



**ANEXO: Revisión de informe técnico**  
**“Dinámica de la biota terrestre y acuática en el**  
**Borde Este del Salar de Atacama**  
**Región de Antofagasta” - PDC SQM**

ELABORADO	REVISADO	APROBADO
Nombre: María José Orellana	Nombre: Francisco Mondaca – Coordinador	Nombre: Manuel Salvatierra - Presidente
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 10-09-2021	Fecha: 13-09-2021	Fecha: 15-09-2021



## Contenido

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>4</b>
<b>1. REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS.....</b>	<b>9</b>
<b>Análisis de tendencia en cada periodo.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS.....</b>	<b>13</b>
<b>Análisis de tendencia entre periodos .....</b>	<b>13</b>
<b>2. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>28</b>

Informe elaborado por  
*María José Orellana Montecino*  
*Phd(c) Ciencias Biológicas, mención Ecología PUC*  
*MSc y BSc Ciencias Biológicas PUC*  
*Bióloga Unidad de Medio Ambiente CPA*





## INTRODUCCIÓN

El presente documento busca mostrar los resultados de la revisión y análisis crítico del **“Informe técnico Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta Preparado para SQM Salar S.A. Noviembre, 2020 por GEOBIOTA”** entregado por SQM Salar S.A. en el marco del Plan de Cumplimiento (PDC) ambiental del expediente sancionatorio F-041-2016 de la Superintendencia del Medioambiente (SMA). EL objetivo de este informe es:

*“El objetivo del presente informe es analizar la distribución, dinámica temporal y estado actual de la biota terrestre y acuática del Borde Este del Salar de Atacama, esto es, examinar la vegetación, flora, fauna, biota acuática y calidad del agua, con el propósito de identificar y cuantificar eventuales cambios en los periodos de tiempo analizados, incluyendo el lapso 2013 a 2015 cuestionado por la autoridad.”<sup>1</sup>*

El objetivo del presente documento es destacar y argumentar las principales falencias en la metodología estadística aplicada y las consecuencias en términos de interpretación de éstas.

## METODOLOGÍA

La revisión del informe se llevó a cabo considerando tres aspectos relevantes:

1. Revisión de los procedimientos estadísticos utilizados.
2. Revisión de los resultados obtenidos a partir de la estadística aplicada.
3. Revisión de las conclusiones obtenidas considerando los puntos anteriores.

Al detectar como principal problema la perspectiva del análisis estadístico y la falta de análisis de poder en las pruebas estadísticas realizadas, se procedió a realizar los análisis de poder estadístico toda vez que los datos reportados en el informe GEOBIOTA lo permitieran.

Los análisis de poder estadístico se llevaron a cabo mediante el uso del software G\*Power<sup>2</sup> La metodología utilizada fue la sugerida de referencia<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta. GEOBIOTA (2020). Pág. 7

<sup>2</sup> Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behavior Research Methods, 39, 175-191.

<sup>3</sup> 1. Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences, 343–373.  
<https://doi.org/10.1002/9781119531708.ch1>





## RESULTADOS

### 1. REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS

El procedimiento estadístico realizado se detalla en el apartado “**4.2 Análisis estadísticos**” de la pág. 27 y se divide en dos secciones: “**4.2.1 Análisis de tendencia en cada periodo**” y “**4.2.2 Análisis de tendencia entre periodos**”, este último con tres secciones dedicadas a las comparaciones entre periodos.

Todos los apartados antes mencionados basan la metodología estadística en el sistema de inferencia estadística mediante la puesta a prueba de hipótesis. La estructura de la metodología da cuenta de la elaboración de una hipótesis nula ( $H_0$ ) y una hipótesis alternativa ( $H_A$  o  $H_1$ )<sup>4</sup>. Esto se aplica tanto para las correlaciones de Pearson como para las pruebas de análisis de varianza (ANOVA) presentadas. La hipótesis nula ( $H_0$ ) es correctamente formulada como la ausencia de tendencias (para el caso de las correlaciones de Pearson) y como ausencia de diferencias entre grupos (para el caso de los ANOVAs).

Tabla 1 Hipótesis de trabajo en informe GEOBIOTA. Elaboración propia

	Correlación	ANOVA
$H_0$	“No existe tendencia (pendiente)”	“No existe diferencia entre grupos”
$H_A/H_1$	“Existe tendencia (pendiente)”	“Existe diferencia entre grupos”

Así mismo, se trabaja durante todos los procedimientos con un valor de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ), siendo este un valor arbitrario pero el más escogido por la comunidad científica en la mayoría de las pruebas estadísticas. El valor de significancia refleja la probabilidad aceptada en el estudio de rechazar la hipótesis nula, siendo ésta verdadera. A esto se le denomina también **error tipo I**. Este tipo de error puede ser expresado:

---

2. Faul, F., Buchner, A., Erdfelder, E., & Mayr, S. (2007). A short tutorial of GPower. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 3(2), 51–59.

3. Faul, V. F., Erdfelder, E., & Lang, A. (2017). G\*Power 3.1 manual - 2017. *G\* Power 3.1 Manual*, 0, 1–10.

4. Erdfelder, E., FAul, F., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160.  
<https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>

<sup>4</sup> Zar pag 74.





$$P(\text{datos/dado } H_0 \text{ verdadera})^5 \quad (\text{ec. 1})$$

Y jamás desde el punto de vista:

$$P(H_0 \text{ verdadera/dado datos})^6 \quad (\text{ec. 2})$$

Esto último quiere decir que un valor de p de una prueba jamás se puede asociar a “la probabilidad de que  $H_0$  sea verdadera”.

Además, es necesario comprender que el error estadístico es inherente al proceso de inferencia estadística, y es decisión de quien ejecuta la prueba. Así, el concepto de “reducción de la incerteza científica” o “aumento de la certeza científica” solamente se puede enmarcar dentro de los límites de lo que el investigador señala como error aceptable:

“La prueba de hipótesis es un esfuerzo probabilístico. Ya sea que nos estemos refiriendo a un error de Tipo I, un error de Tipo II o poder, siempre hay alguna probabilidad asociada con cada aspecto de la prueba de hipótesis. Además, no hay forma de probar la hipótesis nula. Si no identificamos un efecto, decimos que hemos “fallado en rechazar” la hipótesis nula. No pretendemos que hayamos demostrado que la hipótesis nula es cierta; ni siquiera podemos decir que tenemos evidencia de que la hipótesis nula es cierta. Todo lo que podemos decir es que la hipótesis nula no fue rechazada.”<sup>7</sup>

El error Tipo I es el error de prueba de hipótesis al que se le da mayor relevancia debido a que en la estructura de las investigaciones científicas, el foco es buscar evidencia para sostener que sí existen efectos. Por lo tanto, el error Tipo I, también llamado *error de falso positivo* es el que se busca minimizar al investigar. Así:

*“En el contexto experimental, se utiliza una prueba de hipótesis para determinar si hay un efecto del tratamiento. El investigador intenta rechazar la hipótesis nula, que siempre afirma que no hay efecto debido al tratamiento. (...). La prueba de hipótesis utilizando*

---

<sup>5</sup> ZAR JH (2010) Biostatistical Analysis. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River. Pág. 77

<sup>6</sup> Ibid.

<sup>7</sup> Traducción de Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373.

<https://doi.org/10.1002/9781119531708.ch11>. Resaltado para la cita. Cita textual (358):

“Hypothesis testing is a probabilistic endeavor. Whether we are referring to a Type I error, a Type II error, or power, there is always some probability associated with every aspect of hypothesis testing. Moreover, there is no way to prove the null hypothesis. If we do not identify an effect, we say that we have “failed to reject” the null hypothesis. We do not claim that we have proved the null hypothesis to be true; we cannot even say that we have evidence that the null hypothesis is true. All we can say is that the null hypothesis was not rejected”.





*herramientas estadísticas inferenciales es un proceso de toma de decisiones; como resultado, siempre existe la posibilidad de cometer un error de decisión.”<sup>8</sup>*

Sin embargo, cuando se busca evaluar los efectos en los ecosistemas, la pregunta central no es “¿cuál es la probabilidad de que yo encuentre efectos que no existen?”, error del falso positivo que se traduce estadísticamente en: “¿cuál es la probabilidad de que yo obtenga datos que reflejen la presencia de efectos cuando la hipótesis nula sea verdadera?” posicionándose estadísticamente desde la vereda de la ausencia de efectos ( $H_0$  verdadera), sino que desde la vereda de la presencia de efectos ( $H_0$  falsa), preguntando así “¿cuál es la probabilidad de que haya efectos y no los esté observando?”, error del falso negativo que se traduce en “¿cuál es la probabilidad de que yo obtenga datos que no reflejen la presencia de efectos cuando la hipótesis nula sea falsa?”. Esta segunda pregunta, sobre la capacidad de encontrar efectos cuando efectivamente existen, se traduce estadísticamente en el denominado error Tipo II, de falso negativo, asociado al valor  $\beta$ . El resumen de la relación entre el error tipo I y el error tipo II se aprecia en la siguiente imagen:

*Errores asociados a la inferencia estadística*

	Acepto $H_0$	Rechazo $H_0$
$H_0$ verdadera	✓	Error tipo I ( $\alpha$ ) (falso positivo)
$H_0$ falsa	Error tipo II ( $\beta$ ) (falso negativo)	✓

*Figura 1 Tipo de errores asociados a la inferencia estadística. Traducción propia de Zar (2010). Pág. 79*

El error Tipo II es frecuentemente poco analizado en ciencias, porque un estudio con resultados negativos generalmente no llega a ser publicado, independiente de si constituye falta de efectos o error del falso negativo<sup>9</sup>. Sin embargo, este error permite calcular el poder estadístico de las pruebas ( $1 - \beta$ ), es decir, “la probabilidad de rechazar

<sup>8</sup> Traducción de Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373.

<https://doi.org/10.1002/9781119531708.ch11>. Resaltado para la cita. Cita textual (343):

“In the experimental context, a hypothesis test is used to determine if there is a treatment effect. The researcher attempts to reject the null hypothesis, which always states that there is no effect due to treatment. (Even though hypothesis testing is not limited to experiments, we will use the language of experimentation as we discuss statistical power.) Hypothesis testing using inferential statistical tools is a decision-making process; as a result, there is always the possibility of making a decision error.”

<sup>9</sup> Faul, F., Buchner, A., Erdfelder, E., & Mayr, S. (2007). A short tutorial of GPower. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 3(2), 51–59.





correctamente la hipótesis nula cuando esta es falsa”<sup>10</sup>. Así, según Zar (2010) se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 2 Resumen de errores y parámetros utilizados en estadística inferencial. Traducción de Zar (2010) <sup>11</sup>.

	Si $H_0$ es verdadera	Si $H_0$ es falsa
Si $H_0$ es rechazada	$\alpha$ (error Tipo I)	$1 - \beta$ (poder) (no hay error)
Si $H_0$ no es rechazada	$1 - \alpha$ (no hay error)	$\beta$ (error Tipo II)

El poder estadístico es un parámetro que varía de acuerdo con cinco factores<sup>12</sup>:

- (1) La magnitud de la diferencia entre las medias de las poblaciones (el tamaño efecto).
- (2) El tamaño de la desviación estándar de la distribución de las poblaciones.
- (3) El tamaño de los datos ( $n$ , número de muestras).
- (4) El valor de  $\alpha$  seleccionado.
- (5) La naturaleza de la prueba inferencial (una cola o dos colas).

Los tres primeros se denominan factores basados en datos, mientras que los dos últimos son los factores basados decisiones del investigador.

El cálculo de poder es una herramienta importante en los casos en que no se observan resultados significativos:

*“Por ejemplo, sin control del poder estadístico es muy difícil interpretar resultados no significativos. Las pruebas estadísticas pueden producir resultados no significativos porque (a) la hipótesis nula ( $H_0$ ) se mantiene y se conserva correctamente o (b) la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) se mantiene, pero la prueba no ha sido lo suficientemente potente como para detectar las desviaciones de  $H_0$ . Obviamente, no hay una forma razonable de decidir entre las interpretaciones (a) y (b) cuando se desconoce el poder de la prueba.”<sup>13</sup>*

<sup>10</sup> ZAR JH (2010) Biostatistical Analysis. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River. Pág. 79.

<sup>11</sup> Ibid.

<sup>12</sup> Traducción de Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373

<sup>13</sup> Traducción de Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373. <https://doi.org/10.1002/9781119531708.ch11>. Resaltado para la cita. Cita textual (343):

“For example, without control of statistical power it is very difficult to interpret nonsignificant results. Statistical tests can produce nonsignificant results because (a) the null hypothesis ( $H_0$ ) holds and is retained correctly or (b) the alternative hypothesis ( $H_1$ ) holds but the test has not been powerful enough to detect







En el caso de la mayoría de los análisis de regresión y ANOVAS expuestos en el informe GEOBIOTA no se observan resultados estadísticamente significativos, y se generan conclusiones sin realizar el respectivo análisis de poder que permita identificar si la ausencia de efectos se debe, efectivamente, a que no hay efectos en la vegetación, o bien, a que las pruebas estadísticas aplicadas no presentan suficiente poder estadístico como para identificar tales efectos.

Así, los procedimientos estadísticos realizados en el informe GEOBIOTA, al no presentar el valor de  $\beta$  en sus análisis, carecen de la capacidad conceptual de responder la pregunta sobre la certeza científica con la que se puede afirmar la ausencia de efectos en el ecosistema. Además, como se verá a lo largo del presente informe, existe evidencia para concluir que la falta de poder estadístico está asociado principalmente al efecto del factor de tamaño de muestra ( $n$ ), que en algunos casos incluso de llega a usar  $n = 2$ .

El presente informe detalla una serie de análisis del poder estadístico en las pruebas estadísticas presentadas por GEOBIOTA siempre que se cuente con los datos necesarios presentados en los informe apéndice 1.6 o en el anexo de éste, con el fin de evaluar y cuestionar las conclusiones obtenidas a partir de la estadística.

El análisis de poder estadístico llevado a cabo post hoc se calcula en función de la significancia ( $\alpha$ ), tamaño muestral ( $n$ ) y el tamaño efecto poblacional ( $q$ )<sup>14</sup>, y sirve como “instrumento para proporcionar una evaluación crítica de la probabilidad de error, asociado con una decisión falsa a favor de  $H_0$ ”<sup>15</sup>.

---

the deviations from  $H_0$ . Obviously, there is no reasonable way to decide between interpretations (a) and (b) when the power of the test is unknown.”

<sup>14</sup> Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

<sup>15</sup> Faul, F., Buchner, A., Erdfelder, E., & Mayr, S. (2007). A short tutorial of GPower. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 3(2), 51–59.







## 1.1 REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS

### Análisis de tendencia en cada periodo

El análisis de tendencia propuesto en la pág. 27, sección 4.2.1, se realizó utilizando un análisis de correlación de Pearson entre las variables que componen este análisis, usando como variable explicativa (eje x) el año. Es decir, “la magnitud de una de las variables (*variable dependiente*) se asume determinada por –es función de –la magnitud de la segunda variable (*variable independiente*)” (Zar, 2010). En este tipo de análisis, se pone a prueba las hipótesis:

$H_0$	“No existe tendencia (pendiente)”
$H_A/H_1$	“Existe tendencia (pendiente)”

Para cada puesta a prueba de hipótesis se calcula un valor de  $p$ , el cual se contrasta contra el valor crítico  $\alpha = p_{crit} = 0.05$ , lo que previamente está definido por los investigadores de GEOBIOTA.

*“Para evaluar la existencia del comportamiento temporal de las variables analizadas y determinar la existencia de aumento o disminución dentro de cada periodo establecido, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la variable y los años que componen cada periodo, considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Adicionalmente se considera una relación de efecto leve o pequeño si el coeficiente de correlación se encuentra entre 0,1 y 0,3; de efecto medio si el coeficiente se encuentra entre 0,3 y 0,5; y de efecto grande o alto si el coeficiente es mayor a 0,5 (Cohen, 1988).”<sup>16</sup>*

En la sección de metodologías, se puede encontrar los dos párrafos de la figura 2. En ellos, se declara el nivel de significancia ( $\alpha$ ) y luego se procede a explicar el caso  $p < 0,05$ , en el cual el valor de  $p$  cruza el umbral crítico significa que la hipótesis nula es aceptada.

La significancia estadística de la correlación entre las variables se determinó por medio del valor- $p$  obtenido para cada modelo de regresión elaborado. Como nivel de significancia se estableció  $\alpha = 0,05$ , dicho de otro modo, se estableció un nivel de confianza de 95% para determinar la existencia de correlaciones estadísticamente significantes.

Para determinar la existencia de correlaciones estadísticamente significantes, se utilizó como criterio de decisión el valor- $p < 0,05$ . Cuando el valor- $p$  resulta mayor a 0,05, se acepta la hipótesis  $H_0$ , por lo cual no existe evidencia estadística que permita sustentar la relación entre las variables analizadas.

Figura 2 Texto de metodología de aplicación estadística en GEOBIOTA.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta. GEOBIOTA (2020). Pág. 27.

<sup>17</sup> Ibid. Pág. 28





Sin embargo, se sabe que este tipo de interpretación del valor de  $p$  no es apropiado: la hipótesis nula ( $H_0$ ) solamente es sujeto de ser rechazada o no rechaza, no se puede expresar como aceptada<sup>1819</sup>, a pesar de que este constituye uno de los errores más comunes en estadística y por lo mismo, se encuentra ampliamente registrado y corregido<sup>20</sup>.

Según los resultados expuestos, los cuales fueron revisados en el Anexo Estadígrafos del análisis de tendencia de la actividad vegetal medida como NDVI y de la relación de la vegetación con el agua (GEOBIOTA 2010), la mayoría de los puntos evaluados no presenta tendencias, como se puede apreciar en la figura 3, mientras que un segundo grupo presenta tendencias a la baja.

Tendencia de la actividad vegetal medida como NDVI 1998-2007									
Unidad	Coordenadas UTM		Tipo vegetal	Superficie (ha)	Pendiente	Intersección	R <sup>2</sup>	Valor p	Tendencia
	Este	Norte							
1	593.844	7.423.250	Matorral de Cachiuyo - Ojalar	68.67	-0.0001	0.1948	0.012	0.763	Sin tendencia
2	586.389	7.373.149	Matorral de Cachiuyo - Ojalar	12.50	-0.0009	1.8398	0.383	0.056	Sin tendencia
3	590.554	7.377.992	Pradera de Junquillo - Totorá - Suncho	4.03	-0.0022	4.6048	0.478	0.027	Baja
4	591.157	7.380.787	Pradera de Grama salada	11.83	-0.0006	1.2974	0.014	0.745	Sin tendencia
5	594.263	7.386.253	Pradera de Grama salada	7.00	0.0002	-0.3027	0.014	0.746	Sin tendencia
6	593.927	7.400.265	Pradera de Grama Salada	2.29	-0.0008	1.6329	0.306	0.097	Sin tendencia
7	593.912	7.400.151	Pradera de Grama Salada	1.46	-0.0009	1.7636	0.315	0.091	Sin tendencia

Figura 3 Tabla de resultados de tendencia de la vegetación. Resultados de correlaciones de Pearson<sup>21</sup>

Un resumen de lo anterior se expone en el informe GEOBIOTA y se puede apreciar en la figura 4. En él, se da cuenta de los estadígrafos obtenidos de la regresión lineal, junto con la interpretación en la columna “Resultado”. El primer análisis de lo que se presenta es que no se muestra un análisis para el periodo 1 (2006 – 2007). Esto se debe a que no es posible realizar este tipo de análisis con solo dos datos, el valor mínimo es 3 ( $n \geq 3$ ). Esto da cuenta de la precariedad de los datos con los que se cuenta, un periodo completo de análisis queda fuera por no contar con el número mínimo de registros que permitan evaluar su tendencia. De igual manera, el periodo 3 (2013 – 2015) cuenta con el número mínimo para realizar un análisis. El resto de los periodos apenas sobrepasa el tamaño muestral mínimo permitido para ejecutar el análisis estadístico.

<sup>18</sup> Sauter, R. M. (2002). Introduction to Statistics and Data Analysis. In Technometrics (Vol. 44, Issue 1). <https://doi.org/10.1198/tech.2002.s664>.

<sup>19</sup> ZAR JH (2010) Biostatistical Analysis. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River, xiii, 944 p.

<sup>20</sup> Heiberger, R. M., Heiberger, R. M., & Burt Holland, B. H. (2015). Statistical Analysis and Data Display An Intermediate Course with Examples in R. Springer.

<sup>21</sup> Anexo Estadígrafos del análisis de tendencia de la actividad vegetal medida como NDVI y de la relación de la vegetación con el agua. Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta. GEOBIOTA (2020). Pág. 6





**Tabla 5-2. Estadígrafos análisis de tendencia de la superficie total cubierta por vegetación**

Variable analizada	Periodo evaluado	Estadígrafos			Resultado
		R <sup>2</sup>	Pendiente	Valor - p	
Superficie total	Periodo 2	0,57	-13,60	0,14	Sin significancia
	Periodo 3	0,53	243,00	0,48	Sin significancia
	Periodo 4	0,76	1094,85	0,13	Sin significancia
	Todos los periodos	0,38	150,80	0,02	Aumento

**Figura 5-1. Evolución de la superficie total en los periodos analizados**

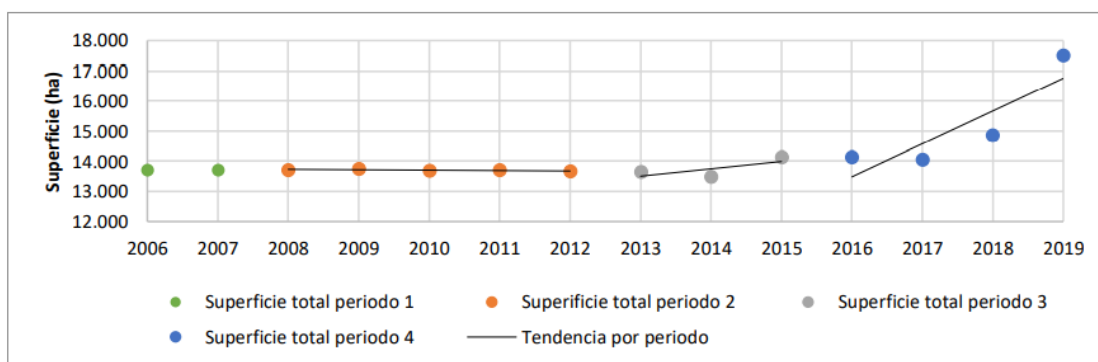


Figura 4 Tabla de resultados de tendencia de la vegetación. Resultados de correlaciones de Pearson <sup>22</sup>.

Como ya se ha mencionado en la sección anterior, el análisis de poder estadístico es necesario para la interpretación de los resultados “sin significancia estadística”. Es necesario evaluar si no se observan efectos porque la prueba no tenía suficiente poder, o porque no existen efectos. Para resolver esta pregunta y así poder dirimir entre otra posible explicación alternativa a la falta de significancia estadística, se intentó llevar a cabo un análisis de poder post hoc para correlaciones y regresiones lineales. Según la metodología antes señalada, el análisis de poder post hoc para una regresión lineal simple requiere de:

- (1) Número de colas del test
- (2) Pendiente
- (3)  $\alpha$
- (4) Desviación estándar (“Std dev  $\sigma_x$ ” y “Std dev  $\sigma_y$ ”)

No se contó con el parámetro de la desviación estándar, la cual tampoco puede ser extraída desde R<sup>2</sup>, el otro valor que se entrega como resultado de las pruebas. Por lo

<sup>22</sup> Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta. GEOBIOTA (2020). Pág. 53





tanto, no se pudo llevar a cabo el análisis de poder, razón por la cual no es posible dar una explicación a la falta de significancia de las pruebas estadísticas ejecutadas en función de la búsqueda de tendencias en los periodos.

Por todo lo antes expuesto queda señalado que uno de los principales factores que influyen en el poder estadístico es el número de muestras ( $n$ ) que se utiliza. A menor número de muestras, es más difícil que se observen diferencias significativas, pues la estimación de todo estadígrafo es siempre en función de  $n$ , por la relación intrínseca que se da entre el tamaño muestral ( $n$ ) y la estimación del error estándar<sup>23</sup>. Por esta razón, es preocupante la segmentación de los periodos en cuatro secciones, algunas de las cuales no cumplen con el número mínimo de muestras para ejecutar una prueba estadística por periodo mientras que el resto cuentan con dudoso poder estadístico para efectivamente detectar efectos cuando estos existan.

La recomendación es a realizar nuevamente las pruebas estadísticas, exponer los resultados y parámetros completos de éstas, realizar los análisis de poder de las pruebas y verificar si el poder estadístico es suficiente para reducir la incerteza científica sobre la afectación de la vegetación en el salar.

---

<sup>23</sup> Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373.





## 1.2 REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS

### Análisis de tendencia entre periodos

El análisis de tendencia propuesto para las comparaciones entre periodos corresponde a un Análisis de Varianza (ANOVA).

En la parte de metodología, se puede apreciar la inferencia estadística propuesta a partir de la serie de posibles resultados de las pruebas estadísticas ejecutadas (ANOVAs). La mayor parte de esta se encuentra citada en la figura 5.

Para todos los test se utilizó un nivel de significancia del 5%, que corresponde a un valor estándar utilizado ampliamente en todo tipo de estudios. El nivel de significancia indica la probabilidad de cometer el error Tipo I, esto es, el error de descartar la hipótesis  $H_0$  cuando ésta es verdadera. Análogamente, un nivel de significancia del 5% equivale a aceptar la hipótesis alternativa con un 95% de confianza.

Por último, se puede diferenciar entre evidencia fuerte o evidencia débil contra la hipótesis  $H_0$  mediante el valor  $p$  de las pruebas ANOVA, el valor  $p$  indica la probabilidad de que la hipótesis  $H_0$  sea verdadera. Es decir, valores  $p$  muy pequeños (menores a 0,01), evidencian fuerte contra la hipótesis  $H_0$  de medias iguales. Por otra parte, valores  $p$  entre 0,01 y 0,05 indican que el resultado de la prueba cambia en función del nivel de significancia escogido. Por último, cuando el valor  $p$  se encuentra cercano a 0,05 indica que el resultado de la prueba se encuentra justo en el límite, por lo que se pueden tener conclusiones discrepantes entre distintas pruebas.

Conforme a lo anterior, específicamente en este estudio, cuando se acepta la hipótesis  $H_0$ , quiere decir que no existe evidencia suficiente para descartar la hipótesis de medias iguales en todos los periodos con un nivel de significancia del 5%. Por otro lado, cuando se rechaza la hipótesis  $H_0$ , quiere decir que se acepta con un 95% de confianza la hipótesis alternativa de que existen al menos un par de periodos cuyas medias son diferentes.

Figura 5 Texto metodología de análisis estadístico. *Geobiota*<sup>24</sup>

Nuevamente se observa que la interpretación del valor de  $p$  no es apropiada: la hipótesis nula ( $H_0$ ) solamente es sujeto de ser rechazada o no rechazada, no se puede expresar como aceptada<sup>25,26</sup>, a pesar de que este constituye uno de los errores más comunes en estadística y por lo mismo, se encuentra ampliamente registrado y corregido. Así mismo, no existe una interpretación de la magnitud del valor de  $p$  que permita decir que haya “evidencia fuerte” de que  $H_0$  sea verdadera. Tal y como se ha mencionado en todas las referencias e incluso en la referencia citada en el mismo informe GEOBIOTA (Zar, 2010), el valor de significancia ( $p$ ):

<sup>24</sup> Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta. GEOBIOTA (2020). Pág. 33-34

<sup>25</sup> Sauter, R. M. (2002). Introduction to Statistics and Data Analysis. *Technometrics* (Vol. 44, Issue 1). <https://doi.org/10.1198/tech.2002.s664>.

<sup>26</sup> ZAR JH (2010) Biostatistical Analysis. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River, xiii, 944 p.







$$P(\text{datos}/\text{dado } H_0 \text{ verdadera})^{27} \quad (\text{ec. 1})$$

Y jamás desde el punto de vista:

$$P(H_0 \text{ verdadera}/\text{dado datos})^{28} \quad (\text{ec. 2})$$

Esto último quiere decir que un valor de p de una prueba jamás se puede asociar a “la probabilidad de que  $H_0$  sea verdadera”.

Con todo lo anteriormente expuesto, se concluye que la expresión “*cuando se acepta la hipótesis 0, quiere decir que no existe evidencia suficiente para descartar la hipótesis de medias iguales en todos los periodos con un nivel de significancia del 5%. Por otro lado, cuando se rechaza la hipótesis cero, quiere decir que se acepta con un 95% de confianza la hipótesis alternativa de que existen al menos un par de períodos cuyas medias son diferentes*” presenta graves errores de interpretación de las pruebas estadísticas aplicadas.

Luego de la revisión metodológica se realizaron análisis de poder estadístico post hoc a las pruebas de análisis de varianza expuestas con el objetivo de evaluar diferencias entre periodos analizados. Estos análisis se llevaron a cabo para los 4 análisis de varianza expuestos:

- (1) Superficie total con vegetación en el Borde Este del Salar
- (2) Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Matorral de Brea
- (3) Superficie total con vegetación de los objetos de protección Vegetación hidromorfa: Pradera de Junquillo – Totora – Suncho
- (4) Actividad vegetal medida como NDVI para toda el área cubierta con vegetación

---

<sup>27</sup> ZAR JH (2010) Biostatistical Analysis. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River. Pág. 77

<sup>28</sup> Ibid.





**Análisis de tendencia entre periodos**  
**(1) Superficie total con vegetación en el Borde Este del Salar**

Estadígrafos reportados

<b>Tabla 5-5. Estadígrafos de la superficie total con vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama</b>					
<b>Estadígrafo</b>	<b>Periodo 1</b>	<b>Periodo 2</b>	<b>Periodo 3</b>	<b>Periodo 4</b>	<b>Total</b>
Años	2006-2007	2008-2012	2013-2015	2016-2019	2006-2019
Tamaño muestral	2	5	3	4	14
Promedio	13.712,0	13.702,6	13.749,3	15.122,6	14.119,7
Desviación Estándar	0,0	28,1	329,7	1.623,7	1.029,1
Error típico	0,0	12,6	190,4	811,9	275,0
Mínimo	13.712	13.670	13.492	14.030,7	13.492
Máximo	13.712	13.745	14.121	17.495,7	17.495,7

Figura 6 Tabla de estadígrafos de la Superficie total con vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama. Fuente: GEOBIOTA

Resultados Análisis de varianza (ANOVA) reportados

<b>Tabla 5-6. Análisis de varianza (ANOVA) de la superficie total con vegetación en El Borde Este del Salar de Atacama</b>								
<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>		<b>Suma de cuadrados</b>		<b>Media cuadrática</b>		<b>Estadígrafo Test</b>	
Periodos	k-1	3	SCR	5.637.389,7	MCR	1.879.129,9	F (calculado)	2,31
							F (crítico)	3,41
Error	n-k	10	SCE	8.129.904,8	MCE	812,99	p	0,1381
Total	n-1	13	SCT	13.767.294,5	-	-	Test	Aprueba
							Resultado	Medias iguales

Figura 7 Tabla resultados ANOVA de la Superficie total con vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama. Fuente: GEOBIOTA.







### Resultados Análisis de poder

El análisis de poder se llevó a cabo con los datos de ANOVA recién mencionados, obteniendo los resultados de la Figura 8. En este caso, el poder estadístico que arroja el cálculo es de 0.33, esto quiere decir que esta prueba estadística tiene un poder de detección de las diferencias entre periodos de un 33%.

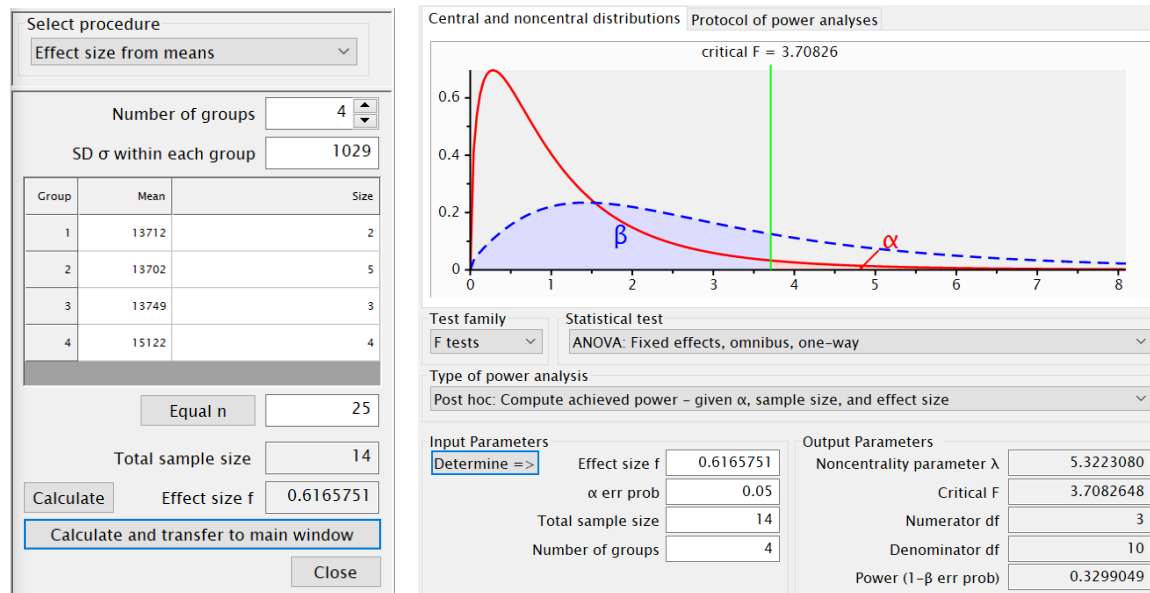


Figura 8 Resultados análisis de poder para ANOVA Superficie total con vegetación en el Borde Este del Salar. Fuente: elaboración propia.

Volviendo sobre la definición de poder estadístico, éste es la probabilidad de rechazar  $H_0$  cuando ésta es falsa. Traducida en términos del estudio, es la probabilidad de identificar diferencias entre los periodos cuando existen diferencias entre periodos, lo cual se cumple en este caso solamente en el 33% de las veces.

Tabla 3 Resumen de errores y parámetros utilizados en estadística inferencial. Traducción de Zar (2010) <sup>29</sup>

	Si $H_0$ es verdadera	Si $H_0$ es falsa
Si $H_0$ es rechazada	$\alpha$ (error Tipo I)	$1 - \beta$ (poder) (no hay error)
Si $H_0$ no es rechazada	$1 - \alpha$ (no hay error)	$\beta$ (error Tipo II)

<sup>29</sup> ZAR JH (2010) Biostatistical Analysis. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River. Pág. 79





Los resultados del análisis de poder se deben utilizar en la interpretación de los resultados de un ANOVA sin significancia estadística<sup>30</sup>, como son los casos de los ANOVA 1, 2 y 3. La interpretación de la prueba estadística por GEOBIOTA es la siguiente:

*“Los resultados muestran que, si bien existen variaciones en el valor promedio de superficie total cubierta con vegetación entre los periodos analizados, el análisis de varianza (ANOVA) muestra que estas diferencias no son significativas, por lo cual, desde el punto de vista estadístico, no existen diferencias en la superficie total con vegetación entre los periodos, con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Lo anterior se verificó por medio del valor  $p$  determinado ( $p = 0,1061 > 0,05$ ) y por el valor del estadístico  $F$  calculado que resulta inferior al valor  $F$  crítico para el nivel de significancia definido (Tabla 5-6). Por lo anterior, los datos analizados no permiten concluir que durante el Periodo 3 (2013-2015) y el posterior a éste (Periodo 4) se haya producido una disminución en la superficie total cubierta con vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama.”<sup>31</sup>*

La cita anterior ejemplifica que el nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  que se traduce en “un nivel de confianza del 95%” solamente nos puede hablar de que “los datos analizados no permiten concluir que (...) se haya producido una disminución en la superficie (...)”. Claramente se menciona que no se permite una conclusión. Como se ha mencionado anteriormente, esto **NO** significa que los “datos analizados permiten concluir que no se haya producido una disminución en la superficie” lo cual sería descartar efectos y es una interpretación errónea de los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas.

Esta última pregunta, sobre descartar efectos solamente se puede abordar a la luz del análisis de poder, el cual permite evidenciar si la falta de identificación de efectos ( $p = 0,1061 > 0,05$ ) se debe a la efectiva ausencia de efectos, o bien a la incapacidad de la prueba de identificar tales efectos (poder estadístico). Esta revisión se repite para los ANOVA 2 y ANOVA 3 y no será repetido en los apartados específicos.

Por lo tanto, no se pueden descartar los efectos solamente exponiendo los resultados de los ANOVA, sin realizar análisis de poder para explicar el motivo estadístico de la ausencia de efectos.

---

<sup>30</sup> Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373.

<sup>31</sup> Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta. GEOBIOTA (2020). Pág. 56





**Análisis de tendencia entre periodos**  
**(2) Superficie total con vegetación de los objetos de protección Matorral de Brea**

Estadígrafos reportados

<b>Tabla 5-7. Estadígrafos de la superficie total del matorral de Brea Borde Este del Salar de Atacama</b>					
<b>Estadígrafo</b>	<b>Periodo 1</b>	<b>Periodo 2</b>	<b>Periodo 3</b>	<b>Periodo 4</b>	<b>Total</b>
Años	2006-2007	2008-2012	2013-2015	2016-2019	2006-2019
Tamaño muestral	2	5	3	4	12
Promedio	8.761,0	8.603,8	7.499,0	7.870,70	8.180,1
Desviación Estándar	613,8	911,7	317,3	122,9	749,1
Error típico	434,0	407,7	183,2	61,5	215,5
Mínimo	8.327,0	7.616,0	7.301,0	7.735,3	7.301,0
Máximo	9.195,0	9.452,0	7.865,0	8.033,5	9.452,0

Figura 9 Tabla de estadígrafos de la Superficie total con vegetación de los objetos de protección Matorral de Brea.  
Fuente: GEOBIOTA.

Resultados Análisis de varianza (ANOVA) reportados

<b>Tabla 5-8. Análisis de varianza (ANOVA) de la superficie total del matorral de Brea en el Borde Este del Salar de Atacama</b>								
<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>		<b>Suma de cuadrados</b>		<b>Media cuadrática</b>		<b>Estadígrafo Test</b>	
Periodos	k-1	3	SCR	3.347.096,9	MCR	1.115.698,98	F (calculado)	2,93
							F (crítico)	3,41
Error	n-k	10	SCE	3.948.000,4	MCE	394.800,04	p	0,0929
Total	n-1	13	SCT	7.295.097,4	-	-	Test	Aprueba
							Resultado	Medias iguales

Figura 10 Tabla resultados ANOVA de la Superficie total con vegetación de los objetos de protección Matorral de Brea.  
Fuente: GEOBIOTA.





### Resultados Análisis de poder

El análisis de poder se llevó a cabo con los datos de ANOVA recién mencionados, obteniendo los resultados de la figura 11. En este caso, el poder estadístico que arroja el cálculo es de 0.37, esto quiere decir que esta prueba estadística tiene un poder de detección de las diferencias entre periodos de un 37%. Así, el poder es la probabilidad de rechazar  $H_0$  cuando ésta es falsa. Traducida en términos del estudio, es la probabilidad de identificar diferencias entre los periodos cuando existen diferencias entre periodos, lo cual se cumple en este caso solamente en el 37% de las veces.

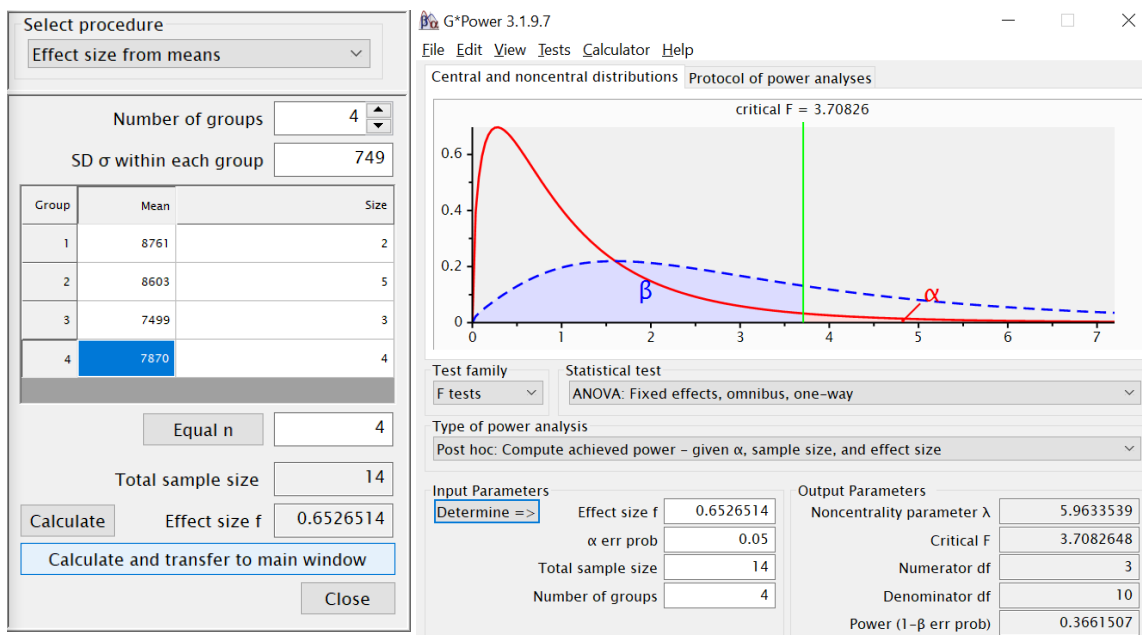


Figura 11 Resultados análisis de poder para ANOVA de la Superficie total con vegetación de los objetos de protección Matorral de Brea. Fuente: elaboración propia.





### Análisis de tendencia entre periodos

#### (3) Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Vegetación hidromorfa: Pradera de Junquillo – Totora – Suncho

##### Estadígrafos reportados

Tabla 5-9. Estadígrafos de la superficie total de la pradera de Junquillo – Totora – Suncho en el Borde Este del Salar de Atacama					
Estadígrafo	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Total
Años	2006-2007	2008-2012	2013-2015	2016-2019	2006-2019
Tamaño muestral	2	5	3	4	14
Promedio	646,0	1.242,4	1.310,3	1.346,7	1.201,6
Desviación Estándar	25,5	502,8	27,0	75,0	369,6
Error típico	18,0	224,8	15,6	37,5	98,8
Mínimo	628,0	422,0	1.290,0	1.288,1	422,0
Máximo	664,0	1.689,0	1.341,0	1.456,5	1.689,0

Figura 12 Tabla de estadígrafos de la Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Vegetación hidromorfa. Fuente: GEOBIOTA.

##### Resultados Análisis de varianza (ANOVA) reportados

Tabla 5-10. Análisis de varianza (ANOVA) de la superficie total de la pradera de Junquillo – totora – Suncho en el Borde Este del Salar de Atacama								
Fuente de variación	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Media cuadrática		Estadígrafo Test	
Periodos	k-1	3	SCR	745.434,3	MCR	248.478,1	F (calculado)	2,41
							F (crítico)	3,41
Error	n-k	10	SCE	1.030.114,3	MCE	103.011,4	p	0,1275
Total	n-1	13	SCT	1.775.548,6	-	-	Test	Aprueba
							Resultado	Medias iguales

Figura 13 Tabla resultados ANOVA de la Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Vegetación hidromorfa. Fuente: GEOBIOTA.





### Resultados Análisis de poder

El análisis de poder se llevó a cabo con los datos de ANOVA recién mencionados, obteniendo los resultados de la figura 14. En este caso, el poder estadístico que arroja el cálculo es de 0.34, esto quiere decir que esta prueba estadística tiene un poder de detección de las diferencias entre periodos de un 34%. Así, el poder es la probabilidad de rechazar  $H_0$  cuando ésta es falsa. Traducida en términos del estudio, es la probabilidad de identificar diferencias entre los periodos cuando existen diferencias entre periodos, lo cual se cumple en este caso solamente en el 34% de los casos.

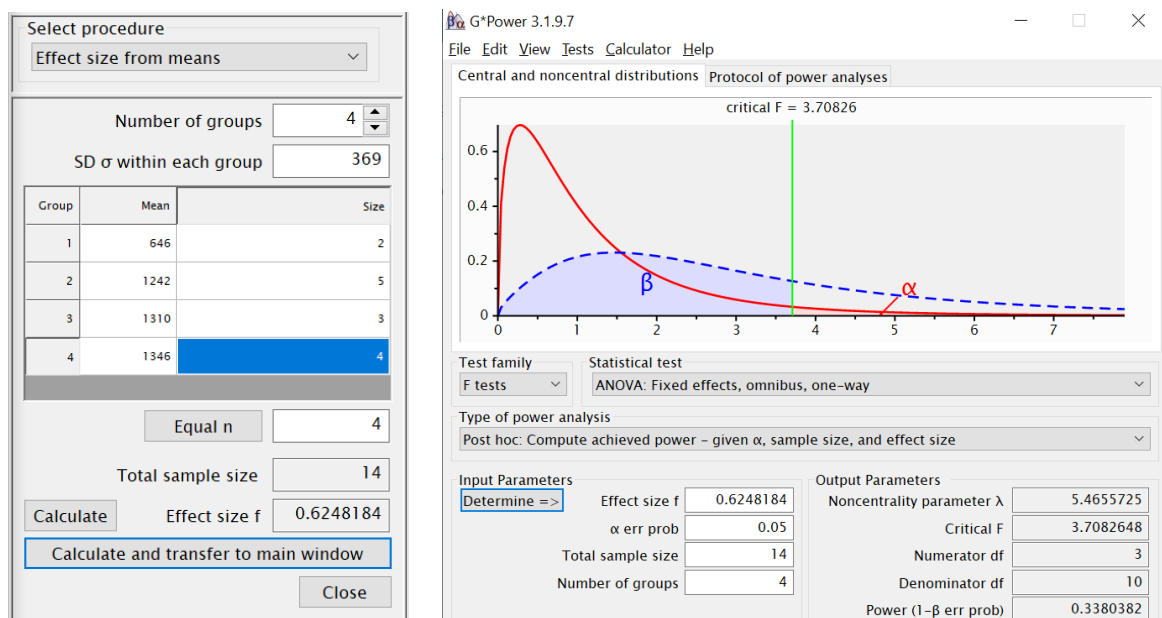


Figura 14 Resultados análisis de poder para ANOVA Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Vegetación hidromorfa. Fuente: elaboración propia.





### Análisis de tendencia entre periodos

#### (4) Actividad vegetal medida como NDVI para toda el área cubierta con vegetación

##### Estadígrafos reportados

Tabla 5-16. Estadígrafos de la actividad de la vegetación (NDVI) en los periodos evaluados					
Estadígrafo	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Total
Años	1998-2007	2008-2012	2013-2015	2016-2019	1998-2019
Tamaño muestral (n)	8.300	4.150	2.490	3.320	18.260
Promedio	0,065	0,068	0,0630	0,069	0,07
Desviación Estándar	0,039	0,043	0,035	0,040	0,04
Mínimo	-0,010	-0,013	-0,006	-0,015	-0,01
Máximo	0,371	0,452	0,300	0,398	0,45

Figura 15 Tabla de estadígrafos de la Actividad vegetal medida como NDVI para toda el área cubierta con vegetación.  
Fuente: GEOBIOTA.

##### Resultados Análisis de varianza (ANOVA) reportados

Tabla 5-17. Análisis de varianza (ANOVA) de la cobertura de la vegetación (NDVI) en todo el periodo evaluado								
Fuente de variación	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Media cuadrática		Estadígrafo Test	
Periodos	k-1	3	SCR	0,06	MCR	0,0288	F (calculado)	12,49
							F (crítico)	2,61
Error	n-k	18.256	SCE	28,51	MCE	0,0016	p	0,000 (<0,05)
Total	n-1	18.259	SCT	28,57			Test	Rechaza
							Resultado	Medias diferentes

Figura 16 Tabla resultados ANOVA de la Actividad vegetal medida como NDVI para toda el área cubierta con vegetación.  
Fuente: GEOBIOTA.







### Resultados Análisis de poder

El análisis de poder se llevó a cabo con los datos de ANOVA recién mencionados, obteniendo los resultados de la figura 17. En este caso, el poder estadístico que arroja el cálculo es de 0.99, esto quiere decir que esta prueba estadística tiene un poder de detección de las diferencias entre periodos de un 99.99%. Así, el poder es la probabilidad de rechazar  $H_0$  cuando ésta es falsa. Traducida en términos del estudio, es la probabilidad de identificar diferencias entre los periodos cuando existen diferencias entre periodos, lo cual se cumple en este caso solamente en el 99% de los casos.

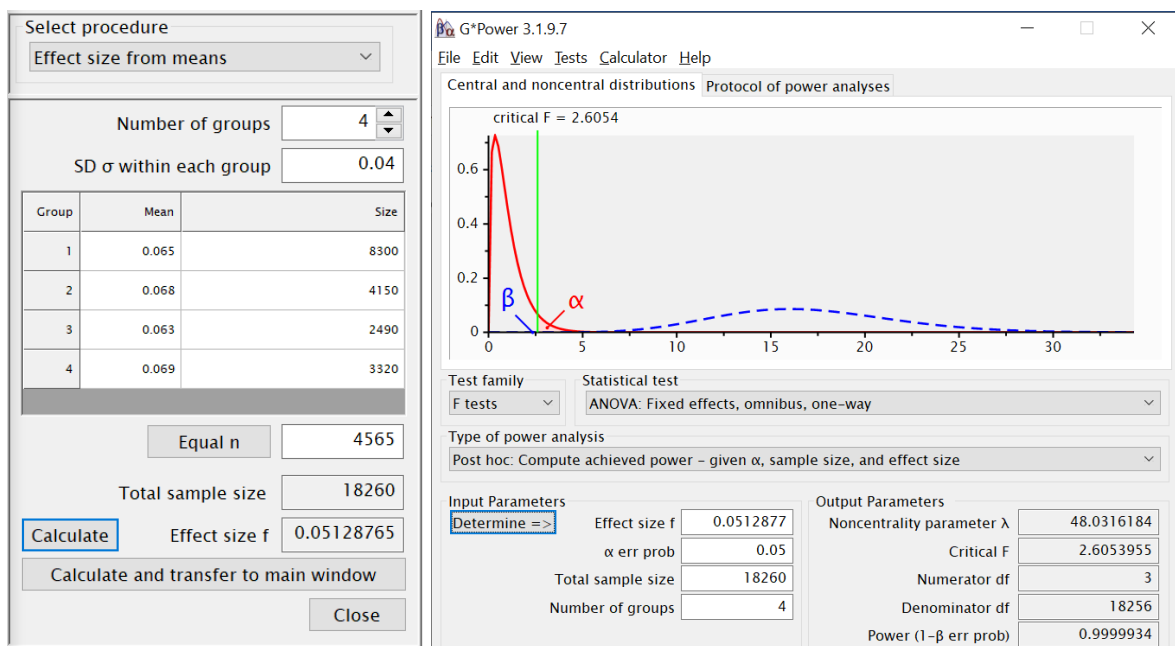


Figura 17 Resultados análisis de poder para ANOVA de la Actividad vegetal medida como NDVI para toda el área cubierta con vegetación. Fuente: elaboración propia.





## 2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según lo presentado en la sección de RESULTADOS, y considerando las pruebas estadísticas a las que se les pudo realizar un análisis de poder estadístico post hoc, se presentan los siguientes resultados resumen, a modo de poder evidenciar los errores estadísticos asociados a cada una de las pruebas, con el fin de evidenciar la efectiva certeza científica presente en ellos.

Se debe recordar que para el caso de los análisis de varianza:

$H_0$	"No existe diferencia entre grupos"
$H_A/H_1$	"Existe diferencia entre grupos"

### 3.1 Superficie total con Vegetación en el Borde Este del Salar

Análisis de poder	Si $H_0$ es verdadera		Si $H_0$ es falsa	
	$\alpha$ (error Tipo I)	5%	$1 - \beta$ (poder) (no hay error)	32,30%
Si $H_0$ es rechazada				
Si $H_0$ no es rechazada	$1 - \alpha$ (no hay error)	95%	$\beta$ (error Tipo II)	67,70%

En el caso de la *Superficie total con Vegetación en el Borde Este del Salar*, el valor de  $p = 0,1318$  no permite rechazar la  $H_0$ , por lo que se aprecia que, si  $H_0$  es efectivamente verdadera, esta prueba cuenta con un 95% de confianza. Sin embargo, si la  $H_0$  es falsa, entonces la prueba solamente cuenta con un poder del 32,3%, de lo que se desprende que la prueba falla en detectar las diferencias entre periodos en un 67.7% de los casos.





### 3.2 Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Matorral de Brea

Análisis de poder	Si $H_0$ es verdadera		Si $H_0$ es falsa	
Si $H_0$ es rechazada	$\alpha$ (error Tipo I)	5%	$1 - \beta$ (poder) (no hay error)	36,61%
Si $H_0$ no es rechazada	$1 - \alpha$ (no hay error)	95%	$\beta$ (error Tipo II)	63,39%

Continuando con la *Superficie total con Vegetación de los objetos de protección: Matorral de Brea*, el valor de  $p = 0,0929$  no permite rechazar la  $H_0$ , por lo que se aprecia que, si  $H_0$  es efectivamente verdadera, esta prueba cuenta con un 95% de confianza. Sin embargo, si la  $H_0$  es falsa, entonces la prueba solamente cuenta con un poder del 36,61%, de lo que se desprende que la prueba falla en detectar las diferencias entre periodos en un 63.39% de los casos.

### 3.3 Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Vegetación hidromorfa

Análisis de poder	Si $H_0$ es verdadera		Si $H_0$ es falsa	
Si $H_0$ es rechazada	$\alpha$ (error Tipo I)	5%	$1 - \beta$ (poder) (no hay error)	33,80%
Si $H_0$ no es rechazada	$1 - \alpha$ (no hay error)	95%	$\beta$ (error Tipo II)	66,20%

Para el caso de la *Superficie total con Vegetación de los objetos de protección: Vegetación hidromorfa*, el valor de  $p = 0,1275$  no permite rechazar la  $H_0$ , por lo que se aprecia que, si  $H_0$  es efectivamente verdadera, esta prueba cuenta con un 95% de confianza. Sin embargo, si la  $H_0$  es falsa, entonces la prueba solamente cuenta con un poder del 33,8%, de lo que se desprende que la prueba falla en detectar las diferencias entre periodos en un 66,2% de los casos.





### 3.4 Actividad vegetal medida como NDVI para toda el área cubierta con vegetación.

Análisis de poder	Si $H_0$ es verdadera		Si $H_0$ es falsa	
	$\alpha$ (error Tipo I)	5%	$1 - \beta$ (poder) (no hay error)	99,99%
Si $H_0$ es rechazada				
Si $H_0$ no es rechazada	$1 - \alpha$ (no hay error)	95%	$\beta$ (error Tipo II)	0,01%

Por último, para la *Actividad vegetal medida como NDVI para toda el área cubierta con vegetación*, el valor de  $p = 0,000$  permite rechazar la  $H_0$ , por lo que se aprecia que, si  $H_0$  es efectivamente verdadera, esta prueba cuenta con un 5% de error tipo I. Sin embargo, si la  $H_0$  es falsa, entonces la prueba cuenta con un poder del 99,99%, de lo que se desprende que la prueba acierta en detectar las diferencias entre periodos en un 99,99% de los casos.





### 3.5 Factores que afectan el poder estadístico

Como se ha mencionado, uno de los principales factores que afectan el poder estadístico es el tamaño de la muestra ( $n$ )<sup>32</sup>. Podemos apreciar que las pruebas de ANOVA con bajo poder también contaban con un  $n$  total de 14 muestras, mientras que la prueba con suficiente poder (ANOVA 4) presentaba un número total de muestras de 18260. Todas las pruebas están distribuidas de manera no uniforme entre los tratamientos (periodos).

Tabla 4 Resumen de parámetros y estadígrafos utilizados en los análisis de varianza

Prueba	Poder ( $1 - \beta$ )	$n$	Distribución muestras	$\sigma$ <sup>33</sup>
ANOVA 1	0,323	14	No uniforme (2/5/3/4)	7.3%
ANOVA 2	0,3661	14	No uniforme (2/5/3/4)	9.2%
ANOVA 3	0,338	14	No uniforme (2/5/3/4)	30.7%
ANOVA 4	0,9999	18260	No uniforme	57.1%

Debido a que las principales diferencias entre las pruebas son el tamaño de muestra ( $n$ ) y la desviación estándar, se ha de recordar que el primer factor presenta una relación positiva con el poder estadístico: a mayor tamaño muestral, mayor poder, mientras que la desviación estándar presenta una relación negativa: mientras más desviación, menor poder estadístico, siendo el inverso también cierto<sup>34</sup>.

Considerando lo anterior, se puede deducir que el aumento del número de muestras permitió que la prueba de ANOVA 4 aumentara su poder estadístico de manera considerable, a pesar del aumento en la desviación estándar, en comparación con las otras pruebas.

<sup>32</sup> Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373. Pág. 347.

<sup>33</sup> Desviación estándar medida como el porcentaje de variación sobre el valor promedio.

<sup>34</sup> Ibid 30





## DISCUSIÓN

De los resultados antes expuestos, se pueden generar las siguientes preguntas:

- (1) ¿Qué se puede inferir de los análisis de poder?
- (2) ¿Qué conclusiones se pueden sumar a los análisis de las pruebas expuestas en el informe GEOBIOTA?
- (3) ¿Cuál es la certeza científica de las pruebas estadísticas revisadas bajo el análisis de poder?
- (4) ¿Cómo debe ser considerada la certeza científica en el marco de la protección del ecosistema?

Para responder estas preguntas, se puede ver que en la literatura encontramos que el consenso sobre el poder estadístico que deben poseer las pruebas es de cerca del 80%:

*“¿Cuánto poder estadístico es suficiente? No hay una respuesta fija o fácil a esta pregunta, pero a la mayoría de los investigadores les gustaría que el poder estuviera en el rango de .70-.90 con .80 como el valor de probabilidad convencional. Cuando una prueba estadística tiene una probabilidad de .80 de rechazar correctamente la hipótesis nula, hay una probabilidad de .20 de cometer un error de Tipo II. Podemos notar que una probabilidad de .20 es cuatro veces mayor que la probabilidad convencional de .05 de cometer un error de Tipo I. Los investigadores generalmente se sienten cómodos con ese tipo de compensación. Refleja un enfoque conservador para la prueba de hipótesis; concluir que hay un efecto cuando no hay efecto se considera un error más grave que no identificar un efecto cuando, de hecho, lo hay. Sin embargo, cada prueba separada de una hipótesis requiere que un investigador considere cuáles son las probabilidades aceptables para diferentes tipos de errores. La naturaleza de las consecuencias de cada tipo de error guiará el proceso de toma de decisiones.”<sup>35</sup>*

---

<sup>35</sup> Traducción de Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373.

<https://doi.org/10.1002/9781119531708.ch11>. Resaltado para la cita. Cita textual (352):

“(…) how much power is enough? There is no set or easy answer to this question, but most researchers would like power to be in the range of .70–.90 with .80 as the conventional probability value. When a statistical test has a .80 probability of correctly rejecting the null hypothesis, there is a .20 probability of making a Type II error. We may note that a probability of .20 is four times greater than the conventional .05 probability of making a Type I error. Researchers are usually comfortable with that kind of trade-off. It reflects a conservative approach to hypothesis testing; concluding that there is an effect when there is no effect is considered a more serious mistake than failing to identity an effect when, in fact, there is one. However, each separate test of a hypothesis requires an investigator to consider what the acceptable probabilities are for different types of errors. The nature of the consequences for each type of error will guide the decision-making process.”





Sin embargo, el criterio dependerá de la naturaleza de las consecuencias de la aplicación del criterio. Como se ve en el texto, en la investigación científica el foco está puesto en reducir el error tipo I, puesto que se considera más grave reportar efectos que no están presentes, esto se debe a la estructura de funcionamiento del método científico en la creación de conocimiento empírico<sup>36</sup>. Como se ha mencionado si se asigna el foco en el error tipo I o en el error tipo II se responden dos preguntas distintas:

Error tipo I ( $\alpha = 0,05$ ): ¿Cuál es la probabilidad de obtener estos datos si la hipótesis nula (no hay diferencias) es verdadera?

Error tipo II ( $\beta = 0,20$ ): ¿Cuál es la probabilidad de obtener estos datos si la hipótesis nula (no hay diferencia) es falsa?

Ahora, ¿cuál de estas preguntas o escenarios es desde el que se debe realizar la pregunta sobre la certeza científica? Se sabe que la certeza en el caso de que no existan efectos ( $H_0$  verdadera) es del 95%, de acuerdo con el criterio de significancia ( $\alpha$ ) fijado por los investigadores previo a las pruebas.

Por otro lado, en el caso de preguntarnos sobre la certeza científica en el caso de que sí existan efectos ( $H_0$  falsa) es menor al 37% en todos los casos en que las diferencias fueron descartadas (pruebas ANOVA 1, 2 y 3), y solo es de alto valor, sobre el umbral, en el caso en que las diferencias fueron identificadas (prueba ANOVA 4). Para resumir cada caso se elaboraron las siguientes tablas:

<b>ANOVA 1</b>	Superficie total con Vegetación en el Borde Este del Salar
<b>Significancia (<math>\alpha</math>)</b>	0,05
<b>N</b>	14
<b>Resultado</b>	No se rechaza $H_0$ ( $H_0$ : no hay diferencias entre periodos)
<b>Interpretación resultado</b>	No existen diferencias entre los 4 periodos analizados
<b>Poder (<math>1 - \beta</math>)</b>	0,323
<b>Interpretación</b>	La prueba nos dice que no hay diferencias entre los periodos, pero con una capacidad de detectar diferencias de solo el 32.3%
<b>Conclusión</b>	Este resultado presenta poca confiabilidad por la baja capacidad de detectar diferencias, es muy probable que estas no aparezcan.

<sup>36</sup> Popper, Karl, (1963) Conjectures and Refutations: *The Growth of Scientific Knowledge*, ISBN 0-415-04318-2







<b>ANOVA 2</b>	Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Matorral de Brea
<b>Significancia (<math>\alpha</math>)</b>	0,05
<b>N</b>	14
<b>Resultado</b>	No se rechaza $H_0$ ( $H_0$ : no hay diferencias entre periodos)
<b>Interpretación resultado</b>	No existen diferencias entre los 4 periodos analizados
<b>Poder (<math>1 - \beta</math>)</b>	0,3661
<b>Interpretación</b>	La prueba nos dice que no hay diferencias entre los periodos, pero con una capacidad de detectar diferencias de solo el 36.61%
<b>Conclusión</b>	Este resultado presenta poca confiabilidad por la baja capacidad de detectar diferencias, es muy probable que estas no aparezcan.

<b>ANOVA 3</b>	Superficie total con vegetación de los objetos de protección: Vegetación hidromorfa
<b>Significancia (<math>\alpha</math>)</b>	0,05
<b>N</b>	14
<b>Resultado</b>	No se rechaza $H_0$ ( $H_0$ : no hay diferencias entre periodos)
<b>Interpretación resultado</b>	No existen diferencias entre los 4 periodos analizados
<b>Poder (<math>1 - \beta</math>)</b>	0,338
<b>Interpretación</b>	La prueba nos dice que no hay diferencias entre los periodos, pero con una capacidad de detectar diferencias de solo el 33.8%
<b>Conclusión</b>	Este resultado presenta poca confiabilidad por la baja capacidad de detectar diferencias, es muy probable que estas no aparezcan.

<b>ANOVA 4</b>	Actividad vegetal medida como NDVI para toda el área cubierta con vegetación
<b>Significancia (<math>\alpha</math>)</b>	0,05
<b>N</b>	18260
<b>Resultado</b>	Se rechaza $H_0$ ( $H_0$ : no hay diferencias entre periodos)
<b>Interpretación resultado</b>	Sí existen diferencias entre los 4 periodos analizados
<b>Poder (<math>1 - \beta</math>)</b>	0.9999
<b>Interpretación</b>	La prueba nos dice que sí hay diferencias entre los periodos, con una capacidad de detectar diferencias del 99.99%
<b>Conclusión</b>	Este resultado presenta alta confiabilidad por la alta capacidad de detectar diferencias, es esperable que, de haber diferencias, estas sí se vean detectadas por la prueba realizada.





De lo expuesto en las tablas, se aprecia que las tres pruebas que descartan diferencias lo hacen con bajo poder estadístico ( $<37\%$ ), mientras que la prueba que exhibe diferencias entre los periodos es la única que cuenta con suficiente poder estadístico ( $99.99\% > 80\%$ ). Se debe recordar que la literatura llama a utilizar el poder estadístico como una importante consideración cuando los resultados son no significativos, puesto que este tipo de resultados se puede obtener o bien por la efectiva ausencia de diferencias, o por la incapacidad de la prueba de detectar estas diferencias<sup>37</sup>.

Adicionalmente, se debe recordar que el resto de las pruebas estadísticas reportadas (regresiones lineales y pruebas a posteriori) no reportan los estadígrafos necesarios para la ejecución de los análisis de poder, por lo que no se puede obtener conclusiones sobre el efectivo aporte de estas pruebas a la reducción de la incerteza científica en este caso, aun cuando estas pruebas muestren “ausencia de tendencias” esta ausencia puede ser producto de la baja capacidad de la prueba de detectar efectos producto del poder estadístico.

Por último, la principal vía de aumento del poder estadístico que queda a manos de los investigadores es el aumento del tamaño de muestra ( $n$ )<sup>38</sup>. Esta conclusión se debe aplicar en el futuro en los análisis mediante pruebas estadísticas aplicadas a la disminución de la incerteza científica, puesto que en el informe revisado GEOBIOTA se trabaja con tamaños muestrales tan bajos que el umbral no permite el uso de pruebas ( $n = 2$ ), y se cortan los datos en distintos periodos reduciendo el  $n$  por grupo. Una correcta reducción de la incerteza científica se debe direccionar hacia el aumento de la densidad temporal de los registros, para todos los periodos analizados, en todo tipo de preguntas que se desee responder mediante el uso de pruebas estadísticas inferenciales.

---

<sup>37</sup> Nesselroade, K. P., & Grimm, L. G. (2018). Power Analysis and Hypothesis Testing. *Statistical Applications for the Behavioral and Social Sciences*, 343–373.

<sup>38</sup> Ibid.





## CONCLUSIONES

### Sobre las pruebas de ANOVA expuestas en el informe GEOBIOTA

De lo expuesto, en los tres casos en que no se alcanza la significancia estadística es porque no hay suficiente poder en la prueba. En estos tres casos NO se puede concluir que la ausencia de significancia estadística se deba a ausencia de efectos. A partir de esto, es posible concluir que:

1. Solamente la cuarta prueba de ANOVA es la que es capaz de aportar a la reducción de incerteza científica sobre los cambios en la vegetación.
2. Las tres pruebas de ANOVA que descartan cambios lo hacen con bajo poder, es decir, con poca capacidad de detección de diferencias, por lo tanto, no aportan a la reducción de incerteza científica.
3. La conclusión global de estos 4 análisis de varianza es que la única prueba con suficiente poder identificó diferencias es la que debe ser considerada como concluyente, el resto no aporta para las conclusiones y no deben ser interpretados a la luz de su bajo poder estadístico.

### Sobre el resto de las pruebas estadísticas del informe GEOBIOTA:

1. No es posible realizar análisis de poder estadístico para evaluar el efectivo aumento de la certeza científica que estas pruebas proponen para GEOBIOTA.
2. El bajo tamaño muestral (n) de estas pruebas hace presumir que no contarán con el suficiente poder estadístico.
3. El quiebre de la línea temporal en 4 periodos distintos genera que el tamaño muestral se reduzca, disminuyendo el poder estadístico de las pruebas.

### Conclusiones globales:

1. La mayoría de las pruebas estadísticas y resultados expuestos en GEOBIOTA no pueden ser analizados en función del poder estadístico.
2. De las pruebas analizadas (4), solamente una tiene suficiente poder estadístico, y el resultado de ésta es que sí existen diferencias significativas entre periodos analizados.
3. Tanto las pruebas a las que no se les puede realizar análisis de poder como a las que sí pero su poder estadístico es bajo (<37% en todos los casos) NO pueden ser consideradas dentro de los análisis que reducen la incerteza científica.

