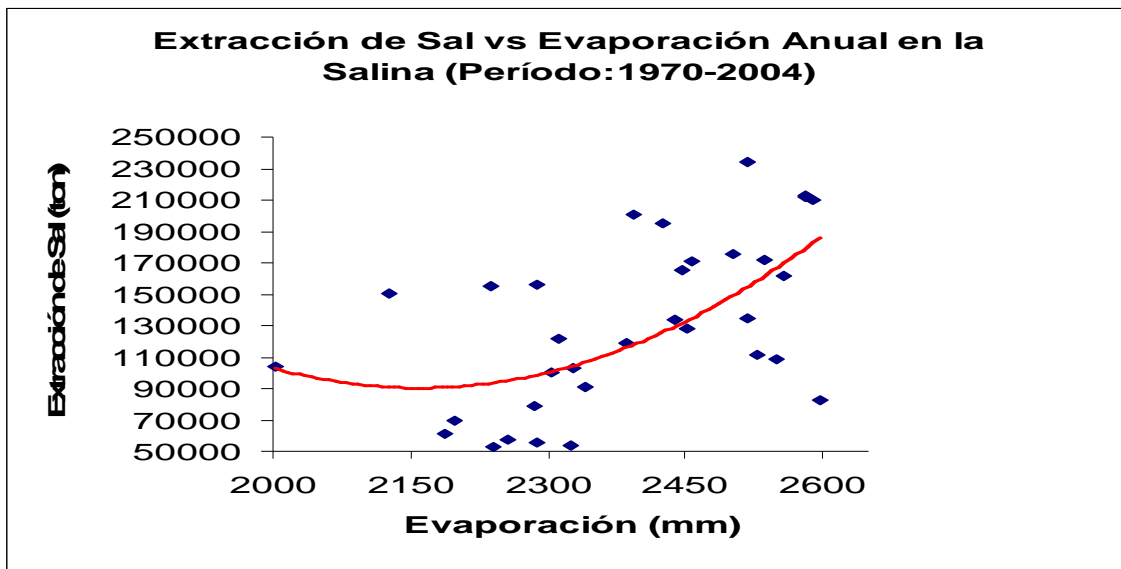
Y = Ex. An_(por Evap) y **X = Ev.An_(Sal)**. Entonces:

(4)

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

La figura 3 muestra la gráfica de la regresión cuadrática, que se escogió por la significación que tiene en la dependencia de **Ex. An_(por Evap)** con **X = Ev.An_(Sal)**. Los valores del coeficiente de correlación (r) y del error estándar (S), que garantizan la significación de la regresión a la que corresponde esta gráfica de la figura 3 se ofrecen en la Tabla 2 y que como ya se explicó, según el valor del coeficiente de determinación: D, se consideró que el

36 % de la variabilidad de la Extracción Anual Total de Sal se debe al Proceso de que ocurre en las lagunas de evaporación de la Salina.



Se enfatiza que la ecuación (2) informa acerca de la extracción de sal que se obtendría solamente por el proceso de evaporación, que sería del 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, tales como la variabilidad diaria del viento y la temperatura, la cual determina la mayor o menor cantidad de humedad en el aire y en 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 este que es determinante en esta ecuación., 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 sal. Al analizar cómo la Precipitación en la Salina pudiera influir en el Proceso de Extracción de Sal, se procesaron los valores anuales de esta variable (Tabla 3).

Tabla 3: Valores de Precipitación Anual en la Salina “Frank País” durante el período 1970-2004.

Años	Precip. (mm)	Extracción	Años	Precip. (mm)	Extracción	Años	Precipen (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

Según la Tabla 3, los valores de precipitación presentan una amplia variabilidad. Al procesar estos datos, esta variabilidad se aprecia mejor en la gráfica que se obtuvo, como se muestra la figura 5.

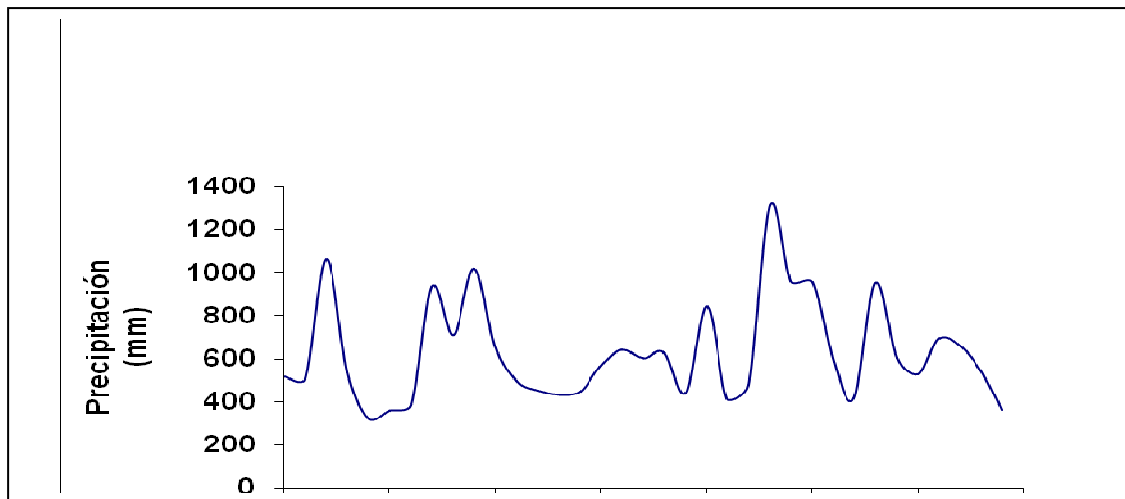


Figura 5: Comportamiento de la Precipitación Anual en la Salina “Frank País” durante el período: 1970-2004.

Se realizó el estudio de la tendencia de serie tiempo para la precipitación y se observó que no se muestra tendencia significativa por lo que puede considerarse que es una serie **homogénea**; o sea ni crece ni decrece, sino que tiene un comportamiento sinusoidal, como muestra la figura 5. En la tabla 5 se muestran los resultados al procesar los datos aportados por la Tabla 3, donde se obtuvieron tres tipos de regresiones: lineal, cuadrática y cúbica.

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 regresión	Coeficiente de correlación (r)	Error estándar (S)
Lineal	0,55	47094
Cuadrática	0,55	47729
Cúbica	0,57	47786

De estos tres tipos de regresión, es más significativo es el del tipo Lineal por poseer un adecuado valor de r, y también pero también poseer un error estándar menor que las otras dos. De modo que calculando el coeficiente de determinación tenemos que: $D = r^2 = (0.55)^2 = 0.3025$. Esto significa que: **El 30.25 % de la variabilidad de la Extracción Anual 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 **30.25 %** 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 36.11 % correspondiente a otros factores o influencias objetivas y subjetivas que no se han tenido en cuenta en este estudio.

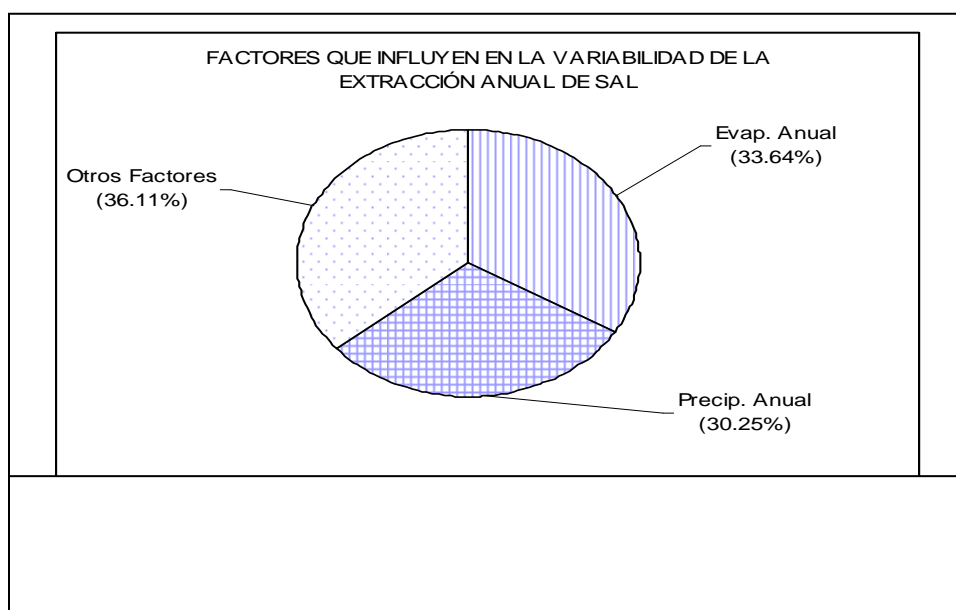


Figura 6: Proporción en que la evaporación y la precipitación anuales, y otros factores no tenidos en cuenta en el estudio influyen en la variabilidad de la extracción anual de sal en la Salina "Frank País. Período: 1970-2004

Una vez realizado el estudio anteriormente expuesto el autor del mismo propone realizar un análisis multivariado, donde se tengan en cuenta la mayor cantidad de los factores objetivos y subjetivos que de alguna manera influyen en el proceso de extracción de sal, ampliando su alcance espacial, llevándolo a cabo a otros escenarios con características diferentes a la del país donde se realizó el estudio presentado, para obtener un modelo de predicción cada vez más exacto, siendo la investigación realizada en la Empresa Salinera de Guantánamo la génesis de esta propuesta, que pudiera ser aplicable para otros tipos de procesos a cielo abierto, que dependan de las variables meteorológicas.

Conclusiones.

Del estudio realizado se pudo comprobar que:

1. 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.
2. Las variables meteorológicas Evaporación y Precipitación juegan un papel significativo en la evolución de la curva de Producción Bruta de Sal (Extracción).
3. 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.

Bibliografía.

- Dixie Edith. (2007). "El maldito oficio de hacer sal". Disponible en www.cubaprofunda.org
- Enciclopedia. (2002). Salvat de la Técnica "Cómo Funciona". México.
- González Jiménez, M. (1996). "La sal: del Gusto Alimentario al Arrendamiento de Salinas". Diputación Provincial de Granada. Centro de Investigaciones Etnológicas Ángel Ganivet, 95-128.
- González Navarro, J. (2013). "Las salinas tradicionales de Gran Canaria". Las Palmas de Gran Canaria, Fedac.
- Handisyde, T., Ross, M.; E. Allison. (2005). *Dep. Int. Dev.*, 151.
- Marco, A.; Celdrán, C.; Azorín M. (2004), *Inv. Geo*, 35, 105-132.
- Marco A. Celdrán Bernabéu, César Azorín Molina. (2004). "La explotación industrial de las salinas de Torre Vieja (Alicante)". Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. *Revista Investigaciones Geográficas*, (35), 105-132.

Fecha de recibido: 12 oct. 2016

Fecha de aprobado: 9 dic. 2016