

Efecto de Madden Julian en la previsión del consumo de combustible a 3 meses

Autores:

Matilde Ungerovich

Nicolás Romero

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.

Trabajo final curso SimSEE edición 2024

Montevideo - Uruguay.

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados. Ni la Facultad de Ingeniería, ni el Instituto de Ingeniería Eléctrica, ni el o los docentes, ni los estudiantes asumen ningún tipo de responsabilidad sobre las consecuencias directas o indirectas asociadas al uso del material del curso y/o a los datos, hipótesis y conclusiones del presente trabajo.

1. Objetivo.

Sobre la Sala ADME_MP (mediano plazo, 3 meses con paso diario) calcular:

1. Realizar análisis de la precisión del método por variación de semillas de simulación y estimar la cantidad de crónicas necesarias para obtener una precisión en la determinación del valor esperado, de 3% del rango con confianza 90% sobre la variable que consideren más relevante.
2. Distribución (curva de permanencia) del consumo de gasoil acumulado para los próximos 3 meses. Realizar el cálculo en la situación actual y para un pronóstico del iN34 medio, Niña y Niño.
3. Construir un nuevo CEGH de caudales agregando la información de la Oscilación Madden Julian (MJO) y repetir los cálculos.
4. Analizar para el escenario iN34 Niña, la variación del valor esperado y la varianza del consumo de combustible acumulado crónica a crónica durante los siguientes 90 días según el estado inicial de la MJO.

2. Hipótesis de trabajo.

ENSO es una oscilación climática con escala de varios meses que se caracteriza por anomalías de temperatura en el Océano Pacífico Ecuatorial. Cuando las anomalías son positivas se dice que la oscilación se encuentra en fase Niño mientras que cuando las anomalías son negativas la fase es Niña. Los efectos de ENSO sobre Uruguay son mayores durante primavera y verano, favoreciendo precipitaciones por encima de lo normal durante fase Niño y por debajo de lo normal durante fase Niña. Uno de los índices más conocidos para su medición es iN34. Dado que ENSO es el predictor por excelencia en escala estacional la primera hipótesis consiste en considerar que diferentes escenarios de la oscilación modifican el despacho óptimo de cargas.

Por otro lado, la Oscilación Madden Julian es una oscilación climática intraestacional, con una escala de 30-60 días. Esta oscilación consiste en una celda de circulación de aire con una rama ascendente. La celda se traslada alrededor de los Océanos Índico y Pacífico ecuatoriales y tiene efectos en diferentes partes del planeta. Para caracterizar la oscilación se utilizan principalmente los índices RMM1 y RMM2 que consideran la radiación de onda larga y los vientos zonales en 200 y 850 hPa. A partir de sus valores se define una fase y una intensidad de la oscilación. Si bien los mayores efectos de la oscilación se generan en verano, considerando todo el año se puede decir que en el sudeste de Sudamérica las fases 1, 3 y 4 favorecen las precipitaciones mientras que las fases 6, 7 y 8 las desfavorecen. La segunda hipótesis considera que conocer el comportamiento de la oscilación Madden-Julian puede agregar información al despacho óptimo de cargas.

3. Metodología.

En primer lugar se hace un análisis de precisión para tener una idea de la cantidad de crónicas necesarias para obtener resultados robustos. Una vez que se conoce el número mínimo de crónicas se procede a preparar las simulaciones.

Las simulaciones se realizan a partir de la sala ADME MP durante el trimestre mayo-julio 2024 con paso diario.

Se simplifica la sala de la siguiente manera:

- Se sustituyen los parques eólicos por un único parque modelando toda la generación eólica.
- Se eliminan los actores internacionales (Brasil y Argentina). Eliminar actores implica la necesidad de construir un nuevo CEGH. Además, se considera el estado hidrológico de Uruguay considerando Bonete y Palmar como una única variable de estado y se reduce la cantidad de estados de ENSO, de RMM1 y de RMM2 y del estado hidrológico a 3 posibilidades (Niño, neutro, Niña; sin escurrir, escurrimiento medio, escurrimiento positivo, RMMs altos, medios y bajos).

En la segunda parte del ejercicio las variables del CEGH son caudales e IN34. En este caso, considerando las características de los caudales y de ENSO, se utiliza overlapping de 20 y traslaping de 5. La figura 1 muestra un gráfico de caja de los valores de IN34 para cada mes del año. Considerando la figura, en este informe se caracterizan los estados Niño, Neutro y Niña con los valores 1, 0 y -1, respectivamente.

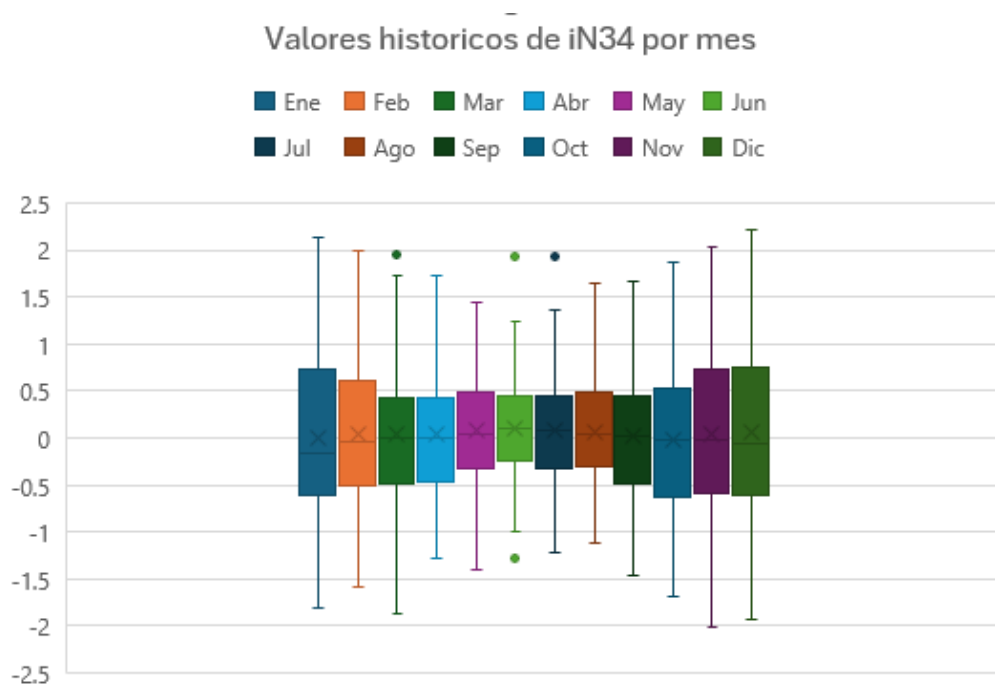


Figura 1. Valores históricos de iN34 para cada mes

Por otro lado, en los CEGHs que incluyen también las variables RMM1 y RMM2 de MJO, considerando que esta oscilación es de menor escala, los valores utilizados son 15 y 1 respectivamente.

Luego, se modifica la guía del cono de pronóstico de acuerdo al estado de ENSO a simular. Inicialmente se utilizaron los valores reales de caudal en las cuencas. Se realizan simulaciones con 5 semillas diferentes (10031, 20031, 30031, 40031 y 50031) y modificando la cantidad de crónicas (600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000). Sin embargo los resultados no permitían evaluar las hipótesis debido a que al inicio de la corrida las represas estaban a tope de agua. Luego se repitieron los cálculos únicamente para 3000 crónicas en cada semilla y para 3 estados ENSO. Se decide inicializar los embalses en su valor medio y permitir que el cono varíe libremente. Para eso se utilizan los valores que se muestran en la figura 2. En las figuras 3 y 4 se muestra, para el caso ENSO neutro, la evolución de cada embalse e IN34.

Bonete	1000;1000	1	0	1	1	1	1
Palmar	250;250	1	0	1	1	1	1
Salto50	4000;4000	1	0	1	1	1	1

Suministrador de pronósticos

Figura 2- Valores elegidos para generar conos de pronóstico en en los embalses de la fuente CEGH

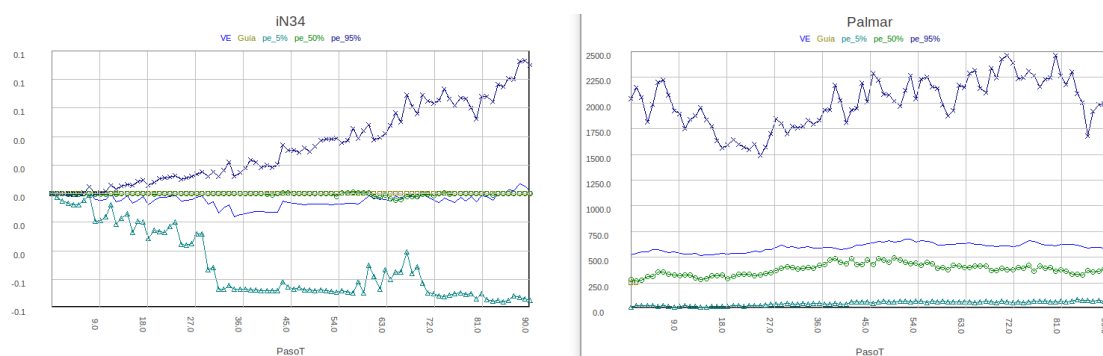


Figura 3- pronósticos de IN34 y de Palmar

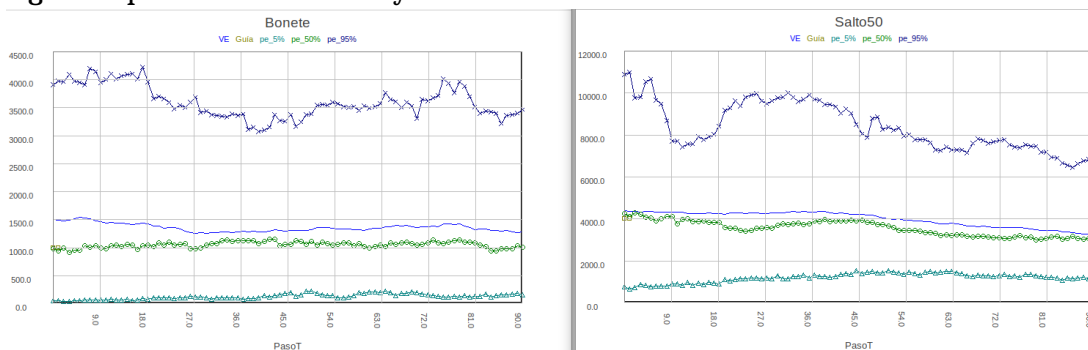


Figura 4- pronósticos de Bonete y Salto Grande

Al considerar MJO aumenta la cantidad de variables. Los nuevos conos se muestran en la figura 4 (el de IN34 es el mismo en ambos casos). En el caso con MJO es importante considerar que el pronóstico se encuentra disponible únicamente durante 45 días.

Borne	Valores iniciales y guía del pronóstico.	NPCC	NPLC	NPSA	NPAC	NRet.	ai[p.u.]
iN34	-1.000; -1.000; -1.000; -1.000; -1.000; -1.000; -1.000; -	90	0	30	180	1	0
RMM1	0.025; 0.374; 1.091; 1.567; 1.781; 1.812; 1.869; 1.872	45	0	15	90	1	0
RMM2	-1.736; -1.682; -1.605; -1.671; -1.697; -1.660; -1.455; -	45	0	15	90	1	0

Figura 5. Valores elegidos para generar conos de pronóstico en de las variables climáticas de la fuente CEGH

La figura 6 muestra los conos de pronóstico de las 4 fases de IN34 utilizados. Se destaca que el pronóstico disponible para la fecha de la sala indicaba valores de ENSO casi neutros por lo cual se espera que los resultados de este estado sean similares a los del estado neutro.

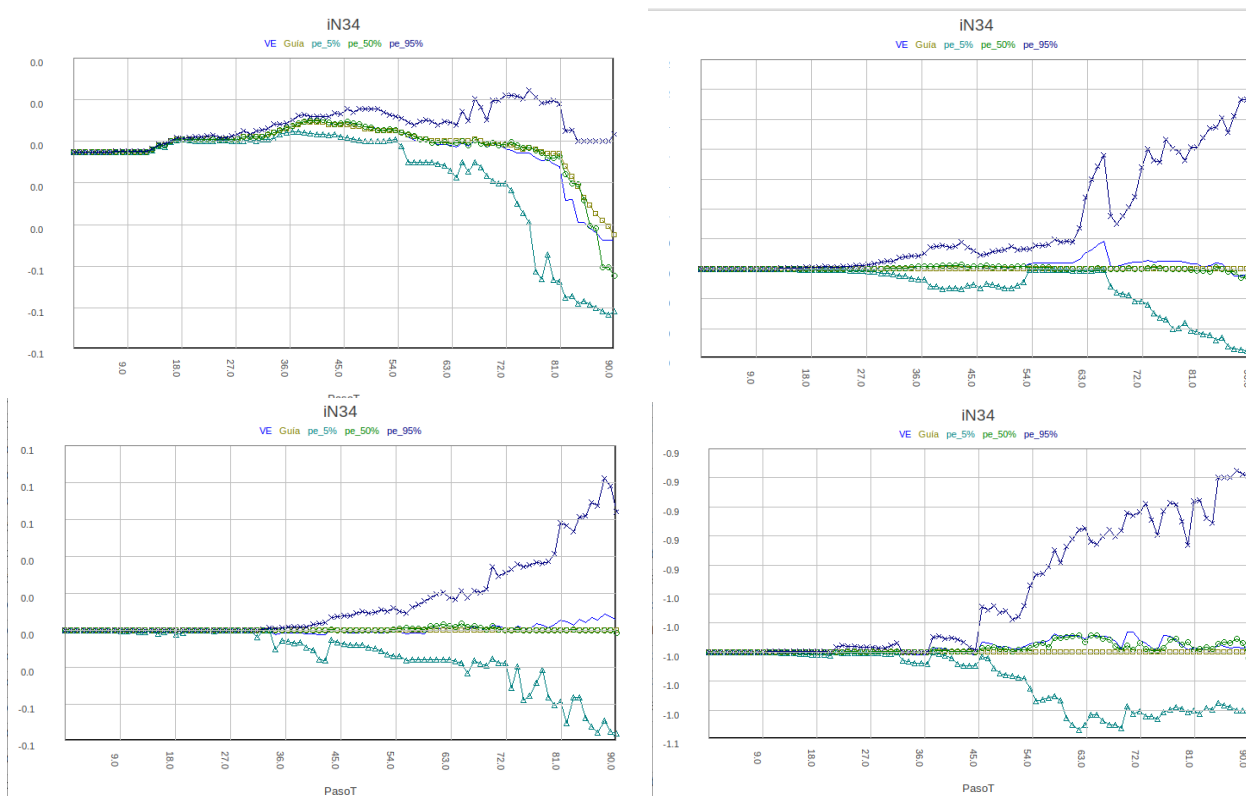


Figura 6. Pronóstico de IN34 disponible al momento de correr la sala de manera operativa (superior izquierda), Niño (superior derecha), Neutro (inferior izquierda) y Niña (inferior derecha).

A partir del punto 3, y teniendo en cuenta los resultados del punto 1 (que se verifican en el primer punto de la primera versión del informe y se muestran en el anexo 1) se trabaja con 2500 crónicas únicamente.

En la tercera parte se eligen RMM1 y RMM2 para que MJO tenga una intensidad de 2 y quede justo en el medio de la fase deseada durante 9 días. Se elige esta duración como una exageración considerando que el promedio de duración de una fase es de 5 días. En particular, los valores de RMM1 y RMM2 en cada fase son los siguientes:

FASE	RMM 1	RMM2
5	1.85	0.77
6	0.77	1.85
7	-0.77	1.85
8	-1.85	0.77
1	-1.85	-0.77
2	-0.77	-1.85
3	0.77	-1.85
4	1.85	-0.77

Tabla 1 - valores de RMM1 y RMM2 en cada fase de MJO

Por otro lado para cada fase se modifica el CEGH con las siguientes características:

Borne	Valores iniciales y guía del pronóstico.	NPCC	NPLC	NPSA	NPAC	NRet.	ai[p.u.]
iN34	0; -1.000; -1.000; -1.000; -1.000; -1.000; -1.000; -1.000	90	0	30	180	1	0
RMM1	1.85;1.85;1.85;1.85;1.85;1.85;1.85;1.85;1.85	9	0	5	20	1	0
RMM2	0.77;0.77;0.77;0.77;0.77;0.77;0.77;0.77;0.77;	9	0	5	20	1	0
Bonete	4275.339; 3657.873; 3089.267; 2589.116; 2161.803;	15	15	3	30	1	0

Figura 5. Valores elegidos para generar cono de pronóstico en el caso MJO fase 5 en cada borne de la fuente CEGH

En resumen, se genera un CEGH para la situación de variables independientes hidrológicas + IN34 y otro para la situación de variables independientes hidrológicas + IN34+MJO. Además, se optimiza individualmente para cada estado de ENSO y para cada estado de MJO.

3. Resultados del estudio.

3.1. Estimación de la cantidad de crónicas.

Para obtener una precisión en la determinación del valor esperado, de 3% del rango con confianza 90% sobre el consumo de Gasoil, debe acotarse la desviación estándar δp del promedio de este consumo de Gasoil que es nuestra variable de interés. Dado que por la ley de los grandes números este promedio sigue aproximadamente una distribución gaussiana a medida que se aumenta el número de crónicas N , el valor del error cuya probabilidad de excedencia es de 5% (5% de cada lado de la gaussiana deja un intervalo de confianza de 90%) corresponde a $1,645 \delta p$.

Por lo tanto dado un error queremos que este sea menor a un ε porcentaje del rango de la variable, es decir:

$$1.645 \delta p < \varepsilon$$

Por la ley de grandes números $\delta p^2 = \frac{1}{N} \delta u^2$ siendo u la variable de interés.

de manera trivial el valor de δu^2 está acotado a su vez por $p(1-p)$ siendo p el promedio de los valores de u .

Finalmente si consideramos la variable u normalizada en su rango, puede obtenerse un máximo para $p(1-p)$ en 0.5 y por lo tanto una cota inferior para el número de crónicas N a utilizar para un error del 3% con una confianza del 90%

$$N > 0.5 \left(\frac{1.645}{0.03} \right)^2 = 1504$$

3.2. El efecto de ENSO.

El análisis inicial (con embalses llenos) muestra que la curva de permanencia del consumo de gasoil y las variables estadísticas que definen sus distribuciones no dependen del estado de ENSO (ver anexo 1). Por otro lado, se verifica que a partir de 2500 crónicas los valores se estabilizan y todas las semillas dan resultados parecidos.

Las figuras 6 y 7 muestran la curva de permanencia del consumo de gasoil (en m3) para los 90 días posteriores a mayo 2024 considerando el promedio de 3000 crónicas con los caudales medios de los embalses. Se destaca que para valores pequeños los escenarios ENSO no generan diferencias, mientras que para los valores más altos la fase Niña (Niño) se asocia a valores más altos (bajos) y el escenario neutro es intermedio. Esto tiene sentido ya que la fase Niño se asocia con mayores precipitaciones en el sudeste de sudamérica lo cual implica mayor energía hidráulica y por ende menor consumo de gasoil (cuando no se consideran importaciones ni exportaciones).

Por otro lado, la figura 7 muestra los valores de percentiles (en m3) 10, 90, 50 y

desviación estándar que se obtienen para cada uno de los escenarios ENSO, para cada semilla con 3000 crónicas. Por ejemplo, el casillero superior de la izquierda del primer panel de la figura 7 indica que para el escenario Niña, simulando con la semilla 50031 y con 3000 crónicas el valor del percentil 90 de las 3000 crónicas es 1300 m³ aproximadamente. El percentil 90 tiene mucha diferencia entre las fases ENSO, indicando que cuando las precipitaciones son muy bajas (consumo de gasoil alto) es cuando la fase ENSO tiene el rol más importante. Por otro lado, se destaca que el percentil 90 es más alto en fase Niña mientras que el percentil 10 es más alto durante Niños, esto sugiere que durante los extremos altos de precipitación (P10 de gasoil) en fase Niña se consume menos gasoil que durante El Niño indicando que los extremos húmedos de La Niña son menos húmedos que los de El Niño. En el percentil 90 se sugiere que el extremo seco de Niña es más seco que el de Niño. La mediana durante fase Niño es mayor que durante fase Niña representando que la mediana de Niño es un poco más seca que la de Niña. Por otro lado, la desviación estándar de Niña es mayor que la de neutro y Niño por lo cual las mayores incertidumbres se encuentran en eventos Niña.

Curva de permanencia de consumo de gasoil, sin MJO

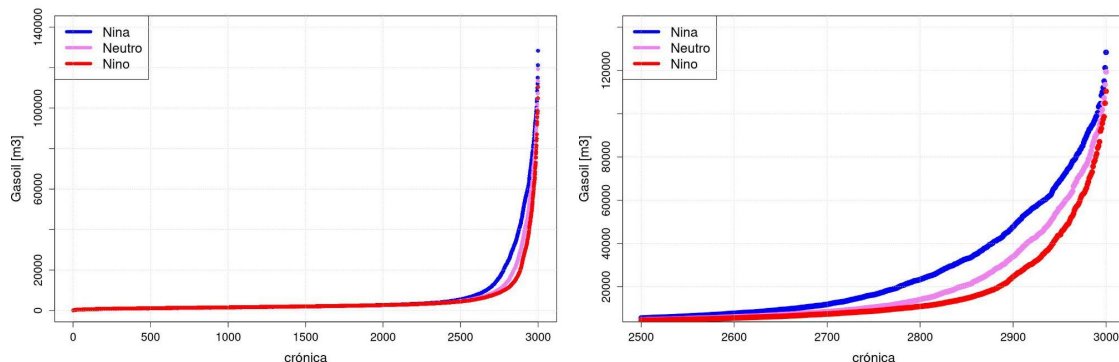


Figura 6- curva de permanencia (izquierda) y los 500 mayores valores (derecha) para cada fase ENSO.

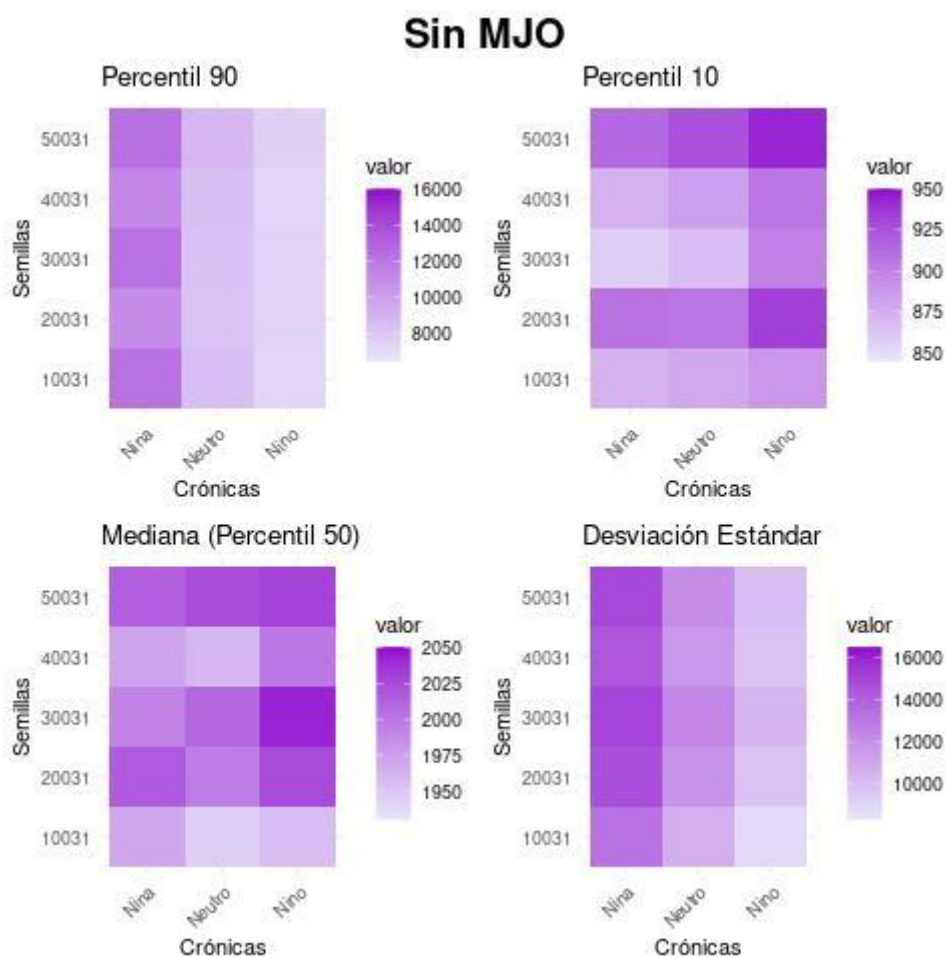


Figura 7- gráficos de calor de percentiles 90, 10 y 50 y desviación estándar para 3000 crónicas en función de cada semilla y fase ENSO

3.3. Efecto combinado de El Niño y MJO.

La figura 8 es similar a la 6 indicando que agregar MJO no genera modificaciones a la estructura de la curva de permanencia por escenario ENSO. Sin embargo, los valores extremos son mayores cuando se considera MJO y el punto de inflexión de fase Niña también. En particular, la crónica 2900 corresponde a los valores 47747, 31315 y 20843 para el caso con MJO en fases Niña, Neutro y Niño respectivamente mientras que sin considerar MJO los valores son 47720, 33830 y 24548. Esto sugiere que considerar MJO favorece la ocurrencia de Niñas más secas y Niños y Neutros más húmedos.

La figura 9 muestra que la diferencia en el valor de percentil 90 entre las fases positiva y negativa de ENSO considerando MJO son mayores que sin considerarla. Además, la desviación estándar en fase Niño es menor.

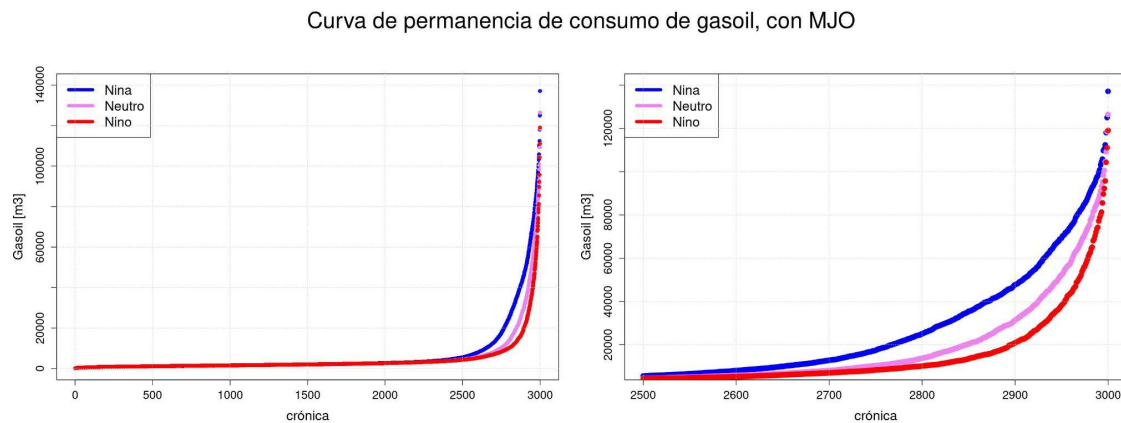


Figura 8- curva de permanencia (izquierda) y los 500 mayores valores (derecha) para cada fase ENSO cuando se considera MJO.

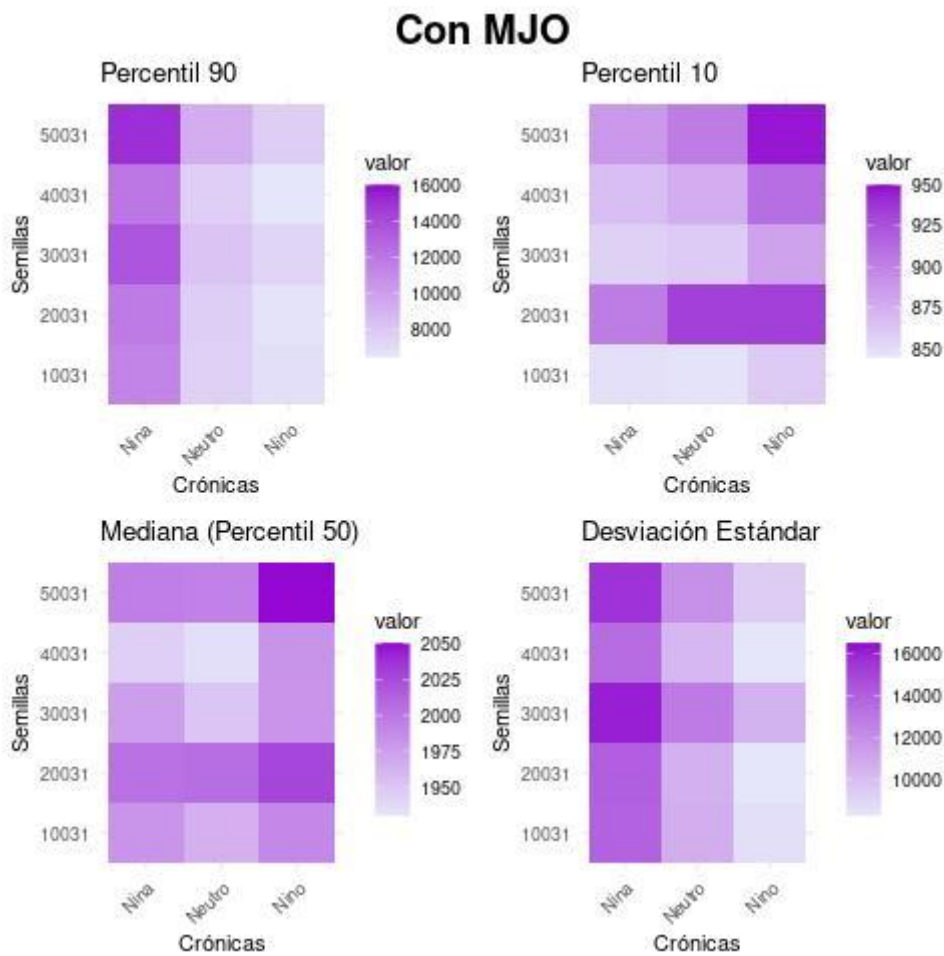


Figura 9- gráficos de calor de percentiles 90, 10 y 50 y desviación estándar para 3000 crónicas en función de cada semilla y fase ENSO considerando MJO

3.4. Efecto de distintos escenarios de MJO.

La figura 9 muestra las curvas de permanencia para las fases 3 y 6 de MJO en fase Niña. Se eligieron estas fases ya que son las que tienen mayor efecto a nivel anual en nuestra región. Sin embargo, la imagen muestra que no hay diferencias en las curvas de permanencia. La figura 11, análoga a la 9 muestra que el percentil 90 es levemente superior en fase 6.

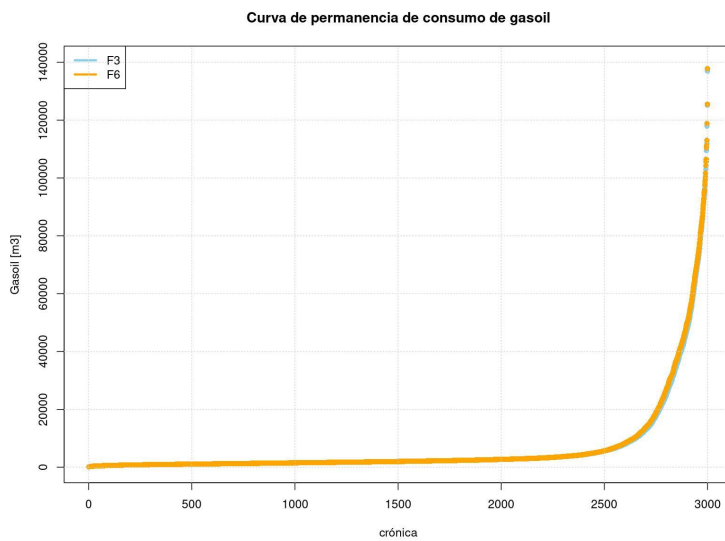


Figura 10- curva de permanencia para fase Niña con MJO en fases 3 y 6

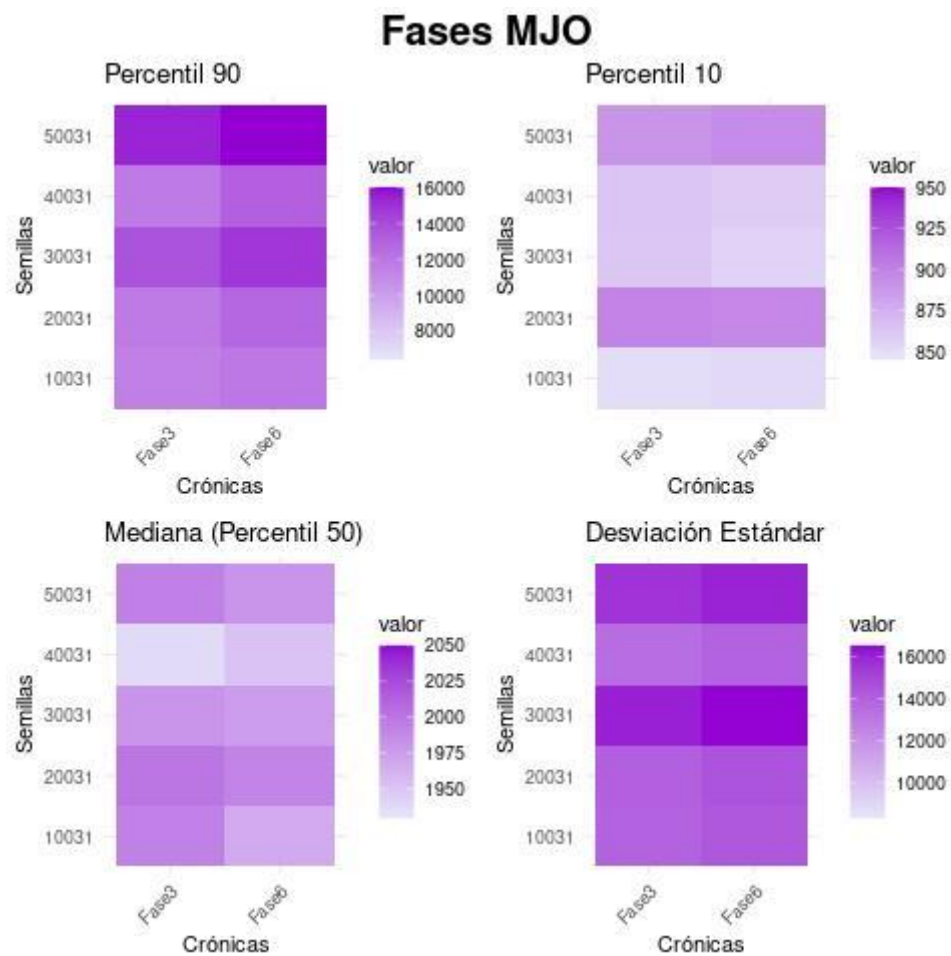


Figura 11- gráficos de calor de percentiles 90, 10 y 50 y desviación estándar para 3000 crónicas en función de cada semilla para las distintas fases de MJO

4. Conclusiones

Se concluye que cuando los embalses están muy saturados ENSO y MJO no aportan valor a las simulaciones. Sin embargo, cuando los embalses se encuentran en su punto intermedio ENSO tiene efectos en los extremos altos de consumo de gasoil, es decir en los extremos bajos de precipitación. Esto sugiere que en cualquier fase de ENSO pueden suceder extremos húmedos pero los extremos secos son más frecuentes en eventos Niña que Niño. Además, durante eventos Niña existe mayor incertidumbre en el pronóstico de consumo de gasoil.

Considerar MJO no genera diferencias en la estructura de las curvas pero sí en los valores. Por ejemplo, aumenta las diferencias entre las fases Niño y Niña. Finalmente, se concluye que inicializar MJO en fase 3 o 6 tiene muy poco efecto sobre los resultados. En este punto es importante considerar que, si bien esas son las fases con mayores efectos a nivel anual, el trimestre estudiado no se caracteriza por efectos de MJO (Alvarez, et. al 2016).

5. Referencias

Alvarez, M. S., Vera, C., Kiladis, G. N., & Liebmann, B. (2016). Influence of the Madden Julian Oscillation on precipitation and surface air temperature in South America. *Climate Dynamics*, 46, 245-262.

5. Anexo 1

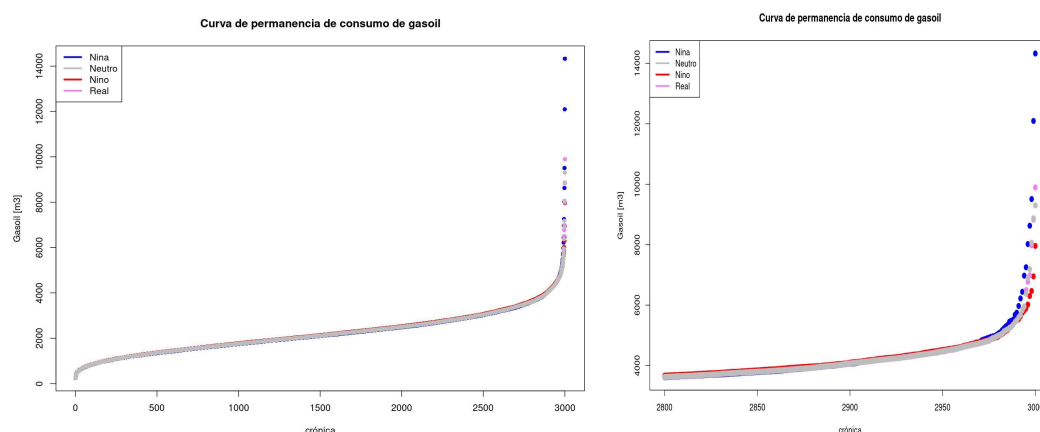


Figura 12. Curva de permanencia del consumo de gasoil para diferentes estados de ENSO considerando embalses llenos.

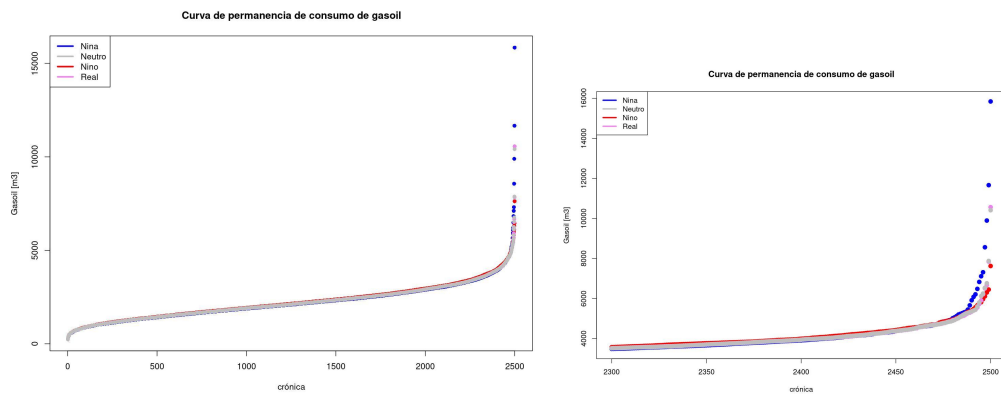


Figura 13. Curva de permanencia del consumo de gasoil para diferentes estados de ENSO considerando embalses llenos, considerando MJO.

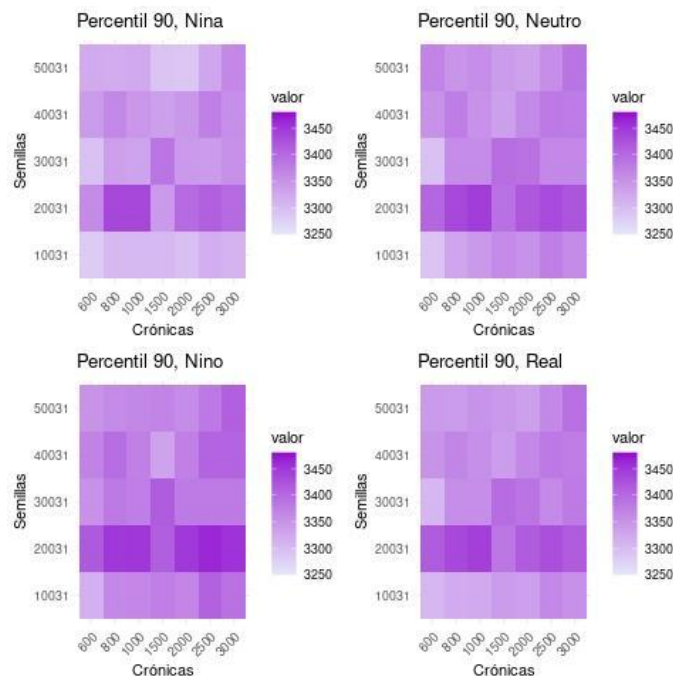


Figura 14. Gráficos de calor de percentil 90 para las diferentes semillas y cantidades de crónicas en los 4 escenarios ENSO considerando embalses llenos.

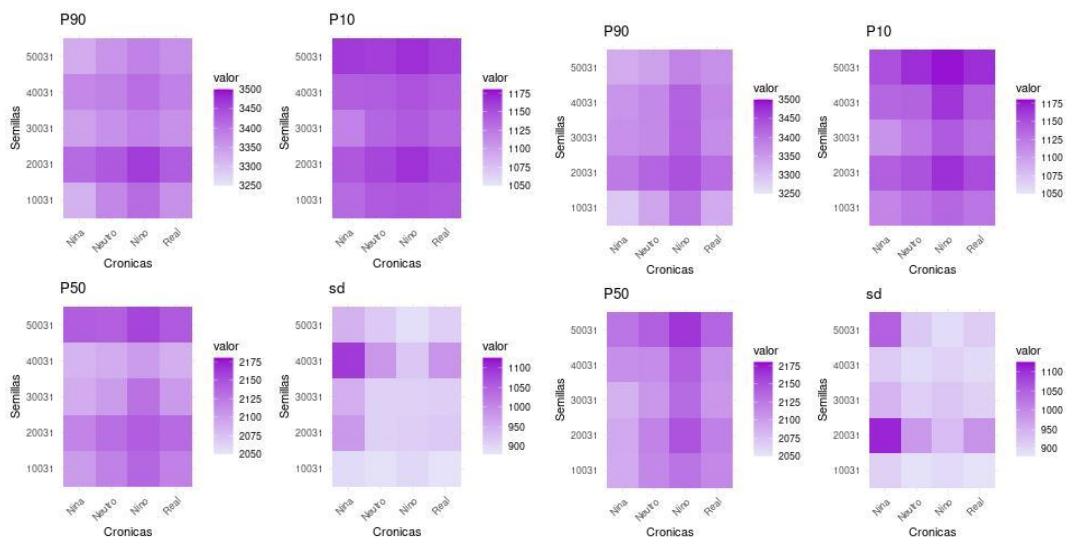


Figura 15. Gráficos de calor de percentil 90 para las diferentes semillas para 3000 crónicas y en los 4 escenarios ENSO considerando embalses llenos, sin MJO (izquierda) y con MJO (derecha).

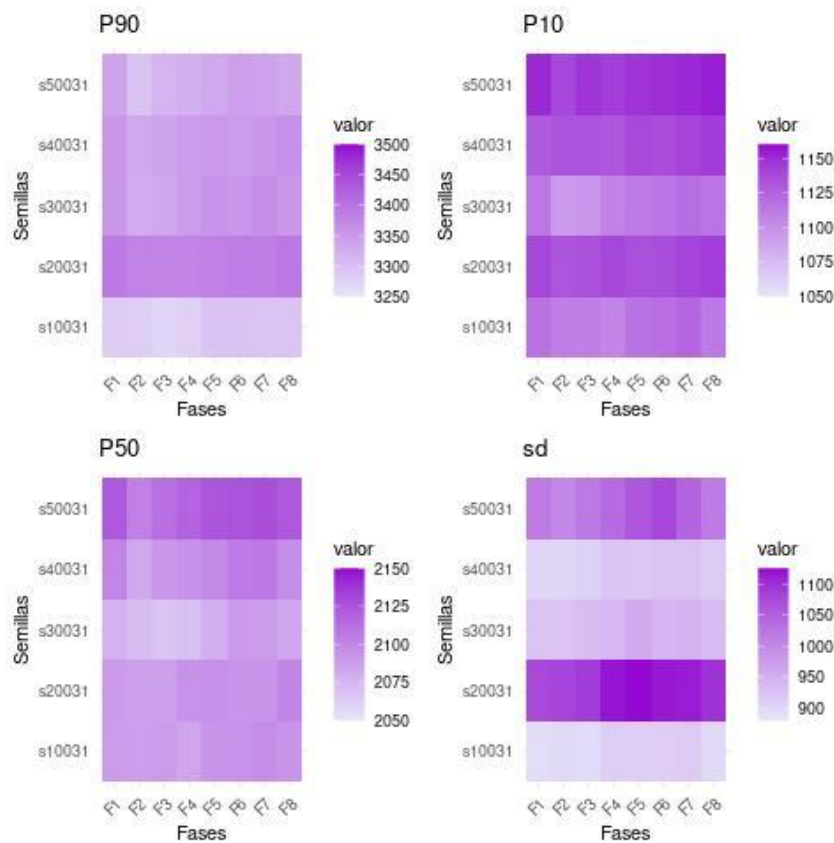


Figura 16. Gráficos de calor de percentil de medidas estadísticas para las diferentes semillas para 2500 crónicas considerando diferentes inicializaciones de MJO.

