

“Evaluación Integral de Riesgos en el uso potencial de Riego Artificial Complementarios en Explotaciones Tipificadas en la Provincia de Córdoba: departamentos Río Cuarto y Marcos Juárez”

Bosch, E.A.(2); Seiler, R.(3); Wehbe, M.B.(4); Granda, J.A.(5).

ebosch@fce.unrc.edu.ar; rseiler@ayv.unrc.edu.ar; mwehbe@ayv.unrc.edu.ar; jgranda@correo.inta.gov.ar

Un problema general al considerar la utilización de un equipo de riego artificial, para complementar la falta de humedad del suelo agrícola cuando se produce escasez de precipitaciones, es determinar la cantidad de agua que el equipo debe bombear y precipitar artificialmente y los costos que esto generaría¹ cuando el equipo está en marcha lo que llamaríamos los “costos operativos”. Sin embargo, una parte generalmente ignorada del costo económico total es lo que los economistas denominan el “costo de oportunidad”, i.e. el beneficio sacrificado por la forma en que los recursos fueron asignados. En el caso del riego artificial complementario este costo de oportunidad está determinado por el tiempo en que el equipo está fuera de uso debido a que el régimen de lluvias basta para cubrir los requerimientos de agua de los cultivos. Es la suma de los costos operativos y el costo de oportunidad lo que constituye el costo económico total de tener un equipo de riego para uso complementario. La pregunta que todo productor agrícola se hace cuando considera esta decisión de inversión es: “¿A cuanto asciende el costo (económico) total?”.

La respuesta a esta pregunta depende de muchos más factores que aquellos que un productor medio puede estimar. Entre todos ellos tal vez la más importante sea determinar el nivel medio de riego que el productor debe llevar a cabo para compensar la falta de agua. Esta tarea revela sus dificultades inmediatamente se intenta lleva a cabo una estimación. Las dificultades se acumulan comenzando con los problemas que presenta la relativa escasez de datos respecto de precipitaciones para áreas cada vez más pequeñas. Una segunda dificultad tiene que ver con que a lo largo de los ciclos anuales las precipitaciones presentan grandes oscilaciones por lo cual trabajar con promedios anuales implica incurrir en grandes errores. A las dificultades anteriores se le debe agregar que no todos los años se repite exactamente el mismo régimen de lluvias por lo cual se deben separar las diferencias anuales que no respondan a ningún patrón o relación causal conocida para obtener finalmente lo que constituiría una verdadera

¹ Este trabajo fué la consecuencia indirecta de la necesidad de avanzar hacia una más fina interpretación del fenómeno 'sequía' y sus consecuencias económicas y financieras que se plantearan originariamente Wehbe, et al., 2011. Las discusiones respecto a las limitaciones de otros trabajos ya realizados de similar tenor exigieron por respuesta una propuesta metodológica que resultó en el corriente informe.

oscilación aleatoria en el régimen de lluvia.

La identificación de todos estos patrones de comportamiento del régimen de lluvias con fines predictivos para uso económico exige que el modelado sea robusto a la presencia de eventos extremos. De no satisfacerse la condición de robustez las estimaciones llevarían a una sobre/subestimación del comportamiento del régimen de lluvias. Dado que la conveniencia económico-financiera de invertir en equipos de riego artificial depende de una correcta estimación del uso de los equipos y la productividad que ese uso reportaría, un equipo demasiado grande implicaría una sobreinversión en capital fijo y una estimación por defecto de las necesidades de riego llevaría a una subinversión en capital con las pérdidas que cualquiera de los casos acarrea.

Por otra parte, la evaluación financiera exige no solo contar con una estimación de la relación beneficio-costos sino también una estimación de las posibilidades de uso de la inversión. Un equipo que es capaz de satisfacer correctamente las necesidades de suplementación de agua cuando se produce escasez de precipitaciones puede ser una pésima inversión económico-financiera si se va a hacer uso de él en muy raras ocasiones por la inmovilización de capital que implica. Por esto, un análisis de los problemas de determinación de las carencias esperadas de agua, tal como se discute en el párrafo anterior, no estaría completa si no se cuenta con una buena estimación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos.

El presente trabajo pretende presentar una metodología para llevar a cabo estas estimaciones. Para alcanzar este fin las tareas se desglosan en cuatro partes. La primera de ellas está destinada a describir estadísticamente los datos empleados con particular énfasis en mostrar de qué manera esta descripción guía la decisión respecto a la técnica de descomposición temporal y estimación de efectos. En la siguiente sección se propone la técnica de estimación/descripción temporal del comportamiento del régimen de lluvia en las áreas geográficas elegidas para el estudio. En la tercera parte se modela estocásticamente el fenómeno de escasez de lluvias y se procede a la simulación para determinar sus propiedades estadísticas. Finalmente, se comparan los resultados para los dos departamentos de la provincia de Córdoba que son estudiados. Como ninguna técnica de análisis puede representar acertadamente la realidad este trabajo estaría incompleto si no se comentaran algunas de las limitaciones.

Descripción de la base de datos de precipitaciones

Los datos de precipitaciones del departamento Río Cuarto (DRC) y del departamento

Marcos Juárez (DMJ) de la provincia de Córdoba, que constituyen la base del presente estudio, se construyen a partir del promedio de los datos de lluvia mensual acumulada correspondientes a localidades específicas de cada uno de éstos. En el caso del departamento Río Cuarto, para determinar las lluvias promedio mensuales en mm se promedian los valores de precipitaciones de nueve localidades, las cuales son: Adelia María, Alcira Gigena, Berrotarán, Chucul, Elena, Río Cuarto, Los Molles, San Basilio y Sampacho, en el mes de referencia. Para la determinación de los datos de precipitaciones correspondientes al departamento Marcos Juárez se repite el procedimiento con los datos de lluvias que corresponden a las localidades de: Marcos Juárez, Guatimozin, Leones y Monte Buey. La fuente de datos es la Bolsa de Cereales de Córdoba a través de su sitio de Internet. Los datos brutos resultantes son presentados en las TABLAS 1 y 2 con sus correspondientes representaciones gráficas.

Una inspección rápida las tablas de observaciones llevan a inferir que el comportamiento del régimen de lluvias dista de ser normal. Confirmar o descartar esta presunción es de suma importancia para proceder a la definición de las distribuciones de probabilidad necesarias para llevar a cabo el análisis de simulaciones estocásticas perseguido. Para confirmar la hipótesis de no normalidad se realizan diversos análisis estadísticos cuyos resultados son presentados en las tablas correspondientes. Este análisis es discutido según el siguiente esquema. Primero analizan los datos correspondientes al departamento Río Cuarto por la descripción estadística de la base de datos completa, luego se muestran los resultados de analizar la base de datos completa, seguidamente se muestran los resultados de estudiar el régimen de precipitaciones concentrando la atención en los meses de ocurrencia, luego se analizan los datos atendiendo a los años. Como consecuencia del análisis se rechaza la hipótesis de normalidad y se procede a estudiar los efectos que llevan a que los datos se aparten de esta distribución. Finalmente, se presentan los resultados estadísticos que corresponden a los estimadores mismos. Para terminar, se repite el esquema de discusión para los datos del departamento de Marcos Juárez.

Análisis de las precipitaciones del departamento Río Cuarto

En la TABLA 3 se muestran los resultados estadísticos generales correspondientes a los datos de lluvia del departamento Río Cuarto. En ellos podemos ver que existe una importante discrepancia entre la mediana y la media de las precipitaciones para todo el período considerado. Esta diferencia sugiere que las observaciones distan de ser representados por una distribución normal. La presunciones se afirman si se observan los

datos de sesgo y kurtosis que refuerzan la impresión acerca de un apartamiento de lo que sería una distribución simétrica. Para rechazar la hipótesis nula de normalidad sobre los datos² se recurre al estadístico de Jarque-Bera (J-B) el cual lleva al rechazo de aquella hipótesis. Así queda determinado que los datos como un todo incluyen patrones que deben ser identificados y aislados. Viendo que los dos factores inmediatos que podrían afectar el régimen de lluvia podrían estar vinculados a un fenómeno de estacionalidad anual y también de comportamiento cíclico interanual se concentra la atención sobre ellos.

Si se observan los estadísticos descriptivos para los datos tomados por mes, TABLA 4, se puede notar una pronunciada oscilación a lo largo del año con, por ejemplo, una mediana máxima de 119,0 en enero que va descendiendo en forma sostenida hasta el invierno para comenzar a aumentar nuevamente a medida que se avanza a diciembre. Cabe hacer notar que este comportamiento es consistente con el tipo de clima continental propio de la región analizada. En esta parte de la tabla de datos se ve que la mediana (MED) de las distribuciones mensuales discrepa del promedio (AVG) pero las medidas de simetría, SESGO y kurtosis (KURTO), no inducen a pensar que esta diferencia sea estadísticamente significativa lo cual es confirmado por las pruebas de J-B. Sin embargo, para dos meses particulares, MAY y AGO, se rechazan las hipótesis de normalidad.

Más importante es notar como se comportan las descripciones estadísticas de los meses a lo largo de los años en la parte inferior de la tabla. Desde este enfoque se presenta la paradoja de que las medidas de centralización, dispersión, y simetría se manifiestan como normales. Sin embargo, para las medidas de centralización existe un claro comportamiento en U tal como muestran los números. En este caso, los estadísticos J-B rechazan la hipótesis de normalidad con excepción de los meses de invierno. Este patrón sugiere un comportamiento estacional de año a año aún cuando el comportamiento de las precipitaciones a lo largo de los años se presente como normal mientras las observaciones se correspondan con el mismo mes.

Un aspecto a notar en la TABLA 4 es que los estadísticos por mes presentan notables discrepancias que sugieren preguntar acerca de la existencia de patrones de comportamiento. Todas las observaciones anteriores sugieren la necesidad de llevar adelante estudios más profundos respecto al comportamiento de las precipitaciones para identificar o rechazar la existencia de un “efecto mes”³.

En la TABLA 5 se presentan los datos estadísticos de los datos analizados por año.

2 Recordemos que para la H0: “los datos se distribuyen normales”, si $J-B > J-B^*$ es rechazada

3 Si se graficaren los datos de media, promedio y desvío típico se observaría una pronunciada forma de U

Cuando los datos son analizados por año se presentan observaciones de la misma naturaleza que cuando son estudiados por mes. Las diferencias entre medianas y promedios como también los estadísticos de sesgo y kurtosis sugieren que el comportamiento de las lluvias algunos años distó mucho de comportarse según la hipótesis de normalidad al interior de cada año; en particular, para los períodos 2005 y 2008 la prueba de Jarque-Bera rechaza la hipótesis nula de normalidad de la distribución de datos. Consecuentemente, surge como pregunta de indagación la posibilidad de existencia de un “efecto año atípico”⁴. Si se realiza un análisis estadístico descriptivo de la descripción estadística anual, de la misma forma que se procediera con la descripción mensual (ver TABLA 4), se obtiene la TABLA 5. También para este análisis son válidas las observaciones que se realizaren al estudiar los estadísticos mensuales respecto a la hipótesis de normalidad.

Como conclusión parcial se puede afirmar que las anomalías encontradas, al analizar los datos de precipitaciones en el departamento Río Cuarto, llaman a un estudio más pormenorizado del comportamiento de la serie en busca de efectos estacionales asociados al mes del año como también el efecto del paso de los años aún cuando los estadísticos descriptivos generales no permiten rechazar la hipótesis nula de comportamiento estocástico normal para la serie de datos.

Análisis de las precipitaciones del departamento Marcos Juárez

En esta instancia se procede a realizar un análisis más detallado de la serie de precipitaciones en el departamento Marcos Juárez. Comenzando por una descripción estadística general de la serie, tal como se presenta en la TABLA 3, se puede notar que para esta base de datos no es posible rechazar la hipótesis nula de normalidad distribucional, $J-B > J-B^*$ ($25,2 > 5,99$). Sin embargo, al observarse la información de la TABLA 6 respecto al comportamiento mensual de la serie para los meses de enero y febrero se rechaza la hipótesis nula de normalidad en la distribución de los datos mensuales correspondientes. En particular, para el mes de enero resalta que la mediana (MED) es menor que el promedio (AVG) lo que es primera evidencia de un sesgo hacia la derecha en la distribución de la masa de datos, hecho que es corroborado por el coeficiente de sesgo mismo. Esto podría deberse a la existencia de uno o más outliers por exceso en el régimen de lluvia. Contrariamente sucede con los datos referidos a los meses de febrero; en este caso pareciera que existe un fenómeno de sesgo hacia la izquierda lo

⁴ Si la serie de datos hubiere sido más extensa podría haberse planteado la pregunta acerca de un “efecto cíclico”; sin embargo, con un muestra anual tan corta hablar de efecto cíclico no parecía pertinente y se reemplazó por la noción de un “efecto año atípico”

que sería evidencia de la presencia de outliers por defecto en el régimen de lluvia.

En la TABLA 6, por debajo de la línea media, se tiene la descripción estadística de la tabla de datos correspondientes a la descripción estadística de los datos por meses de año de la misma forma que se hiciera para los datos del departamento Río Cuarto. Al igual que el análisis de los datos correspondientes al departamento Río Cuarto, se insinúa con fuerza la idea de un “efecto mes” en el departamento Marcos Juárez. Si se procede de forma similar a analizar la TABLA 7 surgen el observaciones similares a cuando se analizó los datos de Río Cuarto; en particular, se presenta la necesidad de estudiar la existencia de un “efecto año”.

Descomposición de factores en la serie de precipitaciones

La existencia de efectos no normales en los datos, tal como se hacen notar en los párrafos anteriores, llevan a buscar una técnica de identificación de patrones robusta. Entre las alternativas se descarta la posibilidad de emplear una técnica de análisis de series de tiempo en el dominio del tiempo como sería la metodología de Box-Jenkins debido a la escasez de datos. Si normalmente para una serie temporal sin efectos estacionales se pide que el número de observaciones sea superior al centenar con el fin de identificar el comportamiento cíclico en la serie, entonces requeríamos aproximadamente cien años de observaciones. Si por otra parte, a la serie se le agrega la existencia de un patrón estacional y para identificar confiadamente ese comportamiento estacional se necesitan un número similar de datos, y a esto agregamos que los posibles efectos estacionales serían doce dentro del año, entonces aplicando las proporciones mencionadas necesitaríamos unos cien años de observaciones mensuales de precipitaciones si se aspira a realizar un análisis de Box-Jenkins acorde al estado del arte. Un requerimiento similar de datos sería necesario para realizar un análisis de series temporales en el dominio de frecuencias como sería el caso del Análisis Espectral.

Excluidas estas técnicas analíticas el problema presenta como aquel de identificación de patrones estacionales y cíclicos con muy pocos datos y que los resultados sean lo suficientemente robustos para servir de insumos para los análisis de simulación estocástica perseguidos en este trabajo.

De las posibles alternativas se optó por la técnica de pulido de datos en tablas de doble entrada propuesto por Tukey en 1977. Esta técnica recursiva busca por eliminación sucesiva aislar los efectos distintos tipos de efectos que puedan subyacer al

comportamiento de una variable aleatoria que es estacionaria en centralización⁵. Específicamente, la técnica supone la existencia de tres efectos. El primero es un efecto general que se captura en una medida de centralización que pudiera ser la media o la mediana en nuestro caso. El segundo efecto es genéricamente conocido como el “efecto fila” en tanto que el tercero se conoce como “efecto columna” debido a la forma de tabla de doble entrada como se presentan las observaciones. En nuestro caso tendríamos un “efecto mes” y un “efecto año”. Finalmente, los comportamientos que no son capturados por los efectos antes enumerados quedan subsumidos en los residuos del procedimiento.

El problema que se presenta es la selección de la medida de centralización. Las dos candidatas inmediatas son la media y la mediana. La media muestral tiene la virtud de ser un estimador insesgado de la media poblacional; sin embargo, adolece del defecto de ser sensible a la presencia de outliers y, en el caso de distribuciones no simétricas, no partir la distribución en superficies iguales. Por su parte, la mediana como medida de centralización presenta la particularidad de ser robusta a la presencia de outliers y de partir la distribución de frecuencia en dos partes de igual superficie, pero su defecto más importante es que la mediana muestral es un estimador sesgado de la mediana poblacional. Estas consideraciones deben ser evaluadas a la luz de los objetivos perseguidos en el análisis.

Debido a que el objetivo de todo este análisis estadístico es poder determinar la/las distribuciones de frecuencias que mejor describen el conjunto de datos observados para las precipitaciones en cada departamento bajo estudio, todo con el fin de poder realizar un análisis de simulación aleatoria, en el presente trabajo se privilegia la robustez de las estimaciones por sobre sus propiedades asintóticas. De esta forma, se procede a realizar una descomposición de la tabla de datos mediante el pulido de la mediana para cada departamento.

A partir del análisis realizado se obtuvieron los efectos de los distintos meses y años además de los residuos⁶ que pueden observarse en la tabla correspondiente en el anexo estadístico con los datos de evaluación de resultados. En el GRÁFICO 3 se pueden ver los resultados de las estimaciones.

Claramente se percibe el comportamiento mediano de las lluvias para cada mes del año en cada departamento bajo estudio. Un aspecto de relevancia es que las precipitaciones

5 Se dice que una variable aleatoria es estacionaria en centralización si la medida de centralización empleada para la descripción no depende de ningún otro factor, e.g. el tiempo en los procesos estocásticos temporales.

6 En el presente trabajo y a los fines de las simulaciones perseguidas el efecto de centralización no fue separado de los efectos meses.

medias en el departamento de Río Cuarto para los meses de invierno son prácticamente nulas en tanto que, si bien mínimas, en el departamento Marcos Juárez el invierno está caracterizado por cierto nivel de humedad que permite la actividad agrícola aún en la temporada “seca”.

Distinto es el resultado cuando se analizan los efectos que cada año tuvo sobre la mediana de las precipitaciones. En el GRÁFICO 4 se muestran los resultados. Dado que la amplitud de los datos, medida en años, es muy escasa no puede descartarse la existencia de un comportamiento cíclico de largo plazo; sin embargo, para el objetivo del estudio que es de intentar realizar una simulación de precipitaciones debemos partir de negar la existencia de tal ciclo climático tal como sugieren las estimaciones. Otros aspectos menores a notar son los tres años en los cuales en el departamento Río Cuarto las lluvias estuvieron por encima del comportamiento mediano aportando entre 11 y 21 mm extra de lluvias. En cambio, en el departamento Marcos Juárez lo más llamativo es el año 2008 cuando ese año quitó 15 mm de precipitaciones al comportamiento mediano.

Mucho más importante cuando llegue el momento de correr las simulaciones es el hecho de que tanto en el caso de Río Cuarto como de Marcos Juárez las pruebas de Jarque-Bera de normalidad de los residuos rechaza la hipótesis nula. Rechazar la hipótesis de normalidad de los residuos obligará a realizar una identificación y estimación de la distribución de probabilidad que mejor los describe ya que la presencia de asimetría impide que la distribución de probabilidad pueda ser descripta completamente con dos parámetros⁷. Para una descripción más detallada de los resultados obtenidos se pueden ver las tablas en el Apéndice.

Simulaciones

Para proceder a realizar simulaciones primeramente se debe llevar a cabo una descripción de la característica de la incertidumbre que se enfrenta. Traducido matemáticamente esto significa identificar (o bien asumir) la distribución de probabilidad que mejor captura la esencia del desconocimiento de quien realiza la simulación (o de quien debe tomar una decisión a partir de ella). Para el presente estudio se tomó este principio de simulación y se optó por identificar aquella distribución de probabilidad que mejor se ajustaba a los datos de residuos obtenidos. Si bien la presencia demostrada de efectos intra anuales, sugería la identificación de una función para cada efecto mes, poca disponibilidad de observaciones llevó a optar por suponer una única distribución para

⁷ Hay que observar que habiendo elegido la mediana como medida de centralización es esperable que los residuos no se comporten según la hipótesis de normalidad.

todos los residuos para cada caso estudiado y agrupar los datos con el fin de obtener un mejor ajuste de los parámetros distribucionales.

Como además las simulaciones apuntan a evaluar los efectos económicos del uso de sistemas de riego complementario en cada departamento bajo análisis, no se consideraron aquellas situaciones con residuos positivos ya que no implicaban la necesidad de poner en funcionamiento los sistemas de riego. Contrariamente, es cuando se presentan carencias de precipitaciones que los sistemas de riego debieran ponerse en funcionamiento, siendo estas situaciones las que se corresponden con residuos negativos; por lo tanto, el interés se centra en identificar a) la probabilidad de que las precipitaciones se encuentren por debajo de la mediana, y b) la severidad de la carencia de lluvia.

De esta forma, se estimaron dos juegos de dos distribuciones de probabilidad para cada caso, i.e. un juego de distribución de probabilidad para los residuos del departamento Río Cuarto y otro para el departamento Marcos Juárez. El evento “carencia de lluvia suficiente” se modeló como una distribución dicotómica con valores de realización 0 cuando existe lluvia suficiente y 1 cuando si se produce una carencia de lluvia suficiente, siendo la media de esta distribución igual al cociente entre el número de ocurrencias de lluvias por debajo de la mediana y el total de casos bajo análisis.

Para representar la severidad de la falta de lluvia se separaron los residuos en dos grupos aquellos con todos los valores negativos y el segundo con los valores de residuos positivos o nulos. Del conteo de casos en cada grupo se definió la probabilidad de que ocurriera una carencia de lluvia y su negación. Además con los conjuntos de datos negativos se procedió a identificar la función que con más precisión los describía. En este caso la distribución que mejor ajuste presentaba según el criterio de Chi-cuadrado. Para el caso de Río Cuarto la distribución con mejor ajuste fue una Beta Generalizada con parámetros $\alpha(1) = 1,38$, $\alpha(2) = 0,48$, mín = -80 y max = 0. Por otra parte, para los datos de Marcos Juárez el mejor ajuste fué también una distribución Beta Generalizada con parámetros $\alpha(1) = 3,66$, $\alpha(2) = 0,718$ mín = -139,71 y max = 0.

Un aspecto interesante de observar respecto a los ajustes de las distribuciones Beta para cada departamento es que la media de la falta de agua, cuando no se alcanza la mediana, es más severa en Marcos Juárez que en Río Cuarto (-22,9 mm vs. -20,7 respectivamente), y lo mismo ocurre con la medida de desvío típico (22,32 en MJ vs. 20,6 RC). Por otra parte, cuando se calculó la media de la distribución dicotómica, que se definió para modelar las probabilidad del evento “carencia de agua”, ésta fue la misma

para cada departamento.

Con estos elementos en mano se define el modelo estocástico como sigue.

- Se simula por una parte el riesgo de que las precipitaciones sean menores que la mediana para cada mes en particular del ciclo productivo en lo que sería llamado el “evento carencia de agua”.
- Por otra parte se simula la ocurrencia de desvíos negativos respecto de la mediana en lo que daría a llamarse “severidad de la falta de agua”.
- El producto de ambas simulaciones es quitado a la mediana mensual, i.e. “precipitaciones medianas” - “evento carencia de agua” x “severidad de la falta de agua”, a este resultado se lo denomina “déficit de agua”.
- Estos cálculos son realizados para cada mes para cada departamento bajo estudio.
- Posteriormente se calcula el producto del “déficit de agua” y la cantidad de hectáreas sembradas para determinar la cuantía de milímetros de agua por hectárea que deben ser bombeados cada mes de acuerdo a la carencia de precipitaciones.
- Finalmente, se multiplica la cantidad de agua que debe ser irrigada artificialmente por un valor normalizado del costo de energía y se suman estas cantidades para todos los meses⁸.

Como resultado de todos estos pasos se obtiene un valor de comparación respecto a las ventajas y conveniencias de usar riego artificial complementario.

Los resultados obtenidos confirman las observaciones realizadas durante el análisis de los datos de precipitaciones respecto a que el departamento Río padece una mayor carencia de agua en promedio al compararlo con el departamento Marcos Juárez. Esta observación fué tomada como una prueba cualitativa de que el modelo captura las características de los regímenes de lluvia de cada departamento y que, por lo tanto, no induce decisiones equivocadas. Para una inspección de los resultados se pueden observar los GRÁFICOS 5 (resultados para Marcos Juárez) y 6 (resultados para Río Cuarto)

Para completar la exposición del modelo empleado es relevante explicitar el marco de supuestos que se emplearon que podrían resumirse en: el riego artificial no es

⁸ Es importante hacer notar que este paso se lleva a cabo con fines comparativos, ya que nos aleja de un modelo práctico

acompañado de ningún cambio en el modelo de producción. Por lo tanto, las condiciones que se extraen del uso de este modelo son válidas en tanto se mantengan las condiciones antes citadas.

Conclusiones

En el presente trabajo se propone una metodología que parte de un enfoque totalmente diferente para modelar las necesidades de agua por parte de un productor que contempla la necesidad de instalar un sistema de riego artificial para fines complementarios.

El criterio que guía el modelado del fenómeno lluvia es la robustez de las decisiones que pudieren surgir de uso del modelo. Para ello la técnica de estimación debía resistir la ocurrencia de eventos climáticos raros en el sentido estadístico, o sea eventos de baja probabilidad de ocurrencia. La técnica debía también ser confiable aún con muestras pequeñas (y si tener menos de diez años de datos de clima puede parecer mucho en términos humanos en términos climatológico es una muestra pequeña). Por estas razones se utilizó la técnica que propusiera Tukey en 1977. Debido a que los residuos presentaban un comportamiento no gaussiano se modelaron a hoc el comportamiento de los mismos para cada departamento.

Es importante recalcar algunas limitaciones. En primer lugar, en el trabajo solo se contemplaron los riesgos climáticos; para avanzar hacia un modelo más completo se debiera considerar los riesgos de mercado que el productor enfrenta. No todo el costo de oportunidad está determinado por el valor ocioso de la inversión en sistemas de riego cuando no es necesario. También puede ocurrir que las variaciones de precios de los productos agrícolas no llegue a compensar los costos de operaciones de los equipos de riego cuando estos se ponen en funcionamiento. Como consecuencia la mejor decisión en esos casos es optar por la pérdida de rendimientos en lugar de intentar salvarlos con riego artificial. Por lo tanto, el equipo de riego se mantendría fuera de funcionamiento cuando las lluvias son suficientes y cuando los precios de cosecha no compensan los costos de operación. La suma de ambas circunstancias determinarían el costo de oportunidad de la inversión en riego.

Anexos: Tablas Estadísticas

TABLA 1: Datos de Precipitaciones promedio mensuales correspondientes al Dpto Río Cuarto

PERÍODO	MM											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2002	119,0	57,0	32,0	99,0	17,0	0,0	0,0	17,0	0,0	73,0	112,0	106,0
2003	96,0	49,0	72,0	115,0	0,0	0,0	34,0	0,0	0,0	28,0	6,0	178,0
2004	89,0	124,0	164,0	58,0	255,0	0,0	43,0	255,0	0,0	86,0	83,0	116,0
2005	194,0	66,0	88,0	49,0	0,0	0,0	2,0	0,0	14,0	31,0	77,0	31,0
2006	114,0	93,0	75,0	106,0	0,0	1,0	0,0	0,0	9,0	51,0	134,0	103,0
2007	181,4	131,4	163,1	41,8	15,4	14,8	12,0	15,0	76,0	75,3	34,0	108,0
2008	284,3	80,6	48,3	97,1	7,3	11,7	4,0	7,0	28,0	49,1	93,0	204,0
2009	128,1	128,7	59,8	5,3	16,8	13,0	5,9	0,0	68,7	12,1	107,4	140,3
2010	60,3	112,0	77,2	45,1	7,6	0,0	0,0	0,0	58,9	90,2	95,6	94,6

TABLA 2: Datos de Precipitaciones promedio mensuales correspondientes al Dpto Marcos Juárez

PERÍODO	MM											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2002	92,0	38,0	283,0	115,0	19,0	8,0	23,0	24,0	29,0	77,0	98,0	195,0
2003	60,0	136,0	172,0	87,0	21,0	2,0	52,0	35,0	8,0	24,0	49,0	168,0
2004	63,0	127,0	66,0	165,0	53,0	0,0	42,0	12,0	0,0	71,0	126,0	141,0
2005	120,0	136,0	148,0	32,0	10,0	13,0	19,0	25,0	39,0	60,0	91,0	69,0
2006	115,0	155,0	80,0	177,0	0,0	18,0	0,0	12,0	6,0	75,0	120,0	236,0
2007	101,3	131,0	271,0	53,7	29,7	16,0	4,7	2,7	92,0	67,7	24,7	121,7
2008	86,0	111,3	67,0	51,0	2,5	3,5	2,0	0,0	22,0	103,5	78,3	126,0
2009	110,0	157,0	107,0	34,0	17,8	11,0	22,3	0,0	102,3	49,8	133,8	251,8
2010	254,0	151,0	38,0	72,3	55,5	6,5	1,8	0,3	108,3	62,8	87,8	118,8

TABLA 3: Síntesis Estadística de precipitaciones en departamento Río Cuarto

	RÍO CUARTO	MARCOS JUAREZ
MED	50,1	61,4
AVG	63,3	73,7
STD	62,4	65,8
SESGO	1,2	1,1
KURTO	1,5	1,0
J-B	35,7	25,2

TABLA 4: Síntesis Estadística de los estadísticos por mes en departamento Río Cuarto

		MED	AVG	STD	SESGO	KURTO	J-B
ESTADÍSTICOS S/MES	ENE	119,0	140,7	68,6	1,2	1,4	2,9
	FEB	93,0	93,5	32,0	-0,1	-1,8	1,2
	MAR	75,0	86,6	46,7	1,1	0,0	1,7
	ABR	58,0	68,5	37,2	-0,3	-1,1	0,5
	MAY	7,6	35,5	82,6	3,0	8,8	42,2
	JUN	0,0	4,5	6,6	0,9	-1,5	2,0
	JUL	4,0	11,2	16,1	1,5	0,8	3,5
	AGO	0,0	32,7	83,7	3,0	8,8	42,4
	SEP	14,0	28,3	31,3	0,7	-1,5	1,5
	OCT	51,0	55,1	27,7	-0,2	-1,4	0,8
	NOV	93,0	82,4	39,8	-1,0	0,6	1,5
	DIC	108,0	120,1	50,1	0,1	0,7	0,2
ESTADÍSTICOS s/ESTADÍSTICOS s/MES	MED	54,5	61,8	38,5	0,8	0,3	1,6
	AVG	51,9	63,3	43,5	0,8	1,2	8,4
	STD	45,4	42,9	24,4	1,2	3,7	15,9
	SESGO	0,1	0,4	0,5	0,6	1,7	2,0
	KURTO	-1,7	-0,8	-0,5	-0,2	1,7	2,6
	J-B	1,5	0,6	0,6	0,9	7,2	11,7

TABLA 5: Síntesis Estadística de los estadísticos por año en departamento Río Cuarto

		ESTADÍSTICOS s/DATOS ANUALES						
		MED	AVG	STD	SESGO	KURTO	J-B	
ESTADÍSTICOS S/AÑO	2002	44,5	52,7	47,3	0,2	-1,8	1,7	
	2003	31,0	48,2	57,1	1,2	0,9	3,4	
	2004	87,5	106,1	84,3	0,7	-0,1	1,1	
	2005	31,0	46,0	56,2	1,8	3,9	14,0	
	2006	63,0	57,2	52,7	0,0	-1,9	1,8	
	2007	58,6	72,4	60,9	0,7	-0,9	1,4	
	2008	48,7	76,2	86,9	1,6	2,1	7,4	
	2009	38,3	57,2	55,5	0,5	-1,7	1,9	
	2010	59,6	53,5	42,2	-0,2	-1,6	1,4	
	ESTADÍSTICOS s/ESTADÍSTICOS s/AÑO	MED	48,7	57,2	56,2	0,7	-0,9	1,8
AVG		51,4	63,3	60,4	0,7	-0,1	3,8	
STD		18,1	19,0	15,4	0,7	2,0	4,3	
SESGO		0,8	1,6	1,0	0,3	1,1	2,1	
KURTO		0,7	2,7	0,1	-1,0	0,2	4,1	
J-B		1,2	6,9	1,7	0,6	1,8	13,0	

TABLA 6: Síntesis Estadística de precipitaciones por mes en departamento Marcos Juárez

		MED	AVG	STD	SESGO	KURTO	J-B
ESTADÍSTICOS S/MES	ENE	101,3	111,3	57,6	2,2	5,9	20,2
	FEB	136,0	126,9	36,4	-2,1	5,2	17,1
	MAR	107,0	136,9	89,8	0,8	-0,7	1,2
	ABR	72,3	87,4	54,1	0,8	-0,8	1,2
	MAY	19,0	23,2	19,9	0,8	-0,5	0,9
	JUN	8,0	8,7	6,3	0,1	-1,3	0,6
	JUL	19,0	18,5	18,7	0,8	-0,5	1,0
	AGO	12,0	12,3	13,0	0,6	-1,0	1,0
	SEP	29,0	45,2	43,6	0,6	-1,6	1,5
	OCT	67,7	65,6	21,5	-0,3	1,8	1,4
	NOV	91,0	89,8	35,8	-0,7	-0,2	0,6
	DIC	141,0	158,6	59,6	0,3	-0,7	0,4
ESTADÍSTICOS s/ESTADÍSTICOS s/MES	MED	70,0	76,5	36,1	0,6	-0,6	1,1
	AVG	66,9	73,7	38,0	0,3	0,5	3,9
	STD	48,8	52,5	24,2	1,0	2,5	6,9
	SESGO	0,2	0,2	0,7	-0,9	1,6	2,1
	KURTO	-1,5	-1,4	0,3	2,6	1,4	2,9
	J-B	1,2	1,1	1,1	5,0	6,5	13,0

TABLA 7: Síntesis Estadística de los estadísticos por año en departamento Marcos Juárez

		ESTADÍSTICOS s/DATOS ANUALES					
		MED	AVG	STD	SESGO	KURTO	J-B
ESTADÍSTICOS S/AÑO	2002	57,5	83,4	82,9	1,5	2,1	6,8
	2003	50,5	67,8	60,1	0,9	-0,6	1,7
	2004	64,5	72,2	56,2	0,3	-1,1	0,8
	2005	49,5	63,5	49,4	0,6	-1,1	1,4
	2006	77,5	82,8	79,1	0,6	-0,7	0,9
	2007	60,7	76,4	75,9	1,6	3,2	10,3
	2008	59,0	54,4	47,2	0,1	-1,7	1,4
	2009	76,0	83,0	74,9	1,0	0,8	2,2
	2010	67,5	79,7	72,8	1,2	1,9	4,8
	ESTADÍSTICOS s/ESTADÍSTICOS s/AÑO	MED	60,7	76,4	72,8	0,9	-0,6
AVG		62,5	73,7	66,5	0,9	0,3	3,4
STD		9,9	10,1	13,4	0,5	1,7	3,3
SESGO		0,3	-0,9	-0,4	0,1	0,6	1,5
KURTO		-0,9	-0,1	-1,7	-1,1	-1,3	1,3
J-B		0,4	1,2	1,3	0,4	1,1	3,9

TABLAS DE TUKEY DE PULIDO POR LA MEDIANA PARA C/DEPARTAMENTO

dpto. río cuarto (con MEDIANA) (con y sin GE)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	sin GE	con GE
	116,59	93,84	77,21	53,80	5,21	1,84	0,13	3,13	18,80	51,84	89,13	103,59	11,55	1,55
	62,12	39,37	22,74	-0,67	-49,26	-52,63	-54,35	-51,35	-35,68	-2,63	34,65	49,12	-1,75	1,55
2002	0,0	-39,2	-47,6	42,8	9,4	-4,2	-2,5	11,5	-21,2	18,8	20,5	0,0	0,18	0,35
2003	-15,4	-39,6	0,0	86,4	0,0	3,4	39,1	2,1	-13,6	-18,8	-77,9	79,6	0,20	0,20
2004	-48,9	8,9	85,5	-17,1	228,5	-23,1	21,6	230,6	-40,1	12,9	-27,4	-8,9	1,52	6,51
2005	82,2	-23,0	15,6	0,0	-0,4	3,0	6,7	1,7	0,0	-16,0	-7,3	-67,8	0,71	4,23
2006	-1,8	0,0	-1,4	53,0	-4,4	0,0	0,7	-2,3	-9,0	0,0	45,7	0,2	2,66	11,50
2007	52,4	25,1	73,5	-24,4	-2,2	0,5	-0,5	44,8	11,0	-67,5	86,0	0,0	0,33	0,33
2008	163,8	-17,1	-32,8	39,4	-1,8	6,0	0,0	5,3	-6,0	0,0	96,5	0,0	3,61	14,20
2009	0,2	23,5	-28,7	-59,8	0,3	-0,2	-5,6	-14,5	38,6	-51,1	6,9	25,4	0,18	0,60
2010	-66,2	18,2	0,1	-8,6	2,5	-1,8	-0,1	-3,1	40,2	36,4	6,5	-8,9	2,51	4,13
AVG	19,60	4,81	4,90	10,19	25,76	-1,83	6,60	25,05	5,00	-1,25	-11,17	12,02	7,50	11,65
STD	69,53	25,80	41,66	42,16	76,13	8,53	14,51	77,37	30,06	25,88	40,18	49,77	41,60	22,92
SESGO	1,17	0,25	0,69	-0,21	2,99	-2,31	1,79	2,96	0,15	-0,53	0,62	0,49	0,53	1,53
KURTO	1,23	-1,68	-0,44	-1,06	8,93	6,08	2,68	8,81	-1,27	0,80	0,28	0,36	2,01	3,83
J-B	2,64	1,15	0,78	0,49	43,29	21,52	7,48	42,21	0,64	0,66	0,62	0,41	10,19	16,39
AVG	7,50	40,68	0,52	1,74	5,31	1,58	5,47	12,36	23,96	1,99	1,58	5,47	7,50	46,10
STD	1,41	1,96	0,47	0,36	0,55	1,53	4,21	-1,76	-1,36	-1,47	3,85	12,43	1,41	0,89
SESGO	1,53	4,21	-1,76	-1,36	-1,47	3,85	12,43	1,41	0,89	1,19	1,41	0,89	1,19	1,19
KURTO	2,44	9,73	2,44	9,73	2,44	9,73	2,44	9,73	2,44	9,73	2,44	9,73	2,44	9,73
J-B	5,61	1,04	1,04	5,61	1,04	1,04	5,61	1,04	1,04	5,61	1,04	5,61	1,04	5,61

dpto. marcos juarez (con MEDIANA) (con y sin GE)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	sin GE	con GE
	104,55	134,25	102,00	75,61	17,65	9,11	17,25	12,15	37,15	66,11	92,25	141,15	11,14	1,14
	34,50	64,20	31,95	5,56	-52,40	-60,94	-52,80	-57,90	-32,90	-3,94	22,20	71,10	-1,48	1,14
2002	-18,3	-102,0	175,2	33,6	-4,4	-6,9	0,0	6,1	-13,9	5,1	0,0	48,0	1,34	4,88
2003	-47,1	-0,8	67,4	8,8	0,8	-9,7	32,2	20,3	-31,7	-44,7	-45,8	24,3	0,32	0,41
2004	-41,4	-7,1	-35,9	89,5	35,5	-9,0	24,9	0,0	-37,0	5,0	33,9	0,0	0,89	1,16
2005	13,7	0,0	44,2	-45,4	-9,4	2,1	0,0	11,1	0,1	-7,9	-3,0	-73,9	-1,03	2,34
2006	1,6	11,9	-30,9	92,5	-26,5	0,0	-26,1	-9,0	-40,0	0,0	18,9	86,0	2,10	5,95
2007	0,0	0,0	172,2	-18,7	15,3	10,1	-9,3	-6,2	58,1	4,8	-64,3	-16,2	2,10	5,95
2008	-3,4	-7,9	-19,9	-9,5	0,0	9,5	-0,1	3,0	0,0	52,5	1,2	0,0	2,35	7,29
2009	0,5	17,8	0,0	-46,6	-4,9	-3,1	0,0	-17,1	60,1	-21,4	36,5	105,6	1,23	1,86
2010	162,8	20,1	-80,6	0,0	41,2	0,7	-12,1	-8,5	74,5	0,0	-1,1	-19,0	1,55	3,32
AVG	6,48	-7,56	34,86	11,60	5,29	-0,67	1,05	-0,05	7,79	-0,70	-2,64	17,20	6,44	11,25
STD	58,57	36,85	88,31	51,53	21,73	7,29	17,90	11,56	44,94	25,85	33,58	55,75	37,82	23,31
SESGO	2,28	-2,56	0,87	0,70	0,59	0,33	0,57	0,36	0,52	0,53	-0,83	0,18	0,39	1,13
KURTO	6,18	7,15	-0,67	-0,66	-0,24	-1,03	0,26	-0,26	-1,58	2,61	0,12	-0,24	0,97	2,85
J-B	22,15	29,00	1,30	0,89	0,54	0,57	0,51	0,22	1,34	2,98	1,04	0,07	5,05	9,73
AVG	6,04	42,07	1,77	3,03	17,75	6,04	42,07	1,77	3,03	17,75	6,04	42,07	6,04	11,25
STD	6,98	14,43	1,00	2,54	12,67	6,98	14,43	1,00	2,54	12,67	6,98	14,43	6,98	14,43
SESGO	-0,44	-0,10	-1,18	0,48	1,34	-0,44	-0,10	-1,18	0,48	1,34	-0,44	-0,10	-1,18	0,48
KURTO	-0,78	-0,42	1,99	-0,82	0,81	-0,78	-0,42	1,99	-0,82	0,81	-0,78	-0,42	1,99	-0,82
J-B	0,47	0,08	3,58	0,60	3,01	0,47	0,08	3,58	0,60	3,01	0,47	0,08	3,58	0,60

Anexos: Gráficos

GRÁFICO 1: Precipitaciones Medias Mensuales

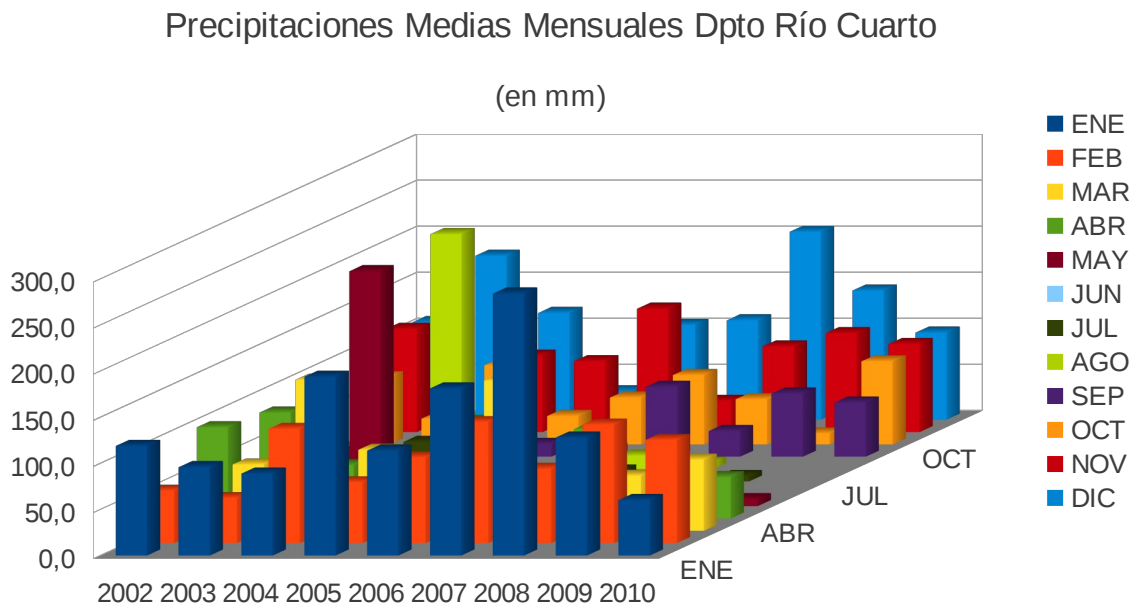


GRÁFICO 2: Precipitaciones Medias Mensuales

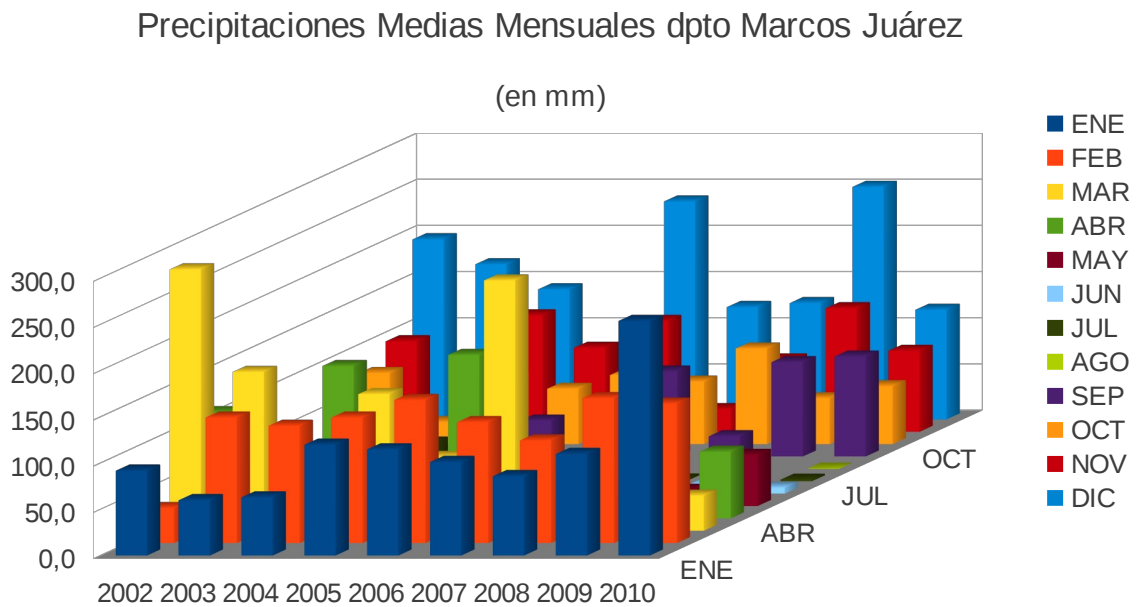


GRÁFICO 3: Efectos de mes en las precipitaciones

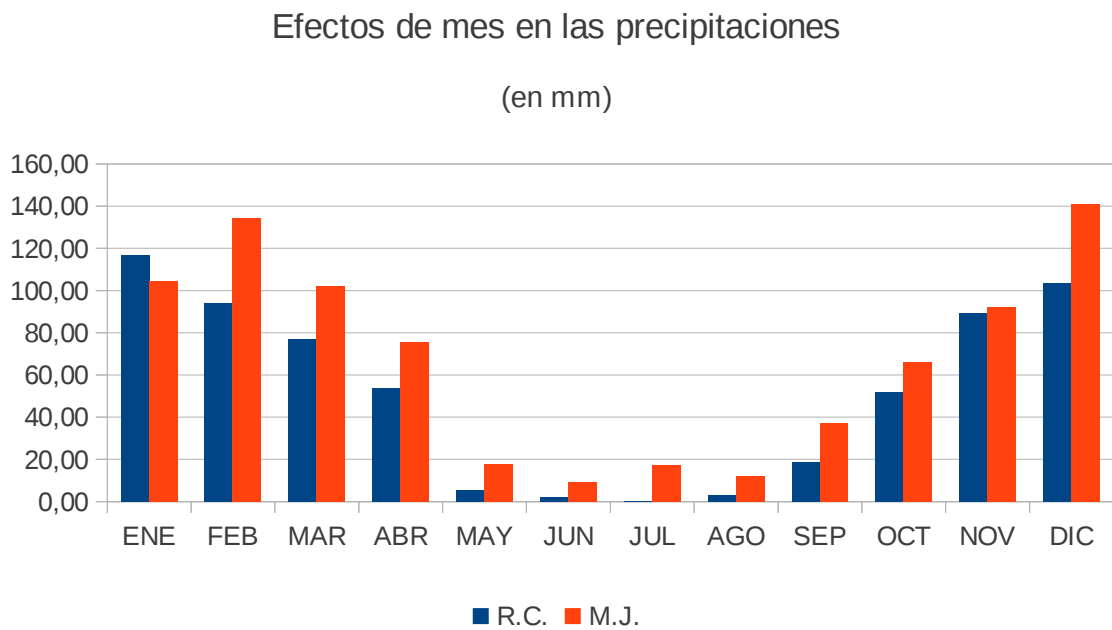


GRÁFICO 4: Efectos de año en las precipitaciones

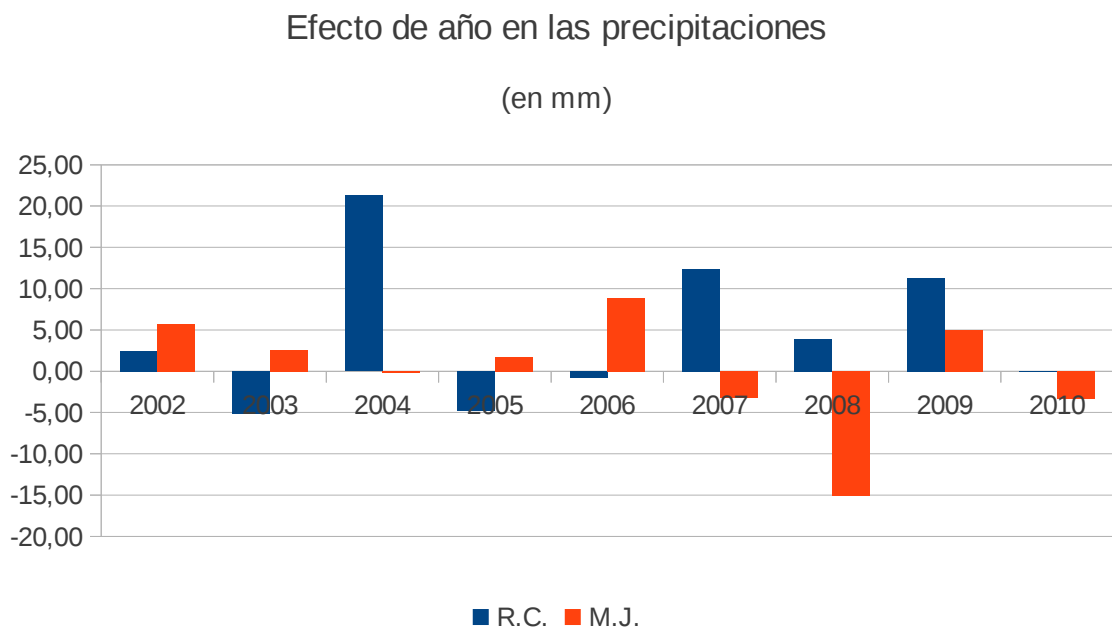


GRÁFICO 5 Distribución de frecuencia del riego complementario en caso de falta de lluvia para Marcos Juárez

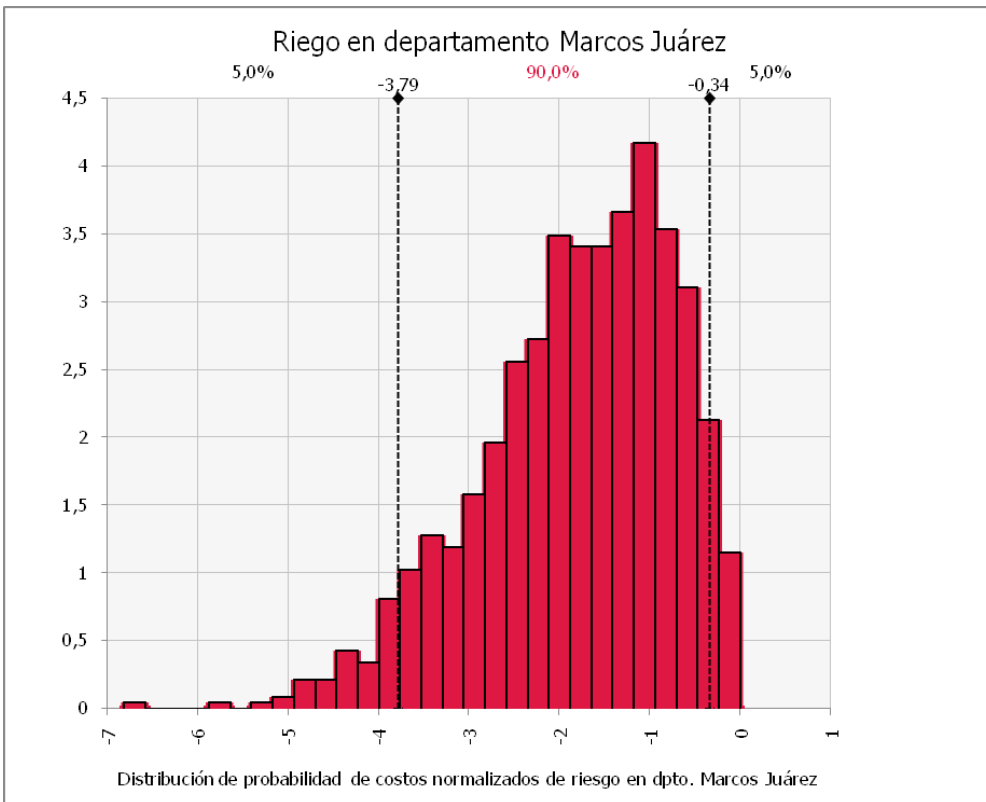
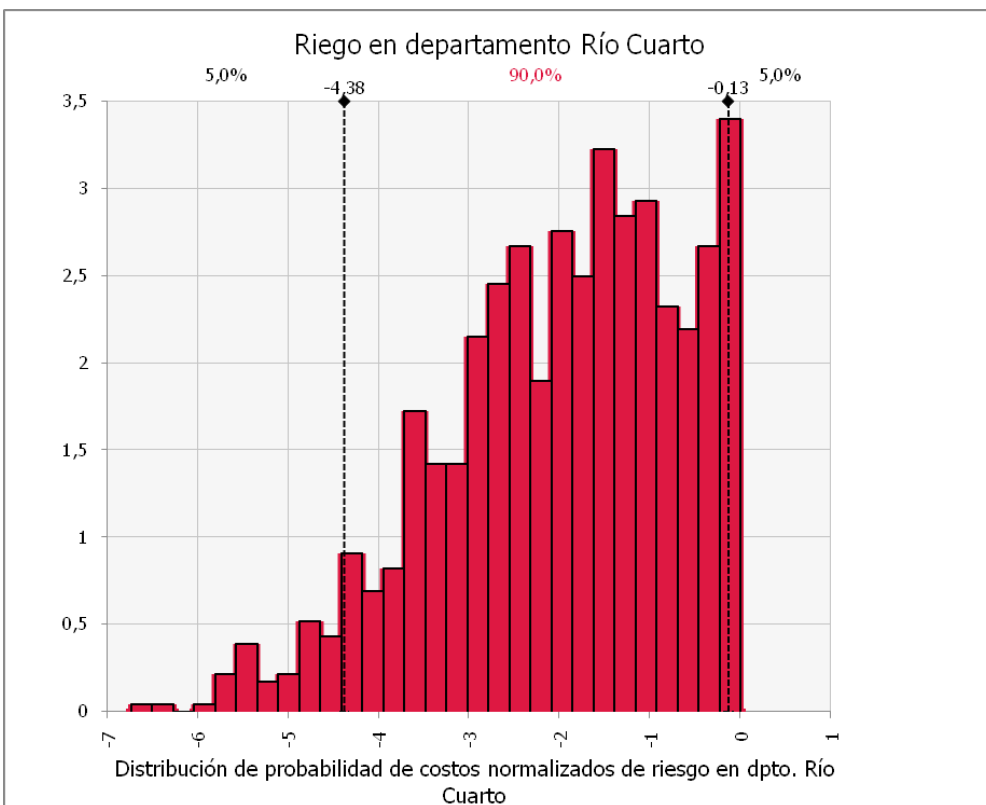


GRÁFICO 6 Distribución de frecuencia del riego complementario en caso de falta de lluvia para Río Cuarto



Bibliografía

Albright, S. Christian; Winston, Wayne L.; Zappe, Christopher J. (2011) *Data Analysis and Decision Making, 4th edition*, South-Western, CENGAGE Learning, USA

Cruz, Marcelo G. (2002) *Modelling, measuring, and hedging operational risk*, Wiley-Finance Series, John Wiley & Sons, USA.

Lutz, Mark (1996) *Programming Python*, O'Reilly & Associates, Inc. USA.

SciPy community (2011) *SciPy Ref. Guide* <http://docs.scipy.org/doc/scipy/scipy-ref.pdf>

Tukey, J.W. (1977) *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley, Massachusetts, USA.

Wehbe M B, Bosch, E A, Granda J A, Tarasconi I E (2011) **“Riesgo sequía, impactos y manejo de riesgo en la agricultura del Sur de Córdoba”**