

RESUMEN

El Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC) y el Departamento de Desarrollo Sostenible (DDS) de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (SG/OEA) contrató el presente estudio con el objetivo de caracterizar los períodos de déficit hídrico en las macro-subcuencas de la Cuenca del Plata en base al cálculo del índice SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) con paso mensual y para diferentes escalas temporales (1, 3, 6 y 12 meses) y al análisis de las variables evapotranspiración potencial (ETP) y precipitación (P), para el escenario actual y escenarios futuros (período total de estudio 1961-2100). Esta actividad contribuye al desarrollo del Tema Vulnerabilidad y Gestión de Riesgo, con vistas a la preparación del Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) y Programa de Acciones Estratégicas (PAE) para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático.

En este trabajo se realizaron los estudios para el escenario actual (1961 – 2005) y los escenarios futuros: período entre el año 2007 y 2040, 2041 – 2070 y 2071 – 2099. El cálculo del SPEI se realizó a partir de series de valores mensuales de ETP y P proporcionados por el INPE en celdas de 10 x 10 km distribuidas espacialmente en la cuenca. Se desarrollaron herramientas de cálculo y análisis capaces de manejar grandes cantidades de información espacio-temporal, calcular el índice SPEI a diferentes escalas temporales, sintetizar, agrupar y analizar los resultados en función de subcuencas definidas por el CIC.

Dado que se han estudiado períodos de tiempo con horizontes temporales a medio y largo plazo, se ha analizado el problema del efecto del cambio climático desde dos visiones que se consideraron complementarias. La primera denominada hipótesis 1 consistió en análisis de cada escenario basado en el cálculo del índice SPEI respecto a los valores medios de su propio escenario. La denominada hipótesis 2 fue realizar un estudio que evaluó el comportamiento de las variables de los escenarios futuros comparando con la distribución de valores del escenario actual (o escenario de control).

El estudio se realizó con dos escalas espaciales. La unidad de cálculo fue una celda de 10 x 10 km donde se contaba con la información de ETP y P. La unidad de análisis y presentación de resultados fue definida por el CIC-PM y consistió en siete macro-subcuencas. En primer lugar, en base a un trabajo con herramientas GIS, se identificaron las celdas que pertenecían a cada subcuenca y se les asoció los valores de ETP y P correspondientes. Luego se profundizó en el análisis del comportamiento de las variables de ETP y P para cada subcuenca. Para evaluar el efecto del cambio climático sobre la ETP y P

en cada subcuenca, se analizó la variación de ambas variables en los diferentes escenarios climáticos. En lo que respecta a la ETP se observó un gradiente negativo espacial norte – sur. El comportamiento temporal de la ETP comenzando por el escenario actual hacia escenarios futuros presentó un gradiente positivo para las subcuencas Alto Paraguay, Alto Paraná y Bajo Paraguay y estable para las restantes. En lo que respecta a la P no se identificó un patrón espacial definido. En cuanto al comportamiento temporal, la P es estable para las cuencas de Alto Paraguay, Alto Paraná y Bajo Paraguay (incluso con disminución en el escenario 2007 – 2040) y con un gradiente positivo en las restantes subcuencas.

Para cada una de las dos hipótesis de cálculo analizadas y para cada subcuenca, se identificó y caracterizó cada uno de los períodos secos así como su comportamiento medio. Para cada escenario climático y escala temporal de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) se identificó cada período seco, su duración, magnitud, intensidad máxima y media de cada período seco, se calculó la duración entre los períodos secos y se identificó el momento de comienzo de cada período. Por otro lado, para cada escala temporal del SPEI y cada subcuenca se determinó la cobertura espacial de los períodos secos para las series temporales de todos los escenarios climáticos analizados. Se observó que en el escenario del período 2007 – 2040 las subcuencas ubicadas al norte de la cuenca del Plata presentan una predominancia de períodos secos y las del sur una predominancia de clima húmedo con alternancia de períodos secos cortos; a medida que se analizan escenarios futuros más lejanos en el tiempo la situación de clima más húmedo se va extendiendo hacia las subcuencas del norte aumentando los períodos húmedos o haciendo menos intensos los períodos con déficit hídrico. Al igual que con la magnitud y duración de la sequía, la superficie en situación de sequía en cada una de las subcuencas, en general, tiende a disminuir a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo. Existe una mejora de la situación que se extiende desde el sur al norte a medida que transcurre el tiempo. Cabe destacar que en muchos períodos no identificados como períodos con déficit hídrico para la media de la cuenca, hay un porcentaje importante de la superficie de cada subcuenca (entre el 5 y 20 %) que sí está en situación de déficit hídrico (pero en valor medio no), por lo que si se analizan cuencas de menor tamaño, los períodos secos en algunas zonas podrían variar respecto a los identificados a nivel de subcuenca.

Por último se incluyó un capítulo con recomendaciones. Los resultados mostraron que de cumplirse las predicciones climáticas, existirá una heterogeneidad importante entre las subcuencas analizadas en lo relativo con la existencia de períodos secos, normales y húmedos. La cuenca del Plata necesitará de estudios en detalle que incluyan de forma integrada estudios hidroclimáticos, el análisis de los usos de suelo y demandas de agua,

evaluación de infraestructuras existentes y efecto de posibles inversiones, todo para el escenario actual y escenarios futuros. Lo anterior podrá aportar elementos técnicos objetivos para la formulación e implantación de planes de gestión de recursos hídricos y en particular de gestión de sequías.

1 INTRODUCCIÓN

El Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC) y el Departamento de Desarrollo Sostenible (DDS) de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (SG/OEA) contrató el presente estudio para estimar las condiciones de sequía en la Cuenca del Plata a partir del índice SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) para el escenario actual y futuro (1961-2100). Esta actividad contribuye al desarrollo del Tema Vulnerabilidad y Gestión de Riesgo, con vistas a la preparación del Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) y Programa de Acciones Estratégicas (PAE) para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático.

Durante la etapa de formulación del proyecto Programa Marco (2003-2005), se elaboró un análisis preliminar de los principales problemas ambientales que afectan a la Cuenca del Plata (Macro-ADT). El mismo fue desarrollado sobre la base de un proceso participativo orientado a la identificación, caracterización y jerarquización de los principales problemas transfronterizos (tanto actuales como emergentes), a la identificación de sus principales causas (primarias, secundarias, etc.), y recomendaciones preliminares de gestión.

El Macro-ADT de la Cuenca del Plata, elaborado en el 2005 sobre la base del proceso de Visión de la Cuenca, identificó las siguientes problemáticas como temas críticos transfronterizos [CIC-Plata, 2011a]:

- Los eventos hidrológicos extremos vinculados a la variabilidad y al cambio del clima
- La pérdida de calidad de las aguas
- La sedimentación de los cuerpos y cursos de agua de la Cuenca
- Las alteraciones a la biodiversidad
- El uso no sostenible de los recursos pesqueros
- La utilización no sostenible de los acuíferos en zonas críticas
- Los conflictos por el uso del agua y el impacto ambiental de los cultivos irrigados
- La falta de planes de contingencia frente desastres
- La insalubridad de las aguas, el deterioro de la sanidad ambiental y sus efectos en la salud humana

Considerando que desde 2011 el Programa Marco desarrolla sus actividades con distintos grupos temáticos en los diversos subcomponentes/temáticas que han ampliado el conocimiento de estas problemáticas críticas transfronterizas, el segundo semestre de 2014 se ha planificado la integración de la información existente y la de aquellos vacíos de información requeridos para completar el ADT con escenarios hidroclimáticos. Al respecto y con el fin de consolidar el ADT con escenarios hidroclimáticos, se desarrollaron durante el 2^{do} semestre de 2014 consultorías de integración en las siguientes áreas de trabajo:

- Fortalecimiento Institucional
- Recursos Hídricos
- Ambiente
- Hidroclimatología

Estas áreas de trabajo serán consolidadas en el ADT de la Cuenca del Plata, considerando escenarios hidroclimáticos, el que será utilizado como base para la formulación del PAE.

El presente contrato se enmarca en un Grupo de Consultorías que se desarrollan bajo la coordinación del Consultor Especialista en Recursos Hídricos y corresponde al consultor de apoyo estimar las condiciones de sequía en las macro-subcuencas de la Cuenca del Plata en base al cálculo del índice SPEI con paso mensual y para diferentes escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses), para el escenario actual y futuro (período total de estudio 1961-2100).

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

Caracterizar los períodos de déficit hídrico en la Cuenca del Plata, por macro-subcuencas, a partir del índice SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) para el escenario actual y futuro (1961-2100), en el contexto de la vulnerabilidad frente a eventos extremos.

1.2 MARCO CONCEPTUAL

La sequía es un fenómeno extremo hidrológico que puede definirse como una disminución coyuntural significativa de los recursos hídricos durante un período suficientemente prolongado, afectando a áreas extensas y que genera un perjuicio importante a las actividades humanas y poblaciones que dependen del recurso hídrico para su subsistencia y desarrollo. A diferencia de las avenidas, tiene un carácter lento y progresivo y cuando se manifiesta de manera evidente, generalmente el fenómeno se encuentra ya desarrollado y,

normalmente, las medidas que se toman suelen ser poco eficientes. Se trata de un fenómeno poco estudiado. Los datos disponibles sobre sequías y, en especial, sobre sus efectos sobre el medio ambiente y la economía, suelen ser escasos (Ministerio de Medio Ambiente, España, 2007). En las últimas décadas se siguen presentando períodos de sequía con frecuencia y efectos no aceptables por una sociedad cada vez más exigente, lo que lleva a reflexionar sobre si existe una situación de sequía coyuntural o se produce un cierto grado de inadecuación estructural entre los subsistemas de oferta y demanda de recursos hídricos. La sequía afecta entre otros a la agricultura, ganadería, satisfacción de demandas de riego y abastecimiento, a los cursos naturales de agua, humedales y zonas con alto valor ecológico. Existen varias clasificaciones de tipos de sequía, Wilhite and Glantz (1985) las clasifican en: a meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica. La Figura 1.1 muestra los procesos que dan lugar a cada una de ellas y algunos de los impactos que estas pueden provocar.

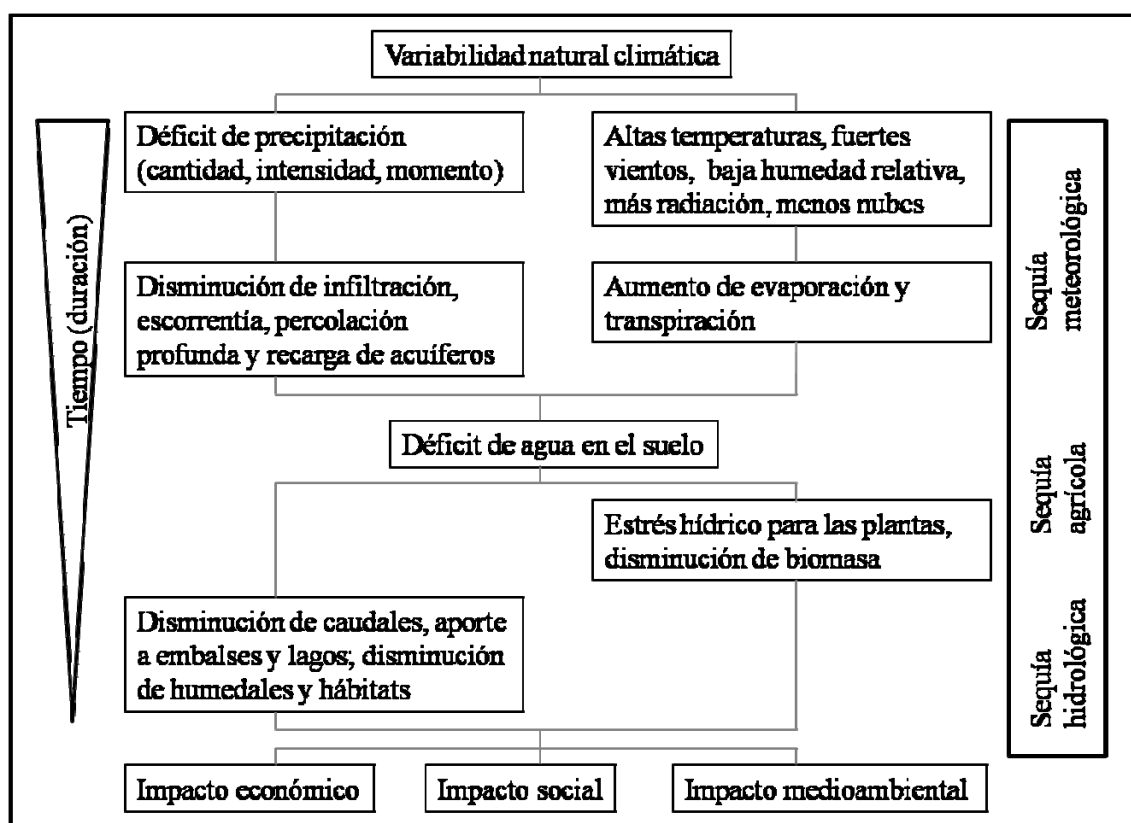


Figura 1.1: Secuencia de la ocurrencia de la sequía y sus impactos para los diferentes tipos (traducido y extraído de: National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, U.S.A.)

A pesar de la elevada incertidumbre actual en la evaluación de los factores causantes de la sequía y la dificultad de predecir los eventos de sequía, existen sin embargo medios y métodos para luchar contra los daños que ésta produce, entre los que cabe mencionar: el establecimiento de distintos

tipos de indicadores que detecten niveles de sequía; los métodos de prevención orientados al suministro, a la demanda o a la minimización de los impactos; los instrumentos de reducción de daños como la mejora de los suelos o los cambios en los cultivos buscando variedades más tolerantes a las sequías; la consciencia del riesgo lo que conlleva la determinación de niveles tolerables y grados de pérdidas; la organización y coordinación de los agentes implicados, entre otros (Ministerio de Medio Ambiente, España, 2007).

Por tanto, el fenómeno de la sequía y sus implicaciones en la gestión sustentable de los recursos hídricos depende fundamentalmente de la interrelación de tres factores:

- 1) Condiciones hidrometeorológicas de la cuenca
- 2) Uso del agua que realiza la sociedad en ese espacio geográfico
- 3) Infraestructura hidráulica y capacidad de regulación disponible en la cuenca

Aunque el análisis de las condiciones hidroclimáticas de una cuenca es importante como estudio de base para evaluar la situación de la cuenca, identificar y caracterizar zonas y períodos secos respecto a las condiciones medias de cada cuenca, la identificación de sequías y su gestión implica el estudio de los otros factores que deberían incluirse en estudios futuros. La Cuenca del Plata no escapa a la situación general de ser una cuenca poco estudiada en lo que refiere a la sequía.

Existiría por tanto, la necesidad a corto plazo de relacionar las áreas con mayor probabilidad de tener períodos secos con el estudio y análisis de la satisfacción de la demanda, valorar la infraestructura existente y el efecto de construcción de infraestructuras en la satisfacción de la demanda, evaluar la capacidad de regulación de las cuencas, todo para el escenario actual y escenarios futuros. Una cuenca con alta probabilidad de presentar períodos secos prolongados podrá ser más o menos vulnerable en función de los usos que allí existan, los impactos que se produzcan y de la capacidad de regulación que tenga esa cuenca. En este trabajo, el estudio se centró en el análisis espacio-temporal de las condiciones hidrometeorológicas de las macro-subcuencas tanto para el escenario actual como futuros abarcando el período de 1961 a 2100.

Como antecedentes inmediatos en el estudio de sequías en la Cuenca del Plata se encuentra el estudio inicial realizado por Alvaro Sordo-Ward (ASW, 2014) y los estudios realizados por el INPE sobre la variabilidad hidro-climática presente y futura en la Cuenca del Plata (Marengo et al., 2014; Ferraz, 2014a; Ferraz, 2014b, entre otros). En el Anexo 1 se presenta un detalle de los antecedentes inmediatos.

2 METODOLOGÍA

Con el fin de identificar y caracterizar períodos secos y húmedos para el escenario actual y especialmente escenarios futuros con una escala temporal mensual y una escala espacial distribuida, se aplicó el índice SPEI (Índice estandarizado precipitación – evapotranspiración) (Vicente-Serrano et al., 2010a; Vicente-Serrano et al., 2010b; Beguería et al., 2010). Este índice, a diferencia de otros índices como el IPE (Índice normalizado de precipitación (OMM, 2012)) que sólo tiene en cuenta la variable precipitación (P), incorpora la evapotranspiración (ETP), variable también relevante en los balances hídricos. Al considerar la evapotranspiración, incorpora entre otras la variable temperatura que en la mayoría de los modelos de cambio climático se indica como una de las variables con mayor probabilidad de sufrir cambios importantes en el futuro.

El índice SPEI se calcula a partir de la variable $D = P - ETP$ a escala mensual y está basado en el procedimiento de cálculo del índice SPI (OMM, 2012). Cada serie temporal de la variable D en cada punto analizado se asocia a una función de distribución Log-Logistic de tres parámetros. El valor de SPEI se obtiene de estandarizar la función de distribución obtenida. El valor medio de SPEI en una serie es 0 y la desviación estándar 1. En este estudio se consideró como período seco a aquellos meses consecutivos que comienzan cuando el valor de SPEI para un mes es menor a -1 y termina cuando el valor de SPEI es mayor a 0. Siendo un índice con paso mensual y sensible tanto a los cambios de P como de ETP, se considera un buen índice para evaluar situaciones de déficit/exceso hídrico, especialmente para escenarios futuros de clima. El SPEI para un mes da información a corto plazo. Un valor de SPEI menor a -1 en un mes aislado, aunque por definición se considera como período seco o de déficit hídrico, difícilmente tenga consecuencias negativas importantes para los cultivos u otras actividades relacionadas con el recurso hídrico, por lo tanto no se podría considerar como una situación de sequía (donde se asocia efectos adversos a la actividad que se realiza en la cuenca o a la población que la habita). Si este déficit se reitera en meses consecutivos sí podría estar afectando a los cultivos, fundamentalmente en la fase de crecimiento de los mismos. El SPEI para tres meses ya nos da una información estacional. Un déficit prolongado a esta escala temporal ya nos indica un perjuicio importante para los cultivos mostrando unas condiciones de humedad disponible en el suelo insuficiente. El SPEI para 6 meses nos puede indicar tendencias a mediano plazo (según las regiones podría asimilarse también a estaciones). A esta escala temporal se puede deducir perjuicios importantes para la agricultura y podrían manifestarse perjuicios en otros sectores de la economía. Finalmente el SPEI para 12 meses nos da una tendencia de medio y largo plazo. Este índice podría indicar problemas importantes en otros sectores

además de una situación crítica en la agricultura, como efecto en los niveles de los embalses, cambio en el régimen hídrico en grandes cuencas y hasta cambios en los niveles de agua subterránea. A esta escala temporal se pueden identificar largos períodos secos que indicarían ciclos de medio plazo más o menos húmedos/secos (y no una sequía de larga duración).

En el presente estudio se utilizaron los valores de SPEI 1, 3, 6 y 12 meses. El cálculo del SPEI se realizó a partir de series de valores mensuales de evapotranspiración potencial (ETP) y precipitación (P) proporcionados por el INPE. Las mismas fueron estimadas utilizando el Modelo Eta (BUSTAMANTE et al., 2006; ALVES et al., 2004; CHOU et al., 2005; BUSTAMANTE et al. 2002) para los diferentes escenarios climáticos. La información de base utilizada está distribuida espacialmente en celdas de 10 x 10 km y temporalmente el INPE la dividió en cuatro escenarios climáticos o períodos: 1961-2005, 2007-2040, 2041-2070 y 2070-2099. A partir de la información anterior, en este estudio se desarrollaron herramientas de cálculo y análisis capaces de manejar grandes cantidades de información espacio-temporal, calcular el índice SPEI a diferentes escalas temporales, sintetizar, agrupar y analizar los resultados en función de subcuencas definidas por el CIC - PM.

Dado que los períodos analizados son de diferente extensión temporal, los resultados deben analizarse con precaución evitando realizar comparaciones con valores absolutos. Asimismo, a pesar de ser escenarios de diferente extensión, al considerarse períodos de 30 años o mayores, se entiende que los mismos son suficientemente extensos como para ser representativos del clima de ese período y por lo tanto los valores medios deberían ser también representativos independientemente de la longitud de la serie considerada.

Por la propia definición del índice SPEI, la identificación de períodos secos siempre es relativa a los valores medios de la serie temporal considerada en cada punto. Por ejemplo, ante valores similares de ETP y P en dos escenarios, en uno se puede considerar como período seco mientras que en otro no, debido a que las series que determinan el comportamiento medio del índice SPEI son diferentes y el índice SPEI muestra las desviaciones respecto a ese comportamiento medio.

Dado que se están estudiando períodos de tiempo con horizontes temporales a medio y largo plazo, se ha analizado el problema del efecto del cambio climático desde dos visiones que se consideraron complementarias. La primera es suponer que si en el medio plazo hubiera un cambio del clima aumentando o disminuyendo los períodos secos o húmedos, la sociedad sería capaz de adaptarse y por ejemplo seleccionar aquellos tipos de cultivos que se adapten mejor a esa nueva realidad. En esta situación, aunque los valores de lluvia media disminuyeran respecto al clima actual, no necesariamente serían

períodos de sequía con consecuencias para la sociedad ya que en ese momento la situación sería “normal” para esos nuevos cultivos. Esta visión es la que se ha estudiado bajo la hipótesis de trabajo 1 que se desarrolla a continuación. Otra visión es realizar un estudio que evalúe el comportamiento de las variables de los escenarios futuros comparando con el escenario actual (o escenario de control). Esta segunda visión se ha estudiado bajo la hipótesis 2 que se desarrolla a continuación. Por lo tanto, en este estudio se trabajó sobre la base de dos hipótesis para realizar el cálculo de SPEI:

Hipótesis 1: En cada celda (10 x 10 km) de la Cuenca del Plata se calculó la serie de valores de SPEI para las diferentes escalas temporales y escenarios de acuerdo a la metodología tradicional (OMM, 2012). El índice SPEI representa las desviaciones respecto a los valores medios de la serie analizada siendo el valor medio del SPEI en cada serie cero. De esta forma, aunque en un escenario los volúmenes de lluvia decrezcan y los valores de ETP aumenten respecto a otro de referencia, no necesariamente se identificarán más períodos secos ya que los valores medios de la serie de D también serán menores y el SPEI identifica períodos que se desvíen significativamente respecto de los valores medios de su misma serie. Con este análisis no es posible determinar tendencias sobre las situaciones futuras respecto la actual o de referencia (para ello se realiza otro análisis que se presenta a continuación). No obstante sí es posible identificar y caracterizar los períodos secos de sequía en cuanto a sus principales características, como el reparto temporal de las mismas, duración de las sequías, magnitud, intensidades máximas y medias, cobertura espacial de las sequías, entre otras.

Hipótesis 2: En cada celda (10 x 10 km) de la Cuenca del Plata se calculó la serie de valores de SPEI para las diferentes escalas temporales y escenarios pero respecto a las series de valores del escenario de control (período 1961 – 2005). En primer término se definió la función de distribución en función de la serie de control y posteriormente los valores de SPEI de las series de escenarios futuros se calculan valorando estas series según la función de distribución de la serie de control. De esta forma el efecto del cambio climático en las variables de ETP y P se ve reflejado en el cálculo del índice SPEI para los diferentes escenarios y se puede realizar un análisis de tendencia de los períodos secos.

El estudio se realizó con dos escalas espaciales. La unidad de cálculo fue una celda de 10 x 10 km donde se contaba con la información de ETP y P. La unidad de análisis y presentación de resultados fue definida por el CIC - PM y consiste en siete subcuencas (Figura 2.1):

- ALPy - Cuenca del Alto Paraguay (600.086 km²)
- ALPn - Cuenca del Alto Paraná (899.628 km²)

- BjPy - Cuenca del Bajo Paraguay (520.068 km²)
- BjPn - Cuenca del Bajo Paraná (610.885 km²)
- AlUr - Cuenca del Alto Uruguay (116.470 km²)
- BjUr - Cuenca del Bajo Uruguay (236.980 km²)
- CuPI - Cuenca del Río de la Plata (190.112 km²)

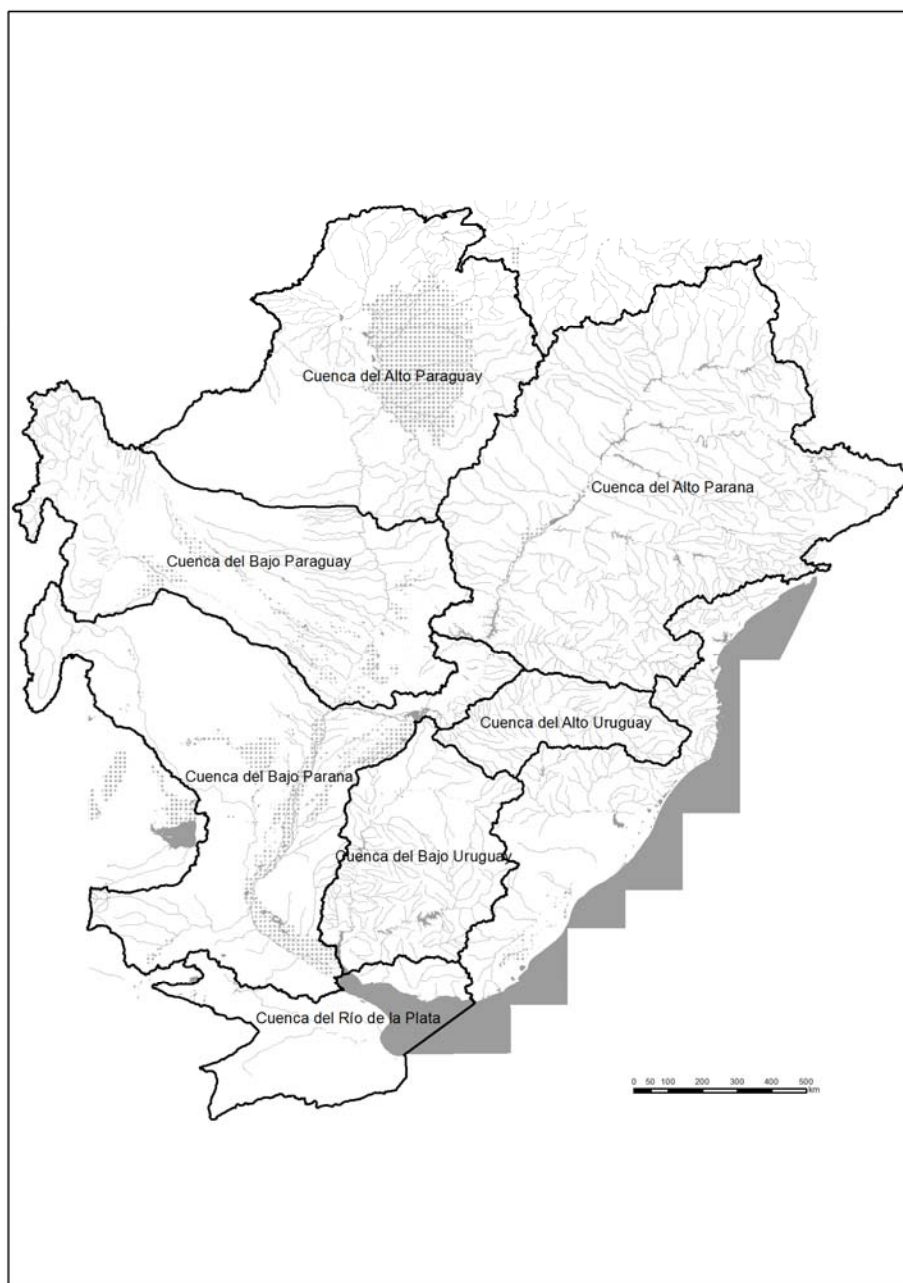


Figura 2.1: Macro subcuencas de la Cuenca del Plata. Línea negra continua: representa los límites de subcuencas proporcionados por la UCP, línea a trazos: representan los límites internacionales entre países, fondo de colores: representa la superficie de cada país, trazo gris claro: representa la red hídrica principal de la Cuenca del Plata.

En primer lugar, en base a un trabajo con herramientas GIS, se definió el rango de celdas que pertenecían a cada subcuenca y se les asoció los valores de ETP y P correspondientes. Luego se profundizó en el análisis del comportamiento de las variables de ETP y P para cada subcuenca. Dado que el índice SPEI muestra la desviación en cada intervalo del valor de D de forma relativa a los valores medios de una serie completa de valores (en este estudio la serie completa de cada escenario (hipótesis 1) o respecto a la serie del escenario 1961 – 2005 (hipótesis 2)), se calculó los valores medios en cada subcuenca de la ETP y la P para los diferentes escenarios con el fin de una mejor interpretación del índice SPEI. Asimismo, de forma de evaluar el efecto del cambio climático sobre la ETP y P en cada subcuenca, se analizó la variación de ambas variables en los diferentes escenarios climáticos. Para ello, en cada celda (10 x 10 km) perteneciente a cada subcuenca, se calculó el valor medio mensual de ETP y P durante todo el período de cada escenario considerado. Luego, en cada celda se calculó la variación de la ETP y P de cada escenario estudiado respecto al escenario de control (1961 -2005).

Para cada una de las dos hipótesis de cálculo analizadas y para cada subcuenca, se identificó y caracterizó cada uno de los períodos secos así como su comportamiento medio. Para cada escenario climático y escala temporal de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) se identificó cada período seco, su duración, magnitud, intensidad máxima y media de cada período seco, se calculó la duración entre los períodos secos y se identificó el momento de comienzo de cada período. En el Anexo 3 se detalla las características principales de cada uno de los períodos con déficit hídrico identificados. De forma de sintetizar la información, comparar y extraer patrones de comportamiento, para cada escenario se identificó el número de períodos secos, la duración media de los períodos secos, la magnitud media de los períodos secos, la media de la intensidad máxima de los períodos secos y la media de la intensidad media de los períodos secos. Asimismo se calculó la desviación estándar de cada uno de los valores calculados. La duración de un período seco se midió como la cantidad de meses en la condición de déficit hídrico. La magnitud del período seco se midió como la suma de los valores de SPEI durante ese período. La intensidad máxima del período seco se representó como el mes con menor valor de SPEI del período. La intensidad media del período seco se calculó como el valor medio de SPEI del período.

Por otro lado, para cada escala temporal del SPEI y cada subcuenca se determinó la cobertura espacial de los períodos secos para las series temporales de todos los escenarios climáticos analizados. Para determinar el grado de cobertura espacial del período seco en cada subcuenca para un mes, primero se determinó el valor de SPEI en cada celda durante todo el período de análisis, posteriormente se identificó en cada celda los períodos secos y por último para cada mes se evaluó el porcentaje de celdas del total de cada

subcuenca que estaban en situación de sequía. Este estudio es interesante ya que en muchos períodos no identificados como períodos secos para el conjunto de la subcuenca, hay un porcentaje importante de la superficie de cada subcuenca que sí está en situación de déficit hídrico (pero en valor medio no). Si el estudio se realizara a menor escala, los períodos secos en algunas zonas podrían ser más que los identificados a nivel de subcuenca. Dado el gran tamaño de las cuencas analizadas, el fenómeno indicado anteriormente podría ser de consideración. Si además tenemos en cuenta los usos de la tierra y la infraestructura existente de esas zonas en particular, podríamos tener problemas de gestión de recursos hídricos que la escala de trabajo de este estudio podría no detectar.

3 ANÁLISIS DE SUBCUENCAS

Dado que el índice SPEI representa la desviación respecto de los valores medios de la variable $D = P - ETP$ en cada punto, se realizó el análisis sobre las dos hipótesis de trabajo presentadas en el apartado metodológico.

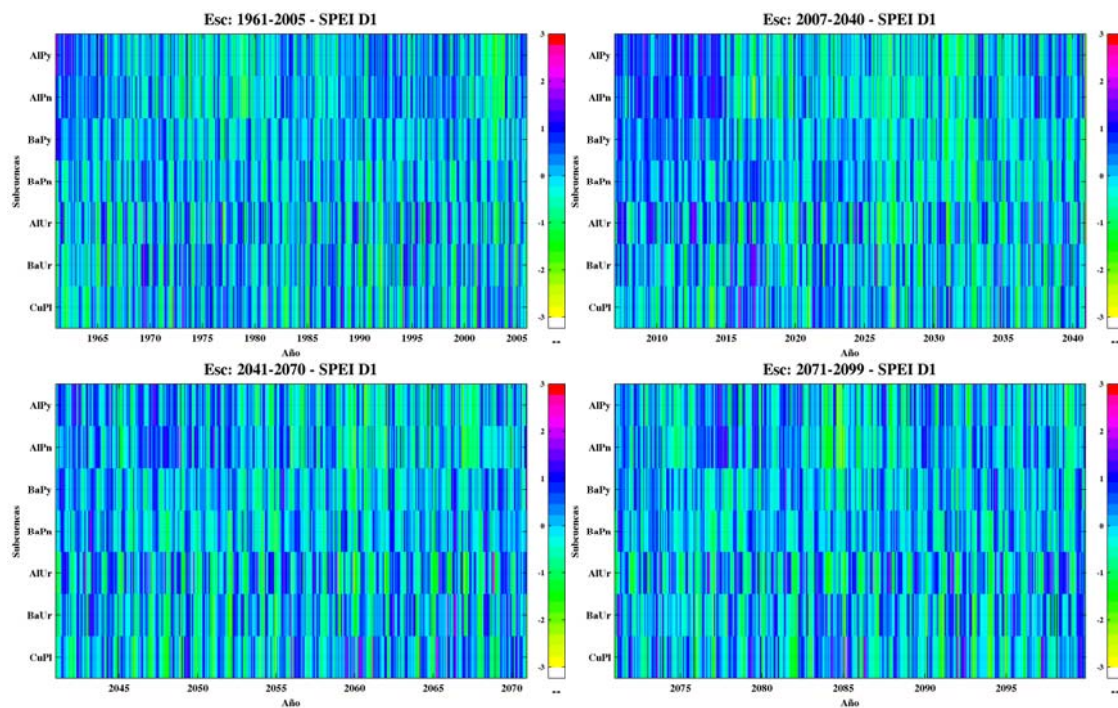
En primer término se realizó un análisis comparativo entre subcuencas de los valores de SPEI y de la cobertura espacial de los períodos secos para ambas hipótesis. Posteriormente, para cada subcuenca, se profundizó en el análisis de las variables P y ETP . Se analizó el comportamiento medio de ambas variables para cada mes según los diferentes escenarios. Asimismo, para cada celda (10×10 km) de cada subcuenca y escenario se relacionaron las variables P y ETP y se valoró la variación mensual de las mismas en los escenarios futuros respecto al escenario de referencia. Por último, para cada subcuenca se caracterizó los períodos secos en cada escenario y se realizó un análisis comparativo. Se aplicó el índice SPEI para las escalas temporales de 1, 3, 6 y 12 meses.

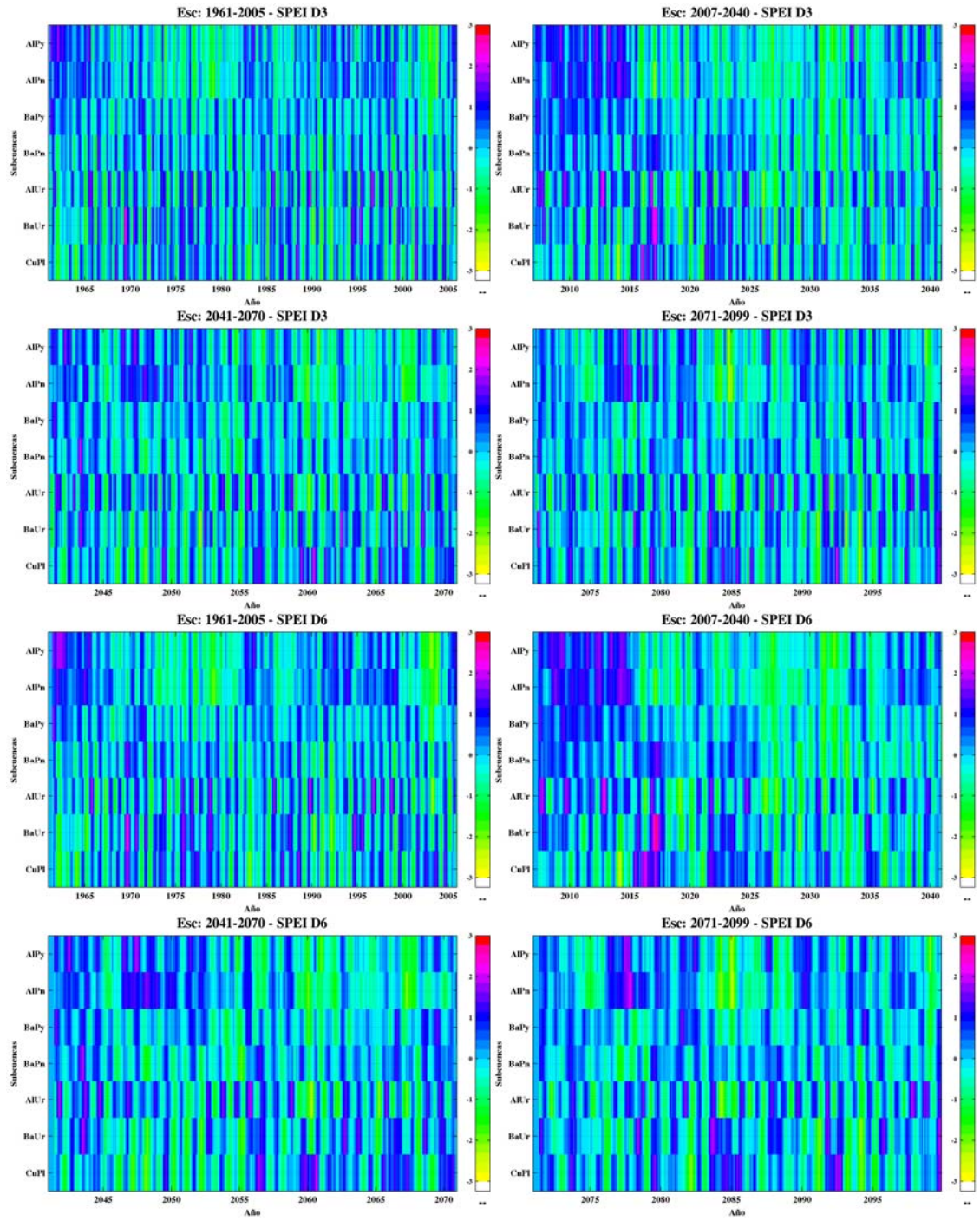
3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SUBCUENCAS (HIPÓTESIS 1)

En la Figura 3.1 se observa la distribución temporal de los períodos secos con valores medios de SPEI para cada subcuenca y mes, para las diferentes escalas temporales de SPEI y según cada escenario. En cada mes se calcula el valor medio de SPEI de todas las celdas que pertenecen a la subcuenca en estudio, por lo que el valor graficado es un valor medio de la subcuenca pudiendo haber zonas con diferente situación hídrica como se muestra en el análisis de la cobertura espacial de los períodos secos.

A modo de ejemplo se analiza a continuación la evolución del SPEI 12 meses en cada subcuenca y escenario con sus interrelaciones espaciales. Observando el SPEI 12 meses para las diferentes subcuencas y escenarios se extraen conclusiones muy interesantes. En el escenario 1961-2005 se observa que el comportamiento es similar en las cuencas de AlPy, AlPn y BjPy donde los períodos secos o húmedos coinciden en el tiempo entre estas cuencas, siendo en la cuenca de AlPy y AlPn de mayor intensidad. Por otra parte las cuencas de AlUr, BjUr y CuPl también tienen un comportamiento homogéneo en el tiempo. Mientras que en el primer grupo de cuencas se observan largos períodos de déficit seguidos de largos períodos de exceso hídrico, en las cuencas del segundo grupo los ciclos de déficit y exceso son más cortos. La cuenca del BjPn tiene un comportamiento intermedio. Asimismo, se observa que en un mismo año algunas cuencas tienen períodos secos mientras que otras tienen períodos húmedos. En el escenario 2007-2040 las cuencas de

AlPy y AlPn tienen un comportamiento similar aumentando la duración de los ciclos de déficit y exceso hídrico. Las cuencas de BjPy y BjPn se comportan de forma similar presentando un ciclo de más de 15 años con valores superiores a la media de la serie y un ciclo de unos 10 a 15 años con valores inferiores a la media. La cuenca de BjUr y CuPl intercala ciclos más cortos de déficit y exceso hídrico. En el escenario 2041 – 2070, en general el comportamiento es similar al escenario anterior aunque en la CuPl se concentra un ciclo de déficit hídrico en los primeros 10 a 15 años y un período de exceso hídrico en los restantes. En el escenario 2071 – 2099, el comportamiento general temporal es más homogéneo entre las subcuencas de la Cuenca del Plata intercalando ciclos de déficit y exceso hídrico.





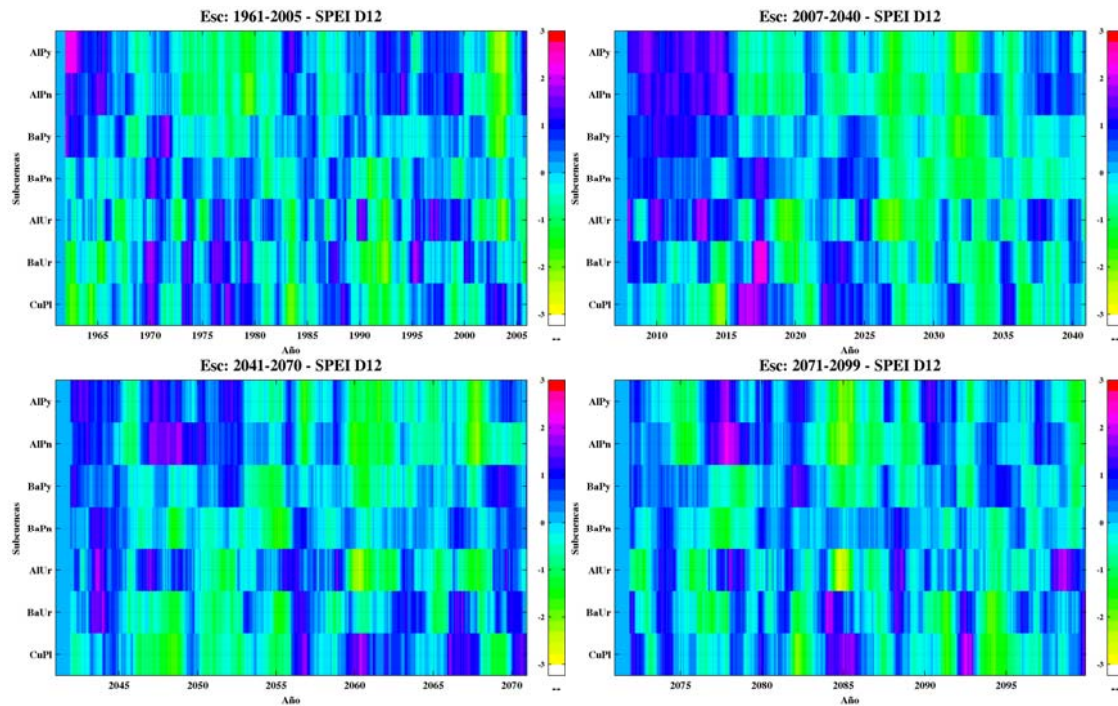
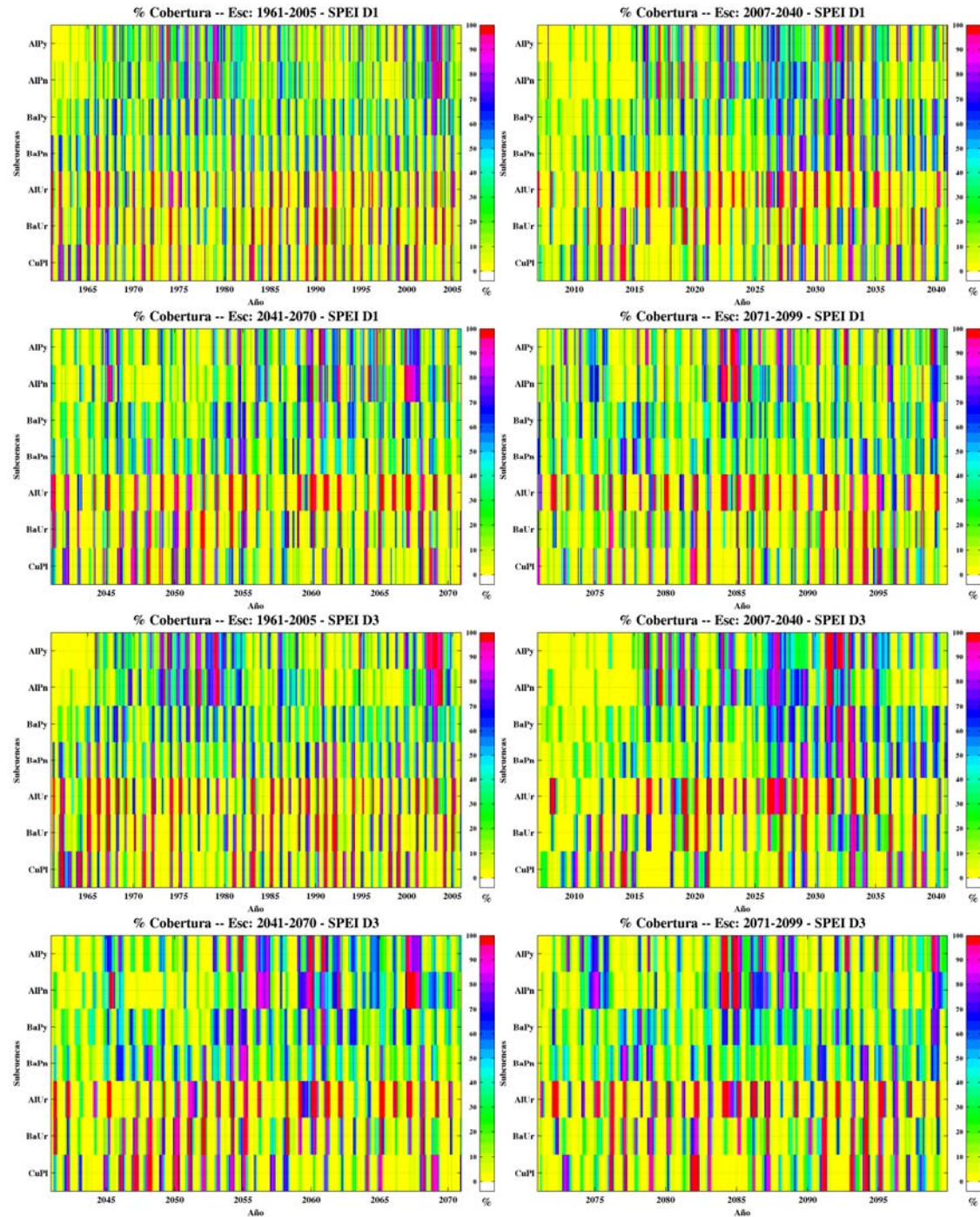


Figura 3.1: Series de valores del índice SPEI para las escalas temporales de 1, 3, 6 y 12 meses, para cada subcuenca y cada escenario. El cálculo del índice SPEI para cada escenario se realiza a partir de la distribución de valores del propio escenario climático.

Para cada escala temporal del SPEI y cada subcuenca se determinó la cobertura espacial de los períodos secos para las series temporales de todos los escenarios climáticos analizados. Para determinar el grado de cobertura de los períodos secos de una cuenca para un mes, primero se determina el valor de SPEI en cada celda durante todo el período de análisis, posteriormente se identifica en cada celda los períodos secos y por último para cada mes se evalúa el porcentaje de celdas del total de cada subcuenca que están en situación de escasez hídrica.

La Figura 3.2 muestra el porcentaje de superficie de cada subcuenca que cada mes presenta déficit hídrico, según cada escala temporal de SPEI y según cada escenario. En general, los períodos identificados como secos se corresponden con porcentajes importantes de la cuenca en esa situación. Cabe destacar que en muchos períodos no identificados como períodos con déficit hídrico para la media de la cuenca, hay un porcentaje importante de la superficie de cada cuenca (entre el 10 y 20 %) que sí está en situación de déficit hídrico (pero en valor medio no), por lo que si analizamos cuencas de menor tamaño, los períodos con déficit hídrico en algunas zonas podrían ser más que los identificados a nivel de subcuenca. Dado el gran tamaño de las cuencas analizadas, el fenómeno indicado anteriormente podría ser muy importante. Si además tenemos en cuenta los usos de la tierra y la infraestructura existente de esas zonas en particular, podríamos tener

problemas de gestión de recursos hídricos que la escala de trabajo de este estudio podría no detectar.



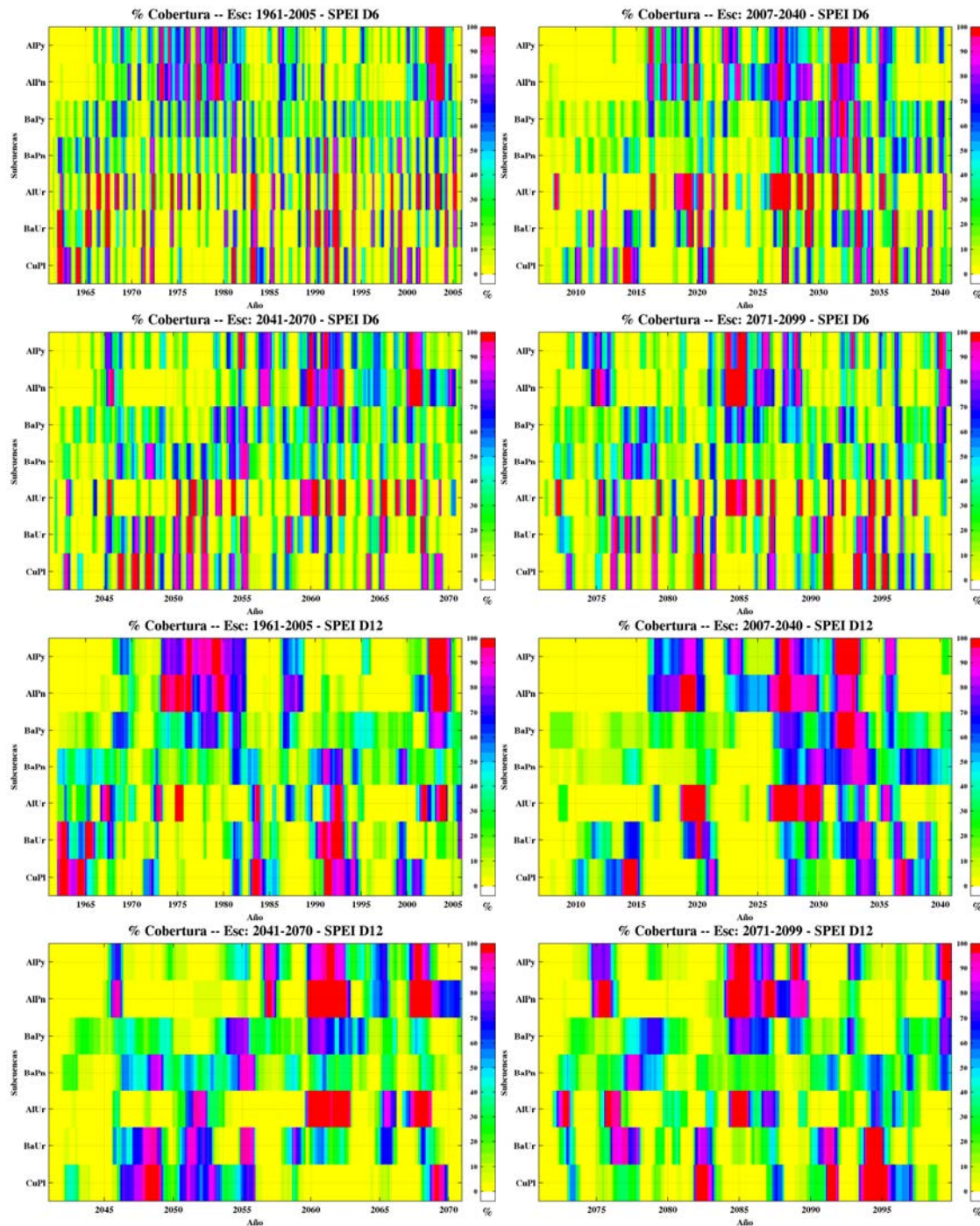
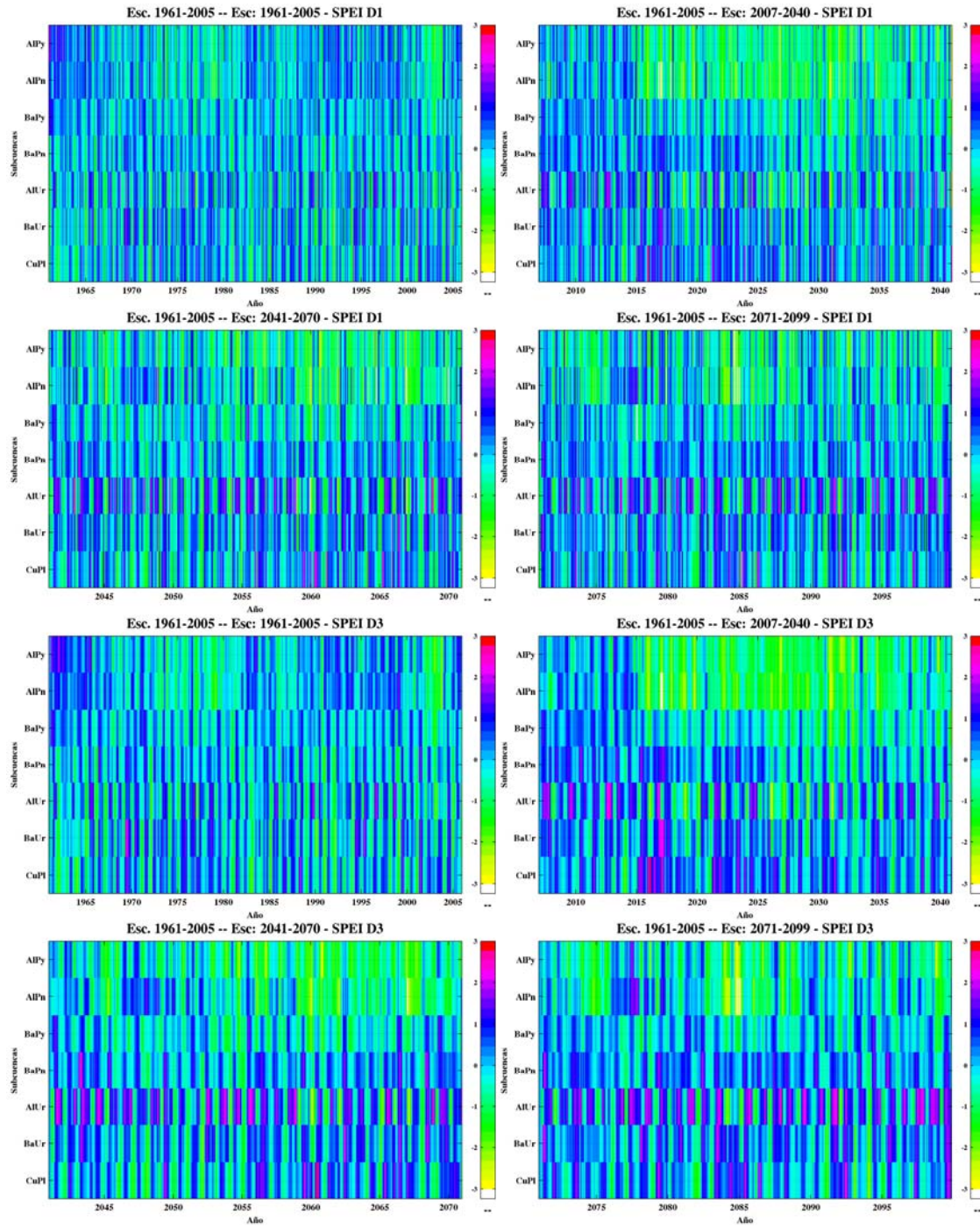


Figura 3.2: Porcentaje de cobertura espacial de la sequía para las series mensuales en cada subcuenca y escenario.

3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SUBCUENCAS (HIPÓTESIS 2)

En la Figura 3.3 se presentan los valores de SPEI comparado con las series del período 1961-2005, para las escalas temporales de 1, 3, 6 y 12 meses, para cada subcuenca y cada escenario. Analizando por ejemplo las series para SPEI 12 meses se obtienen conclusiones interesantes. En el período 1961 – 2005, al ser el período de control, los resultados son los mismos que en la hipótesis 1 anteriormente analizada ya que en este escenario

los valores de SPEI se obtienen sobre la base de su propia serie temporal. En el escenario 2007 - 2040 el efecto es notable en algunas subcuencas. En la subcuenca de AlPy y AlPn, se observa un período inicial entre el año 2008 y 2015 con valores superiores a la media de la serie del período 1961 – 2005 y luego entre el año 2015 y 2040, la serie presenta en casi su totalidad un ciclo seco. Este efecto se nota claramente también para escalas temporales de SPEI de 3 y 6 meses. Ante esta situación, es probable que se confirmen las predicciones, en estas zonas sea necesario implementar medidas de adaptación. Es importante entonces realizar un seguimiento de la evolución de la situación para evaluar si estos escenarios futuros se van confirmando o no, y disponer de una planificación hidrológica adecuada que pueda prevenir y/o mitigar posibles problemas de déficit hídrico. En la subcuenca de BjPy también se da la misma situación pero más atenuada. Sin embargo, en las cuencas de AlUr, BjUr y CuPI la situación es opuesta presentando en general series de valores de SPEI mayores a los valores medios de las series del período 1961 – 2005. En estos casos, una situación de clima más húmedo que el actual podría necesitar también de medidas de adaptación, por ejemplo una posible readecuación del tipo de cultivos óptimos para esa nueva realidad climática. En el escenario del período 2041 – 2070 las subcuencas AlPy, AlPn y BjPy tienen un comportamiento general de déficit hídrico, las subcuencas BjPn, AlUr y BjUr por el contrario presentan series con exceso hídrico. La subcuenca CuPI muestra un comportamiento intermedio. En el escenario del período 2071 – 2099 la subcuenca AlPy permanece en condiciones de déficit hídrico en la mayor parte del tiempo aunque con un grado de intensidad menor y presenta períodos cortos de situación normal o hasta de exceso hídrico. La subcuenca AlPn presenta una alternancia de períodos húmedos y secos aunque aún con una predominancia de estos últimos. Las subcuencas de BjPn, AlUr y BjUr presentan una predominancia de períodos húmedos y la CuPI también aunque con alguna alternancia de períodos secos. En conclusión, se observa que en el escenario del período 2007 – 2040 las subcuencas ubicadas al norte de la Cuenca del Plata presentan una predominancia de períodos secos y las del sur una predominancia de clima húmedo con alternancia de períodos secos cortos; a medida que se analizan escenarios futuros más lejanos en el tiempo la situación de clima más húmedo se va extendiendo hacia las subcuencas del norte aumentando los períodos húmedos o haciendo menos intensos los períodos con déficit hídrico.



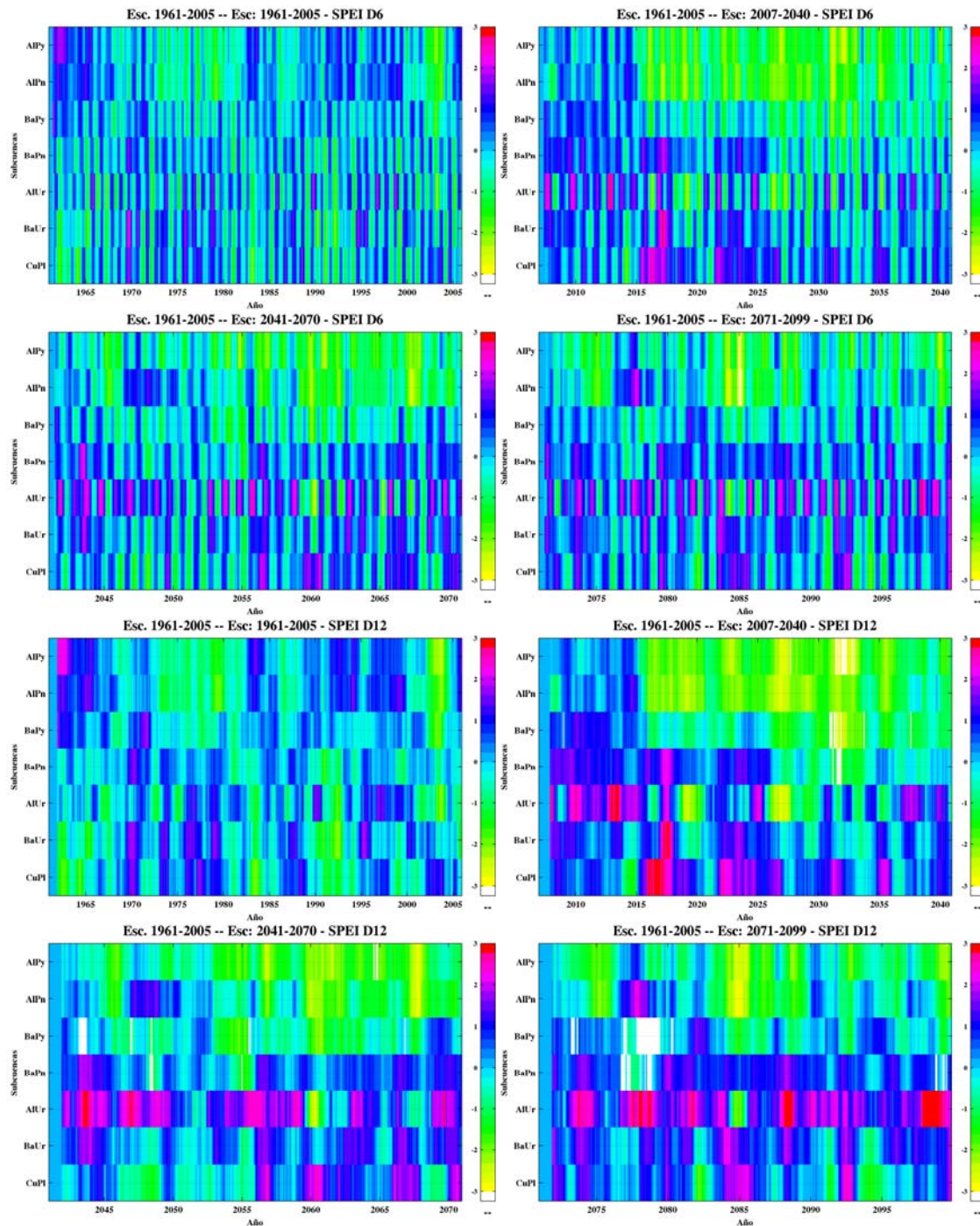
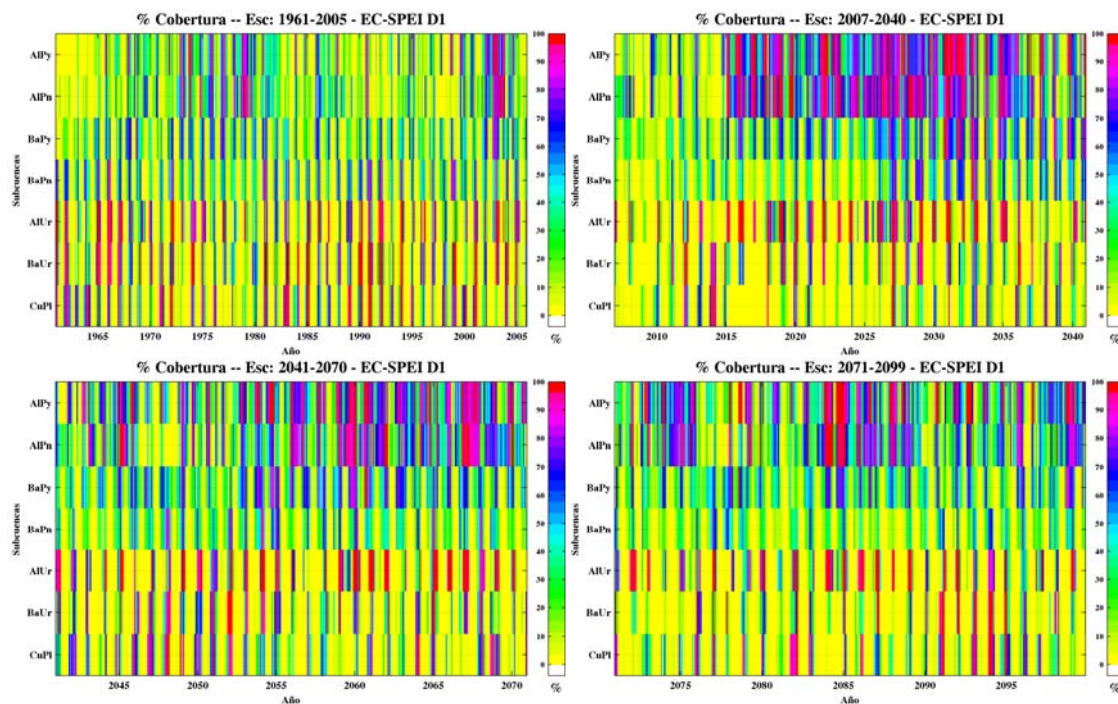
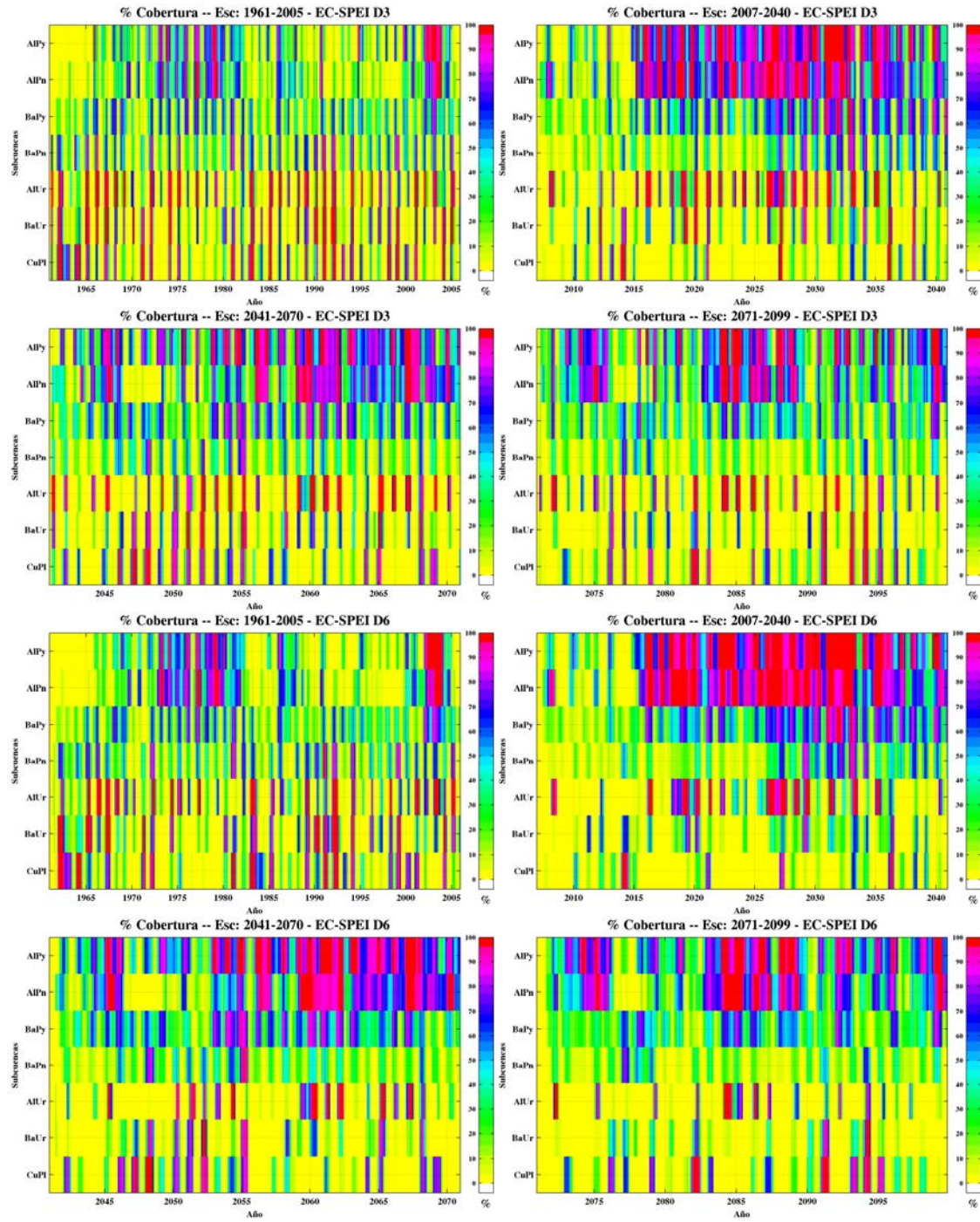


Figura 3.3: Análisis de SPEI basado en las series del período 1961-2005. Series de valores del índice SPEI para las escalas temporales de 1, 3, 6 y 12 meses, para cada subcuenca y cada escenario. El cálculo del índice SPEI para los escenarios futuros se realiza a partir de la distribución de valores del escenario de referencia del período 1961-2005.

La Figura 3.4 muestra el porcentaje de superficie de cada subcuenca que cada mes presenta déficit hídrico, según cada escala temporal del SPEI y según cada escenario. En este caso la definición sobre si una celda está en situación de déficit hídrico se realiza calculando el valor de SEI sobre la base de la distribución de valores del escenario de control (1961 – 2005). Si analizamos el SPEI de 12 meses se obtienen conclusiones interesantes. Analizando el escenario 2007 – 2040, en las subcuencas AlPy, AlPu y BjPy se

muestra un aumento notable del porcentaje de superficie y períodos secos (en menor medida en BjPy). BjPn y AlUr se mantienen estables aunque con una distribución diferente en el tiempo de la sucesión de períodos secos y húmedos respecto al escenario de control. Las subcuencas BjUr y CuPl muestran una reducción importante del porcentaje de superficie afectada por períodos secos respecto del escenario de control. En el escenario 2041 – 2070 las subcuencas AlPy, AlPn y BjPy mantienen importantes porcentajes de superficies con déficit hídrico pero menor al escenario 2007 – 2040. En la subcuenca de BjPn la situación es similar, aunque predominan los períodos secos el porcentaje de superficie en esa situación tiene un leve descenso. La subcuenca de AlUr y BjUr continúan presentando un porcentaje reducido de superficie con clima seco y la CuPl aumenta dicho porcentaje respecto al escenarios 2007 -2040 alternando períodos secos y húmedos. Por último en el escenario 2071 – 2099 se muestra para las subcuencas AlPy, AlPn y BjPy una disminución de superficie con déficit hídrico (aunque predomina el clima seco). En las subcuencas BjPn, AlUr, BjUr y CuPl salvo períodos cortos, el porcentaje de superficie en situación de déficit hídrico durante la serie es muy acotado. Al igual que con la magnitud y duración de la sequía, la superficie en situación de sequía en cada una de las subcuencas, en general, tiende a disminuir a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo. Existe una mejora de la situación que se extiende desde el sur al norte a medida que transcurre el tiempo.





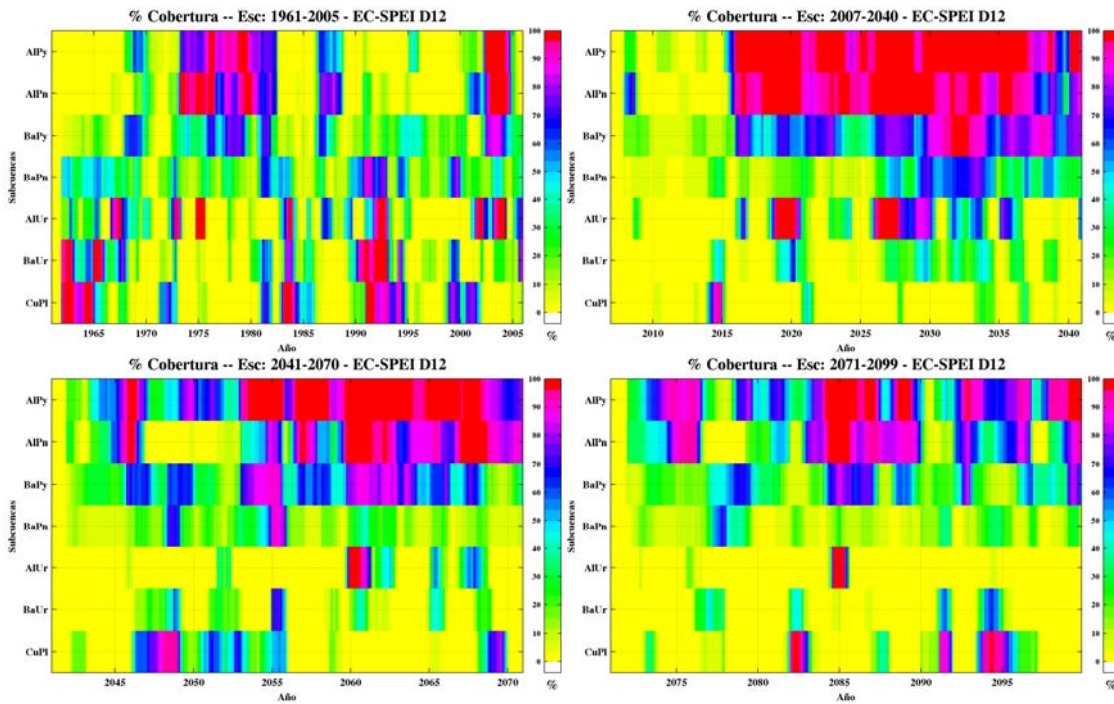


Figura 3.4: Porcentaje de cobertura espacial de la sequía para las series mensuales en cada subcuenca y escenario. El cálculo se realizó a partir de valores de SPEI calculado teniendo como base de análisis el período 1996 – 2005.

3.3 CARACTERIZACIÓN PERÍODOS SECOS POR SUBCUENCA

Una vez realizado un análisis general por subcuencas y habiendo comparado el comportamiento entre las mismas para los diferentes escenarios e hipótesis de cálculo, en este apartado se presenta un análisis individual de cada subcuenca. En estudios que abarcan períodos muy largos y superficies importantes de análisis, uno de los principales retos es la presentación de los resultados de forma sintética, comparable entre subcuencas y escenarios y sin perder el detalle de las principales características de los fenómenos analizados.

En primer lugar se profundizó en el análisis del comportamiento de las variables de ETP y P para cada subcuenca. Para evaluar el efecto del cambio climático sobre la ETP y P en cada subcuenca, se analizó la variación de ambas variables en los diferentes escenarios climáticos. Para ello, en cada celda (10 x 10 km) perteneciente a la cuenca, se calculó el valor medio mensual de ETP y P durante todo el período de cada escenario considerado. Luego, en cada celda se calculó la variación de la ETP y P de cada escenario estudiado respecto al escenario de control (1961 -2005). Asimismo, en el Anexo 2 se presenta un estudio comparativo entre subcuencas de la ETP y P para todos los escenarios climáticos considerados.

Para cada una de las dos hipótesis de cálculo analizadas y para cada subcuenca, se identificó y caracterizó cada uno de los períodos con déficit hídrico así como su comportamiento medio. Para cada escenario climático y escala temporal de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) se identificó cada período con

déficit hídrico, su duración, magnitud, intensidad máxima y media de cada período de déficit hídrico, se calculó la duración entre los períodos de déficit hídrico y se identificó el momento de comienzo de cada período. Para sintetizar la información, comparar y extraer patrones de comportamiento, para cada escenario se identificó el número de períodos con déficit hídrico, la duración media de los períodos con déficit hídrico, la magnitud media de los períodos con déficit hídrico, la media de la intensidad máxima de los períodos con déficit hídrico y la media de la intensidad media de los períodos con déficit hídrico. Asimismo se calculó la desviación estándar de cada uno de los valores calculados. En el Anexo 3 se detalla las características principales de cada uno de los períodos con déficit hídrico identificados de cada una de las subcuencas.

Cabe recordar que se consideró como un período seco aquel que comienza con un mes con valor de SPEI menor a -1 y termina cuando el valor de SPEI de un mes es mayor a 0. La duración se midió como la cantidad de meses en la condición de déficit hídrico. La magnitud del período de déficit hídrico se midió como la suma de los valores de SPEI durante ese período. La intensidad máxima de déficit hídrico se representó como el mes con menor valor de SPEI del período. La intensidad media del período de déficit hídrico se calculó como el valor medio de SPEI del período.

3.3.1 CUENCA: ALTO PARAGUAY

En la Figura 3.5 se presenta un resumen de los valores medios mensuales y media anual de ETP y P para cada escenario considerado de ambas variables.

Sbc. A.Paraguay				
ETP (mm)	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	248	280	289	286
Feb	240	267	275	273
Mar	216	244	245	245
Abr	193	221	220	226
May	170	196	197	195
Jun	152	177	183	179
Jul	165	184	190	187
Ago	193	224	238	239
Sep	232	264	273	275
Oct	254	282	296	283
Nov	264	296	305	300
Dic	252	288	297	294
Anual	2579	2923	3008	2983

Sbc. A.Paraguay				
P (mm)	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	152	119	135	139
Feb	131	123	128	129
Mar	122	110	127	128
Abr	86	75	91	84
May	62	52	64	73
Jun	67	57	58	81
Jul	65	57	66	70
Ago	70	54	65	64
Sep	88	80	87	86
Oct	100	97	106	121
Nov	114	96	109	120
Dic	144	115	132	130
Anual	1201	1036	1167	1226

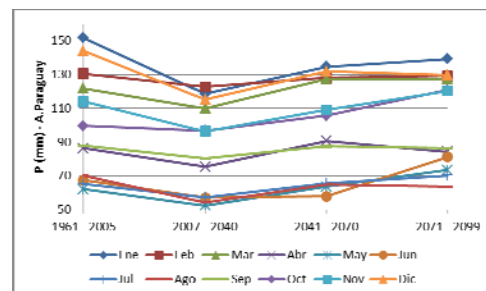
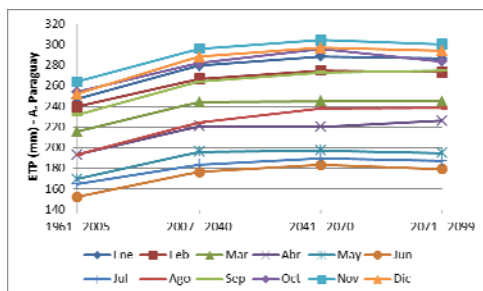


Figura 3.5: Cuenca Alto Paraguay. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.

En la Figura 3.6 se muestra la variación de ETP y P respecto del escenario de control en cada celda de 10 x 10 km analizada para cada escenario analizado, así como la variación media total para el conjunto de la subcuenca. En el escenario 2007 – 2040 se observa que la totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP y la mayor parte de la cuenca variaciones negativas de P. Este sería la situación que favorecería a la existencia de más períodos secos ya que ambas variables colaborarían en una disminución del recurso agua. En el escenario 2041 - 2070 la situación empeora para la variable ETP pero mejora respecto a la P por lo que el análisis con el índice SPEI ayudó a determinar la situación de períodos secos en este período. Por último en el escenario 2071 – 2099 la variación de la ETP se mantiene estable y la P mejora levemente. En conclusión se observa que a partir del escenario 2041 – 2070 la situación va mejorando a medida que se analizan los escenarios futuros a más largo plazo, principalmente con la variable P. Lo anterior muestra la utilidad de utilizar indicadores como el SPEI que tiene en cuenta variables con comportamientos contrapuestos en algunos casos en lo relativo al aumento o disminución de períodos secos.

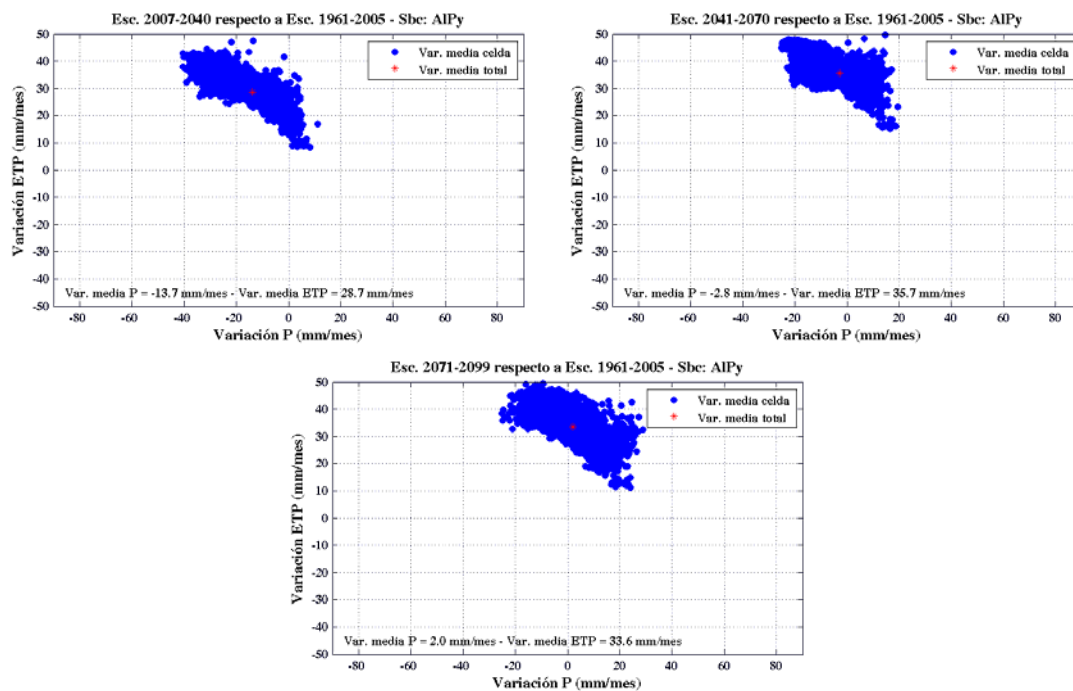


Figura 3.6: Cuenca Alto Paraguay. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.

3.3.1.1 SPEI (hipótesis 1)

En la Tabla 3.1 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI.

	Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 1			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	32	30	29	26
Nº Períodos secos / año	0.7	0.9	1.0	0.9
Duración media P.seco (meses)	3.6	2.8	2.9	3.3
Desviación estándar	3.9	3.5	2.6	2.2
Duración media entre P.secos (meses)	11.4	10.8	7.9	9.4
Desviación estándar	8.8	17.1	6.4	6.6
Magnitud media de P.seco (-)	3.5	2.9	2.7	3.2
Desviación estándar	4.0	3.0	2.2	2.0
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.4	-1.5	-1.4	-1.4
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.2	-1.0	-1.0
Desviación estándar	0.2	0.3	0.3	0.3

	Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 3			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	26	16	16	20
Nº Períodos secos / año	0.6	0.5	0.5	0.7
Duración media P.seco (meses)	5.6	6.5	5.3	4.3
Desviación estándar	4.7	4.4	3.5	2.2
Duración media entre P.secos (meses)	22.0	8.0	5.0	9.0
Desviación estándar	10.0	10.8	12.7	11.3
Magnitud media de P.seco (-)	5.1	5.8	4.9	4.2
Desviación estándar	6.0	4.8	3.6	2.8
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.3	-1.5	-1.3	-1.4
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.2	0.2	0.2	0.2

	Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 6			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	11	10	10	9
Nº Períodos secos / año	0.2	0.3	0.3	0.3
Duración media P.seco (meses)	11.7	12.9	8.9	8.0
Desviación estándar	11.0	10.7	5.3	6.3
Duración media entre P.secos (meses)	29.5	18.1	20.8	28.1
Desviación estándar	29.5	15.1	29.8	29.7
Magnitud media de P.seco (-)	10.7	10.9	8.3	7.8
Desviación estándar	12.6	9.9	5.7	7.5
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.4	-1.5	-1.4	-1.5
Desviación estándar	0.4	0.3	0.3	0.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.2

	Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 12			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	4	4	6	5
Nº Períodos secos / año	0.1	0.1	0.2	0.2
Duración media P.seco (meses)	46.3	40.3	14.5	19.2
Desviación estándar	43.6	34.2	11.4	11.8
Duración media entre P.secos (meses)	82.7	26.3	37.2	51.5
Desviación estándar	69.8	4.0	39.3	35.6
Magnitud media de P.seco (-)	42.4	33.4	15.0	19.7
Desviación estándar	40.7	35.4	13.9	15.9
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.7	-1.5	-1.6	-1.7
Desviación estándar	0.8	0.5	0.6	0.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0
Desviación estándar	0.6	0.2	0.3	0.3

Tabla 3.1: Cuenca Alto Paraguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

3.3.1.2 SPEI (hipótesis 2)

En la Tabla 3.2 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI. En la Tabla 3.3 se muestra el ratio de los valores medios de las características de los períodos con déficit hídrico de los escenarios futuros respecto al escenario de control (período 1961 – 2005).

	Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 1 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	32	32	41	37
Nº Períodos secos / año	0.7	0.9	1.4	1.3
Duración media P.seco (meses)	3.6	7.1	4.2	3.9
Desviación estándar	3.9	6.0	3.3	2.6
Magnitud media de P.seco (-)	3.5	7.8	5.0	4.5
Desviación estándar	4.0	6.8	4.0	2.8
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.2	-1.2	-1.2
Desviación estándar	0.2	0.3	0.3	0.3

	Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 3 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	26	15	21	24
Nº Períodos secos / año	0.6	0.4	0.7	0.8
Duración media P.seco (meses)	5.6	19.1	10.3	8.0
Desviación estándar	4.7	31.0	10.5	7.5
Magnitud media de P.seco (-)	5.0	21.6	11.9	8.8
Desviación estándar	6.0	34.7	11.7	8.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-1.0	-1.1	-1.1
Desviación estándar	0.2	0.3	0.2	0.2

	Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 6 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	12	7	12	12
Nº Períodos secos / año	0.3	0.2	0.4	0.4
Duración media P.seco (meses)	10.3	41.4	20.8	17.2
Desviación estándar	9.0	79.4	22.4	16.5
Magnitud media de P.seco (-)	20.1	55.6	24.9	20.1
Desviación estándar	21.2	112.3	29.7	21.2
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-1.1	-1.0	-1.1
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.2

	Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 12 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	4	1	3	7
Nº Períodos secos / año	0.1	0.0	0.1	0.2
Duración media P.seco (meses)	46.3	304.0	92.3	31.9
Desviación estándar	43.6	-	108.1	17.8
Magnitud media de P.seco (-)	41.6	518.0	131.3	42.1
Desviación estándar	40.6	-	178.2	28.0
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-1.7	-1.2	-1.3
Desviación estándar	0.6	-	0.4	0.4

Tabla 3.2: Cuenca Alto Paraguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 1 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	1.3	1.9	1.8
Duración media P.secos	2.0	1.2	1.1
Magnitud media P.secos	2.2	1.4	1.3
Media Intensidad media P.secos	1.1	1.2	1.2

Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 3 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.8	1.2	1.4
Duración media P.secos	3.4	1.9	1.4
Magnitud media P.secos	4.3	2.4	1.8
Media Intensidad media P.secos	1.2	1.3	1.3

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 6 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.8	1.5	1.6
Duración media P.secos	4.0	2.0	1.7
Magnitud media P.secos	2.8	1.2	1.0
Media Intensidad media P.secos	1.4	1.3	1.4

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 12 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.3	1.1	2.7
Duración media P.secos	6.6	2.0	0.7
Magnitud media P.secos	12.4	3.2	1.0
Media Intensidad media P.secos	2.0	1.4	1.5

Tabla 3.3: Cuenca Alto Paraguay. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).

3.3.1.3 Diagnóstico

En lo que respecta a la ETP y P se observa que aunque en el escenario 2007 – 2040 la totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP y la mayor parte de la cuenca variaciones negativas de P, la situación va mejorando a medida que se analizan los escenarios futuros a más largo plazo, principalmente con la variable P.

Se observa un aumento de los períodos secos, tanto en su duración, magnitud e intensidad media de los mismos. Lo mismo ocurre con la cobertura espacial de los períodos secos. En el período 2007 – 2040 es cuando se da la peor situación, mejorando paulatinamente pero sin llegar a los niveles del escenario de control.

3.3.2 CUENCA: ALTO PARANÁ

En la Figura 3.7 se presenta un resumen de los valores medios mensuales y media anual de ETP y P para cada escenario considerado de ambas variables.

Sbc. A.Paraná				
ETP	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	212	255	254	257
Feb	210	242	239	240
Mar	185	213	210	207
Abr	163	187	182	187
May	136	158	155	156
Jun	120	140	143	140
Jul	129	149	149	148
Ago	156	184	187	191
Sep	193	221	227	227
Oct	218	245	250	249
Nov	230	265	264	267
Dic	217	259	255	258
Anual	2169	2518	2513	2527

Sbc. A.Paraná				
P	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	227	154	182	180
Feb	173	141	161	169
Mar	154	134	152	170
Abr	102	97	116	106
May	89	77	101	117
Jun	100	85	94	132
Jul	108	100	117	131
Ago	122	94	126	121
Sep	146	132	141	153
Oct	164	155	187	186
Nov	185	148	188	187
Dic	222	160	215	198
Anual	1792	1477	1780	1848

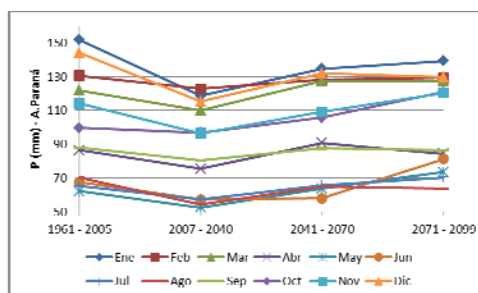
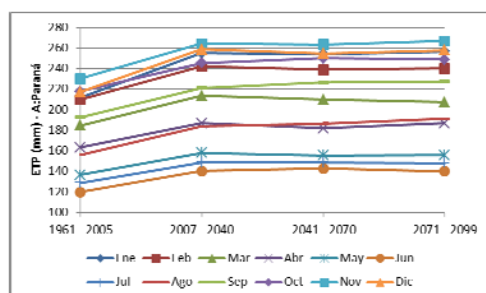


Figura 3.7: Cuenca Alto Paraná. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.

En la Figura 3.8 se muestra la variación de ETP y P respecto del escenario de control en cada celda y para cada escenario analizado, así como la variación media total para el conjunto de la cuenca. Es interesante observar la distribución y la gran amplitud de valores en la cuenca. En el escenario 2007 – 2040 se observa que la totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP y la mayor parte de la cuenca variaciones negativas de P. En el escenario 2041 - 2070 la situación se mantiene estable para la variable ETP y mejora significativamente respecto a la P aproximándose a los valores medios del período de control. Por último en el escenario 2071 – 2099 la variación de la ETP se mantiene estable y la P mejora levemente. Cabe destacar en esta cuenca la gran amplitud de valores de ETP y P presente en las diferentes celdas analizadas. Para un mismo escenario existen celdas donde la variación positiva de ETP es moderada y la variación positiva de P es muy importante, esperando por tanto un aumento del recurso hídrico, sin embargo en el mismo escenario, existen celdas con una variación positiva de ETP muy importante y una variación negativa de P. En este caso es de esperar una disminución del recurso hídrico. Lo anterior muestra que la subcuenca definida como unidad de estudio, en lo relativo al comportamiento de las variables ETP y P en diferentes escenarios climáticos, presenta una heterogeneidad espacial importante, por lo que los resultados agregados a nivel de subcuenca deben utilizarse con precaución si se quieren aplicar a una zona específica de la cuenca. En conclusión se observa que a partir del escenario 2041 – 2070 la situación va mejorando a medida que se analizan los escenarios futuros a más largo plazo, principalmente con la variable P, aunque con una alta heterogeneidad espacial.

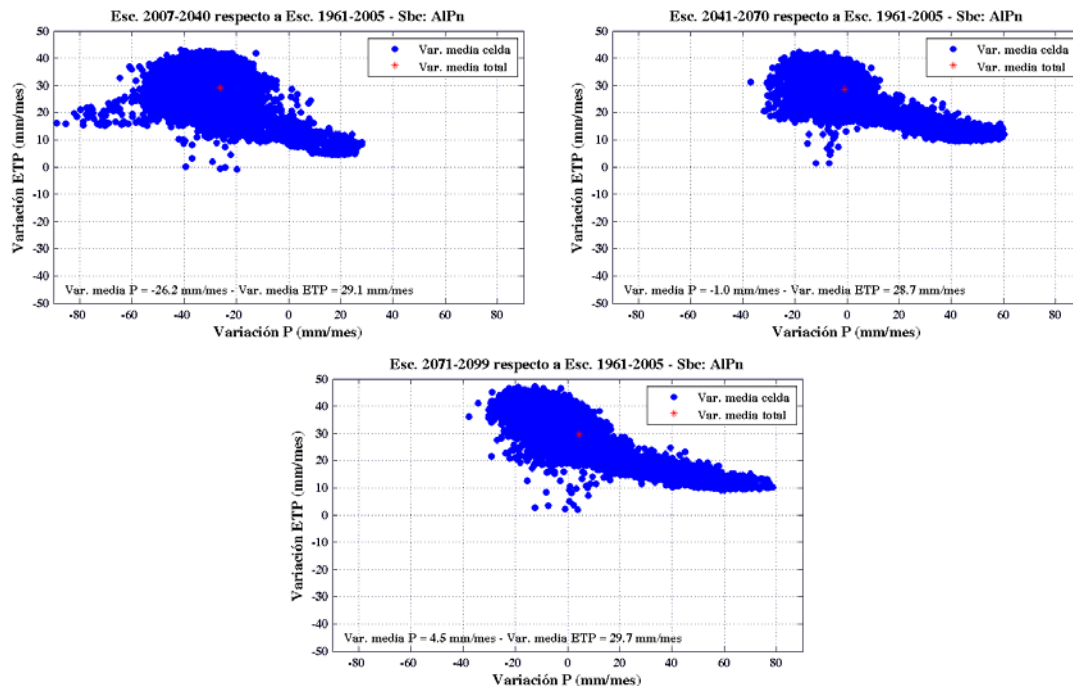


Figura 3.8: Cuenca Alto Paraná. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para

todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.

3.3.2.1 SPEI (hipótesis 1)

En la Tabla 3.4 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI.

	Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 1			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	29	30	26	22
Nº Períodos secos / año	0.6	0.9	0.9	0.8
Duración media P.seco (meses)	3.0	2.6	3.1	3.1
Desviación estándar	2.8	1.8	2.8	2.2
Duración media entre P.secos (meses)	13.5	11.0	9.8	12.4
Desviación estándar	15.4	17.7	13.6	8.8
Magnitud media de P.seco (-)	3.1	2.8	2.9	3.0
Desviación estándar	3.1	1.6	2.8	2.5
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.4	-1.5	-1.5	-1.4
Desviación estándar	0.3	0.4	0.4	0.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.2	-1.0	-1.0
Desviación estándar	0.3	0.4	0.3	0.4

	Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 3			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	12	14	10	11
Nº Períodos secos / año	0.3	0.4	0.3	0.4
Duración media P.seco (meses)	7.7	7.7	7.7	7.4
Desviación estándar	6.2	4.2	6.4	6.1
Duración media entre P.secos (meses)	28.0	10.1	24.9	25.2
Desviación estándar	36.0	7.1	32.2	16.6
Magnitud media de P.seco (-)	7.6	6.6	7.3	6.6
Desviación estándar	7.2	3.3	6.5	6.9
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.5	-1.4	-1.3
Desviación estándar	0.3	0.3	0.4	0.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.2	0.3	0.2	0.2

	Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 6			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	11	10	5	7
Nº Períodos secos / año	0.2	0.3	0.2	0.2
Duración media P.seco (meses)	14.4	12.4	17.0	12.1
Desviación estándar	13.8	11.2	12.6	6.3
Duración media entre P.secos (meses)	26.5	13.1	54.8	36.0
Desviación estándar	35.6	10.3	45.3	35.2
Magnitud media de P.seco (-)	12.1	10.8	16.6	11.9
Desviación estándar	12.2	9.0	13.5	9.3
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.4	-1.5	-1.6	-1.4
Desviación estándar	0.4	0.2	0.4	0.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.3	0.2	0.3	0.3

	Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 12			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	3	4	4	3
Nº Períodos secos / año	0.1	0.1	0.1	0.1
Duración media P.seco (meses)	57.0	44.8	25.8	31.0
Desviación estándar	47.8	33.3	18.4	34.4
Duración media entre P.secos (meses)	105.5	22.3	67.3	104.5
Desviación estándar	79.9	14.6	50.5	16.3
Magnitud media de P.seco (-)	54.9	36.3	26.5	33.8
Desviación estándar	44.0	27.0	20.4	37.2
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.9	-1.5	-1.7	-1.7
Desviación estándar	0.5	0.2	0.5	0.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-0.8	-1.0	-1.1
Desviación estándar	0.3	0.2	0.1	0.0

Tabla 3.4: Cuenca Alto Paraná. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

3.3.2.2 SPEI (hipótesis 2)

En la Tabla 3.5 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI. En la Tabla 3.6 se muestra el ratio de los valores medios de las características de los períodos con déficit hídrico de los escenarios futuros respecto al escenario de control (período 1961 – 2005).

	Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 1 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	29	36	37	34
Nº Períodos secos / año	0.6	1.1	1.2	1.2
Duración media P.seco (meses)	3.0	6.1	3.7	4.0
Desviación estándar	2.8	7.2	3.1	3.1
Magnitud media de P.seco (-)	3.1	7.1	4.1	4.6
Desviación estándar	3.1	8.4	3.7	3.9
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.3	-1.1	-1.2
Desviación estándar	0.3	0.5	0.3	0.4

	Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 3 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	0	0	0	0
Nº Períodos secos / año	0.0	0.0	0.0	0.0
Duración media P.seco (meses)	7.7	23.3	8.8	9.7
Desviación estándar	6.2	34.5	9.8	11.4
Magnitud media de P.seco (-)	7.6	27.2	9.5	10.9
Desviación estándar	7.2	43.8	12.2	12.8
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1
Desviación estándar	0.2	0.3	0.2	0.2

	Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 6 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	11	6	8	8
Nº Períodos secos / año	0.2	0.2	0.3	0.3
Duración media P.seco (meses)	14.4	47.0	22.5	18.5
Desviación estándar	13.8	54.4	19.0	17.7
Magnitud media de P.seco (-)	12.0	65.3	26.4	22.1
Desviación estándar	12.2	86.2	25.2	25.6
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-1.1	-1.1	-1.0
Desviación estándar	0.3	0.4	0.3	0.3

	Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 12 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	3	3	4	5
Nº Períodos secos / año	0.1	0.1	0.1	0.2
Duración media P.seco (meses)	57.0	100.3	45.8	29.2
Desviación estándar	47.8	160.8	61.5	31.1
Magnitud media de P.seco (-)	54.6	164.9	62.7	41.0
Desviación estándar	43.7	273.0	92.2	51.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.2	-1.2	-1.2
Desviación estándar	0.3	0.5	0.3	0.4

Tabla 3.5: Cuenca Alto Paraná. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 1 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	1.6	1.9	1.8
Duración media P.secos	2.0	1.2	1.3
Magnitud media P.secos	2.3	1.3	1.5
Media Intensidad media P.secos	1.2	1.1	1.1

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 3 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	1.3	2.3	1.8
Duración media P.secos	3.0	1.1	1.3
Magnitud media P.secos	3.6	1.2	1.4
Media Intensidad media P.secos	1.0	1.1	1.2

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 6 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.7	1.1	1.1
Duración media P.secos	3.3	1.6	1.3
Magnitud media P.secos	5.4	2.2	1.8
Media Intensidad media P.secos	1.4	1.3	1.3

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 12 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	1.3	2.0	2.6
Duración media P.secos	1.8	0.8	0.5
Magnitud media P.secos	3.0	1.1	0.8
Media Intensidad media P.secos	1.2	1.2	1.3

Tabla 3.6: Cuenca Alto Paraná. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).

3.3.2.3 Diagnóstico

En lo que respecta a la ETP y P se observa una gran amplitud de valores en la cuenca para cada uno de los escenarios. En el escenario 2007 – 2040 se observa que la totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP y la mayor parte de la cuenca variaciones negativas de P. En los escenarios restantes se mantiene estable la variable ETP y mejora significativamente respecto a la P aproximándose a los valores medios del período de control. Se observa por tanto que a partir del escenario 2041 – 2070 la situación va mejorando a medida que se analizan los escenarios futuros a más largo plazo, principalmente con la variable P, aunque con una alta heterogeneidad espacial.

Al igual que en la cuenca del Alto Paraguay, se observa un aumento de los períodos secos, tanto en su duración, magnitud e intensidad media de los mismos. Lo mismo ocurre con la cobertura espacial de los períodos secos. En

el período 2007 – 2040 es cuando se da la peor situación, mejorando paulatinamente pero sin llegar a los niveles del escenario de control.

3.3.3 CUENCA: BAJO PARAGUAY

En la Figura 3.9 se presenta un resumen de los valores medios mensuales y media anual de ETP y P para cada escenario considerado de ambas variables.

Sbc. B.Paraguay				
ETP	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	248	263	276	269
Feb	234	248	256	246
Mar	198	212	213	209
Abr	158	168	170	170
May	126	138	139	133
Jun	110	121	124	120
Jul	123	126	131	129
Ago	150	161	171	167
Sep	188	207	211	208
Oct	224	234	240	232
Nov	239	255	262	256
Dic	246	266	273	266
Anual	2243	2399	2466	2407

Sbc. B.Paraguay				
P	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	117	115	119	130
Feb	111	102	115	131
Mar	103	108	125	121
Abr	83	85	99	100
May	61	54	71	72
Jun	49	41	55	55
Jul	36	39	41	42
Ago	40	39	40	48
Sep	64	56	65	56
Oct	87	91	103	124
Nov	126	120	129	140
Dic	128	125	142	151
Anual	1005	975	1105	1170

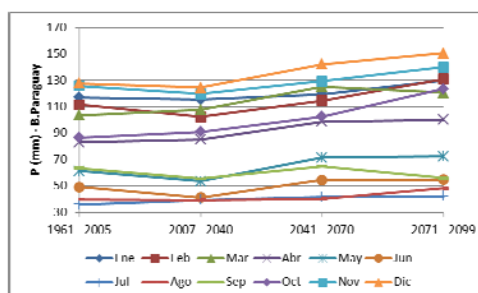
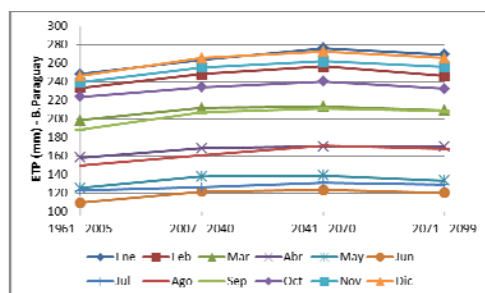


Figura 3.9: Cuenca Bajo Paraguay. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.

En la Figura 3.10 se muestra la variación de ETP y P respecto del escenario de control en cada celda para cada escenario analizado, así como la variación media total para el conjunto de la cuenca. En el escenario 2007 – 2040 se observa que la casi totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP mientras que las variaciones de P no tienen una tendencia marcada y depende de la celda analizada. En el escenario 2041 - 2070 la variación positiva de la ETP se acentúa mientras que la mayor parte de la cuenca presenta variaciones positivas de P. Por último en el escenario 2071 – 2099 la variación de la ETP aunque positiva va disminuyendo y la P continúa acentuando su variación positiva.

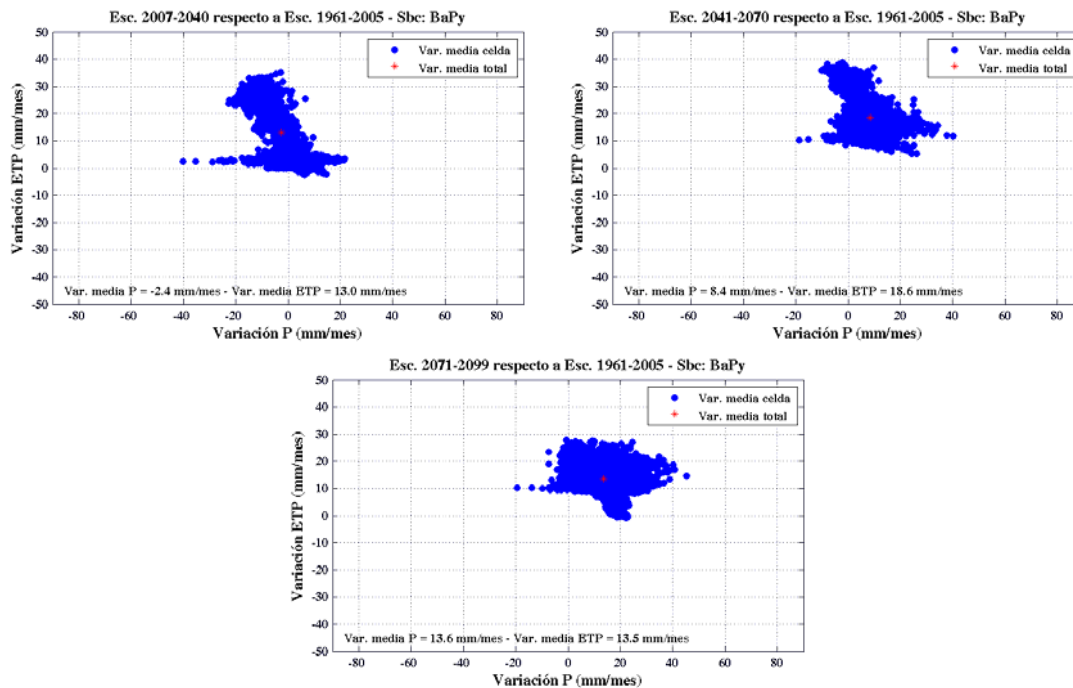


Figura 3.10: Cuenca Bajo Paraguay. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.

3.3.3.1 SPEI (hipótesis 1)

En la Tabla 3.7 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI.

	Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 1			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	22	22	20	15
Nº Períodos secos / año	0.5	0.6	0.7	0.5
Duración media P.seco (meses)	3.2	3.5	2.8	2.9
Desviación estándar	1.7	2.4	1.6	2.0
Duración media entre P.secos (meses)	17.7	11.4	13.5	20.7
Desviación estándar	12.9	11.5	10.0	15.8
Magnitud media de P.seco (-)	2.6	2.9	2.4	2.5
Desviación estándar	1.5	1.8	1.3	1.5
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.3	-1.3	-1.2	-1.3
Desviación estándar	0.2	0.3	0.2	0.2
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.9	-0.9	-1.0
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.3
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	13	12	10	10
Nº Períodos secos / año	0.3	0.4	0.3	0.3
Duración media P.seco (meses)	4.7	6.3	4.8	4.2
Desviación estándar	1.6	5.3	2.1	2.0
Duración media entre P.secos (meses)	31.5	20.3	22.2	23.7
Desviación estándar	23.1	20.7	26.0	21.3
Magnitud media de P.seco (-)	3.7	5.0	3.9	3.5
Desviación estándar	2.0	4.6	2.1	1.8
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.2	-1.3	-1.2	-1.2
Desviación estándar	0.2	0.2	0.2	0.2
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.2

	Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 6			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	11	8	8	6
Nº Períodos secos / año	0.2	0.2	0.3	0.2
Duración media P.seco (meses)	7.4	7.5	6.1	9.3
Desviación estándar	7.0	5.5	1.5	5.2
Duración media entre P.secos (meses)	35.6	34.1	18.1	40.4
Desviación estándar	38.3	43.1	21.1	10.9
Magnitud media de P.seco (-)	5.8	7.1	5.2	7.3
Desviación estándar	6.2	6.3	2.1	3.7
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.3	-1.3	-1.3	-1.4
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8
Desviación estándar	0.2	0.1	0.2	0.2

	Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 12			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	4	3	2	5
Nº Períodos secos / año	0.1	0.1	0.1	0.2
Duración media P.seco (meses)	19.0	24.0	29.0	17.2
Desviación estándar	8.9	13.0	11.3	10.1
Duración media entre P.secos (meses)	119.3	22.0	52.0	43.5
Desviación estándar	115.4	5.7		25.0
Magnitud media de P.seco (-)	16.1	24.2	26.2	12.9
Desviación estándar	11.5	21.9	6.8	8.3
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.6	-1.6	-1.6	-1.3
Desviación estándar	0.5	0.6	0.2	0.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8
Desviación estándar	0.3	0.4	0.1	0.2

Tabla 3.7: Cuenca Bajo Paraguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

3.3.3.2 SPEI (hipótesis 2)

En la Tabla 3.8 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI. En la Tabla 3.9 se muestra el ratio de los valores medios de las características de los períodos con déficit hídrico de los escenarios futuros respecto al escenario de control (período 1961 – 2005).

	Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 1 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	22	29	31	23
Nº Períodos secos / año	0.5	0.9	1.0	0.8
Duración media P.seco (meses)	3.2	4.1	3.3	3.0
Desviación estándar	1.7	3.6	1.9	2.1
Magnitud media de P.seco (-)	2.6	3.8	3.1	2.6
Desviación estándar	1.5	3.5	1.7	1.7
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0
Desviación estándar	0.3	0.2	0.3	0.3

	Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 3 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	13	20	21	13
Nº Períodos secos / año	0.3	0.6	0.7	0.4
Duración media P.seco (meses)	4.4	6.5	5.5	4.2
Desviación estándar	1.5	4.7	2.0	1.8
Magnitud media de P.seco (-)	3.7	6.3	4.8	3.7
Desviación estándar	1.9	5.3	2.3	1.9
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.0	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.8	0.2	0.2	0.3

	Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 6 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	11	12	17	9
Nº Períodos secos / año	0.2	0.4	0.6	0.3
Duración media P.seco (meses)	7.4	13.0	7.6	10.1
Desviación estándar	7.0	10.1	4.5	5.3
Magnitud media de P.seco (-)	5.7	13.1	7.0	7.9
Desviación estándar	6.1	12.3	4.8	3.9
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.7	-1.0	-0.9	-0.8
Desviación estándar	0.2	0.3	0.3	0.2

	Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 12 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	4	2	5	4
Nº Períodos secos / año	0.1	0.1	0.2	0.1
Duración media P.seco (meses)	17.8	135.0	42.0	17.3
Desviación estándar	7.8	62.2	42.7	11.4
Magnitud media de P.seco (-)	15.7	79.4	38.2	14.6
Desviación estándar	12.4	29.2	36.6	10.6
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-0.6	-0.9	-0.8
Desviación estándar	0.4	0.1	0.0	0.2

Tabla 3.8: Cuenca Bajo Paraguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 1 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	1.7	2.1	1.6
Duración media P.secos	1.3	1.0	0.9
Magnitud media P.secos	1.4	1.2	1.0
Media Intensidad media P.secos	1.1	1.2	1.1

Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 3 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	2.0	2.4	1.6
Duración media P.secos	1.5	1.2	1.0
Magnitud media P.secos	1.7	1.3	1.0
Media Intensidad media P.secos	0.9	0.9	0.9

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 6 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	1.4	2.3	1.3
Duración media P.secos	1.8	1.0	1.4
Magnitud media P.secos	2.3	1.2	1.4
Media Intensidad media P.secos	1.4	1.2	1.1

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Bajo Paraguay - SPEI 12 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.7	1.9	1.6
Duración media P.secos	7.6	2.4	1.0
Magnitud media P.secos	5.0	2.4	0.9
Media Intensidad media P.secos	0.8	1.2	1.1

Tabla 3.9: Cuenca Bajo Paraguay. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).

3.3.3.3 Diagnóstico

En lo que respecta a la variación de ETP y P se observa que para el escenario 2007 – 2040 la casi totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP mientras que las variaciones de P no tienen una tendencia marcada y depende de la celda analizada. Sin embargo para el resto de escenarios las variaciones positivas de ETP se estabilizan y en algún caso decrece y las variaciones positivas de P aumentan.

Los períodos secos aumentan considerablemente tanto en duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos para el período 2007 – 2040, pero sin llegar a los niveles de las cuencas de AIPy y AIPn. A partir del período 2041 – 2070 la situación va mejorando aunque no se alcanza la situación del período de control. La cobertura espacial también empieza a disminuir aunque se mantiene por encima de los niveles del período de control.

3.3.4 CUENCA: BAJO PARANÁ

En la Figura 3.11 se presenta un resumen de los valores medios mensuales y media anual de ETP y P para cada escenario considerado de ambas variables.

ETP	Sbc. B.Paraná			
	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	263	259	269	267
Feb	244	240	247	239
Mar	196	192	197	197
Abr	143	141	144	141
May	101	101	104	102
Jun	84	84	87	85
Jul	95	92	96	96
Ago	126	126	134	132
Sep	167	172	177	173
Oct	206	202	208	203
Nov	233	230	236	236
Dic	256	250	259	256
Anual	2113	2089	2158	2126

P	Sbc. B.Paraná			
	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	114	128	137	155
Feb	109	110	123	144
Mar	100	115	130	121
Abr	92	89	107	127
May	68	70	83	75
Jun	48	46	53	50
Jul	33	33	39	38
Ago	39	39	43	43
Sep	66	52	64	59
Oct	102	105	114	123
Nov	135	151	157	157
Dic	129	162	171	176
Anual	1032	1098	1220	1270

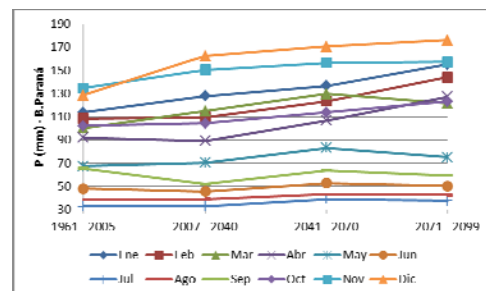
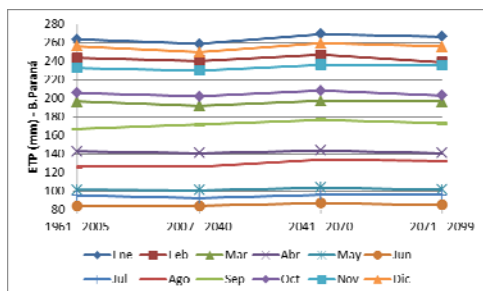


Figura 3.11: Cuenca Bajo Paraná. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.

En la Figura 3.12 se muestra la variación de ETP y P respecto del escenario de control en cada celda para cada escenario analizado, así como la variación media total para el conjunto de la cuenca. En el escenario 2007 – 2040 se observa que la ETP se mantiene estable en su valor medio y aumenta positivamente la variación de P. No obstante la variabilidad presente en la cuenca hace que se observen celdas con variaciones positivas y negativas de ambas variables. En el resto de escenarios la ETP continúa estable y la mayor parte de las celdas evoluciona positivamente en lo relativo a la P. Se podría concluir que a partir del escenario 2007 – 2040 las condiciones de las variables favorecerían el aumento del recurso hídrico mostrando variaciones positivas respecto al escenario de control.

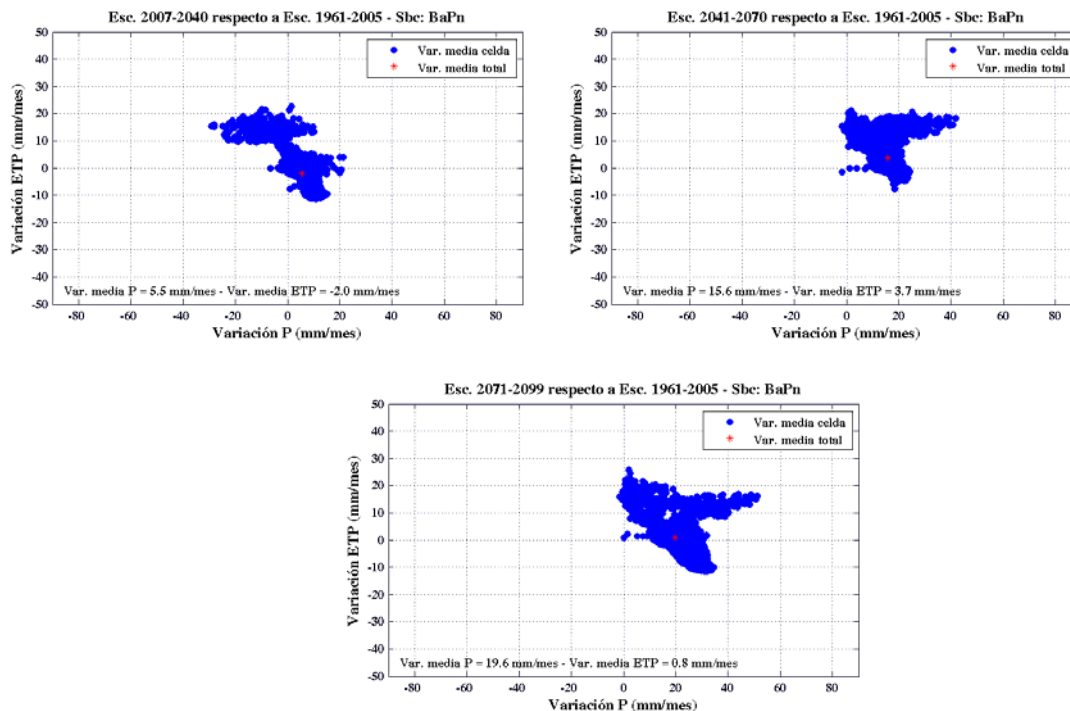


Figura 3.12: Cuenca Bajo Paraná. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.

3.3.4.1 SPEI (hipótesis 1)

En la Tabla 3.10 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI.

	Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 1			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	24	21	19	16
Nº Períodos secos / año	0.5	0.6	0.6	0.6
Duración media P.seco (meses)	2.9	3.3	2.4	2.8
Desviación estándar	1.3	1.9	1.3	1.6
Duración media entre P.secos (meses)	20.0	12.7	15.3	19.6
Desviación estándar	14.6	16.9	14.4	22.2
Magnitud media de P.seco (-)	2.6	2.8	2.1	2.2
Desviación estándar	1.1	1.7	1.2	1.0
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.4	-1.3	-1.3	-1.2
Desviación estándar	0.2	0.2	0.3	0.2
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.3

	Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 3			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	25	15	12	7
Nº Períodos secos / año	0.6	0.4	0.4	0.2
Duración media P.seco (meses)	4.0	4.3	4.2	5.0
Desviación estándar	1.2	1.7	2.1	1.6
Duración media entre P.secos (meses)	17.9	18.5	20.0	38.8
Desviación estándar	14.8	20.2	13.3	52.8
Magnitud media de P.seco (-)	3.7	4.1	3.8	4.5
Desviación estándar	1.5	2.1	2.3	1.6
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3
Desviación estándar	0.2	0.2	0.3	0.1
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.1

	Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 6			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	19	14	10	6
Nº Períodos secos / año	0.4	0.4	0.3	0.2
Duración media P.seco (meses)	5.2	6.4	6.6	8.0
Desviación estándar	0.9	3.2	4.1	4.6
Duración media entre P.secos (meses)	23.4	18.0	22.4	44.6
Desviación estándar	23.0	40.2	17.7	31.3
Magnitud media de P.seco (-)	5.0	5.7	5.8	7.2
Desviación estándar	1.8	2.8	4.9	4.4
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.3	-1.4	-1.2	-1.4
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.2
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.9	-0.8	-0.9
Desviación estándar	0.2	0.2	0.2	0.2

	Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 12			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	4	1	2	1
Nº Períodos secos / año	0.1	0.0	0.1	0.0
Duración media P.seco (meses)	21.0	92.0	17.5	30.0
Desviación estándar	13.1	-	4.9	-
Duración media entre P.secos (meses)	64.3	0.0	59.0	0.0
Desviación estándar	23.1	-	-	-
Magnitud media de P.seco (-)	16.2	78.3	21.3	26.0
Desviación estándar	10.0	-	8.9	-
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.4	-1.5	-1.7	-1.4
Desviación estándar	0.3	-	0.3	-
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.8	-0.9	-1.2	-0.9
Desviación estándar	0.2	-	0.2	-

Tabla 3.10: Cuenca Bajo Paraná. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

3.3.4.2 SPEI (hipótesis 2)

En la Tabla 3.11 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI. En la Tabla 3.12 se muestra el ratio de los valores medios de las características de los períodos con déficit hídrico de los escenarios futuros respecto al escenario de control (período 1961 – 2005).

	Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 1 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	24	17	17	6
Nº Períodos secos / año	0.5	0.5	0.6	0.2
Duración media P.seco (meses)	2.9	2.9	2.2	2.0
Desviación estándar	1.3	1.8	1.3	1.1
Magnitud media de P.seco (-)	2.6	2.6	2.0	1.6
Desviación estándar	1.1	1.6	1.1	0.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.3

	Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 3 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	25	11	8	2
Nº Períodos secos / año	0.6	0.3	0.3	0.1
Duración media P.seco (meses)	4.0	4.0	3.5	3.7
Desviación estándar	1.2	1.5	2.0	0.6
Magnitud media de P.seco (-)	3.7	3.8	3.3	3.0
Desviación estándar	1.5	1.9	2.0	0.7
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.1

	Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 6 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	19	9	5	2
Nº Períodos secos / año	0.4	0.3	0.2	0.1
Duración media P.seco (meses)	5.2	5.4	5.8	5.5
Desviación estándar	1.0	1.7	1.9	0.7
Magnitud media de P.seco (-)	5.0	5.3	5.2	4.7
Desviación estándar	1.8	2.7	2.8	0.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9
Desviación estándar	0.2	0.2	0.3	0.0

	Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 12 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	4	2	2	0
Nº Períodos secos / año	0.1	0.1	0.1	-
Duración media P.seco (meses)	21.0	38.5	11.5	-
Desviación estándar	13.1	37.5	4.9	-
Magnitud media de P.seco (-)	15.5	26.8	8.3	-
Desviación estándar	9.9	25.8	3.8	-
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.7	-0.7	-0.7	-
Desviación estándar	0.2	0.0	0.0	-

Tabla 3.11: Cuenca Bajo Paraná. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 1 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.9	1.1	0.4
Duración media P.secos	1.0	0.8	0.7
Magnitud media P.secos	1.0	0.8	0.6
Media Intensidad media P.secos	1.0	1.0	1.0

Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 3 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.6	0.5	0.1
Duración media P.secos	1.0	0.9	0.9
Magnitud media P.secos	1.0	0.9	0.8
Media Intensidad media P.secos	1.0	1.0	0.9

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 6 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.6	0.4	0.2
Duración media P.secos	1.1	1.1	1.1
Magnitud media P.secos	1.1	1.0	1.0
Media Intensidad media P.secos	1.0	0.9	0.9

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 12 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.7	0.8	0.0
Duración media P.secos	1.8	0.5	-
Magnitud media P.secos	1.7	0.5	-
Media Intensidad media P.secos	0.9	1.0	-

Tabla 3.12: Cuenca Bajo Paraná. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).

3.3.4.3 Diagnóstico

En términos medios se observa que la ETP se mantiene estable respecto al período de referencia y la variación de P aumenta de forma gradual hacia los períodos más lejanos en el tiempo. No obstante la variabilidad presente en la cuenca hace que se observe celdas con variaciones positivas y negativas de ambas variables.

En el escenario de control la cuenca BjPn presenta un clima normal a levemente húmedo presentando períodos secos puntuales de baja intensidad. En los escenarios futuros el clima se va tornando gradualmente más húmedo para los escenarios más lejanos en el tiempo, disminuyendo los períodos secos, su magnitud, intensidad y cobertura espacial de los mismos. Por lo tanto, los escenarios futuros presentarían mayores recursos hídricos que el escenario de control.

3.3.5 CUENCA: ALTO URUGUAY

En la Figura 3.13 se presenta un resumen de los valores medios mensuales y media anual de ETP y P para cada escenario considerado de ambas variables.

Sbc. A. Uruguay				
ETP	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	217	226	239	238
Feb	198	211	214	211
Mar	169	176	184	179
Abr	130	134	139	140
May	96	102	102	102
Jun	80	88	89	89
Jul	88	92	94	94
Ago	109	116	122	122
Sep	140	149	155	151
Oct	177	175	180	179
Nov	203	210	209	216
Dic	218	228	235	232
Anual	1825	1907	1962	1952

Sbc. A. Uruguay				
P	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	159	163	148	164
Feb	149	115	141	154
Mar	128	142	119	148
Abr	148	168	179	202
May	184	207	280	258
Jun	198	201	261	276
Jul	187	190	222	240
Ago	183	219	243	254
Sep	255	259	268	299
Oct	247	332	351	375
Nov	233	264	345	303
Dic	182	193	224	241
Anual	2254	2452	2781	2914

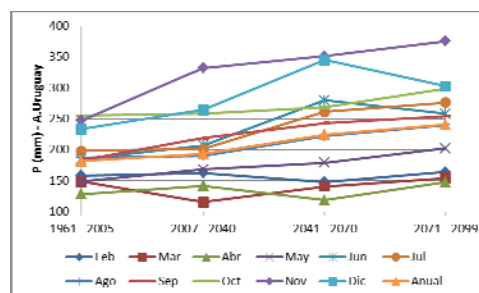
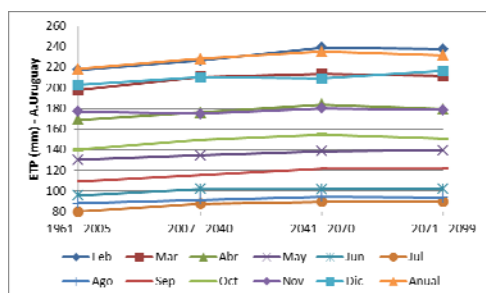


Figura 3.13: Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.

En la Figura 3.14 se muestra la variación de ETP y P respecto del escenario de control en cada celda para cada escenario analizado, así como la variación media total para el conjunto de la cuenca. En el escenario 2007 – 2040 se observa que la totalidad de la cuenca tiene variaciones leves positivas de ETP y la mayor parte de la cuenca fuertes variaciones positivas de P. En el resto de los escenarios la variación de ETP se mantiene estable y la variación positiva de P continúa aumentando fuertemente en la totalidad de las celdas.

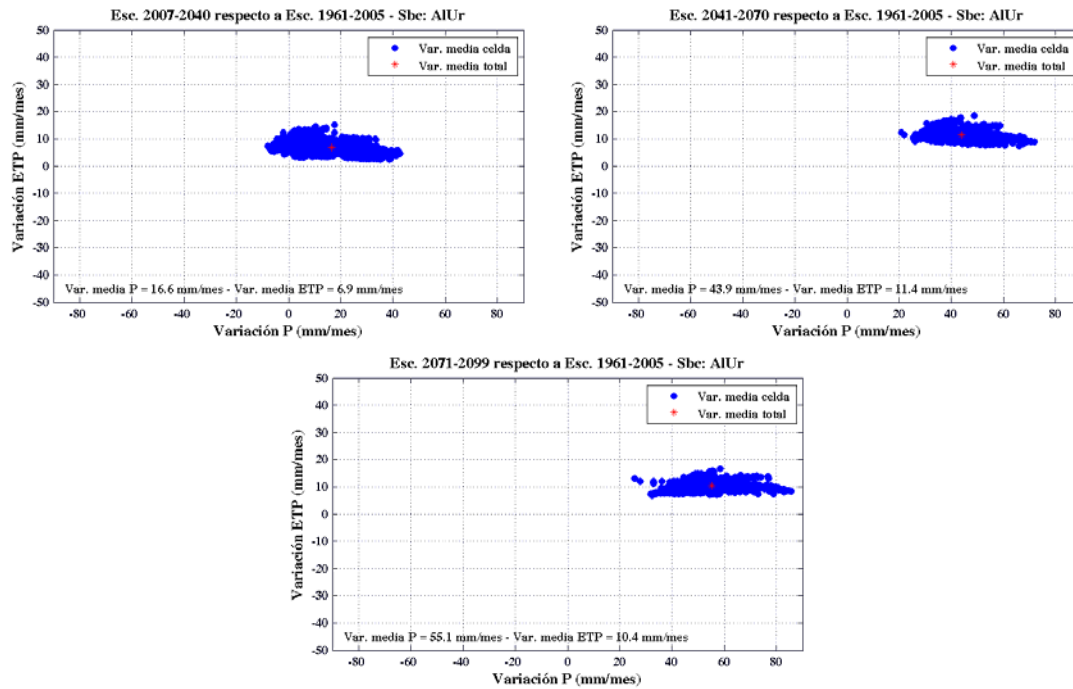


Figura 3.14: Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.

3.3.5.1 SPEI (hipótesis 1)

En la Tabla 3.13 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI.

	Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 1			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	48	33	29	30
Nº Períodos secos / año	1.1	1.0	1.0	1.0
Duración media P.seco (meses)	3.2	3.5	3.3	3.6
Desviación estándar	1.8	1.8	1.3	1.4
Duración media entre P.secos (meses)	8.3	9.2	9.1	7.9
Desviación estándar	4.6	4.7	2.9	1.7
Magnitud media de P.seco (-)	3.1	3.7	3.7	3.6
Desviación estándar	1.6	1.9	1.7	1.5
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.5	-1.6	-1.5
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.1	-1.1	-1.0
Desviación estándar	0.3	0.3	0.2	0.2

	Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 3			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	37	25	25	26
Nº Períodos secos / año	0.8	0.7	0.8	0.9
Duración media P.seco (meses)	4.1	5.0	4.3	4.4
Desviación estándar	1.4	4.1	3.0	2.7
Duración media entre P.secos (meses)	10.8	11.0	10.1	9.0
Desviación estándar	6.2	8.7	5.4	3.9
Magnitud media de P.seco (-)	4.4	5.1	4.7	4.5
Desviación estándar	1.9	4.4	3.1	3.1
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.5	-1.5	-1.4
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.0	-1.1	-1.0
Desviación estándar	0.2	0.2	0.2	0.2

	Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 6			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	30	15	17	18
Nº Períodos secos / año	0.7	0.4	0.6	0.6
Duración media P.seco (meses)	4.9	7.1	5.5	5.4
Desviación estándar	1.7	5.4	3.1	3.4
Duración media entre P.secos (meses)	12.8	20.1	14.6	13.0
Desviación estándar	8.3	16.0	15.4	8.6
Magnitud media de P.seco (-)	5.1	7.7	6.0	5.6
Desviación estándar	2.6	6.9	4.7	4.7
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.6	-1.5	-1.5
Desviación estándar	0.3	0.4	0.4	0.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Desviación estándar	0.2	0.3	0.2	0.2

	Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 12			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	10	7	5	5
Nº Períodos secos / año	0.2	0.2	0.2	0.2
Duración media P.seco (meses)	12.4	16.6	18.6	16.4
Desviación estándar	4.7	17.6	11.3	6.1
Duración media entre P.secos (meses)	46.2	39.0	60.3	51.8
Desviación estándar	33.0	36.4	48.4	38.5
Magnitud media de P.seco (-)	12.9	18.1	21.3	17.6
Desviación estándar	6.7	22.7	16.0	12.8
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.3	-1.6	-1.5
Desviación estándar	0.3	0.4	0.4	0.6
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-0.9	-1.1	-1.0
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.5

Tabla 3.13: Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

3.3.5.2 SPEI (hipótesis 2)

En la Tabla 3.14 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI. En la Tabla 3.15 se muestra el ratio de los valores medios de las características de los períodos con déficit hídrico de los escenarios futuros respecto al escenario de control (período 1961 – 2005).

	Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 1 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	48	34	32	29
Nº Períodos secos / año	1.1	1.0	1.1	1.0
Duración media P.seco (meses)	3.2	3.1	3.0	2.7
Desviación estándar	1.8	1.7	1.4	1.4
Magnitud media de P.seco (-)	3.1	3.9	3.7	3.0
Desviación estándar	1.6	2.2	2.1	1.6
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.2	-1.2	-1.1
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.3

	Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 3 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	37	26	26	21
Nº Períodos secos / año	0.8	0.8	0.9	0.7
Duración media P.seco (meses)	4.1	4.3	3.3	3.2
Desviación estándar	1.4	3.1	1.1	1.2
Magnitud media de P.seco (-)	4.4	5.3	4.4	3.8
Desviación estándar	1.9	4.2	2.1	1.9
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.2	-1.3	-1.2
Desviación estándar	0.2	0.3	0.3	0.2

	Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 6 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	31	15	15	13
Nº Períodos secos / año	0.7	0.4	0.5	0.4
Duración media P.seco (meses)	4.9	7.1	4.7	3.2
Desviación estándar	1.7	5.3	3.1	1.6
Magnitud media de P.seco (-)	5.0	8.9	5.2	3.5
Desviación estándar	2.6	7.7	4.4	2.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.2	-1.1	-1.1
Desviación estándar	0.2	0.3	0.2	0.3

	Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 12 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	10	6	2	1
Nº Períodos secos / año	0.2	0.2	0.1	0.0
Duración media P.seco (meses)	13.4	17.8	14.0	12.0
Desviación estándar	6.9	18.1	5.7	-
Magnitud media de P.seco (-)	13.2	25.9	17.0	17.6
Desviación estándar	8.3	31.5	16.1	-
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-1.2	-1.1	-1.5
Desviación estándar	0.3	0.4	0.7	-

Tabla 3.14: Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 1 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.9	1.0	0.9
Duración media P.secos	1.0	0.9	0.9
Magnitud media P.secos	1.2	1.2	1.0
Media Intensidad media P.secos	1.1	1.1	1.0

Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 3 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.9	1.1	0.9
Duración media P.secos	1.0	0.8	0.8
Magnitud media P.secos	1.2	1.0	0.9
Media Intensidad media P.secos	1.1	1.2	1.1

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 6 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.6	0.7	0.7
Duración media P.secos	1.5	1.0	0.7
Magnitud media P.secos	1.8	1.1	0.7
Media Intensidad media P.secos	1.2	1.1	1.1

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Alto Uruguay - SPEI 12 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.8	0.3	0.2
Duración media P.secos	1.3	1.0	0.9
Magnitud media P.secos	2.0	1.3	1.3
Media Intensidad media P.secos	1.3	1.1	1.6

Tabla 3.15: Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).

3.3.5.3 Diagnóstico

En lo que respecta a la variación de ETP y P se observa una pequeña variación positiva de ETP que se mantiene estable entre los escenarios futuros y un fuerte aumento positivo de la variación de P a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo.

El clima en el escenario 1961 – 2005 alterna períodos secos y húmedos. En el escenario 2007 – 2040 se observan menos períodos secos aunque con mayor duración e intensidad. A partir del escenario 2041 – 2070 predomina el clima húmedo disminuyendo la cantidad de períodos secos, su duración, intensidad y cobertura. Esta subcuenca es la que más mejora la situación respecto a los recursos hídricos.

3.3.6 CUENCA: BAJO URUGUAY

En la Figura 3.15 se presenta un resumen de los valores medios mensuales y media anual de ETP y P para cada escenario considerado de ambas variables.

Sbc. B. Uruguay				
ETP	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	240	234	247	244
Feb	218	218	226	221
Mar	177	172	181	180
Abr	124	122	127	124
May	83	84	86	86
Jun	67	69	71	70
Jul	76	75	78	79
Ago	101	101	108	109
Sep	134	138	143	143
Oct	169	165	173	173
Nov	201	194	202	206
Dic	229	221	232	230
Anual	1820	1794	1874	1863

Sbc. B. Uruguay				
P	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	131	151	155	185
Feb	124	122	128	159
Mar	111	137	126	149
Abr	131	134	144	178
May	143	153	171	147
Jun	123	128	149	141
Jul	102	87	111	108
Ago	101	110	120	107
Sep	138	138	142	135
Oct	176	193	202	200
Nov	181	234	228	227
Dic	149	198	204	226
Anual	1609	1787	1878	1961

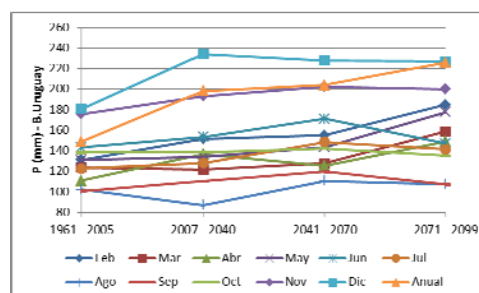
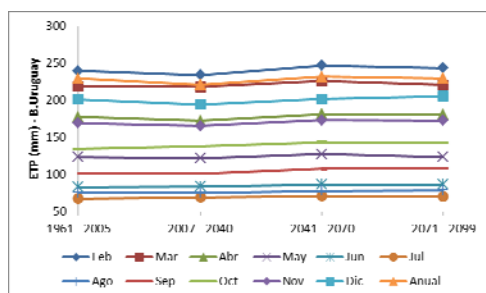


Figura 3.15: Cuenca: Bajo Uruguay. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.

En la Figura 3.16 se muestra la variación de ETP y P respecto del escenario de control en cada celda para cada escenario analizado, así como la variación media total para el conjunto de la cuenca. En la totalidad de los escenarios se observa una estabilidad de la ETP y un gradual aumento de la variación positiva de la P hacia los escenarios más lejanos en el tiempo. La combinación de estas variables aseguraría una mejora de las condiciones climáticas en lo relativo al recurso hídrico.

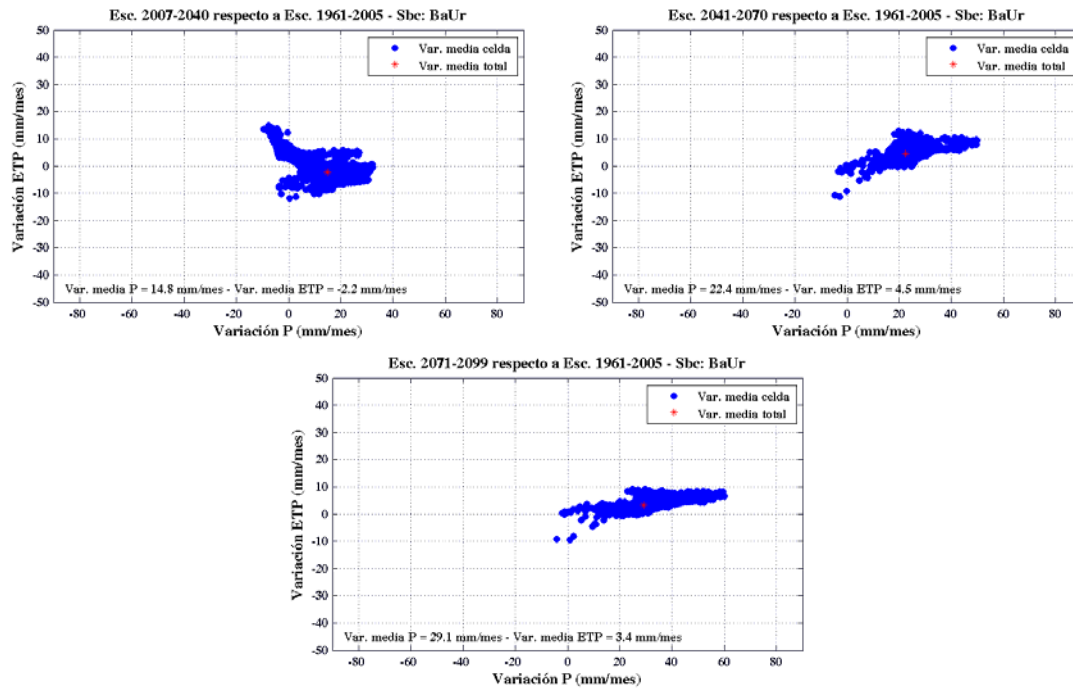


Figura 3.16: Cuenca Bajo Uruguay. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.

3.3.6.1 SPEI (hipótesis 1)

En la Tabla 3.16 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI.

	Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 1			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	40	31	32	23
Nº Períodos secos / año	0.9	0.9	1.1	0.8
Duración media P.seco (meses)	3.1	3.2	2.6	2.4
Desviación estándar	1.4	1.5	1.5	1.3
Duración media entre P.secos (meses)	10.6	9.6	8.9	12.3
Desviación estándar	7.4	5.9	3.7	8.6
Magnitud media de P.seco (-)	3.4	3.3	2.8	2.9
Desviación estándar	1.6	1.4	1.5	1.6
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.6	-1.5	-1.6
Desviación estándar	0.3	0.3	0.2	0.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.1	-1.1	-1.3
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.4

	Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 3			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	35	24	24	20
Nº Períodos secos / año	0.8	0.7	0.8	0.7
Duración media P.seco (meses)	3.8	3.8	3.4	3.5
Desviación estándar	1.5	1.6	1.2	1.2
Duración media entre P.secos (meses)	11.9	12.8	11.7	13.5
Desviación estándar	8.1	7.6	7.9	10.1
Magnitud media de P.seco (-)	4.2	4.2	3.9	4.1
Desviación estándar	2.1	1.8	1.8	2.0
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
Desviación estándar	0.3	0.3	0.2	0.3

	Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 6			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	26	18	13	12
Nº Períodos secos / año	0.6	0.5	0.4	0.4
Duración media P.seco (meses)	5.3	5.5	6.2	6.3
Desviación estándar	2.4	1.7	1.1	3.4
Duración media entre P.secos (meses)	15.6	14.2	16.6	15.5
Desviación estándar	14.3	13.1	15.7	15.3
Magnitud media de P.seco (-)	5.5	5.5	6.4	6.7
Desviación estándar	3.2	2.5	2.3	4.6
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.5	-1.6	-1.5
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Desviación estándar	0.2	0.2	0.3	0.2

	Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 12			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	8	7	6	4
Nº Períodos secos / año	0.2	0.2	0.2	0.1
Duración media P.seco (meses)	14.4	17.3	12.8	18.3
Desviación estándar	11.3	10.3	6.3	4.0
Duración media entre P.secos (meses)	59.1	30.5	34.2	52.7
Desviación estándar	59.9	21.7	19.4	33.9
Magnitud media de P.seco (-)	14.9	14.1	11.8	19.8
Desviación estándar	16.5	10.1	6.2	5.0
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.3	-1.4	-1.7
Desviación estándar	0.4	0.2	0.3	0.2
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.8	-0.9	-1.1
Desviación estándar	0.3	0.2	0.3	0.2

Tabla 3.16: Cuenca Bajo Uruguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

3.3.6.2 SPEI (hipótesis 2)

En la Tabla 3.17 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI. En la Tabla 3.18 se muestra el ratio de los valores medios de las características de los períodos con déficit hídrico de los escenarios futuros respecto al escenario de control (período 1961 – 2005).

	Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 1 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	40	30	30	18
Nº Períodos secos / año	0.9	0.9	1.0	0.6
Duración media P.seco (meses)	3.1	2.4	2.5	2.1
Desviación estándar	1.4	1.1	1.4	1.1
Magnitud media de P.seco (-)	3.4	2.4	2.5	2.6
Desviación estándar	1.6	1.1	1.4	1.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.0	-1.1	-1.3
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.4

	Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 3 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	35	17	18	14
Nº Períodos secos / año	0.8	0.5	0.6	0.5
Duración media P.seco (meses)	3.8	3.3	3.4	3.1
Desviación estándar	1.5	1.2	1.1	0.8
Magnitud media de P.seco (-)	4.2	3.4	3.5	2.8
Desviación estándar	2.1	1.4	1.4	1.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.0	-1.0	-0.9
Desviación estándar	0.3	0.2	0.2	0.3

	Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 6 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	26	10	10	4
Nº Períodos secos / año	0.6	0.3	0.3	0.1
Duración media P.seco (meses)	5.3	4.5	4.5	4.3
Desviación estándar	2.4	1.6	1.1	1.5
Magnitud media de P.seco (-)	5.5	3.8	4.4	4.2
Desviación estándar	3.2	1.8	1.5	2.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-0.8	-1.0	-0.9
Desviación estándar	0.2	0.1	0.2	0.2

	Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 12 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	8	2	1	1
Nº Períodos secos / año	0.2	0.1	0.0	0.0
Duración media P.seco (meses)	14.4	5.0	11.0	11.0
Desviación estándar	11.3	1.4	-	-
Magnitud media de P.seco (-)	14.9	3.1	7.0	8.4
Desviación estándar	16.5	1.0	-	-
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.6	-0.6	-0.8
Desviación estándar	0.3	0.0	-	-

Tabla 3.17: Cuenca Bajo Uruguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 1 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	1.0	1.1	0.7
Duración media P.secos	0.8	0.8	0.7
Magnitud media P.secos	0.7	0.7	0.8
Media Intensidad media P.secos	0.9	1.0	1.1

Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 3 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.6	0.8	0.6
Duración media P.secos	0.9	0.9	0.8
Magnitud media P.secos	0.8	0.8	0.7
Media Intensidad media P.secos	0.9	0.9	0.8

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 6 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.5	0.6	0.2
Duración media P.secos	0.8	0.8	0.8
Magnitud media P.secos	0.7	0.8	0.8
Media Intensidad media P.secos	0.8	1.0	0.9

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Bajo Uruguay - SPEI 12 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.3	0.2	0.2
Duración media P.secos	0.3	0.8	0.8
Magnitud media P.secos	0.2	0.5	0.6
Media Intensidad media P.secos	0.7	0.7	0.8

Tabla 3.18: Cuenca Bajo Uruguay. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).

3.3.6.3 Diagnóstico

En esta cuenca la señal es clara indicando un aumento de los recursos hídricos a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo. La ETP se mantiene estable en términos medios mientras que la P aumenta de forma continua respecto al escenario de control. Los períodos secos disminuyen tanto en cantidad, duración, intensidad como en cobertura espacial.

3.3.7 CUENCA: DEL RÍO DE LA PLATA

En la Figura 3.17 se presenta un resumen de los valores medios mensuales y media anual de ETP y P para cada escenario considerado de ambas variables.

Sbc. C.Plata				
ETP	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	246	230	245	245
Feb	223	208	229	223
Mar	173	161	173	172
Abr	118	111	118	115
May	78	73	79	78
Jun	61	57	61	61
Jul	67	64	68	70
Ago	95	89	95	95
Sep	126	124	131	132
Oct	159	155	167	165
Nov	198	189	206	204
Dic	234	216	237	236
Anual	1780	1676	1809	1797

Sbc. C.Plata				
P	1961 - 2005	2007 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2099
Ene	120	158	158	167
Feb	120	128	126	126
Mar	107	127	115	120
Abr	103	107	109	122
May	78	90	90	87
Jun	60	70	75	69
Jul	52	51	59	52
Ago	53	58	71	64
Sep	84	82	84	76
Oct	121	117	111	117
Nov	122	144	119	136
Dic	119	171	164	157
Anual	1138	1303	1279	1294

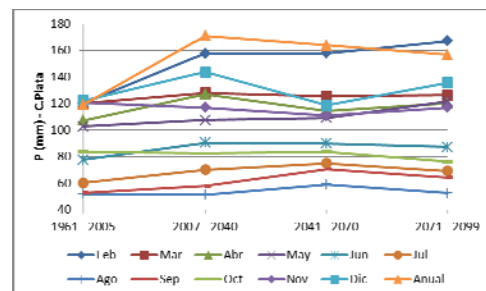
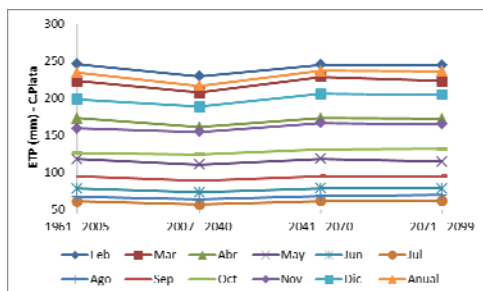


Figura 3.17: Cuenca del Río de la Plata: Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.

En la Figura 3.18 se muestra la variación de ETP y P respecto del escenario de control en cada celda para cada escenario analizado, así como la variación media total para el conjunto de la cuenca. En el escenario 2007 – 2040 se observa una variación negativa de la ETP y una variación positiva de la P. Esta combinación es la óptima desde el punto de vista del aumento del recurso hídrico, aunque en este caso la disminución de la ETP y el aumento de la P son moderadas en valores medios. En el resto de los escenarios la ETP se mantiene en los valores del escenario de control y la variación positiva de P se mantiene estable. No se observa el progresivo aumento de P que sí se observa en otras cuencas.

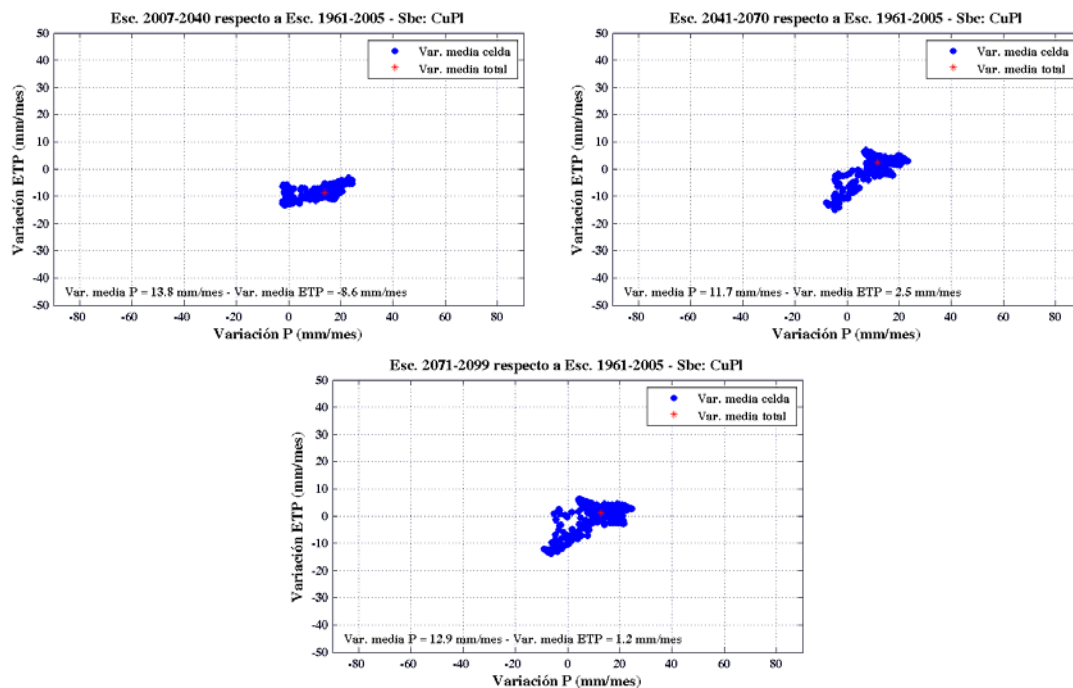


Figura 3.18: Cuenca del Río de la Plata: Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.

3.3.7.1 SPEI (hipótesis 1)

En la Tabla 3.19 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI.

	Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 1			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	40	27	25	23
Nº Períodos secos / año	0.9	0.8	0.8	0.8
Duración media P.seco (meses)	3.1	2.7	3.2	2.7
Desviación estándar	1.5	1.5	1.6	1.6
Duración media entre P.secos (meses)	10.6	11.2	11.2	12.1
Desviación estándar	6.1	9.1	9.9	6.4
Magnitud media de P.seco (-)	3.3	3.1	3.4	3.1
Desviación estándar	1.7	1.9	1.5	2.1
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.5	-1.6	-1.5
Desviación estándar	0.3	0.4	0.3	0.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.2	-1.1	-1.1
Desviación estándar	0.3	0.3	0.3	0.2

	Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 3			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	29	18	21	15
Nº Períodos secos / año	0.6	0.5	0.7	0.5
Duración media P.seco (meses)	4.7	3.9	4.2	4.2
Desviación estándar	2.7	1.3	1.6	1.8
Duración media entre P.secos (meses)	13.8	16.4	13.0	16.4
Desviación estándar	13.4	16.4	10.1	11.8
Magnitud media de P.seco (-)	4.9	4.5	4.5	5.0
Desviación estándar	2.8	2.3	2.1	2.7
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.6	-1.5	-1.6
Desviación estándar	0.3	0.4	0.3	0.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2
Desviación estándar	0.3	0.3	0.2	0.2

	Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 6			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	20	15	17	15
Nº Períodos secos / año	0.4	0.4	0.6	0.5
Duración media P.seco (meses)	6.6	6.5	5.6	6.3
Desviación estándar	3.0	2.8	1.7	4.0
Duración media entre P.secos (meses)	20.0	18.3	14.7	15.1
Desviación estándar	24.0	21.2	12.6	10.9
Magnitud media de P.seco (-)	7.0	6.7	5.8	6.5
Desviación estándar	3.7	4.1	2.8	5.2
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.5	-1.4	-1.4
Desviación estándar	0.3	0.4	0.3	0.4
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Desviación estándar	0.2	0.3	0.2	0.3

	Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 12			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	6	6	4	4
Nº Períodos secos / año	0.1	0.2	0.1	0.1
Duración media P.seco (meses)	26.0	17.0	26.0	17.0
Desviación estándar	16.9	7.6	13.3	10.2
Duración media entre P.secos (meses)	60.2	40.8	60.7	34.0
Desviación estándar	31.4	26.9	79.1	15.7
Magnitud media de P.seco (-)	24.3	15.3	24.4	20.2
Desviación estándar	18.9	8.9	14.6	14.2
Media Intensidad máxima de P.seco (-)	-1.5	-1.5	-1.4	-1.7
Desviación estándar	0.4	0.4	0.2	0.5
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-0.9	-0.9	-1.1
Desviación estándar	0.3	0.4	0.2	0.3

Tabla 3.19: Cuenca del Río de la Plata: Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

3.3.7.2 SPEI (hipótesis 2)

En la Tabla 3.20 se muestra los valores medios con su desviación estándar, comparando los diferentes escenarios climáticos para cada escala temporal de SPEI. En la Tabla 3.21 se muestra el ratio de los valores medios de las características de los períodos con déficit hídrico de los escenarios futuros respecto al escenario de control (período 1961 – 2005).

	Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 1 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	41	16	26	21
Nº Períodos secos / año	0.9	0.5	0.9	0.7
Duración media P.seco (meses)	3.1	2.3	2.6	2.5
Desviación estándar	1.5	1.4	1.5	1.4
Magnitud media de P.seco (-)	3.3	2.5	2.8	2.8
Desviación estándar	1.7	1.5	1.3	1.8
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.1	-1.1	-1.2	-1.1
Desviación estándar	0.3	0.2	0.4	0.2

	Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 3 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	29	9	18	14
Nº Períodos secos / año	0.6	0.3	0.6	0.5
Duración media P.seco (meses)	4.7	3.6	4.0	3.8
Desviación estándar	2.7	1.0	1.5	1.3
Magnitud media de P.seco (-)	4.9	3.8	4.2	4.0
Desviación estándar	2.8	1.9	1.8	2.3
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Desviación estándar	0.3	0.3	0.2	0.3

	Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 6 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	20	6	13	10
Nº Períodos secos / año	0.4	0.2	0.4	0.3
Duración media P.seco (meses)	6.6	5.2	5.4	5.6
Desviación estándar	3.0	1.3	1.3	1.1
Magnitud media de P.seco (-)	7.0	4.8	5.5	5.8
Desviación estándar	3.7	2.7	2.0	2.7
Media Intensidad media de P.seco (-)	-1.0	-0.9	-1.0	-1.0
Desviación estándar	0.2	0.3	0.2	0.3

	Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 12 - EC			
	1961-2005	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº meses analizados	540	408	360	347
Nº total Período seco	6	1	3	3
Nº Períodos secos / año	0.1	0.0	0.1	0.1
Duración media P.seco (meses)	26.0	11.0	17.3	16.3
Desviación estándar	16.9	-	14.7	8.7
Magnitud media de P.seco (-)	24.3	14.1	15.2	16.5
Desviación estándar	18.9	-	15.1	7.8
Media Intensidad media de P.seco (-)	-0.9	-1.3	-0.8	-1.0
Desviación estándar	0.3	-	0.2	0.1

Tabla 3.20: Cuenca del Río de la Plata: Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.

Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 1 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.5	1.0	0.8
Duración media P.secos	0.7	0.8	0.8
Magnitud media P.secos	0.7	0.8	0.8
Media Intensidad media P.secos	1.0	1.1	1.0

Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 3 - EC	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.4	0.9	0.8
Duración media P.secos	0.8	0.9	0.8
Magnitud media P.secos	0.8	0.9	0.8
Media Intensidad media P.secos	1.0	1.0	1.0

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 6 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.4	1.0	0.8
Duración media P.secos	0.8	0.8	0.9
Magnitud media P.secos	0.7	0.8	0.8
Media Intensidad media P.secos	0.8	1.0	1.0

	Ratio: Esc. Futuro / Esc. Control		
Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 12 - EC	2007-2040	2041-2070	2071-2099
Nº P.secos / año	0.2	0.8	0.8
Duración media P.secos	0.4	0.7	0.6
Magnitud media P.secos	0.6	0.6	0.7
Media Intensidad media P.secos	1.5	0.9	1.2

Tabla 3.21: Cuenca del Río de la Plata: Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).

3.3.7.3 Diagnóstico

En lo que respecta a la variación de ETP y P se observa en el escenario 2007 – 2040 una variación negativa de la ETP y una variación positiva de la P. En el resto de los escenarios la ETP se mantiene en los valores del escenario de control y la variación positiva de P se mantiene estable.

El escenario 1991 – 2005 se caracteriza por la alternancia de períodos secos y húmedos. En el escenario 2007 – 2040 se observa una fuerte disminución de los períodos secos, su duración, magnitud así como la cobertura espacial de los mismos. En el resto de escenarios, aunque con una predominancia de clima normal a húmedo, se observan períodos secos puntuales. En todos los casos los períodos secos son menores a los observados en el escenario de control.

4 CONCLUSIONES

En este estudio se han caracterizado los períodos de déficit hídrico en la Cuenca del Plata, a nivel de siete macro-subcuencas, utilizando como base el índice SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) y a través del análisis de la evapotranspiración potencial (ETP) y la precipitación (P) a escala mensual. Lo anterior se ha realizado para el escenario actual (1961 – 2005) y los escenarios futuros que abarca los períodos 2007 - 2040, 2041 – 2070 y 2071 – 2099.

En lo que respecta a la ETP se observó un gradiente negativo espacial norte – sur. El comportamiento temporal de la ETP comenzando por el escenario actual hacia escenarios futuros tiene un gradiente positivo para las subcuencas Alto Paraguay (AlPy), Alto Paraná (AlPn) y Bajo Paraguay (BjPy) y estable para las restantes. En lo que respecta a la P no hay un patrón espacial definido. En cuanto al comportamiento temporal, la P es estable para las cuencas de AlPy, AlPn y BjPy (incluso con disminución en el escenario 2007 – 2040) y con un gradiente positivo en las restantes subcuencas.

Se analizaron dos hipótesis de trabajo, en la hipótesis 1 el cálculo de SPEI se realizó a partir de las series de cada uno de los escenarios. Bajo esta hipótesis se observó que en el escenario 1961-2005 el comportamiento es similar en las cuencas de AlPy, AlPn y BjPy donde los períodos secos o húmedos coinciden en el tiempo entre estas cuencas, siendo en la cuenca de AlPy y AlPn de mayor intensidad. Por otra parte las cuencas de AlUr, BjUr y CuPl también tienen un comportamiento homogéneo en el tiempo. Mientras que en el primer grupo de cuencas se observan largos períodos de déficit seguidos de largos períodos de exceso hídrico, en las cuencas del segundo grupo los ciclos de déficit y exceso son más cortos. La cuenca del BjPn tiene un comportamiento intermedio. Asimismo, se observó que en un mismo año algunas cuencas tienen períodos secos mientras que otras tienen períodos húmedos. En el escenario 2007-2040 las cuencas de AlPy y AlPn tienen un comportamiento similar aumentando la duración de los ciclos de déficit y exceso hídrico. Las cuencas de BjPy y BjPn se comportan de forma similar presentando un ciclo de más de 15 años con valores superiores a la media de la serie y un ciclo de unos 10 a 15 años con valores inferiores a la media. La cuenca de BjUr y CuPl intercala ciclos más cortos de déficit y exceso hídrico. En el escenario 2041 – 2070, en general el comportamiento es similar al escenario anterior aunque en la CuPl se concentra un ciclo de déficit hídrico en los primeros 10 a 15 años y un período de exceso hídrico en los restantes. En el escenario 2071 – 2099, el comportamiento general temporal es más homogéneo entre las subcuencas de la Cuenca del Plata intercalando ciclos de déficit y exceso hídrico. Cabe destacar que en muchos períodos no

identificados como períodos con déficit hídrico para la media de la cuenca, hay un porcentaje importante de la superficie de cada cuenca (entre el 10 y 20 %) que sí está en situación de déficit hídrico (pero en valor medio no), por lo que si analizamos cuencas de menor tamaño, los períodos con déficit hídrico en algunas zonas podrían ser más que los identificados a nivel de subcuenca.

En la segunda hipótesis el cálculo de los valores de SPEI para cada uno de los escenarios futuros se realiza a partir de la función de distribución de valores calculada para el escenario de control. Se observó que en el escenario del período 2007 – 2040 las subcuencas ubicadas al norte de la Cuenca del Plata presentan una predominancia de períodos secos y las del sur una predominancia de clima húmedo con alternancia de períodos secos cortos; a medida que se analizan escenarios futuros más lejanos en el tiempo la situación de clima más húmedo se va extendiendo hacia las subcuencas del norte aumentando los períodos húmedos o haciendo menos intensos los períodos con déficit hídrico. Al igual que con la magnitud y duración de la sequía, la superficie en situación de sequía en cada una de las subcuencas, en general, tiende a disminuir a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo. Existe una mejora de la situación que se extiende desde el sur al norte a medida que transcurre el tiempo. En la Figura 4.1 se muestra un resumen comparativo de la situación en las subcuencas y escenarios analizados, comparando con el escenario de control. Se muestra aquellas subcuencas y escenarios con un aumento significativo de períodos secos, duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos, aquellas donde la situación es similar o levemente húmeda o levemente seca respecto al período de control y aquellas donde se observa una disminución importante de períodos secos, duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos, con un aumento de períodos húmedos. A continuación se resume la situación en cada una de las subcuencas analizadas.

Subcuencas	Sigla	Escenarios		
		2007-2040	2041-2070	2071-2099
Alto Paraguay	AlPy			
Alto Paraná	AlPn			
Bajo Paraguay	BjPy			
Bajo Paraná	BjPn			
Alto Uruguay	AlUr			
Bajo Uruguay	BjUr			
Cuenca Plata	CuPl			

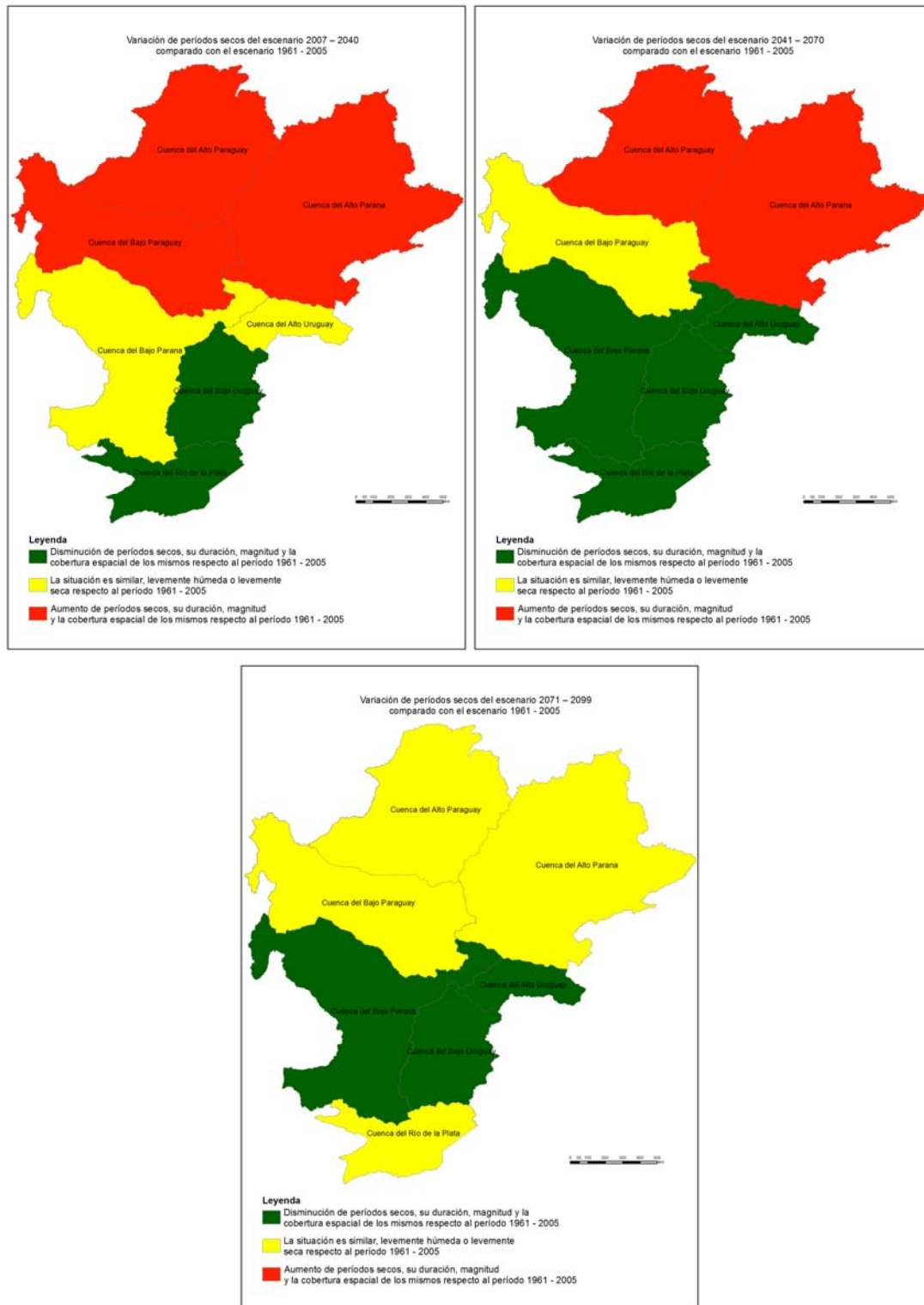


Figura 4.1: Variación de períodos secos en los diferentes escenarios y subcuencas comparando con el escenario del control (1961 – 2005). El color rojo significa un aumento de períodos secos, duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos. El color amarillo significa que la situación es similar o levemente húmeda o levemente seca respecto al período de control. El color verde indica una disminución de períodos secos, duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos, con un aumento de períodos húmedos.

AIPy - Cuenca del Alto Paraguay (600.086 km²): En lo que respecta a la ETP y P se observa que aunque en el escenario 2007 – 2040 la totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP y la mayor parte de la cuenca variaciones negativas de P, la situación va mejorando a medida que se analizan los escenarios futuros a más largo plazo, principalmente con la variable P. Se observa un aumento de los períodos secos, tanto en su duración, magnitud e intensidad media. Lo mismo ocurre con la cobertura espacial de los períodos secos. En el período 2007 – 2040 es cuando se da la peor situación, mejorando paulatinamente pero sin llegar a los niveles del escenario de control.

AIPn - Cuenca del Alto Paraná (899.628 km²): En lo que respecta a la ETP y P se observa una gran amplitud de valores en la cuenca para cada uno de los escenarios. En el escenario 2007 – 2040 se observa que la totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP y la mayor parte de la cuenca variaciones negativas de P. En los escenarios restantes se mantiene estable la variable ETP y mejora significativamente respecto a la P aproximándose a los valores medios del período de control. Se observa por tanto que a partir del escenario 2041 – 2070 la situación va mejorando a medida que se analizan los escenarios futuros a más largo plazo, principalmente con la variable P, aunque con una alta heterogeneidad espacial. Se observa un aumento de los períodos secos, tanto en su duración, magnitud e intensidad media de los mismos. Lo mismo ocurre con la cobertura espacial de los períodos secos. En el período 2007 – 2040 es cuando se da la peor situación, mejorando paulatinamente pero sin llegar a los niveles del escenario de control.

BjPy - Cuenca del Bajo Paraguay (520.068 km²): En lo que respecta a la variación de ETP y P se observa que para el escenario 2007 – 2040 la casi totalidad de la cuenca tiene variaciones positivas de ETP mientras que las variaciones de P no tienen una tendencia marcada y depende de la región analizada. Sin embargo para el resto de escenarios las variaciones positivas de ETP se estabilizan y en algún caso decrece y las variaciones positivas de P aumentan. Los períodos secos aumentan considerablemente tanto en duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos para el período 2007 – 2040, pero sin llegar a los niveles de las cuencas de AIPy y AIPn. A partir del período 2041 – 2070 la situación va mejorando aunque no se alcanza la situación del período de control. La cobertura espacial también empieza a disminuir aunque se mantiene por encima de los niveles del período de control.

BjPn - Cuenca del Bajo Paraná (610.885 km²): En términos medios se observa que la ETP se mantiene estable respecto al período de referencia y la variación de P aumenta de forma gradual hacia los períodos más lejanos en el tiempo. No obstante la variabilidad presente en la cuenca hace que se observe regiones con variaciones positivas y negativas de ambas variables. En el escenario de control la cuenca BjPn presenta un clima normal a levemente

húmedo presentando períodos secos puntuales de baja intensidad. En los escenarios futuros el clima se va tornando gradualmente más húmedo para los escenarios más lejanos en el tiempo, disminuyendo los períodos secos, su magnitud, intensidad y cobertura espacial de los mismos. Por lo tanto, los escenarios futuros presentarían mayores recursos hídricos que el escenario de control.

AIUr - Cuenca del Alto Uruguay (116.470 km²): En lo que respecta a la variación de ETP y P se observa una pequeña variación positiva de ETP que se mantiene estable entre los escenarios futuros y un fuerte aumento positivo de la variación de P a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo. El clima en el escenario 1961 – 2005 alterna períodos secos y húmedos. En el escenario 2007 – 2040 se observan menos períodos secos aunque con mayor duración e intensidad. A partir del escenario 2041 – 2070 predomina el clima húmedo disminuyendo la cantidad de períodos secos, su duración, intensidad y cobertura.

BjUr - Cuenca del Bajo Uruguay (236.980 km²): En esta cuenca la señal es clara indicando un aumento de los recursos hídricos a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo. La ETP se mantiene estable en términos medios mientras que la P aumenta de forma continua respecto al escenario de control. Los períodos secos disminuyen tanto en cantidad, duración, intensidad como en cobertura espacial.

CuPl - Cuenca del Río de la Plata (190.112 km²): En lo que respecta a la variación de ETP y P se observa en el escenario 2007 – 2040 una variación negativa de la ETP y una variación positiva de la P. En el resto de los escenarios la ETP se mantiene en los valores del escenario de control y la variación positiva de P se mantiene estable. El escenario 1991 – 2005 se caracteriza por la alternancia de períodos secos y húmedos. En el escenario 2007 – 2040 se observa una fuerte disminución de los períodos secos, su duración, magnitud así como la cobertura espacial de los mismos. En el resto de escenarios, aunque con una predominancia de clima normal a húmedo, se observan períodos secos puntuales. En todos los casos los períodos secos son menores a los observados en el escenario de control.

5 RECOMENDACIONES

El análisis de las condiciones hidrológicas de una cuenca es importante como estudio de base para evaluar la situación de la cuenca, caracterizar el clima y sus variaciones, identificar y caracterizar zonas y períodos secos respecto a las condiciones medias de cada cuenca. Sin embargo, la evaluación y gestión de la sequía implica el estudio de otros factores que deberían incluirse en estudios futuros como por ejemplo la evaluación y análisis de los usos del agua que realiza la sociedad en cada cuenca y la infraestructura hidráulica y capacidad de regulación disponible en la cuenca. Existiría por tanto, la necesidad a corto plazo de relacionar las áreas con mayor probabilidad de tener períodos secos con el estudio y análisis de la satisfacción de la demanda, valorar la infraestructura existente y el efecto de construcción de infraestructuras en la satisfacción de la demanda, evaluar la capacidad de regulación de las cuencas, todo para el escenario actual y escenarios futuros. Una cuenca con alta probabilidad de presentar períodos secos prolongados podrá ser más o menos vulnerable en función de los usos que allí existan, los impactos que se produzcan y de la capacidad de regulación que tenga esa cuenca.

Se entiende como una tarea importante futura, una primera valoración cuantitativa de los grados de satisfacción de la demanda actual y futura así como un análisis de las necesidades de regulación para satisfacer diferentes niveles de demanda. En un plan de gestión de sequía, sería fundamental tener una visión primaria a nivel regional de la situación actual en las diferentes subcuencas y las necesidades de nuevas infraestructuras en función de diferentes escenarios futuros. La “disponibilidad de agua” entendida como la máxima demanda que se puede atender en un punto de la red fluvial para un cierto tipo de demanda y con un criterio de garantía determinado, es un indicador agregado de la irregularidad temporal de la serie natural y de la capacidad de la infraestructura para gestionarla. Es un valor uniforme que permite comparar las ratios de disponibilidad de agua (por km² o por persona) en distintas regiones. En los sistemas de explotación de recursos hídricos se utilizan los embalses para amortiguar la irregularidad temporal de las aportaciones. Gracias a ellos puede incrementarse la disponibilidad de agua para poder atender las demandas del sistema sin perjudicar las condiciones ecológicas en los cauces naturales. Sin embargo, la posibilidad de alteración del régimen hidrológico como consecuencia del cambio climático amenaza el equilibrio de los sistemas, afectándolos de manera muy diferente en función de su capacidad de regulación. Un objetivo de corto plazo podría ser analizar la demanda máxima atendible en cada subcuenca en función de la infraestructura actual y cuantificar alternativas de obras para aumentar el grado de satisfacción de las demandas, todo en escenario actual y futuros. El efecto regulador se

evaluaría mediante la disponibilidad de agua. Se podría estudiar el efecto que puede tener sobre la disponibilidad de agua la alteración de la aportación media anual y su coeficiente de variación como consecuencia del cambio climático. A tales efectos existen modelos especialmente diseñados para ser aplicados a nivel continental, regional o en grandes cuencas que estiman de forma global la capacidad de regulación de los embalses u otras infraestructuras en un sistema de explotación de recursos hídricos bajo distintas hipótesis. Muchas veces la limitante para aplicar este tipo de modelos es la falta de información. En el caso de la Cuenca del Plata, la mayor parte de la información de base ya existe o está en proceso de elaboración como por ejemplo las series hidrológicas para el escenario actual y futuros a partir del modelo de grandes cuencas, información de variables meteorológicas generadas por el modelo Eta del INPE, cartografía digital, identificación de las demandas actuales, entre otros.

Dado el gran tamaño de las cuencas analizadas y la utilización de procesos de agregación de resultados, tal como se vio en este estudio, ocurre que superficies importantes están en condición de período seco pero el valor medio de la subcuenca podría indicar una situación normal. En el estudio realizado para estimar la cobertura espacial de los períodos secos se observó áreas del orden del 10 al 20 % del total de la subcuenca que estaban en un período seco pero la cuenca en su conjunto no. Al ser cuencas de gran tamaño, los porcentajes mencionados también corresponden a grandes superficies. Si además tenemos en cuenta las actividades económicas, los usos de la tierra y la infraestructura existente de esas zonas en particular, podríamos tener problemas de gestión de recursos hídricos que la escala de trabajo de este estudio podría no detectar. Se propone entonces, seleccionar aquellas zonas más sensibles y realizar estudios a una escala más detallada.

En este estudio ha quedado de manifiesto la heterogeneidad de situaciones generadas respecto a las características de los períodos secos en cada una de las subcuencas y escenarios. Aunque el problema es generalizado, el abordaje de la problemática debería ser particularizado entre subcuencas.

Contando con información de las características de las sequías (duración, intensidad, frecuencia) y su impacto, se podría determinar aquellas áreas críticas o altamente vulnerables tanto de la serie histórica, como de escenarios futuros. Asimismo, sería posible identificar las áreas críticas en tiempo real para priorizar medidas durante la ocurrencia y desarrollo de cada sequía.

Uno de los objetivos principales a medio plazo podría ser la gestión integral de las sequías utilizando como unidad de gestión las cuencas. Dado que las mismas son compartidas por varios países, existe heterogeneidad en el

marco legal e institucional para llevar a cabo acciones de prevención o mitigación de sequías en la cuenca. Contar con un marco legal único y un “grupo de sequía” a nivel de subcuenca donde participan todos los actores involucrados, sería fundamental para poder coordinar los planes de sequía y gestionar las medidas antes, durante y después de la misma. El CIC podría jugar un papel importante de cara a definir políticas comunes consensuadas y fomentar acuerdos a nivel de cuenca en lo relativo a la gestión de las sequías.

Para facilitar una gestión de sequías por subcuenca, sería necesario definir umbrales y acordar por parte de los países, qué indicadores y umbrales se consideran para definir diferentes situaciones, a título orientativo: situación normal, pre-alerta, alerta y emergencia. Cada una de estas situaciones tendría asociada medidas estructurales y no estructurales. La definición de índices, indicadores y umbrales, dada las importantes implicaciones que esto tiene, debería ser un proceso participativo entre todos los actores involucrados.

A pesar de que en la Cuenca del Plata las sequías constituyen un fenómeno recurrente y, a la luz de este estudio, de importancia en el futuro, en general suelen gestionarse como situaciones de crisis a solucionar con medidas de emergencia que rara vez formaban parte de un plan preestablecido. Dichas medidas están normalmente destinadas a aumentar la oferta de recursos mediante obras de emergencia de alumbramiento de recursos subterráneos, medidas de recortes en el suministro o de conducciones de interconexión de diferentes sistemas, con los costes ambientales, funcionales y económicos que suelen acompañar a las actuaciones realizadas de modo urgente sin la adecuada planificación. Para ello se propone establecer los mecanismos conducentes a obtener un Plan de gestión de sequías. El objetivo principal de un Plan de gestión de sequías es la detección temprana de estas situaciones de escasez mediante el establecimiento de un sistema de indicadores o índices que definan de manera gradual, mediante unos valores umbrales previamente determinados, los escenarios de prealerta, alerta y emergencia. La elaboración de un programa de actuaciones a aplicar en cada uno de los escenarios permitirá, sino eliminar completamente los riesgos asociados a este tipo de fenómenos, sí al menos mitigar considerablemente sus efectos. Desde este punto de vista las medidas a aplicar se pueden clasificar en estratégicas, tácticas y de emergencia (Ministerio de Medio Ambiente, España, 2007). Las medidas estratégicas son actuaciones a largo plazo de carácter institucional y de desarrollo de infraestructuras que forman parte de la planificación hidrológica (estructuras de almacenamiento y regulación, normativa y ordenación de usos). Requieren largo plazo de implantación, grandes presupuestos, negociación política, aceptación social y eventualmente modificaciones legislativas. Las medidas tácticas son actuaciones a corto plazo planificadas y validadas con anticipación en el marco del Plan de gestión de sequías. Este tipo de medidas deben ser

estudiadas sobre situaciones históricas y se adoptan una vez constatada la situación de sequía mediante el sistema de indicadores. Por último, las medidas de emergencia se adoptan bien avanzada la sequía y varían en función de la gravedad de la misma y su extensión o grado de afección a la cuenca. Las propuestas de los apartados anteriores, estarían incluidas de una forma u otra en un plan de gestión de sequías. El objetivo principal de un plan de gestión de sequías sería la articulación de medidas preventivas, medidas de control, evaluación de riesgos, organización de la toma de decisiones e implantación de medidas mitigadoras necesarias para minimizar la frecuencia e intensidad de las situaciones de escasez de recursos, así como reducir los efectos ambientales y socioeconómicos de las mismas. Se propone la realización de un plan que trate de resolver al menos tres cuestiones fundamentales: a) ¿cuándo actuar?, b) ¿cómo actuar? y c) ¿quiénes son los responsables de la gestión? (Ministerio de Medio Ambiente, España, 2007). La decisión de cuándo actuar es de gran importancia, pues si el objetivo del Plan es mitigar los efectos de las futuras sequías, anticiparse a ellas es el modo más eficiente de amortiguarlas. Respecto al cómo actuar, el Plan debe establecer la secuencia de activación de las medidas de mitigación, según el estado en el que se encuentren los recursos en la cuenca y las previsiones sobre su evolución. Por otra parte, es necesario atribuir responsabilidades de acción, es decir, quienes han de ser los responsables de implantación y seguimiento de tales medidas, para garantizar su adopción y la coordinación entre instituciones y entidades públicas o privadas vinculadas al problema.

La información climática, hidrológica y los índices de sequías son componentes clave utilizados para monitorear las sequías a escala de cuenca. Sería útil una herramienta que generara dicha información en forma de mapas (a título orientativo con paso de tiempo mensual o semanal) y que centralizara la información existente en cada cuenca. Esta herramienta permitiría a los tomadores de decisión y científicos dar seguimiento y evaluar la evolución de la sequía y compararla con eventos pasados. En un observatorio se debería dar participación a todas las administraciones con competencia en la materia, con el fin de constituir un centro de conocimiento, predicción, mitigación y seguimiento de los efectos de la sequía en la Cuenca del Plata.

BIBLIOGRAFÍA

Alves, L.F., Marengo, J.A., Chou, S.C., 2004. Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo Eta climático sobre o Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. 29 Agosto – 13 setembro, 2004, Fortaleza, (CE)

Beguiría, S., Vicente-Serrano, S.M. y Angulo, M., 2010: A multi-scalar global drought data set: the SPEIbase: A new gridded product for the analysis of drought variability and impacts. Bulletin of the American Meteorological Society. 91, 1351-1354

Bustamante, J.F., Gomes, J.L., y Chou, S.C., 2002. Influência da temperatura da superfície do mar sobre as previsões climáticas sazonais do modelo regional Eta. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12. 4-9 agosto 2002, Foz do Iguaçu (PR). p. 2145-2152.

Bustamante, J.F., Gomes, J.L. y Chou, S.C., 2006. 5-year Eta Model seasonal forecast climatology over South America. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 08. 24-28 abril 2006, Foz do Iguaçu (PR). p. 503-506.

Chou, S.C., Fonseca, J.F.B and Gomes, J.L., 2005. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America Nonlinear Processes in Geophysics, 12, 4, 537-555, 2005

CIC-Plata, 2011a. Programa marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático. 2ª ed. – Buenos Aires. Departamento de Desarrollo Sostenible de la Organización de los Estados Americanos – OEA. Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata - CIC. ISBN 978-987-22574.5.3, 80 p.

Donat, M.G., L. V. Alexander, H. Yang, I. Durre, R. Vose, R. J. H. Dunn, K. M. Willett, E. Aguilar, M. Brunet, J. Caesar, B. Hewitson, C. Jack, A. M. G. Klein Tank, A. C. Kruger, J. Marengo, T. C. Peterson, M. Renom, C. Oria Rojas, M. Rusticucci, J. Salinger, A. S. Elayah, S. S. Sekele, A. K. Srivastava, B. Trewin, C. Villarreal, L. A. Vincent, P. Zhai, X. Zhang, and S. Kitching, 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset, J. Geophys Res., 20, 1–16, DOI: 10.1002/jgrd.50150

Ferraz, C., 2014a. Produto 1: Relatório contendo a análise das simulações do modelo Eta-20 km para a região da Bacia do Prata, utilizando as condições do HadGEM2-ES RCP 4.5, para o período de 1961-2100. Organização de Estados Americanos, Brasil, 28 pp.

Ferraz, C., 2014b. Producto 2: Relatório contendo a análise das simulações do modelo Eta-10 km para a região da Bacia do Prata, utilizando as condições do HadGEM2-ES RCP 4.5, para o período de 1961-2100. Organización de Estado Americanos, Brasil, 28 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC Climate Change, 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp

Marengo, J., Chou, S. and Alves, L., 2014. Clima, variabilidade hidro-climática e cenários futuros de clima na Bacia do Prata: Uma revisão geral. INPE, Brasil, 31 pp.

Marengo, J., Menéndez A., Guetter, A., Hogue, T. and Mechoso C., 2006. Eventos Hidrometeorológicos Extremos. Caracterización y Evaluación de Métodos de Predicción de Eventos Extremos de Clima y de la Hidrología en la Cuenca del Plata. Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata en relación a los efectos hidrológicos de la variabilidad y el cambio climático. Componente 2a: Definición del Sistema de Predicción Hidroclimática, Buenos Aires, CIC.

Ministerio de Medio Ambiente, España, 2007. Plan Especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía de la Cuenca Hidrográfica del Tajo. Programa AGUA, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España. 146 pp.

Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2012. Índice normalizado de precipitación, Guía del usuario. OMM-Nº 1090, Ginebra, Suiza.

Tucci, C., 2013. Avaliacao e Estratégias para os Recursos Hídricos no Rio Grande Do Sul. Rhama Consultoria Ambiental, Brasil, 25 pp.

University of East Anglia Climatic Research Unit (CRU), 2014. CRU TS versión 3.22. Climatic Research Unit (CRU) time-series datasets of variations in climate with variations in other phenomena. Climatic Research Unit, NCAS British Atmospheric Data Centre, 2014.

Vicente-Serrano S.M., Santiago Beguería and Juan I. López-Moreno, 2010a. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. Journal of Climate 23: 1696-1718.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., Angulo, M. and El Kenawy, A., 2010b. A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets

based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology*. 11: 1033–1043

Wilhite, D.A. and Glantz, M.H., 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10(3):111–120.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Secuencia de la ocurrencia de la sequía y sus impactos para los diferentes tipos (traducido y extraído de: National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, U.S.A.)	6
Figura 2.1: Macro subcuencas de la Cuenca del Plata. Línea negra continua: representa los límites de subcuencas proporcionados por la UCP, línea a trazos: representan los límites internacionales entre países, fondo de colores: representa la superficie de cada país, trazo gris claro: representa la red hídrica principal de la Cuenca del Plata.	11
Figura 3.1: Series de valores del índice SPEI para las escalas temporales de 1, 3, 6 y 12 meses, para cada subcuenca y cada escenario. El cálculo del índice SPEI para cada escenario se realiza a partir de la distribución de valores del propio escenario climático.	17
Figura 3.2: Porcentaje de cobertura espacial de la sequía para las series mensuales en cada subcuenca y escenario.....	19
Figura 3.3: Análisis de SPEI basado en las series del período 1961-2005. Series de valores del índice SPEI para las escalas temporales de 1, 3, 6 y 12 meses, para cada subcuenca y cada escenario. El cálculo del índice SPEI para los escenarios futuros se realiza a partir de la distribución de valores del escenario de referencia del período 1961-2005.	22
Figura 3.4: Porcentaje de cobertura espacial de la sequía para las series mensuales en cada subcuenca y escenario. El cálculo se realizó a partir de valores de SPEI calculado teniendo como base de análisis el período 1996 – 2005.	25
Figura 3.5: Cuenca Alto Paraguay. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.	27
Figura 3.6: Cuenca Alto Paraguay. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.....	28
Figura 3.7: Cuenca Alto Paraná. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diferentes escenarios climáticos analizados.....	34
Figura 3.8: Cuenca Alto Paraná. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor	

medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.....	35
Figura 3.9: Cuenca Bajo Paraguay. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diefrentes escenarios climáticos analizados.	42
Figura 3.10: Cuenca Bajo Paraguay. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.....	43
Figura 3.11: Cuenca Bajo Paraná. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diefrentes escenarios climáticos analizados.....	49
Figura 3.12: Cuenca Bajo Paraná. Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.....	50
Figura 3.13: Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diefrentes escenarios climáticos analizados.....	56
Figura 3.14: Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.	57
Figura 3.15: Cuenca: Bajo Uruguay. Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diefrentes escenarios climáticos analizados.	63
Figura 3.16: Cuenca Bajo Uruguay.Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 – 2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.....	64
Figura 3.17: Cuenca del Río de la Plata: Valores medios mensuales y media anual de ETP y P en mm para los diefrentes escenarios climáticos analizados.....	70
Figura 3.18: Cuenca del Río de la Plata: Variación de ETP y P media mensual en mm del escenario en estudio respecto al escenario de control (1961 –	

2005) para cada celda (10 x 10 km) analizada. El punto azul muestra el valor medio para todo el período de análisis en cada una de las celdas de la cuenca. La cruz roja muestra el valor medio en mm para el conjunto de la cuenca.....	71
Figura 4.1: Variación de períodos secos en los diferentes escenarios y subcuencas comparando con el escenario del control (1961 – 2005). El color rojo significa un aumento de períodos secos, duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos. El color amarillo significa que la situación es similar o levemente húmeda o levemente seca respecto al período de control. El color verde indica una disminución de períodos secos, duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos, con un aumento de períodos húmedos.....	79
Figura 6.1: Relación entre el tiempo medio en años entre años secos considerando el período 1961 – 2014 y la serie completa en cada estación y subcuenca (ver Anexo 8).....	2
Figura 6.2: Media estacional de la anomalía de precipitación (mm/día), par los períodos de 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, respecto al período 1961-1990. Extraído de los estudios realizados por el INPE-Brasil (Marengo et al., 2014; Ferraz, 2014a; Ferraz, 2014b).	4
Figura 6.3: Media estacional de anomalías de temperatura (°C), para los períodos de 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, en relación al período 1961-1990. Extraído de los estudios realizados por el INPE-Brasil (Marengo et al., 2014; Ferraz, 2014a; Ferraz, 2014b).	5
Figura 7.1: ETP y P media anual en mm para las diferentes subcuencas y escenarios.....	1
Figura 7.2: ETP y P media mensual en mm para las diferentes subcuencas y escenarios.....	2
Figura 7.3: Distribución temporal de la P y ETP media mensual en mm para las diferentes subcuencas y escenarios	3

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Cuenca Alto Paraguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	30
Tabla 3.2: Cuenca Alto Paraguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	32
Tabla 3.3: Cuenca Alto Paraguay. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).	33
Tabla 3.4: Cuenca Alto Paraná. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	38
Tabla 3.5: Cuenca Alto Paraná. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	39
Tabla 3.6: Cuenca Alto Paraná. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).	40
Tabla 3.7: Cuenca Bajo Paraguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	45
Tabla 3.8: Cuenca Bajo Paraguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	47
Tabla 3.9: Cuenca Bajo Paraguay. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).	48

Tabla 3.10: Cuenca Bajo Paraná. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	52
Tabla 3.11: Cuenca Bajo Paraná. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	54
Tabla 3.12: Cuenca Bajo Paraná. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).	55
Tabla 3.13: Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.	59
Tabla 3.14: Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.	61
Tabla 3.15: Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).....	62
Tabla 3.16: Cuenca Bajo Uruguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	66
Tabla 3.17: Cuenca Bajo Uruguay. Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.....	68
Tabla 3.18: Cuenca Bajo Uruguay. Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).	69
Tabla 3.19: Cuenca del Río de la Plata: Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas	

temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses). Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.	73
Tabla 3.20: Cuenca del Río de la Plata: Caracterización de los períodos con déficit hídrico para los diferentes escenarios climáticos y escalas temporales de SPEI (1, 3, 6 y 12 meses) tomando como base las series del período de control 1961 - 2005. Se presentan los valores medios con su correspondiente desviación estándar.	75
Tabla 3.21: Cuenca del Río de la Plata: Ratio de los valores medios de las características de períodos de déficit hídrico de los escenarios climáticos respecto al escenario de control (1961 – 2005).	76
Tabla 7.1: ETP y P media anual en mm para las diferentes subcuencas y escenarios.....	1

INDICE

RESUMEN	I
1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	5
1.2 MARCO CONCEPTUAL.....	5
2 METODOLOGÍA.....	8
3 ANÁLISIS DE SUBCUENCAS.....	14
3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SUBCUENCAS (HIPÓTESIS 1)	14
3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SUBCUENCAS (HIPÓTESIS 2)	19
3.3 CARACTERIZACIÓN PERÍODOS SECOS POR SUBCUENCA.....	25
3.3.1 Cuenca: Alto Paraguay	27
3.3.2 Cuenca: Alto Paraná.....	34
3.3.3 cuenca: Bajo Paraguay.....	42
3.3.4 cuenca: Bajo Paraná.....	49
3.3.5 cuenca: Alto Uruguay.....	56
3.3.6 cuenca: Bajo Uruguay	63
3.3.7 cuenca: del Río de la Plata.....	70
4 CONCLUSIONES	77
5 RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	86
ÍNDICE DE FIGURAS	89
ÍNDICE DE TABLAS	92
6 ANEXO 1: ANTECEDENTES INMEDIATOS	1
7 ANEXO 2: PRECIPITACIÓN Y ETP	1
8 ANEXO 3: CARACTERIZACIÓN DE LOS PERÍODOS SECOS.....	1

6 ANEXO 1: ANTECEDENTES INMEDIATOS

Como antecedentes inmediatos en el estudio de sequías en la Cuenca del Plata se encuentra el estudio inicial realizado por Alvaro Sordo-Ward (ASW, 2014) y los estudios realizados por el INPE sobre la variabilidad hidro-climática presente y futura en la Cuenca del Plata (Marengo et al., 2014; Ferraz, 2014a; Ferraz, 2014b, entre otros).

Respecto a la variabilidad hidro-climática presente y futura, las variables relevantes que podrían sufrir cambios son la precipitación y la temperatura. Tal como se observa en el estudio ASW (2014) y de estudios anteriores realizados por el Grupo de Trabajo 1 del IPCC AR4 (IPCC, 2007) la tendencia es de una precipitación creciente en la segunda parte del siglo XX. En el estudio inicial ASW (2014) se realizó una caracterización espacio temporal de los períodos secos a nivel de subcuenca y con una escala temporal anual. Se definió como año seco o con un déficit hídrico importante en una estación pluviométrica, aquel cuya precipitación anual de ese año era inferior al 80 % de la precipitación media anual de la serie registrada en esa estación pluviométrica (Tucci, 2013). Para este análisis se utilizaron series mensuales de precipitación de 46 estaciones en la Cuenca del Plata, extraídas de la base de datos del Climatic Research Unit of the University of East Anglia (versión 3.22 CRU TS) (University of East Anglia CRU, 2014). En cada una de las estaciones se determinó la serie histórica con años con datos completos y se identificaron aquellos años secos. A fin de evaluar un posible cambio de tendencia en el clima actual respecto a la serie histórica completa, también se realizaron los cálculos para el período 1961-2014. En la Figura 6.1 se muestra el ratio entre el tiempo medio entre años secos utilizando series entre el año 1961 y 2014 y el tiempo medio entre años secos en las series completas. Se aprecia que en aquellas zonas donde el tiempo medio de ocurrencia de años secos es alto la variación es mínima mientras que en zonas donde el tiempo medio de ocurrencia de años secos es más bajo, en la serie reducida el tiempo aumenta considerablemente lo que supondría un elemento positivo desde el punto de vista de las actividades dependientes del recurso hídrico.

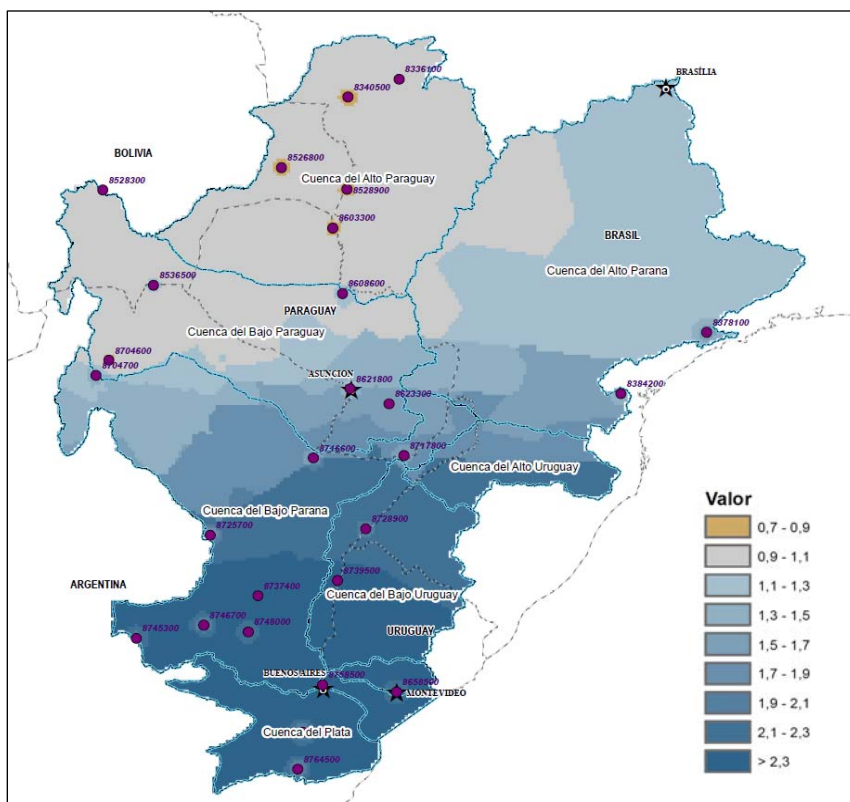


Figura 6.1: Relación entre el tiempo medio en años entre años secos considerando el período 1961 – 2014 y la serie completa en cada estación y subcuenca (ver Anexo 8).

De acuerdo a los principales resultados del estudio realizado por el INPE para la precipitación (Marengo et al., 2014; Ferraz, 2014a; Ferraz, 2014b, entre otros), se observó (Figura 6.2) que para el período 2011-2040 habría un aumento de hasta 1 mm/día en la zona sur y una disminución de hasta 3 mm/día en la zona norte de la cuenca. Para el período 2041-2070 el aumento de hasta 1 mm/día se extiende en la zona sur, suroeste y oeste mientras que en la zona norte y noreste la disminución es hasta 1 mm/día. Finalmente en el período 2071-2099 continúa el aumento para la zona sur, oeste y norte y disminución en la zona este para el trimestre diciembre-enero y febrero, posteriormente la señal indica un aumento moderado o neutro para el resto de los meses del año.

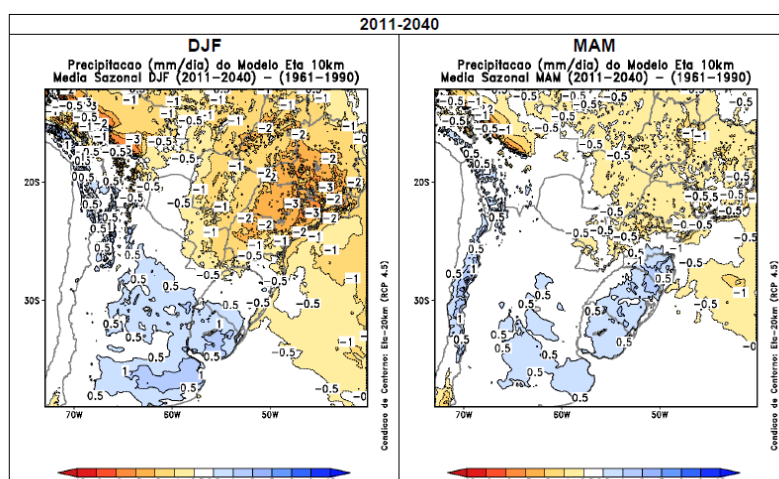


Figura 3.3 - Média sazonal da anomalia de precipitação (mm/dia), para os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099, referente ao período de 1961-1990. Continuação.

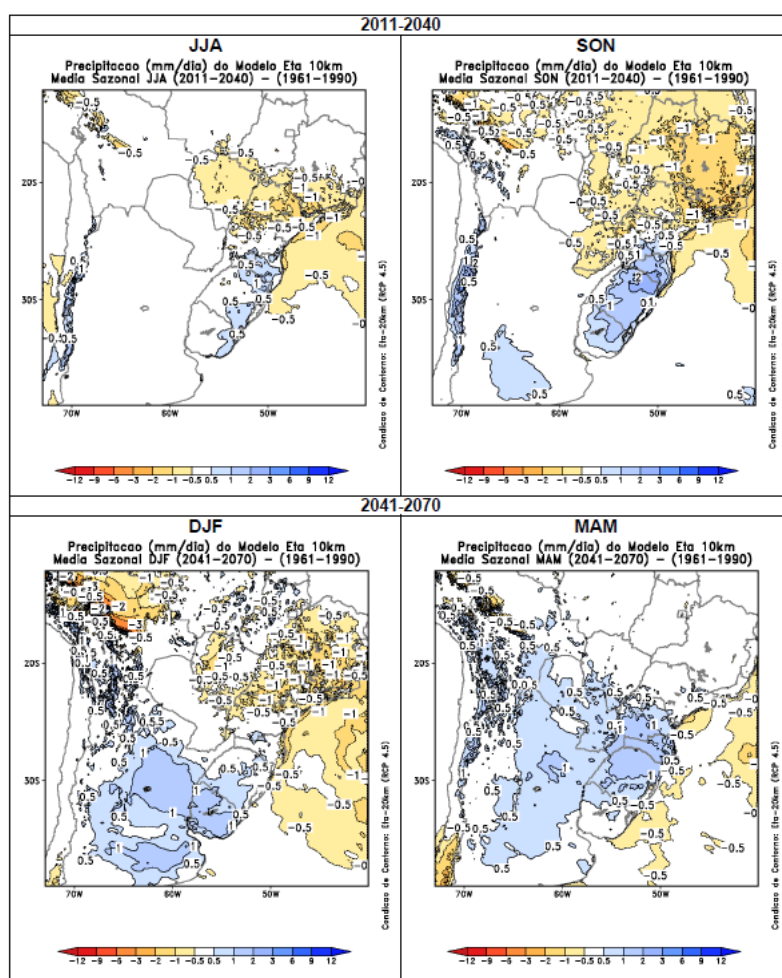


Figura 3.3 - Continuação.

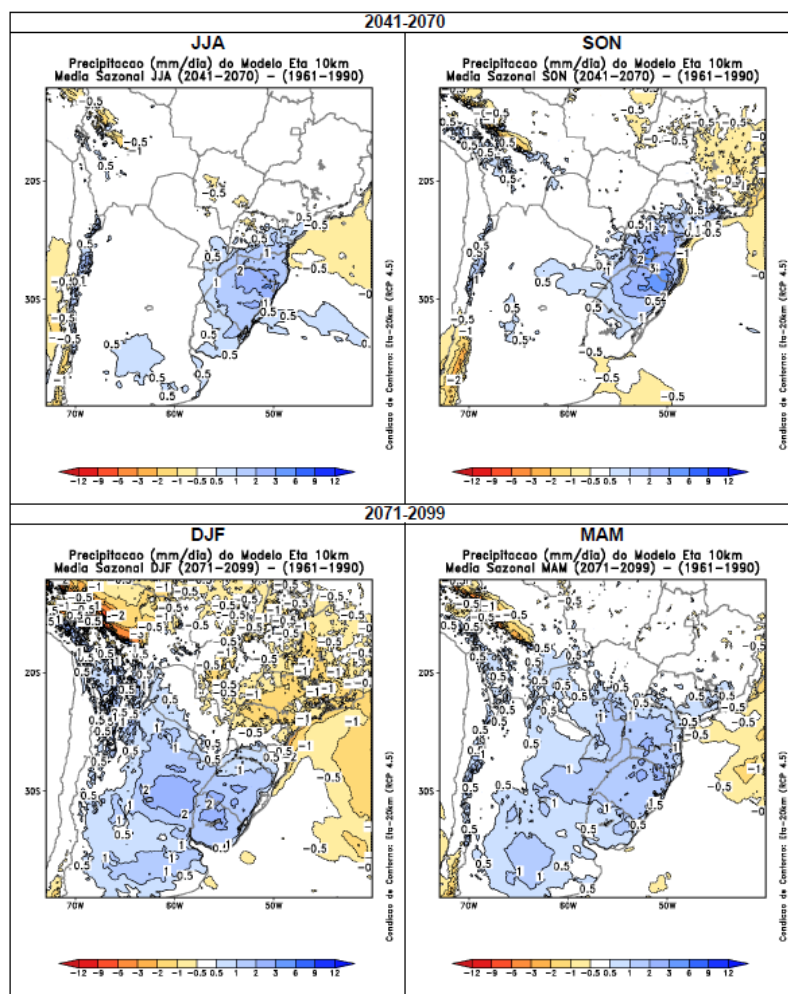


Figura 3.3 – Continuação.

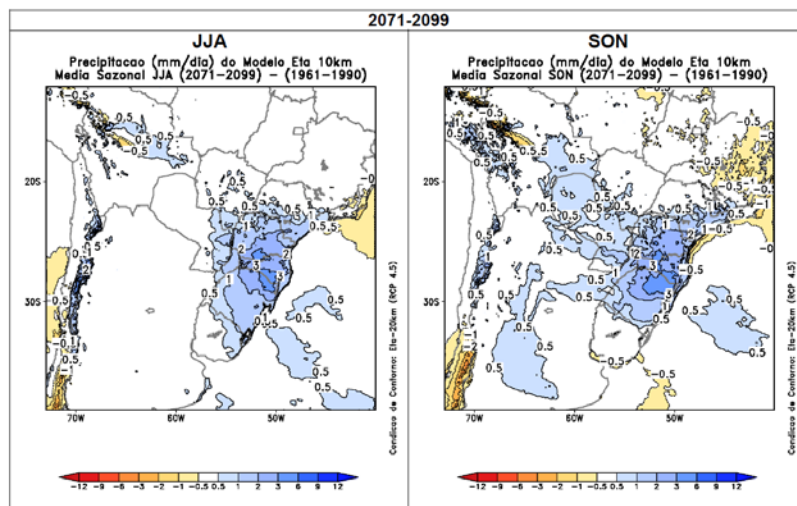


Figura 3.3 – Conclusão.

Figura 6.2: Media estacional de la anomalía de precipitación (mm/día), por los períodos de 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, respecto al período 1961-1990. Extraído de los estudios realizados por el INPE-Brasil (Marengo et al., 2014; Ferraz, 2014a; Ferraz, 2014b).

En lo que respecta a la temperatura, todos los escenarios futuros estudiados por INPE muestran un aumento de temperatura, con un aumento progresivo de sur a norte de la Cuenca del Plata (Figura 6.3).

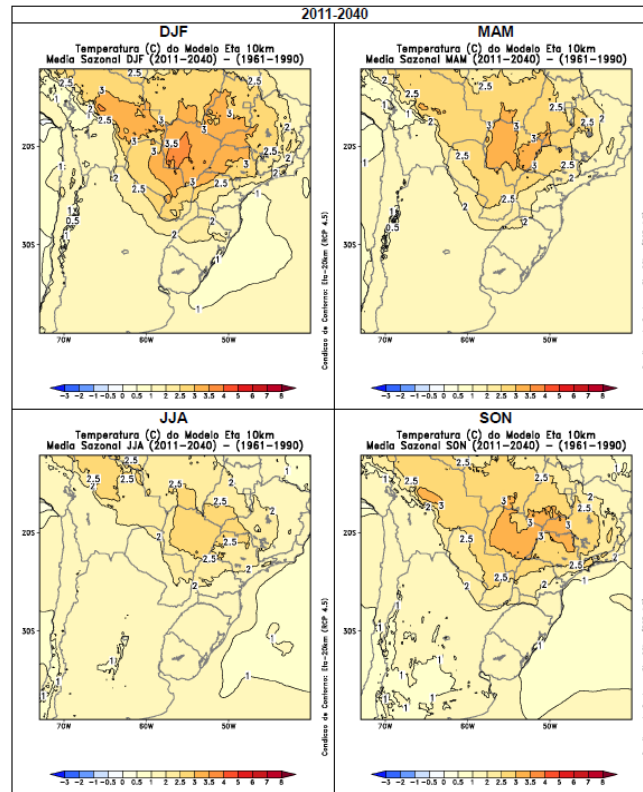


Figura 3.4 - Média sazonal da anomalia de Temperatura (°C), para os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099, referente ao período de 1961-1990. Continuação.

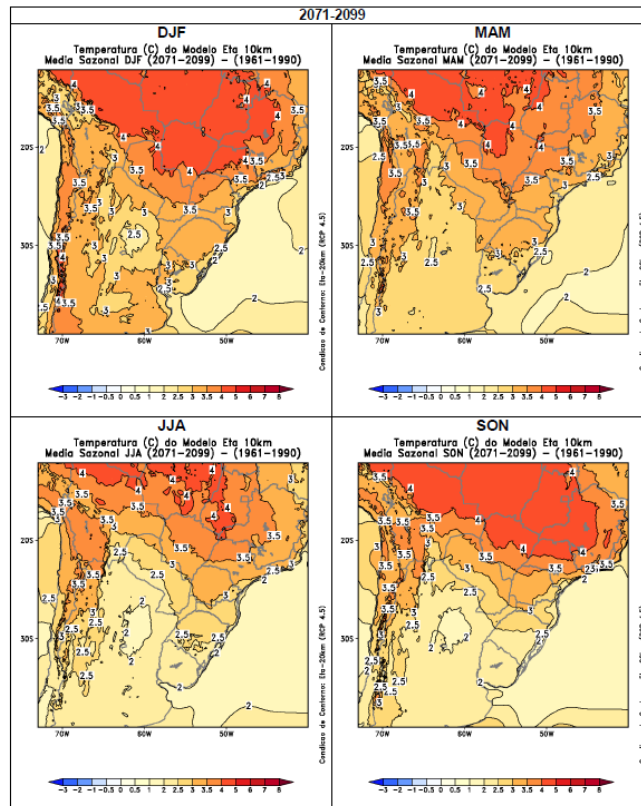


Figura 3.4 – Conclusão.

Figura 6.3: Media estacional de anomalías de temperatura (°C), para los períodos de 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, en relación al período 1961-1990. Extraído de los estudios realizados por el INPE-Brasil (Marengo et al., 2014; Ferraz, 2014a; Ferraz, 2014b).

Analizando las variables de precipitación y temperatura, las señales para predecir el comportamiento futuro de las sequías podrían ser contrapuestas: a) la tendencia actual descrita por Donat et al. (2013) sugiere períodos más largos de días consecutivos sin lluvias, lo que favorecería el aumento de los períodos de sequías, b) los volúmenes de agua a escala anual para el escenario actual y escenarios futuros tienden a ser similares o aumentar (en la zona norte y este de la cuenca esta señal no es tan clara) lo que favorecería una disminución de los períodos con sequías, c) el período medio en años entre sequías también tiende a estabilizarse o aumentar, lo que favorecería una disminución de los períodos de sequías y d) los escenarios futuros de temperatura indican un aumento de las mismas llegando en algunos casos a aumentos de 4 °C, lo que favorecería un aumento de la posibilidad de aparición de sequías. En resumen, de estos estudios antecedentes no se puede concluir de una forma contundente las perspectivas en cuanto al comportamiento futuro de las sequías.

7 ANEXO 2: PRECIPITACIÓN Y ETP

Las variables básicas involucradas en este estudio son la Precipitación (P) y la Evapotranspiración Potencial (ETP). En la Tabla 7.1 y Figura 7.1 se muestra los valores medios anuales de la P y ETP para cada una de las subcuencas y escenarios. En la ETP se observa un gradiente negativo espacial norte – sur. El comportamiento temporal de la ETP es positivo para las subcuencas Alto Paraguay (AlPy), Alto Paraná (AlPn) y Bajo Paraguay (BjPy) y estable para las restantes. En lo que respecta a la P no hay un patrón espacial definido. En cuanto al comportamiento temporal, la P es estable para las cuencas de AlPy, AlPn y BjPy (incluso con disminución en el escenario 2007 – 2040) y con un gradiente positivo en las restantes subcuencas.

Escenarios	ETP media anual (mm)	Subcuencas						
		A.Paraguay	A.Paraná	B.Paraguay	B.Paraná	A.Uruguay	B.Uruguay	C.Plata
1961 - 2005		2579	2169	2243	2113	1825	1820	1780
2007 - 2040		2923	2518	2399	2089	1907	1794	1676
2041 - 2070		3008	2513	2466	2158	1962	1874	1809
2071 - 2099		2983	2527	2407	2126	1952	1863	1797

Escenarios	P media anual (mm)	Subcuencas						
		A.Paraguay	A.Paraná	B.Paraguay	B.Paraná	A.Uruguay	B.Uruguay	C.Plata
1961 - 2005		1201	1792	1005	1032	2254	1609	1138
2007 - 2040		1036	1477	975	1098	2452	1787	1303
2041 - 2070		1167	1780	1105	1220	2781	1878	1279
2071 - 2099		1226	1848	1170	1270	2914	1961	1294

Tabla 7.1: ETP y P media anual en mm para las diferentes subcuencas y escenarios

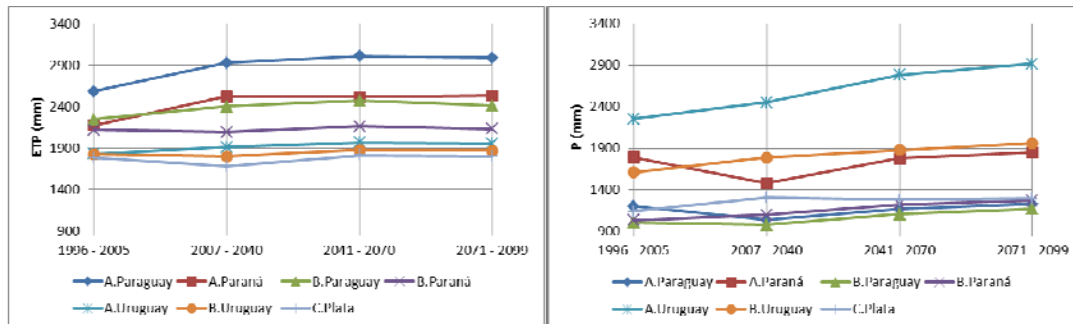


Figura 7.1: ETP y P media anual en mm para las diferentes subcuencas y escenarios

La distribución media mensual de la ETP y P para cada subcuenca y escenario se muestra en la Figura 7.2. En términos generales la distribución mensual de ETP y P es similar para los diferentes escenarios. El análisis de la evolución de cada mes para cada subcuenca y escenario se presenta con el análisis por subcuenca en los siguientes apartados.

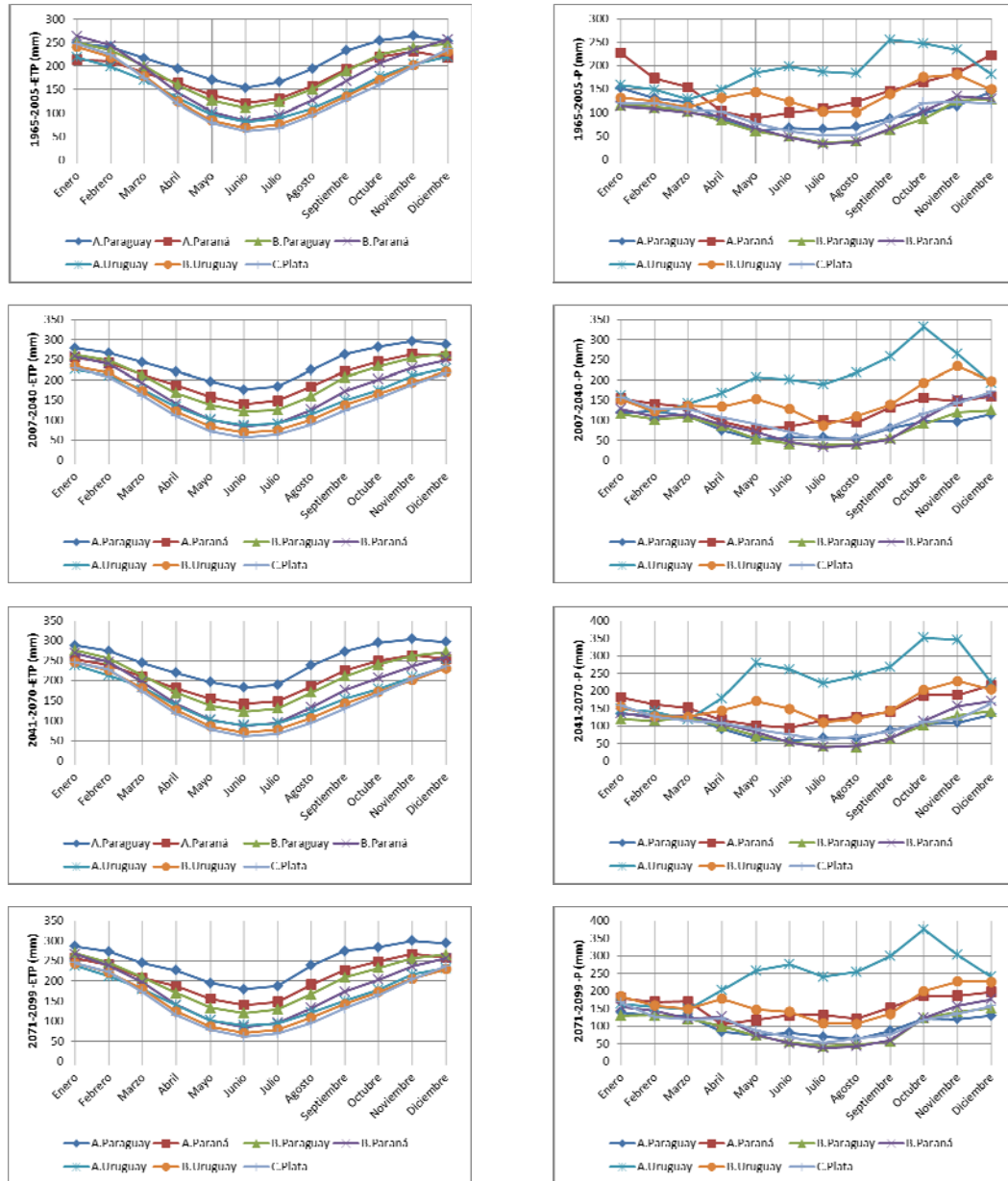


Figura 7.2: ETP y P media mensual en mm para las diferentes subcuencas y escenarios

Asimismo, para cada subcuenca y escenario, se determinó para cada mes de cada serie temporal, el valor medio de ETP y P y se compararon los valores entre las diferentes subcuencas. Para ello, en cada mes se agregaron los valores de las celdas de 10 x 10 km que proporcionó INPE (Figura 7.3). En esta figura se observa con claridad (además de lo ya expuesto para los valores medios), los ciclos de mayor y menor ETP y P a lo largo de las series temporales, tanto en la intensidad como duración de los mismos. Por ejemplo, para el período de referencia o control (1961 – 2005) en la subcuenca del AIPn se observa como en la década con comienzo en año 1960 y 1990 del siglo pasado hay ciclos más lluviosos comparados con la década del año 1970 y el período 1999-2004. Asimismo, en el mismo escenario, en la ETP se aprecia

claramente un gradiente espacial decreciente con dirección norte-sur para toda la serie mientras que para la P las cuencas de Alto Uruguay, Alto Paraná y Bajo Uruguay son las que presentan mayores valores.

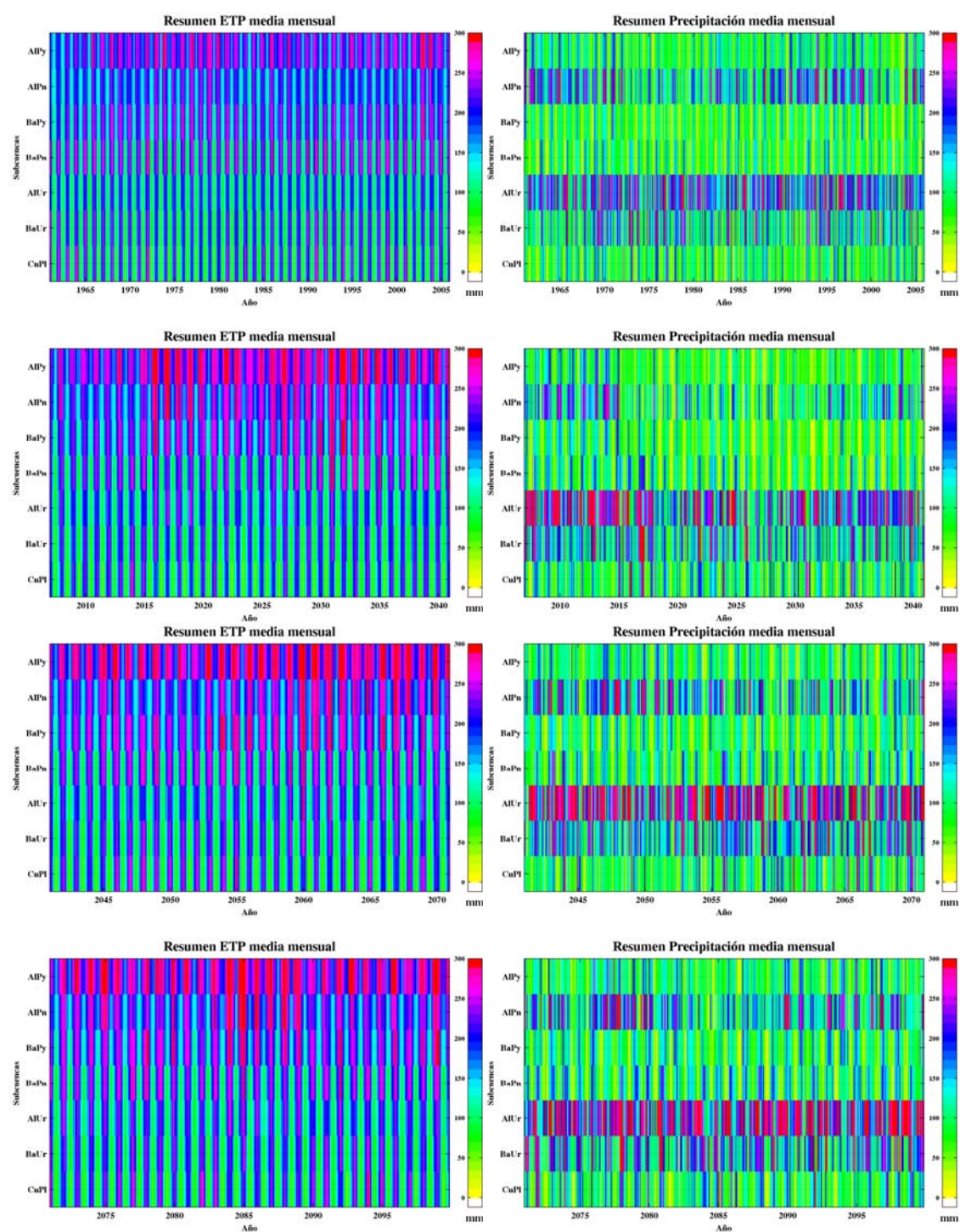


Figura 7.3: Distribución temporal de la P y ETP media mensual en mm para las diferentes subcuencas y escenarios

8 ANEXO 3: CARACTERIZACIÓN DE LOS PERÍODOS SECOS

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACION DETALLADA DE LOS PERÍODOS SECOS SEGÚN EL ÍNDICE SPEI.

HIPÓTESIS 1

Nomenclatura:

Nº Total P secos =	Nº de periodos secos identificados (de igual o diferente duración)
Duración =	Duración en meses de cada período seco identificado
Duración entre P. secos =	Duración en meses entre dos periodos secos identificados
Duración media P. secos =	Duración promedio en meses de los periodos secos identificados
Duración media entre P. secos =	Duración promedio en meses de los periodos entre periodos secos
Magnitud de P. secos =	Suma de los valores de SPEI de cada uno de los meses dentro del período seco
Intensidad máxima de P. secos =	Es el mínimo valor mensual de SPEI dentro del período seco
Intensidad media de P. secos =	Es el valor medio de SPEI de los valores del período seco
Nº mes inicio de cada P. seco =	Indica en que mes comienza cada período seco. El mes uno corresponde al primer mes del escenario en cuestión

3

6

[illegible]

[illegible]

18

[illegible]

[illegible]

[illegible]

26

Anexo 3: Caracterización de las sequías

Subcuenca: Cuenca Plata - SPEI 3																																																			
Nº meses analizados	1961-2005	540																																																	
	2007-2040	408																																																	
	2041-2070	360																																																	
	2071-2099	347																																																	
Nº total P.secos	1961-2005	29																																																	
	2007-2040	18																																																	
	2041-2070	21																																																	
	2071-2099	15																																																	
Nº P.secos / año	1961-2005	0.6																																																	
	2007-2040	0.5																																																	
	2041-2070	0.7																																																	
	2071-2099	0.5																																																	
Nº P.seco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48			
Duración (meses)	1961-2005	17	7	5	3	5	3	5	4	3	4	5	3	7	2	4	4	4	2	6	5	5	5	3	5	5	3	4	4	3																					
	2007-2040	3	3	4	5	6	2	3	3	4	4	3	2	6	4	6	4	4	5																																
	2041-2070	5	2	5	6	6	6	3	6	4	4	4	5	4	5	3	1	3	4	4	7	1																													
	2071-2099	6	4	3	4	1	8	3	2	4	6	5	6	5	3	3																																			
Duración entre P.secos (meses)	1961-2005	7	7	8	8	8	32	7	21	8	67	8	7	9	8	20	20	11	5	8	7	6	8	33	6	9	8	32	7																						
	2007-2040	9	9	7	6	6	35	22	7	69	9	22	30	8	20	5	10	5																																	
	2041-2070	8	19	8	6	6	6	9	7	8	9	7	6	21	43	12	20	8	33	6	18																														
	2071-2099	32	9	18	12	18	7	35	9	42	19	6	6	10	7																																				
Duración media P.secos (meses)	1961-2005	4.7																																																	
	2007-2040	3.9																																																	
	2041-2070	4.2																																																	
	2071-2099	4.2																																																	
Duración media entre P.secos (meses)	1961-2005	14																																																	
	2007-2040	16																																																	
	2041-2070	13																																																	
	2071-2099	16																																																	
Magnitud de P.secos (-)	1961-2005	-14.3	-8.8	-4.3	-1.9	-4.6	-2.5	-5.9	-4.9	-2.3	-3.5	-5.9	-1.9	-9.7	-1.4	-5.7	-3.3	-4.2	-1.7	-8.2	-7.0	-4.5	-5.1	-2.7	-5.2	-6.4	-3.5	-5.4	-5.1	-1.8																					
	2007-2040	-3.5	-1.8	-4.5	-5.2	-10.4	-2.4	-2.2	-3.0	-6.3	-7.0	-2.4	-1.4	-6.8	-3.7	-7.0	-3.6	-4.9	-5.2																																
	2041-2070	-4.9	-1.3	-3.0	-6.4	-7.4	-8.6	-3.2	-6.5	-4.8	-5.8	-3.1	-4.9	-5.3	-3.7	-2.2	-1.0	-3.4	-4.9	-5.2	-7.2	-1.1																													
	2071-2099	-4.0	-4.8	-3.5	-5.0	-1.2	-11.0	-4.2	-2.2	-3.7	-8.0	-6.5	-8.8	-6.3	-2.9	-2.8																																			
Intensidad máxima de P.secos (-)	1961-2005	-1.7	-1.9	-1.3	-1.2	-1.3	-1.3	-1.5	-2.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.1	-1.9	-1.1	-1.8	-1.1	-1.6	-1.1	-1.9	-2.0	-1.5	-1.9	-1.2	-1.7	-1.8	-1.3	-1.7	-1.8	-1.1																					
	2007-2040	-1.4	-1.0	-1.7	-1.6	-2.4	-1.3	-1.1	-1.6	-1.9	-2.1	-1.1	-1.4	-1.4	-1.4	-2.1	-1.4	-1.9	-1.5																																
	2041-2070	-1.4	-1.1	-1.2	-1.8	-1.8	-1.9	-1.4	-1.5	-1.7	-1.9	-1.4	-1.3	-1.5	-1.1	-1.1	-1.0	-1.7	-1.5	-1.5	-1.7	-1.1																													
	2071-2099	-1.2	-1.8	-1.8	-1.5	-1.2	-1.9	-1.6	-1.6	-1.2	-1.9	-2.0	-2.3	-1.8	-1.3	-1.4																																			
Intensidad media de P.secos (-)	1961-2005	-0.8	-1.3	-0.9	-0.6	-0.9	-0.8	-1.2	-1.2	-0.8	-0.9	-1.2	-0.6	-1.4	-0.7	-1.4	-0.8	-1.0	-0.8	-1.4	-1.4	-0.9	-1.0	-0.9	-1.0	-1.3	-1.2	-1.4	-1.3	-0.6																					
	2007-2040	-1.2	-0.6	-1.1	-1.0	-1.7	-1.2	-0.7	-1.0	-1.6	-1.7	-0.8	-0.7	-1.1	-0.9	-1.2	-0.9	-1.2	-1.0																																
	2041-2070	-1.0	-0.7	-0.6	-1.1	-1.2	-1.4	-1.1	-1.1	-1.2	-1.5	-0.8	-1.0	-1.3	-0.7	-0.7	-1.0	-1.1	-1.2	-1.3	-1.0	-1.1																													
	2071-2099	-0.7	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.4	-1.4	-1.1	-0.9	-1.3	-1.3	-1.5	-1.3	-1.0	-0.9																																			
Nº mes de inicio de cada P.seco	1961-2005	11	35	49	62	73	86	121	133	158	169	240	253	263	279	289	313	337	352	359	373	385	396	409	445	456	470	481	517	528																					
	2007-2040	38	50	62	73	84	96	133	158	168	241	254	279	311	325	349	360	374	383																																
	2041-2070	13	26	47	60	72	84	96	108	121	133	146	157	168	193	241	256	277	288	325	335	360																													
	2071-2099	23	61	74	95	111	130	145	183	194	240	265	276	288	303	313																																			

ANEJO 3

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACION DETALLADA DE LOS PERÍODOS SECOS SEGÚN EL ÍNDICE SPEI.

HIPÓTESIS 2

Nomenclatura:

Nº Total P secos =	Nº de períodos secos identificados (de igual o diferente duración)
Duración =	Duración en meses de cada período seco identificado
Duración media P. secos =	Duración promedio en meses de los períodos secos identificados
Magnitud de P. secos =	Suma de los valores de SPEI de cada uno de los meses dentro del período seco
Intensidad media de P. secos =	Es el valor medio de SPEI de los valores del período seco

31

33

Subcuenca: Alto Paraguay - SPEI 12 - EC																																																		
Nº meses analizados	1961-2005	540																																																
	2007-2040	408																																																
	2041-2070	360																																																
	2071-2099	347																																																
Nº total P.secos	1961-2005	4																																																
	2007-2040	1																																																
	2041-2070	3																																																
	2071-2099	7																																																
Nº P.secos / año	1961-2005	0.1																																																
	2007-2040	0.0																																																
	2041-2070	0.1																																																
	2071-2099	0.2																																																
Nº P.seco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		
Duración (meses)	1961-2005	17	111	26	31																																													
	2007-2040	304																																																
	2041-2070	24	36	217																																														
	2071-2099	41	12	15	51	22	57	25																																										
Duración media P.secos (meses)	1961-2005	46.3																																																
	2007-2040	304.0																																																
	2041-2070	92.3																																																
	2071-2099	31.9																																																
Magnitud de P.secos (-)	1961-2005	-8.2	-94.5	-11.4	-52.4																																													
	2007-2040	-518.0																																																
	2041-2070	-28.8	-27.9	-337.0																																														
	2071-2099	-54.3	-11.3	-11.0	-89.5	-29.9	-57.4	-41.5																																										
Intensidad media de P.secos (-)	1961-2005	-0.5	-0.9	-0.4	-1.7																																													
	2007-2040	-1.7																																																
	2041-2070	-1.2	-0.8	-1.6																																														
	2071-2099	-1.3	-0.9	-0.7	-1.8	-1.4	-1.0	-1.7																																										

Subcuenca: Alto Paraná - SPEI 3 - EC																																																	
Nº meses analizados	1961-2005	540																																															
	2007-2040	408																																															
	2041-2070	360																																															
	2071-2099	347																																															
Nº total P.secos	1961-2005	12																																															
	2007-2040	12																																															
	2041-2070	18																																															
	2071-2099	14																																															
Nº P.secos / año	1961-2005	0.3																																															
	2007-2040	0.4																																															
	2041-2070	0.6																																															
	2071-2099	0.5																																															
Nº P.seco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
Duración (meses)	1961-2005	3	8	3	3	4	7	17	7	11	4	3	22																																				
	2007-2040	8	2	4	2	66	115	27	5	32	7	3	8																																				
	2041-2070	3	4	8	4	3	3	3	3	4	12	2	40	11	10	4	4	14	26																														
	2071-2099	3	24	3	4	6	44	7	9	3	7	4	3	6	13																																		
Duración media P.secos (meses)	1961-2005	7.7																																															
	2007-2040	23.3																																															
	2041-2070	8.8																																															
	2071-2099	9.7																																															
Magnitud de P.secos (-)	1961-2005	-2.3	-8.5	-3.4	-2.6	-3.6	-8.0	-18.5	-3.7	-7.0	-4.4	-3.4	-25.7																																				
	2007-2040	-6.2	-1.4	-2.8	-1.8	-80.0	-144.1	-40.5	-4.5	-31.7	-4.4	-3.3	-5.8																																				
	2041-2070	-2.9	-4.3	-9.9	-3.4	-2.4	-3.4	-1.8	-3.0	-4.9	-16.9	-2.7	-52.5	-9.8	-9.7	-3.3	-3.5	-13.0	-22.9																														
	2071-2099	-3.7	-27.4	-4.5	-3.5	-6.8	-49.0	-9.1	-11.2	-2.4	-5.5	-3.8	-3.2	-6.9	-15.3																																		
Intensidad media de P.secos (-)	1961-2005	-0.8	-1.1	-1.1	-0.9	-0.9	-1.1	-1.1	-0.5	-0.6	-1.1	-1.1	-1.2																																				
	2007-2040	-0.8	-0.7	-0.7	-0.9	-1.2	-1.3	-1.5	-0.9	-1.0	-0.6	-1.1	-0.7																																				
	2041-2070	-1.0	-1.1	-1.2	-0.8	-0.8	-1.1	-0.6	-1.0	-1.2	-1.4	-1.4	-1.3	-0.9	-1.0	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9																														
	2071-2099	-1.2	-1.1	-1.5	-0.9	-1.1	-1.1	-1.3	-1.2	-0.8	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.2																																		

39

Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 3 - EC																																																		
Nº meses analizados	1961-2005	540																																																
	2007-2040	408																																																
	2041-2070	360																																																
	2071-2099	347																																																
Nº total P.secos	1961-2005	25																																																
	2007-2040	11																																																
	2041-2070	8																																																
	2071-2099	2																																																
Nº P.secos / año	1961-2005	0.6																																																
	2007-2040	0.3																																																
	2041-2070	0.3																																																
	2071-2099	0.1																																																
Nº P.seco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		
Duración (meses)	1961-2005	2	5	5	4	3	3	6	4	3	5	4	3	3	4	6	5	5	4	4	3	6	3	4	2	3																								
	2007-2040	3	3	4	5	6	7	3	2	3	5	3																																						
	2041-2070	4	3	3	8	2	4	2	2																																									
	2071-2099	4	4	3																																														
Duración media P.secos (meses)	1961-2005	4.0																																																
	2007-2040	4.0																																																
	2041-2070	3.5																																																
	2071-2099	3.7																																																
Magnitud de P.secos (-)	1961-2005	-1.5	-4.1	-3.6	-3.6	-4.2	-1.7	-3.3	-4.9	-2.4	-6.3	-3.6	-2.3	-2.8	-3.1	-4.0	-4.5	-7.0	-5.3	-4.2	-1.9	-6.5	-2.6	-4.4	-1.3	-3.3																								
	2007-2040	-2.0	-3.5	-4.7	-5.6	-5.9	-7.9	-2.3	-2.3	-2.1	-3.0	-2.7																																						
	2041-2070	-4.0	-3.1	-3.4	-8.0	-1.4	-2.7	-2.0	-2.0																																									
	2071-2099	-3.6	-3.1	-2.2																																														
Intensidad media de P.secos (-)	1961-2005	-0.7	-0.8	-0.7	-0.9	-1.4	-0.6	-0.6	-1.2	-0.8	-1.3	-0.9	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.9	-1.4	-1.3	-1.1	-0.6	-1.1	-0.9	-1.1	-0.7	-1.1																								
	2007-2040	-0.7	-1.2	-1.2	-1.1	-1.0	-1.1	-0.8	-1.1	-0.7	-0.6	-0.9																																						
	2041-2070	-1.0	-1.0	-1.1	-1.0	-0.7	-0.7	-1.0	-1.0																																									
	2071-2099	-0.9	-0.8	-0.7																																														

Subcuenca: Bajo Paraná - SPEI 6 - EC																																																									
Nº meses analizados	1961-2005	540																																																							
	2007-2040	408																																																							
	2041-2070	360																																																							
	2071-2099	347																																																							
Nº total P.secos	1961-2005	19																																																							
	2007-2040	9																																																							
	2041-2070	5																																																							
	2071-2099	2																																																							
Nº P.secos / año	1961-2005	0.4																																																							
	2007-2040	0.3																																																							
	2041-2070	0.2																																																							
	2071-2099	0.1																																																							
Nº P.seco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48									
Duración (meses)	1961-2005	6	5	6	5	5	5	6	5	4	5	5	6	6	6	6	3	3	6	5																																					
	2007-2040	5	7	6	7	8	5	5	3	3																																															
	2041-2070	5	8	6	7	3																																																			
	2071-2099	6	5																																																						
Duración media P.secos (meses)	1961-2005	5.2																																																							
	2007-2040	5.4																																																							
	2041-2070	5.8																																																							
	2071-2099	5.5																																																							
Magnitud de P.secos (-)	1961-2005	-5.1	-3.3	-5.1	-4.9	-5.7	-3.4	-7.5	-4.2	-2.7	-3.9	-3.8	-8.2	-7.7	-6.0	-6.6	-3.0	-1.9	-6.6	-4.8																																					
	2007-2040	-5.3	-7.6	-7.3	-7.0	-9.3	-3.6	-3.6	-2.0	-1.9																																															
	2041-2070	-2.9	-7.5	-4.3	-8.9	-2.5																																																			
	2071-2099	-5.1	-4.4																																																						
Intensidad media de P.secos (-)	1961-2005	-0.9	-0.7	-0.9	-1.0	-1.1	-0.7	-1.2	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-1.4	-1.3	-1.0	-1.1	-1.0	-0.6	-1.1	-1.0																																					
	2007-2040	-1.1	-1.1	-1.2	-1.0	-1.2	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6																																															
	2041-2070	-0.6	-0.9	-0.7	-1.3	-0.8																																																			
	2071-2099	-0.9	-0.9																																																						

51

RESUMEN: Inundaciones y Sequías

INUNDACIONES

Vulnerabilidad frente a inundaciones:

Sobre la base la cartografía SIG de la Cuenca del Plata y aplicando la metodología propuesta por la ANA (2011) se estudiaron los principales cursos de agua y se identificaron aquellos con vulnerabilidad alta, media y baja frente a inundaciones. Se analizó el 7.2 % (67820 km) de los cursos de agua de la cuenca. Cabe señalar que aunque se utilizó la misma metodología para toda la cuenca, al ser aplicada en cada país por un experto diferente, los resultados pueden ser subjetivos entre países y subcuencas, por lo que los resultados deberían tomarse como una primera aproximación al problema. En base a la metodología aplicada se obtuvieron los siguientes resultados:

- De los cursos de agua analizados en el conjunto de la cuenca, el 41 % (27806 km) tienen vulnerabilidad alta frente a inundaciones, el 35 % (23737 km) vulnerabilidad media y el 24 % (16276 km) vulnerabilidad baja.
- El detalle por subcuenca se presenta en la Tabla 1.

Subcuenca	Kms. analizados	Vulnerabilidad inundaciones		
		Alta (%)	Media (%)	Baja (%)
Alto Paraguay	4579	65	25	10
Bajo Paraguay	17417	38	41	21
Alto Paraná	11939	23	40	37
Bajo Paraná	12946	73	24	3
Alto Uruguay	4454	55	19	26
Bajo Uruguay	13334	27	39	34
Río de la Plata *	3150	6	45	49

Tabla 1: Porcentaje de kilómetros de cursos de agua por subcuenca con vulnerabilidad alta, media y baja. * La cuenca del Río de la Plata fue estudiada de forma parcial.

Inundaciones urbanas:

Los estudios antecedentes indican de forma generalizada que uno de los principales problemas en la Cuenca del Plata es el de las inundaciones urbanas. Se analizó este aspecto en particular identificando de forma preliminar las poblaciones con potenciales problemas de inundaciones. Para ello se identificaron las poblaciones con más de 50000 habitantes y las que tienen entre 10000 y 50000 habitantes, con un curso de agua cercano con vulnerabilidad alta frente a inundaciones. Los resultados que se presentan a continuación deben considerarse como una primera aproximación al problema:

- Considerando la cuenca completa se identificaron 92 ciudades con más de 50000 habitantes y 226 poblaciones entre 10000 y 50000 habitantes con alta probabilidad de tener problemas frente a inundaciones, en total 318 núcleos urbanos.

- El detalle por subcuenca se presenta en la Tabla 2.

Subcuenca	Nº Poblaciones	
	Mayor a 50000 hab.	Entre 10000 y 50000 hab.
Alto Paraguay	3	15
Bajo Paraguay	9	17
Alto Paraná	39	66
Bajo Paraná	22	77
Alto Uruguay	4	18
Bajo Uruguay	7	18
Río de la Plata*	8	15

*Tabla 2: Número de poblaciones por subcuenca con alta probabilidad de presentar problemas frente a inundaciones. Se discrimina entre poblaciones con más de 50000 habitantes y poblaciones entre 10000 y 50000 habitantes. * La cuenca del Río de la Plata fue estudiada de forma parcial.*

Escenario actual y futuros (inundaciones):

De acuerdo a estudios antecedentes, en términos generales, se observa un aumento de caudales en los ríos, aumento de lluvias (principalmente en la zona sur y sur-oeste de la Cuenca del Plata, en la zona norte se observa disminución), aumento en la frecuencia de lluvias intensas y aumento de periodos secos. Todos estos factores indican una tendencia actual a un aumento de inundaciones en la Cuenca del Plata.

En lo que respecta al análisis de posibles escenarios futuros, de acuerdo a estudios antecedentes de la variable precipitación (donde se analizaron los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099) se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Para el período 2011-2040 se observa un aumento de hasta 1 mm/día en la zona sur y una disminución de hasta 3 mm/día en la zona norte de la cuenca.
- Para el período 2041-2070 el aumento de hasta 1 mm/día se extiende en la zona sur, suroeste y oeste mientras que en la zona norte y noreste la disminución es hasta 1 mm/día.
- En el período 2071-2099 continúa el aumento para la zona sur, oeste y norte y disminución en la zona este para el trimestre diciembre-enero y febrero, posteriormente la señal indica un aumento moderado o neutro para el resto de los meses del año.
- Si la tendencia actual se mantiene, la zona sur y suroeste podría tener mayor problema de inundaciones mientras que en la zona noroeste aun teniendo menor precipitación, dependerá si el reparto temporal de la misma es homogéneo o si por el contrario continúa la tendencia actual donde las lluvias se acumulan en menor cantidad de días.

Impacto económico de las inundaciones:

No se han identificado estudios sistemáticos en la cuenca para valorar las pérdidas o daños debido a las inundaciones. De acuerdo a estudios antecedentes específicos, sólo en Argentina los daños directos e intangibles de las inundaciones ocurridas entre 1987 y 1998 se estimaron en 2640 millones de dólares con más de 235000 personas evacuadas. En este mismo país, las inundaciones en el período 1991-92 significaron una pérdida de 513 millones de dólares, más de 3 millones de hectáreas inundadas y 122000 personas evacuadas. Durante el evento de El Niño de 1982-83 las pérdidas estimadas en la Cuenca del Plata fueron de más de un billón de dólares.

Principales recomendaciones (inundaciones):

En términos generales, las principales recomendaciones que surgen del análisis desarrollado son las siguientes:

- Realizar estudios complementarios tendientes a identificar de forma precisa los núcleos urbanos con problemas de inundaciones, caracterizar las mismas y realizar una priorización de actuación.
- Definir una metodología común para la zonificación y creación de mapas de zonas inundables y de riesgo (tanto para inundaciones urbanas como rurales).
- Identificar poblaciones con potencial de tener sistemas de alerta contra inundaciones basado en la tecnología e infraestructura ya existente en la cuenca. Desarrollar dichos sistemas de alerta.
- Establecer a nivel sectorial y de subcuencas metodologías/protocolos para una cuantificación objetiva de los perjuicios económicos causados por las inundaciones. Identificar y valorar los impactos de inundaciones históricas.
- Elaborar planes de gestión de riesgo frente a inundaciones a nivel de subcuencas.
- Elaborar medidas de ordenación territorial tendientes a prevenir y mitigar el problema de inundaciones.
- Elaborar un plan de concientización ciudadana de medidas de prevención y/o mitigación de daños frente a inundaciones.
- Elaborar/actualizar y ejecutar planes de seguridad de presas y mapas de zonas inundables debido a posibles roturas de presas u otras infraestructuras que puedan provocar inundaciones.
- Generar un programa de cooperación transversal entre los países de la Cuenca del Plata que incluya, entre otros, apoyo técnico para la selección, puesta en funcionamiento y operación de nuevas tecnologías, actividades de capacitación y movilidad y, actividades tendientes al fortalecimiento institucional.

SEQUÍAS

Sequías (escenario actual y futuros):

Se realizó un análisis de las sequías en base a la información histórica de forma de estimar la tendencia actual de las mismas. Asimismo se caracterizaron las sequías a nivel de subcuenca para escenarios futuros (2007-2040, 2041-2070, 2071-2099).

Entre los principales resultados de los trabajos realizados para sequías se destacan los siguientes:

- Realizando un análisis a escala anual de los datos históricos (existen estaciones pluviométricas con registros desde el año 1851), el tiempo medio entre años secos para la Cuenca del Plata es de 6 años. Si se considera sólo el período 1961-2014 (considerado como el período representativo del clima actual) el tiempo medio entre años secos aumenta a 9 años. Cuando se realiza el análisis a nivel de subcuenca existe una gran heterogeneidad.
- La tendencia del clima actual muestra que en la Cuenca del Alto Paraguay el tiempo medio entre años secos apenas disminuye para el período 1961-2014 (respecto a las series históricas completas) y en la Cuenca del Bajo Paraguay oscila según la estación pluviométrica analizada. En el resto de subcuencas el tiempo medio entre años secos aumenta para el período 1961-2014.
- Se observó que en el escenario del período 2007 – 2040 las subcuencas ubicadas al norte de la cuenca del Plata presentan una predominancia de períodos secos y las del sur una predominancia de clima húmedo con alternancia de períodos secos cortos; a medida que se analizan escenarios futuros más lejanos en el tiempo la situación de clima más húmedo se va extendiendo hacia las subcuencas del norte aumentando los períodos húmedos o haciendo menos intensos los períodos con déficit hídrico (Figura 1).
- Al igual que con la magnitud y duración de la sequía, la superficie en situación de sequía (denominada cobertura) en cada una de las subcuencas, en general, tiende a disminuir a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo. Existe una mejora de la situación que se extiende desde el sur al norte a medida que transcurre el tiempo.
- De cumplirse las predicciones climáticas, existirá una heterogeneidad importante entre las subcuencas en lo relativo con la existencia de períodos secos, normales y húmedos.

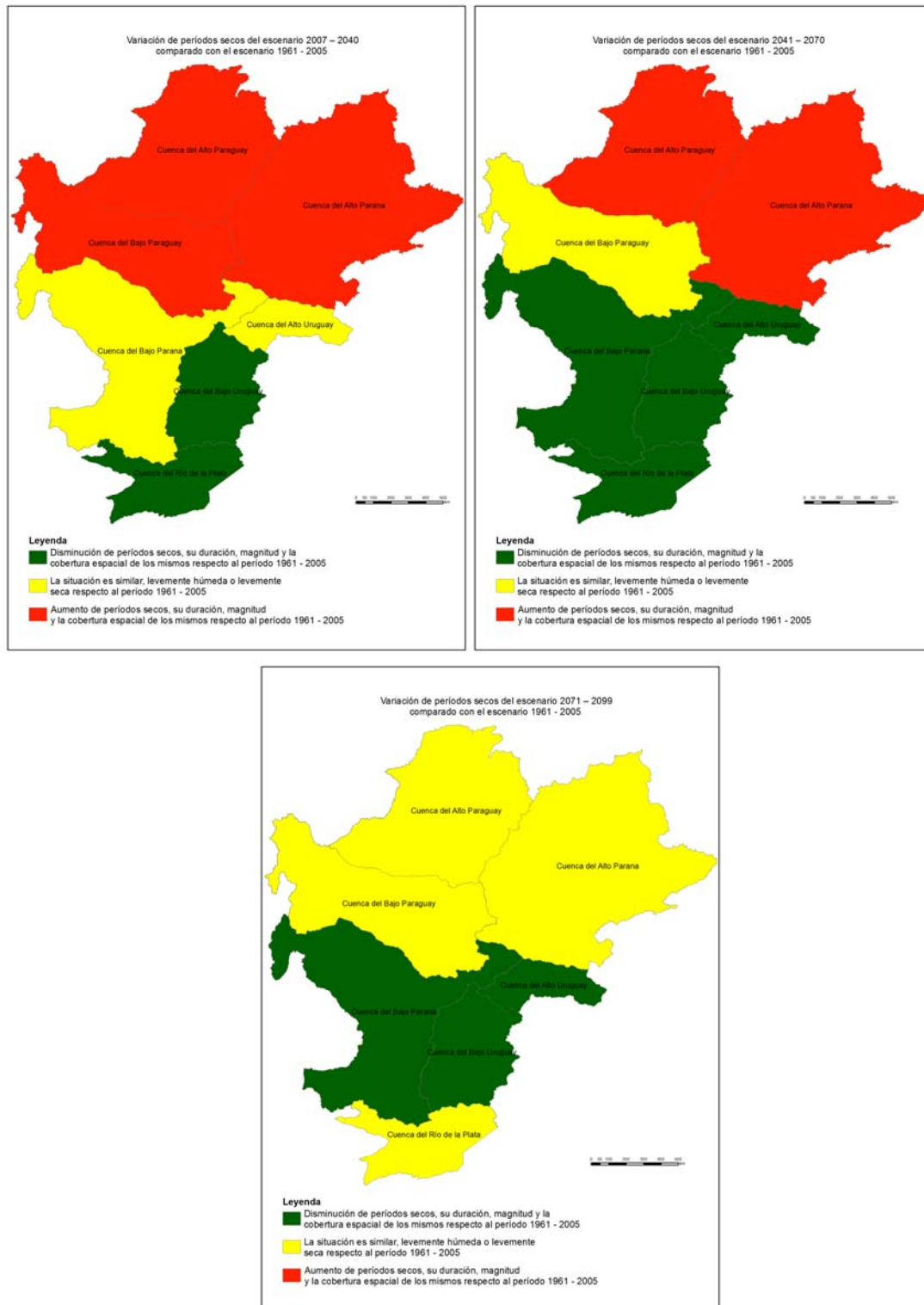


Figura 1: Variación de períodos secos en los diferentes escenarios y subcuencas comparando con el escenario del control (1961 – 2005). El color rojo significa un aumento de períodos secos, duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos. El color amarillo significa que la situación es similar o levemente húmeda o levemente seca respecto al período de control. El color verde indica una disminución de períodos secos, duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos, con un aumento de períodos húmedos.

Análisis diagnóstico por Subcuenca (sequías):

- Alto Paraguay y Alto Paraná: Se observa un aumento de los períodos secos, tanto en su duración, magnitud e intensidad media de los mismos. Lo mismo ocurre con la cobertura espacial de los períodos secos. En el período 2007 – 2040 es cuando se da la peor situación, mejorando paulatinamente pero sin llegar a los niveles del período de control (1961 – 2005).
- Bajo Paraguay: Los períodos secos aumentan considerablemente tanto en duración, magnitud y cobertura espacial de los mismos para el período 2007 – 2040, pero sin llegar a los niveles de las cuencas de Alto Paraguay y Alto Paraná. A partir del período 2041 – 2070 la situación va mejorando aunque no se alcanza la situación del período de control. La cobertura espacial de la sequía también empieza a disminuir aunque se mantiene por encima de los niveles del período de control.
- Bajo Paraná: En el escenario de control la cuenca presenta un clima normal a levemente húmedo presentando períodos secos puntuales de baja intensidad. En los escenarios futuros el clima se va tornando gradualmente más húmedo para los escenarios más lejanos en el tiempo, disminuyendo los períodos secos, la magnitud, intensidad y cobertura espacial de los mismos. Por lo tanto, los escenarios futuros presentarían mayores recursos hídricos que el escenario de control.
- Alto Uruguay: El clima en el escenario 1961 – 2005 alterna períodos secos y húmedos. En el escenario 2007 – 2040 se observan menos períodos secos aunque con mayor duración e intensidad. A partir del escenario 2041 – 2070 predomina el clima húmedo disminuyendo la cantidad de períodos secos, su duración, intensidad y cobertura.
- Bajo Uruguay: La señal es clara indicando un aumento de los recursos hídricos a medida que se analizan los escenarios más lejanos en el tiempo. Los períodos secos disminuyen tanto en cantidad, duración, intensidad como en cobertura espacial.
- Río de la Plata: El escenario 1961 – 2005 se caracteriza por la alternancia de períodos secos y húmedos. En el escenario 2007 – 2040 se observa una fuerte disminución de los períodos secos, su duración, magnitud así como la cobertura espacial de los mismos. En el resto de escenarios, aunque con una predominancia de clima normal a húmedo, se observan períodos secos puntuales. En todos los casos los períodos secos son menores a los observados en el escenario de control.

Impacto económico de las sequías:

En promedio, en los años secos con datos económicos se ha identificado una caída media del PIB (Producto Interior Bruto) del orden del 5 % (entre el 3 y 7 %). Aunque existen otros factores externos que pueden explicar parte de este comportamiento, es clara la relación sistemática entre la caída del crecimiento del PIB y los años secos.

Principales recomendaciones (sequías):

- Identificar de áreas críticas con una escala de trabajo de mayor detalle a la de esta fase.
- Analizar la demanda máxima atendible con una escala de trabajo de mayor detalle a la de esta fase de estudio, en función de la infraestructura actual y cuantificar alternativas de obras o medidas no estructurales para aumentar el grado de satisfacción de las demandas, todo en escenario actual y futuros.
- Establecer a nivel sectorial y de subcuenca metodologías/protocolos para una cuantificación objetiva de los perjuicios económicos causados por las sequías. Identificar y valorar los impactos de sequías históricas.
- Desarrollar un plan de gestión de sequías a nivel de subcuencas.
- Desarrollar un observatorio de sequías en la Cuenca del Plata.
- Desarrollar un programa de cooperación transversal entre los países que incluya apoyo técnico para la selección, puesta en funcionamiento y operación de nuevas tecnologías, actividades de capacitación y movilidad y actividades tendientes al fortalecimiento institucional.