



Área de Hidrología

CIRSA-INA

Elina A. HOLC y Leticia VICARIO.

Julio 2019.

**CARACTERIZACIÓN DE CICLOS HIDROLÓGICOS SECOS Y HÚMEDOS
EN VILLA ANGELA, PROVINCIA DEL CHACO. PERIODO 1955-2017.**

Elina Holc¹ y Leticia Vicario^{1,2}

¹ Instituto Nacional del Agua. Centro de la Región Semiárida, Córdoba, Argentina.

² Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

E-mail de contacto: elinaholc@hotmail.com.ar

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se presenta un análisis de los ciclos secos y húmedos en la ciudad de Villa Ángela, departamento Mayor Luis Jorge Fontana de la Provincia del Chaco, perteneciente al NEA (Nordeste Argentino) de la República Argentina, en el período 1955-2017. Se utilizaron datos provistos por instituciones oficiales locales y se utilizó el índice SPI (por sus siglas en inglés de Índice Estandarizado de Precipitaciones) para la caracterización de los ciclos. Asimismo, se logró examinar las frecuencias relativas mensuales y anuales para los períodos citados anteriormente.

Palabras claves: Caracterización hidrometeorológica – sequías – periodos húmedos - NEA.

1. INTRODUCCION

Desde el punto de vista de la hidrología, la cantidad de agua que existe en el planeta es prácticamente constante, no obstante, por las variaciones de los procesos del ciclo hidrológico, en especial por las fluctuaciones de las precipitaciones a lo largo del tiempo, las cuencas hidrológicas presentan períodos de escasez o sequía, así como períodos húmedos o de abundancia (Naranjo Pérez de León, 2012).

En este sentido, si bien no existe una única definición del fenómeno de sequía, ya que sus definiciones dependen del enfoque científico (meteorológica, hidrológica, etc.) o de la actividad económica que se ve afectada, como ser agricultura, ganadería, industria, etc. (García Jiménez, *et al.*; 2007); la Organización de las Naciones Unidas, en su escrito de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (1994) entiende por sequía al “fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras.”

Asimismo, Ortega Gaucin (2013) expresa que la sequía es un “fenómeno climático recurrente caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial con respecto a la considerada como normal, que no presenta epicentro ni trayectorias definidas”.

De la misma manera, las clasificaciones de sequías, son diversas. Sin embargo, una de las más utilizadas es la de Wilhite y Glantz (1985), el cual las clasifica de la siguiente manera:

Sequías Meteorológicas: se basa en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación, respecto del valor promedio durante un período de tiempo determinado.

Sequías Agrícolas: hace referencia a la insuficiencia de humedad en el suelo para permitir el normal desarrollo de un determinado cultivo en cualquiera de sus fases de crecimiento.

Sequías Hidrológicas: son aquellas en las que existe una deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas (ríos, embalse, lagos, etc.).

Sequías Socio-económicas: se producen cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de producir daños (económicos o personales) a la población de la zona afectada.

Los fenómenos de inundaciones y sequías afectan a diversas regiones de La República Argentina; impactando tanto en las poblaciones como en las actividades económicas que estas desarrollan, no siendo la Provincia del Chaco una excepción a esta situación.

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo plantea como tema de investigación el análisis de los ciclos húmedos y secos en una ciudad de interés de la Provincia del Chaco, perteneciente al NEA (Nordeste Argentino) de la República Argentina. Para lo cual se establecen los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Conocer los ciclos húmedos y secos en la ciudad de Villa Ángela, departamento Mayor Luis Jorge Fontana de la Provincia del Chaco, en el período 1955-2017; analizando la magnitud y frecuencia de los mismos.

Objetivos específicos

- Analizar los períodos secos y húmedos, mediante el análisis del índice del SPI (Índice de Precipitación Estandarizado) y
- Examinar las frecuencias relativas mensuales y anuales para los distintos períodos .

Antecedentes

Los antecedentes de la temática abordada, no registran referencias en el contexto particular, aunque se pudo acceder a información (relacionada con sequías) brindada por diarios provinciales y locales, como ser: Diario Norte (Resistencia, 13 de enero 2018) y Villa Ángela Hoy (Villa Ángela, 7 de septiembre de 2013), como así también muestra problemas de inundaciones, los cuales señalan: Diario Norte (Resistencia Martes 24 de Enero, 2017) y Villa Ángela Hoy (Villa Ángela, 24 de febrero de 2014).

Por otra parte, cabe mencionar que los datos de precipitaciones fueron obtenidos de la página web de A.P.A. (Administración Provincial del Agua), y brindados por la empresa S.A.M.E.E.P. (Servicios de Agua y Mantenimiento Empresa del Estado Provincial) con dependencia en la ciudad de Villa Ángela.

Asimismo, se consultaron investigaciones realizadas por el I.N.T.A. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), además de distintas fuentes bibliográficas.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Debido al interés por la variabilidad climatológica de la región del NEA, se describe a continuación el área de estudio:

Chaco - Departamento Mayor Luis Jorge Fontana - Villa Ángela

2.1. Ubicación. Superficie. Límites.

La provincia del Chaco se encuentra ubicada en el sector noreste de la República Argentina, limitando con la provincia de Formosa al norte, Santa Fe al sur, al oeste con Salta y Santiago del Estero y al este con Corrientes y República del Paraguay (Figura 1). Posee una superficie de 99.633 km² y se encuentra dividida en 25 departamentos. Cuenta con una población de 1.055.259 habitantes, (densidad de 10,6 hab/km²) según el Censo de Población, Hogares y Viviendas del INDEC (Instituto Nacional De Estadísticas y Censos), realizado en el 2010.



Figura 1.- Mapa político de la República Argentina, donde se señala la Provincia del Chaco. (Fuente: http://mapoteca.educ.ar/.files/wp-content/mapas/republicaargentina/politico/impresion/republica-argentina_politico.jpg?dl).

El departamento Mayor Luis Jorge Fontana se encuentra emplazado en el sector sudoeste de la provincia del Chaco, contando con una superficie de 3.708 Km². Limita con los departamentos de Chacabuco y O'Higgins al norte; San Lorenzo y Tapenagá al este; 12 de Octubre, 2 de Abril y Fray Justo Santa María de Oro al oeste. La provincia de Santa Fe se encuentra al Sur (Figura 2). Contando con una población de 55.080 habitantes en el año 2010, según información obtenida de la Subsecretaria de Planificación de la Provincia del Chaco-Estadísticas Chaco.

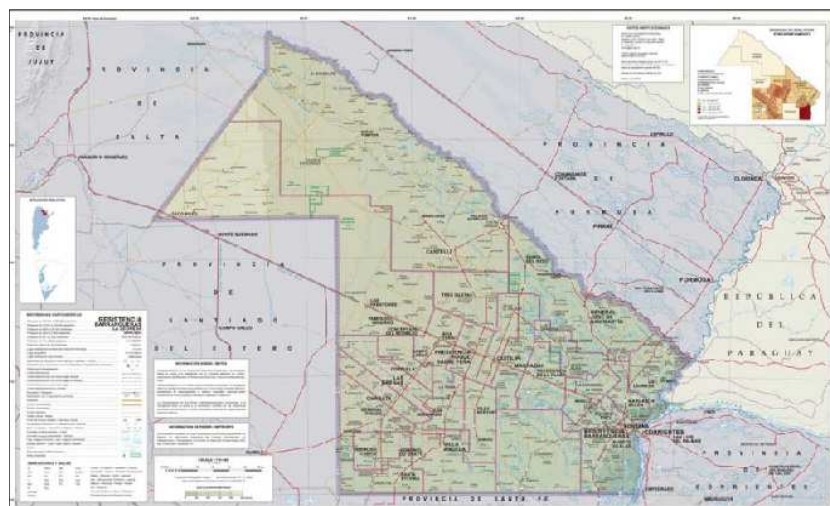


Figura 2.- Mapa físico-político de la Provincia del Chaco. (Fuente: <http://www.ign.gov.ar/AreaServicios/Descargas/MapasProvinciales>).

Por su parte, la localidad de Villa Ángela es la ciudad cabecera del departamento Mayor Luis Jorge Fontana (Figura 3), la cual se encuentra a una distancia aproximada de 260 km de la capital provincial: Resistencia. Posee una población de 41.403 habitantes (año 2010), según información obtenida de la Subsecretaría de Planificación de la Provincia del Chaco-Estadísticas Chaco.



Figura 3.- Imagen satelital, donde se señala la ciudad de Villa Ángela de la Provincia del Chaco. (Fuente: <https://maps.google.com.ar>).

2.2. Medio natural

En relación al medio natural se puede mencionar que la provincia presenta un relieve llano, con una leve pendiente en dirección noroeste a sudeste. Entre las curvas de nivel de 50 m al este y de 265 m al oeste, hay una diferencia de altitud de 215 m que en el terreno puede pasar desapercibida, ya que el descenso no se manifiesta escalonado sino en forma paulatina, con el aspecto de una llanura tendida y muy suavemente ondulada, esto se puede observar en la figura 4. (INTA, 1973).

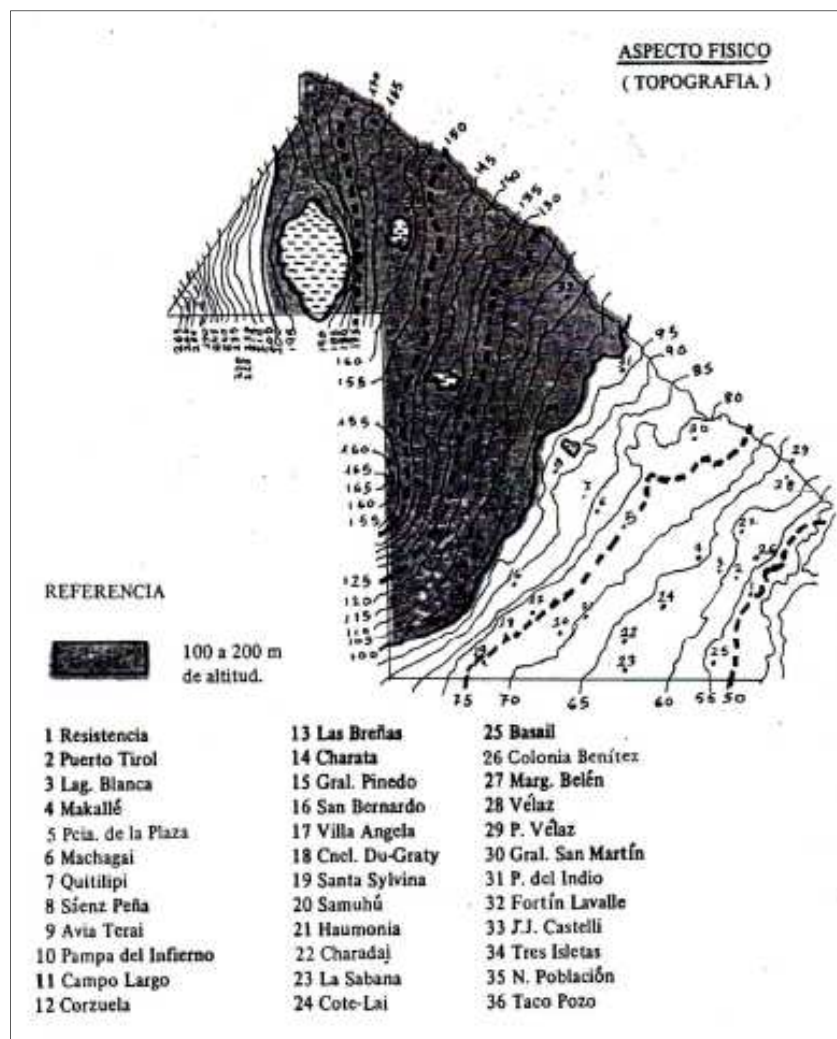


Figura 4.- Mapa físico-topográfico de la Provincia del Chaco. (Fuente: Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1973).

En cuanto al Departamento Mayor Luis Jorge Fontana también se aprecia una suave pendiente; en relación a ello, el INTA en la Carta de suelos de la República Argentina menciona que entre la curva de nivel de 65 m sobre el nivel del mar al S. E. y la de 90 m al N. O. hay una diferencia de altitud de 25 m (Figura 5).



Figura 5.- Mapa físico-topográfico del Departamento Mayor Luis Jorge Fontana de la Provincia del Chaco (Fuente: Carta de suelos de la República Argentina: Los Suelos del Departamento Mayor Luis J. Fontana Provincia del Chaco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).

En cuanto al clima de la provincia de Chaco, es caracterizado como cálido: subtropical con un gradiente de precipitaciones de sentido este-oeste.

Las temperaturas, presentan un valor medio máximo en el mes de enero de 28 °C, mientras que en el mes de julio ronda los 16 °C en el extremo norte y 14°C en el extremo sur. Asimismo, la temperatura máxima media de julio puede llegar a superar los 23°C y la mínima media varía entre 7°C y 8°C (INTA, 1973).

En cuanto a las precipitaciones, las mismas disminuyen en forma gradual de este a oeste, desde la confluencia Bermejo – Paraguay, donde se llega a un máximo aproximado de 1300 mm hasta Taco Pozo con algo menos de 500 mm. El gradiente de disminución hacia el occidente alcanza 1,5 mm por km, es decir que cada kilómetro que se avanza desde los ríos Paraguay- Paraná hacia el occidente, la precipitación disminuye 1,5 mm, aunque existen franjas con mayor o menor intensidad de disminución.

Con relación al clima del este, presenta valores positivos mientras que el clima del oeste posee valores negativos. Estos valores indican que hacia el este hay excesos de agua y hacia las oeste deficiencias (Figura 6).

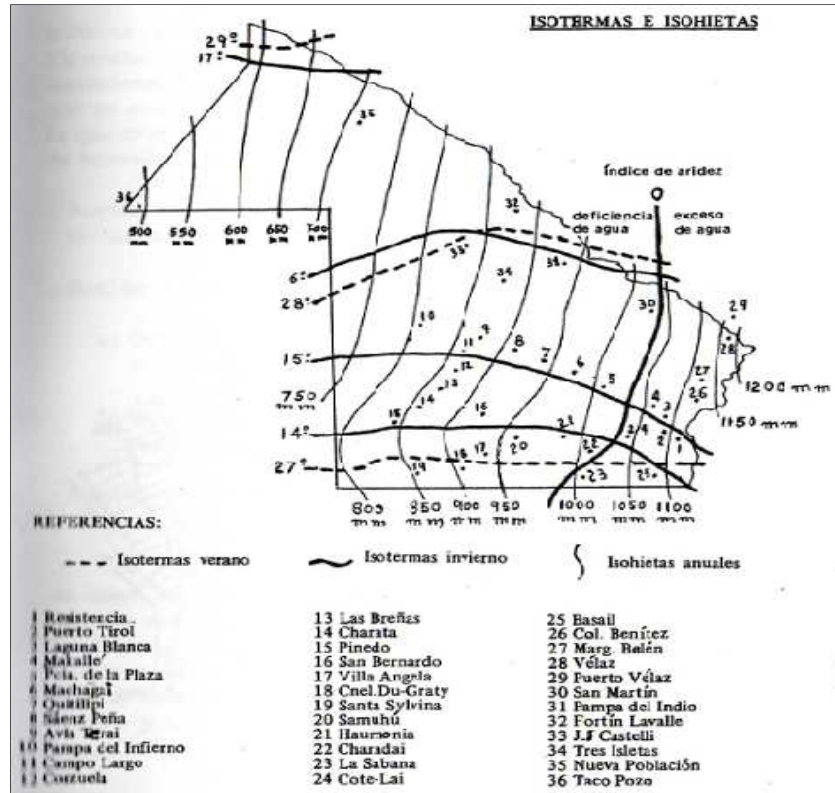


Figura 6.- Mapa de isotermas e isohietas de la Provincia del Chaco. (Fuente: Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 1973).

Según INTA (2000), el Departamento Mayor Luis Jorge Fontana, posee una precipitación media anual que varía entre los 1000 mm y 900 mm de Este a Oeste (Figura 7). La característica dominante es la gran variabilidad de la intensidad y frecuencia de las lluvias.



Figura 7.- Mapa físico con las precipitaciones medias anuales del Departamento Mayor Luis Jorge Fontana de la Provincia del Chaco. (Fuente: Carta de suelos de la República Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).

En cuanto al sistema hidrográfico se puede apreciar la presencia de cursos y depósitos de agua más notables hacia el este de la provincia (Figuras 8 y 9).

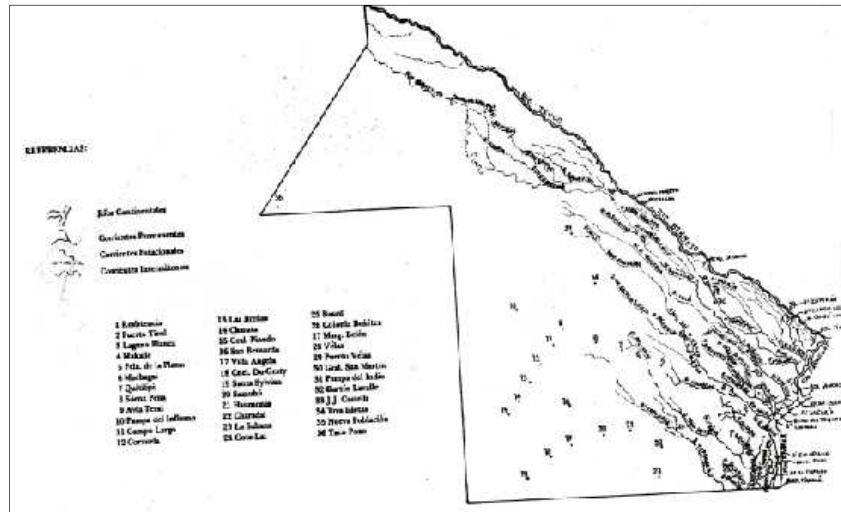


Figura 8.- Mapa de los cursos de agua en la Provincia del Chaco. (Fuente: Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1973).

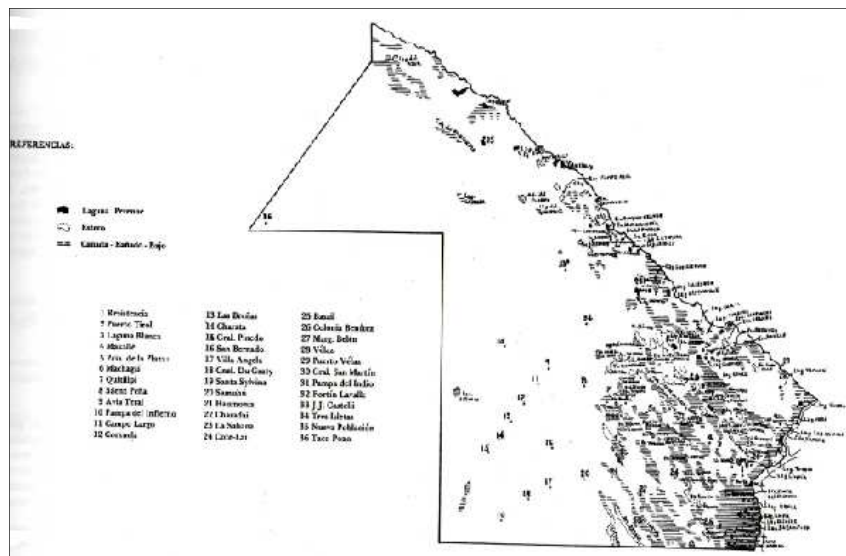


Figura 9.- Mapa de los depósitos de agua en la Provincia del Chaco. (Fuente: Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1973).

Para finalizar, y teniendo en cuenta las condiciones de relieve, clima y ríos de la provincia, podemos mencionar los biomas que se desarrollan en la región; donde se distingue una zona húmeda y otra semiárida. Cabe señalar que las diferencias en el desarrollo de la flora y fauna se establecen de acuerdo con los factores mencionados anteriormente.

Para caracterizar ambas regiones se toma como información la reseña que brinda el Manual para el manejo forestal sustentable de los bosques nativos de la Provincia del Chaco; elaborado por el Ministerio de la Producción del Gobierno de la Provincia. Fijando los siguientes conceptos:

Chaco semiárido: el bosque de la región chaqueña alcanza en esta subregión su mayor expresión en extensión y continuidad espacial y en la presencia de las especies más típicas de la región chaqueña. El bosque es rico en especies xerófilas semicaducifolias, adaptadas tanto a las importantes fluctuaciones de disponibilidad hídrica como a las variaciones térmicas. Se aprecian especies como el quebracho colorado santiagueño, el quebracho blanco y el quebracho colorado chaqueño; además de palo santo, mistol, algarrobo y arbustos.

Chaco húmedo: En la subregión del Chaco húmedo existe una estrecha vinculación entre las distintas formas del paisaje y la vegetación que se desarrolla en ellas. Las comunidades vegetales se encuentran condicionadas por el gradiente topográfico que ocupan y, en relación a éste, por el gradiente de inundación. Se observan especies como Algarrobo, Guayacán, Urunday, Guayaibí y Lapacho entre otras (Figura 10).

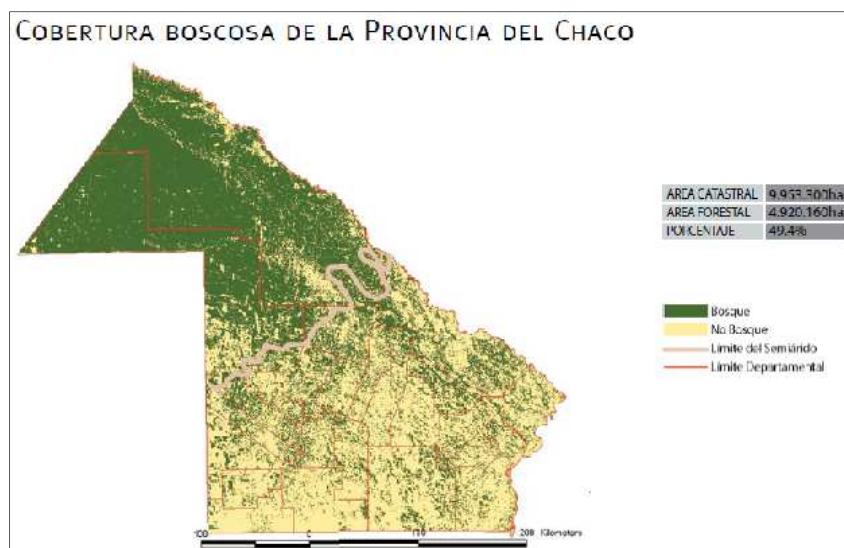


Figura 10.- Mapa de la cobertura boscosa de la Provincia del Chaco. (Fuente: Manual Para el Manejo Forestal Sustentable de los Bosques Nativos de la Provincia del Chaco. Ministerio de la Producción del Gobierno de la Provincia del Chaco. Dirección de bosques).

2.3. Actividad Económica

Para el desarrollo del presente apartado se cita información brindada por el Informe Productivo Provincial. Chaco 2016. Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación Subsecretaría de Planificación Económica. Dirección Nacional de Planificación Regional.

En referencia a la infraestructura y logística se destaca lo siguiente:

Infraestructura Vial: la red de caminos asciende a 4.799 km, de los cuales 984 km son rutas nacionales (RN) pavimentadas (2,5% de total nacional y 20,2% del NEA). La RN 16 cruza la provincia desde el sureste hacia el noroeste, siguiendo el trazado del Ferrocarril General Belgrano; en sentido transversal es atravesada por tres ejes: la RN 95, la RN 11 y la RN 89. El puente General Manuel Belgrano es un viaducto que une las ciudades de Resistencia y Corrientes, a pocos kilómetros después de la desembocadura del río Paraguay. Además, dispone de 3.815 kilómetros de rutas provinciales, de las cuales el 16,5% están pavimentadas (son 10 las rutas provinciales pavimentadas: Nº 3, 4, 5, 6, 9, 29, 56, 63, 90 y 94), el 80,1% son caminos de tierra de dos carriles y el 3,3% restante camino consolidado.

Infraestructura Ferroviaria: posee una red de 783 kilómetros de las cuales el 79,7% está en operación. El Ferrocarril General Belgrano permite vincular la provincia de Salta y el oeste del Chaco, con los puertos de Barranqueras (Chaco) y Rosario - San Martín (Santa Fe) cruzando cuatro provincias. Cuenta con tres ramales C3, C6 y F, habilitados parcialmente. Su funcionamiento es sub-óptimo en términos de tiempos de viaje y cargas transportadas.

Actualmente se están realizando inversiones para mejorar su funcionamiento, por parte de capitales de origen chino, las inversiones demorarían tres o cuatro años.

Infraestructura Fluvial: dispone del puerto de Barranqueras se localiza sobre el brazo del mismo nombre (Km 1.198 de la ruta general de navegación) que presenta cierta limitación en términos de calado.

Infraestructura Aérea: posee un aeropuerto internacional (Aeropuerto Internacional de Resistencia) y diversos aeródromos. Según datos del Organismo Regulador del Sistema Nacional de Aeropuertos (ORSNA), el aeropuerto tuvo un movimiento de 4.530 aeronaves en su mayoría de cargas de pasajeros en 2015.

Finalmente; en cuanto a las actividades económicas que se destacan en la provincia, se afirma que la estructura productiva de la economía chaqueña se asienta tanto en la producción primaria como en las manufacturas derivadas del procesamiento de los productos agropecuarios y forestales. Las principales actividades agrícolas se vinculan al cultivo de la soja, del algodón (cultivo tradicional), del girasol y del maíz. La actividad ganadera (cría de ganado bovino) y la forestal también resultan significativas. Entre las agroindustrias se destacan: la preparación de fibra de algodón, las plantas frigoríficas y la obtención de extracto de quebracho.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Obtención de datos

El análisis se realizó sobre una muestra de precipitaciones obtenidas de dos instituciones: A.P.A. y S.A.M.E.E.P. De la primera, se tomaron los datos que comprenden el período 1955-2010, mientras que de la segunda los restantes datos hasta integrar el intervalo 1955-2017.

3.2. Metodología para el análisis y evaluación de datos

Para el procesamiento de los datos de precipitaciones, se trabajaron con los conceptos y métodos de estudio detallados a continuación, a través de programas específicos de aplicación.

3.2.1. Estadística descriptiva

En este apartado, se desarrolla brevemente un marco teórico de los conceptos y parámetros estadísticos de los distintos procesos metodológicos utilizados en el presente trabajo; basados en el libro: “*Hidrología Aplicada*” (Chow, Ven Te, et al; 1994).

Uno de los parámetros estadísticos es el *valor esperado* E de alguna función de una variable aleatoria. Un parámetro simple es la *media* μ , el valor esperado de la variable aleatoria. Para una variable aleatoria X , la media es $E(X)$, y se calcula como el producto de x y la correspondiente densidad de probabilidad $f(x)$, integrado sobre el rango factible de la variable aleatoria:

$$E(X) = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$

$E(X)$ es el primer momento alrededor del origen de la variable aleatoria, una medida del punto medio o “tendencia central” de la distribución.

La estimación por la muestra de la media es el promedio \bar{x} de la información de la muestra:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

La *variabilidad* de la información en una población se mide por medio de la *varianza* σ^2 , la cual es el segundo momento alrededor de la media:

$$E[(x - \mu)^2] = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx$$

El valor estimado sobre una muestra de la varianza está dado por:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

En donde el divisor es $n - 1$ en lugar de n para asegurar que la estadística de la muestra no sea sesgada, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser mayor o menor que el valor verdadero.

La varianza tiene dimensiones de $[X]^2$. La desviación estándar σ es una medida de la variabilidad que tiene las mismas dimensiones de X . La cantidad de σ es la raíz cuadrada de la varianza y se estima por s . A medida que la desviación estándar aumenta, aumenta la dispersión de la información. El coeficiente de variación $CV = \sigma/\mu$, estimado por s/\bar{x} , es una medida adimensional de la variabilidad.

La simetría de una distribución alrededor de la media se mide utilizando la asimetría, la cual es el tercer momento alrededor de la media:

$$E[(x - \mu)^3] = \sigma^3 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^3 f(x) dx$$

La asimetría normalmente se construye en forma adimensional dividiendo la ecuación anterior por σ^3 para obtener el *coeficiente de asimetría* γ :

$$\gamma = \frac{1}{\sigma^3} E[(x - \mu)^3]$$

Respecto de los *límites de confianza* utilizados para evaluar dichos parámetros, dentro de los cuales puede esperarse que caiga el valor correcto, se destaca que en primera instancia que el intervalo conformado por dichos límites depende del *nivel de confianza* β . Los valores extremos superior e inferior del intervalo se llaman *límites de confianza*.

A cada nivel de confianza β , corresponde un *nivel de significancia* α , dado por:

$$\alpha = \frac{1 - \beta}{2}$$

En este trabajo, se ha utilizado un nivel de confianza $\beta= 95\%$, por lo tanto el nivel de significancia es $\alpha= 5\%$. De esta manera, los intervalos de confianza presentan un 95% de nivel de significancia.

3.2.2. Análisis de calidad de series

Para verificar la consistencia y confiabilidad de los datos, se realizaron cuatro evaluaciones:

- Prueba de datos atípicos o dudosos
- Prueba de Independencia: Wald-Wolfowitz
- Prueba de Homogeneidad: Wilcoxon
- Prueba de Estacionariedad: Mann Kendall

Prueba de datos atípicos o dudosos

Dispuestos los datos de precipitación, el primer paso es probar que los mismos no presenten inconsistencias, es decir que la serie sea homogénea. Para lo cual es preciso identificar la existencia de datos atípicos o dudosos.

Chow, (1994) define a los datos dudosos como “puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante.” Además, señala que, la retención o eliminación de los mismos, puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas.

El método del Water Resources Council (1981) establece que, si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos. Mientras que la asimetría de la estación se encuentra entre ± 0.4 , deben implementarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos (Chow, 1994).

Para datos dudosos altos:

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y$$

Donde Y_H es el umbral de datos dudosos altos en unidades logarítmicas y K_n es una constante que se obtiene de tabla según el tamaño de la muestra n (ver figura 11).

Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que Y_H en la ecuación anterior, se consideran como datos dudosos altos.

Para los datos dudosos bajos:

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y$$

En donde y_L es el umbral de datos dudosos bajos en unidades logarítmica.

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Figura 11.- Valores K_n (Chow, *et al.*; 1994).

Pruebas de Independencia: Wald-Wolfowitz

Las pruebas de independencia son utilizadas para demostrar que los valores que conforman la serie son aleatorios. Esta afirmación implica que la probabilidad de ocurrencia de uno cualquiera de ellos no depende de la ocurrencia del o de los valores precedentes, y no afecta de ninguna manera a la probabilidad de ocurrencia de los datos posteriores (Ganancias Martínez, 2009).

En general suele suponerse que los datos recolectados en un estudio constituyen una muestra aleatoria, de modo que cada medida es tomada de la población de manera aleatoria e independiente. Sin embargo esta suposición puede ser probada mediante el empleo de un procedimiento no paramétrico llamado Prueba de Corridas de una muestra de Wald-Wolfowitz.

Para probar la aleatoriedad, la hipótesis nula e hipótesis alternativa son en cada caso:

H_0 = El proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio.

H_1 = El proceso que genera el conjunto de datos numéricos no es aleatorio.

La hipótesis nula, de aleatoriedad, puede probarse mediante la observación del orden en que se obtienen los elementos de la muestra. Si a cada elemento se le asigna uno de dos términos, como E y F (por éxito y fracaso), dependiendo de si la medida es mayor o menor a un cierto valor, la aleatoriedad de la secuencia puede ser investigada.

Para estudiar si una secuencia observada es aleatoria o no, se considera como estadístico de prueba al número de corridas presente en los datos. Una corrida se define como una serie consecutiva de elementos similares que están limitados por elementos de un tipo diferente o por el inicio o fin de una secuencia (Ganancias Martínez, 2009).

Para probar la hipótesis nula de aleatoriedad, es necesario dividir el tamaño completo de la muestra: n , en dos partes: n_1 (el número de éxitos) y n_2 (el número de fracasos).

La estadística de prueba, es representada por la letra Z , para una prueba de dos extremos. Si Z es mayor o menor de lo que cabría esperar en una serie aleatoria de datos, se rechazaría la hipótesis nula de aleatoriedad. Si para una combinación dada de n_1 y n_2 , Z es mayor o igual al valor crítico superior, o menor o igual al valor crítico inferior, la hipótesis nula de aleatoriedad puede ser rechazada al nivel de significancia α . Sin embargo, si Z se encuentra entre estos límites, la hipótesis nula de aleatoriedad puede aceptarse.

La ecuación para determinar el valor del estadístico Z es la siguiente:

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R^2}$$

Siendo R el número total de corridas observadas.

El valor medio de R , está dado por la siguiente ecuación:

$$\mu_R = \frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n} + 1$$

Mientras que la desviación estándar de R, está dada por la siguiente ecuación:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{(\mu_R - 1)(\mu_R - 2)}{n - 1}}$$

El valor del estadístico Z obtenido, se contrasta con el valor de tabla de la distribución normal para un cierto nivel de significancia establecido, y si se encuentra comprendido entre los límites de la tabla, se dice que las variables que integran la serie son aleatorias. De lo contrario se rechaza tal afirmación.

Pruebas de Homogeneidad: Wilcoxon

Las pruebas de homogeneidad evalúan si todos los valores que conforman la muestra, provienen estadísticamente de una misma población. Para ello es necesario dividir la muestra en dos o más grupos de tamaños iguales (o diferentes), y se comparan los estadísticos de la muestra: media, mediana, varianza, entre otros.

La prueba de homogeneidad a escala anual de Wilcoxon permite comprobar si el promedio de un primer subconjunto de la muestra difiere significativamente del promedio de un segundo subconjunto de la muestra. Para efectuar esta prueba se debe sustituir las observaciones de las dos muestras de tamaños N1 y N2, por sus rangos combinados. Los rangos son asignados de tal manera que el rango 1 se asigna a la más pequeña de las N = N1 + N2 observaciones combinadas, el rango 2 se le asigna a la siguiente más, de modo que el rango N queda asignado a la observación más grande. Si varias observaciones tienen el mismo valor, se asigna a cada una de estas el promedio de los rangos que, en otra circunstancia, se les habría asignado.

La estadística de la prueba de Wilcoxon T1, es simplemente la suma de los rangos asignados a las n1 observaciones de la muestra más pequeña. Para cualquier valor entero n, la suma de los n primeros enteros consecutivos pueden calcularse como N(N+1)/2. La estadística de prueba T1, más la suma de los rangos asignados a los N2 elementos de la segunda muestra, T2, por consiguiente, debe ser igual a este valor, es decir:

$$T1 + T2 = \frac{N(N + 1)}{2}$$

De modo que esta ecuación puede ser empleada como verificación del procedimiento de asignación de rangos.

La prueba de la hipótesis nula puede ser de dos extremos o de un extremo, dependiendo de si se está probando si los dos promedios de población son exclusivamente diferentes o si una es mayor que la otra.

La estadística de prueba, T_1 , está distribuida de manera aproximadamente normal. Se puede emplear la siguiente fórmula de aproximación de muestra grande para probar la hipótesis nula:

$$|Z| = \frac{T_1 - \mu_{T_1}}{\sigma_{T_1}}$$

El valor medio de la estadística de prueba T_1 , puede calcularse con:

$$\mu_{T_1} = \frac{n_1(n + 1)}{2}$$

Asimismo, la desviación estándar de la estadística de prueba T_1 , se puede calcular con:

$$\sigma_{T_1} = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 (n + 1)}{12}}$$

Basándose en α , el nivel de significación seleccionado, la hipótesis nula puede ser rechazada si el valor Z calculado cae en la región de rechazo apropiada.

Prueba de Estacionariedad de Mann Kendall

Con esta prueba, se busca que la serie de datos no presente una tendencia temporal. Para cada dato de la serie, la cual se encuentra ordenada cronológicamente, se calcula cuántos datos posteriores son superiores (S):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} s(i)$$

Siendo $s(i)$ el número de los valores en la serie tal que $X_j > X_i$, siendo $i < j \leq n$. Por otro lado, se determinan cuántos valores posteriores son menores (T):

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} t(i)$$

Siendo $t(i)$ el número de valores en la serie tal que $X_j < X_i$, siendo $i < j \leq n$. Con los valores de S y T calculados con las dos ecuaciones anteriores, se define el índice $I = S - T$, que debe ser próximo a cero si la hipótesis nula es verdadera. Por lo tanto, se deben verificar las siguientes condiciones:

- $I < I_{crit}(\alpha)$, o sea que el I calculado sea menor que un valor de I crítico tabulado en función del tamaño de la muestra y según diferentes niveles de significación.
- Para tamaños de muestra mayores a 10, el valor del estadístico se aproxima a una distribución normal. Por lo que se debe utilizar una forma estandarizada del estadístico en donde se transforma el índice I en el índice K, definido como:

$$K = \frac{I - 1}{\left(\frac{N * (N - 1) * (2N + 5)}{18}\right)^{0.5}} \quad I > 0$$

$$K = 0, I = 0$$

$$K = \frac{I + 1}{\left(\frac{N * (N - 1) * (2N + 5)}{18}\right)^{0.5}} \quad I < 0$$

Los valores de K_{crit} son obtenidos de una distribución Normal, los cuales son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Valores de K_{crit} para la prueba de Kendall.

α	0.01	0.05	0.1
K_{cri}	2.33	1.64	1.28

El apartado 3.2 fue desarrollado con el software FACETA y Planillas de cálculo de Excel (Windows Microsoft Office, 2007). Algunos conceptos fueron extraídos del apunte de Ganancias Martínez (2009) y de la Práctica Supervisada de Ingeniería Civil de Beretta, (2018).

3.3. Metodología para el cálculo y evaluación del índice

3.3.1. Índice SPI

El índice SPI (McKee *et al.*; 1993) considera las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período dado. El cálculo consiste en ajustar una serie histórica de precipitación mensual con la función de distribución probabilística Gamma, ya que es la función de distribución que mejor ajusta a la variable precipitación (Young, 1992). Este índice ofrece la posibilidad de medición de la sequía en distintas escalas temporales, dependiendo del objetivo del estudio.

La Organización Meteorológica Mundial (2012) define al índice SPI como un potente y flexible índice sencillo de calcular ya que el único parámetro necesario para su cómputo es la precipitación. Además, es muy efectivo para analizar tanto ciclos húmedos como secos.

Asimismo, la OMM (2012) expone que el SPI se concibió para cuantificar el déficit de precipitación para varias escalas temporales (en este caso, 12 meses), las cuales reflejan el impacto de la sequía en la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos.

En la Tabla 2, se muestran los valores del SPI según los cuales se definen las distintas intensidades de la sequía y periodos húmedos.

Se establecieron las condiciones para los eventos de sequía cuando los valores del SPI sean de -1.0 o inferiores. Por otra parte, cuando los mismos sean de 1.0 o superiores, se refieren a periodos húmedos.

Tabla 2.- Valores característicos del índice de precipitación estandarizado (SPI).

Índice	Categoría
>2	Extremadamente húmedo
1.99 a 1.50	Muy húmedo
1.49 a 1.00	Moderadamente húmedo
0.99 a -0.99	Normal
-1.00 a -1.49	Sequía moderada
-1.50 a -1.99	Sequía severa
<-2.00	Sequía extrema

El apartado 3.3.1 fue desarrollado con el programa de uso libre SPI generator (Version number: 1.7.1).

4. RESULTADOS

4.1.-Análisis estadístico

Del análisis estadístico de la serie analizada, se observaron los siguientes parámetros que describen dicha información (Tabla 3).

Tabla 3.- Resumen de parámetros descriptivos para la serie de precipitación media anual en Villa Ángela en el período 1955-2017.

Parámetros	Valores
Media	86,8
Mediana	80,33
Desvío	29,09
Coficiente de Asimetría	0,79
Coficiente de Variación	0,34
Mínimo	26,83
Máximo	184

En la Figura 12 se muestra la evolución en el tiempo de la variable de Precipitación Media Anual en Villa Ángela.

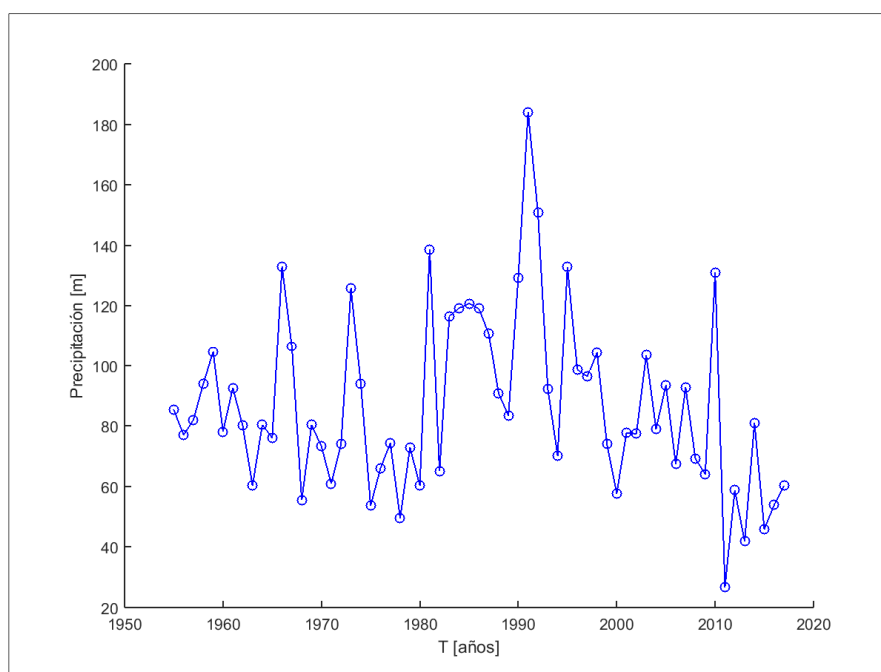


Figura 12.- Precipitación media anual en la estación Villa Ángela en el período 1955 -2017.

En cuanto a los test de calidad de series utilizados para evaluar los datos atípicos, pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad, se presentan en la siguiente figura:

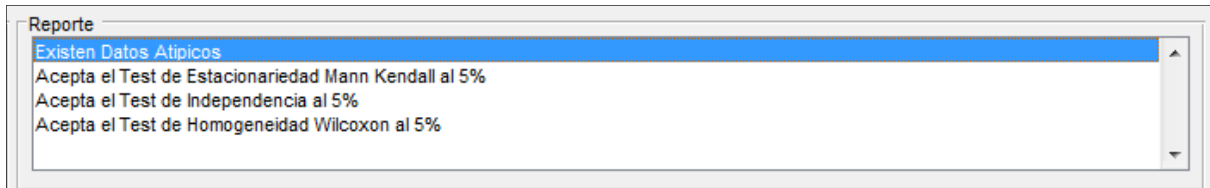


Figura 13.- Resultado de las pruebas arrojado por el software FACETA en la estación Villa Ángela en el período 1955 -2017.

Se observó un dato atípico en el año 2011, luego se consideró que su desfasaje respecto de los límites de referencia era mínimo y que la incidencia del mismo en la muestra era desestimable, más aun teniendo en cuenta la metodología a emplear para el cálculo del índice de sequías, por lo cual se consideró mantener la serie original.

En relación a la Prueba de Estacionariedad de Mann Kendall, se pudo ver que la serie bajo análisis acepta la misma, lo que certifica que no presenta una tendencia temporal para un nivel de significancia de 5%.

Con respecto a la Prueba de Independencia admite la hipótesis nula, por lo que las muestras son independientes para un nivel de significancia del 5%.

Finalmente, verifica la Prueba de Homogeneidad de Wilcoxon, confirmando que los promedios de las 2 divisiones de la muestra son diferentes para un nivel de significancia del 5%.

Por lo anteriormente expuesto, se concluye que la serie es estadísticamente aceptable para el análisis de los períodos secos y húmedos en la ciudad de Villa Ángela.

4.2. Índice SPI

En la Figura 14 se presentan los valores del índice SPI (para 12 meses) en el periodo de tiempo analizado (1955-2017).

Villa Ángela

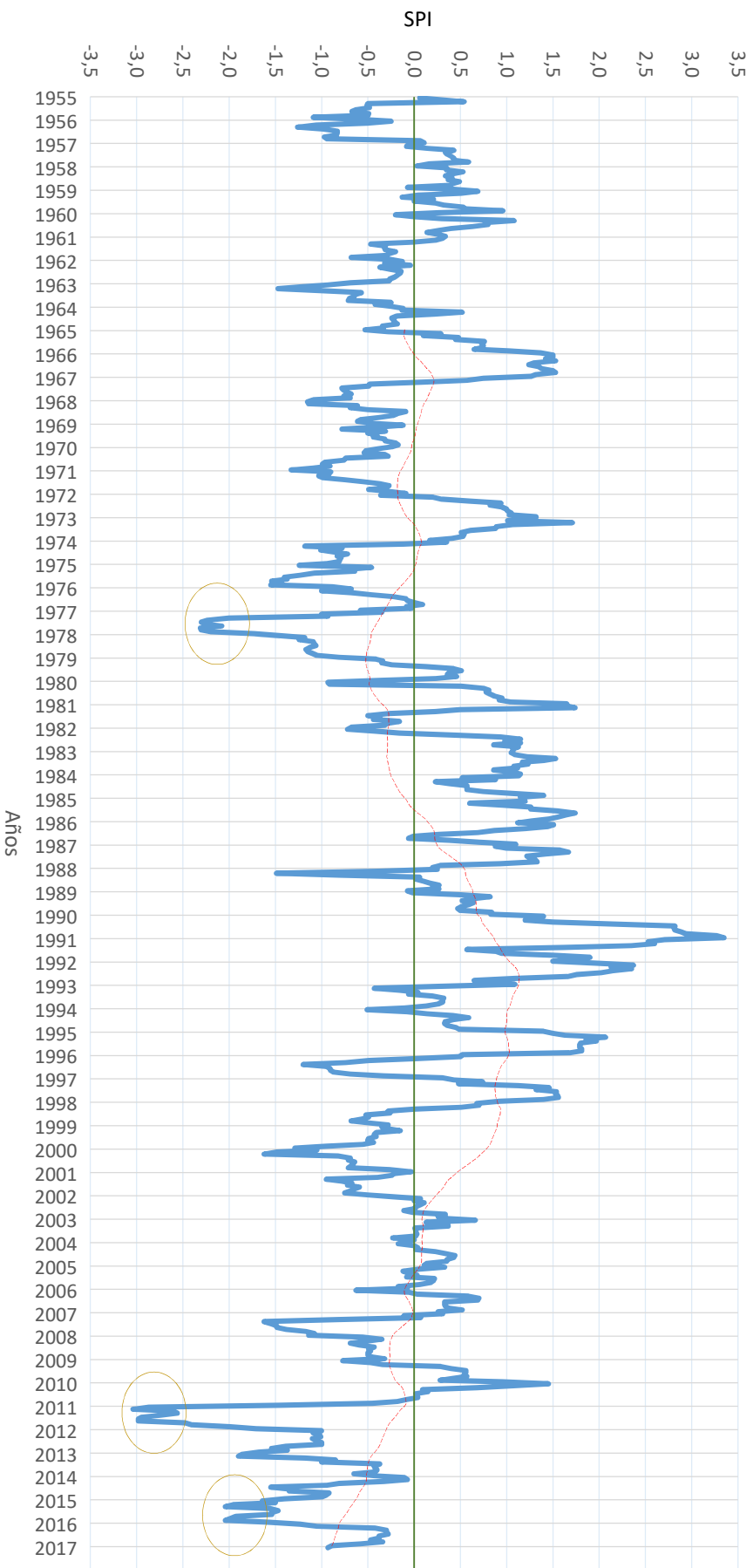


Figura 14.- Valores del índice SPI en la estación Villa Ángela, en el período 1955-2017.

En general se transita de sequías moderadas a severas, con picos de sequías extremas notables entre los años 1977 y 1978 como así también entre 2011 y 2012.

Con respecto a la duración, se perciben tres períodos con picos importantes de poca duración; donde a los años anteriores se hace notorio el periodo de los años 2015 y 2016.

En cuanto a valores extremos de los periodos húmedos se destacan los meses en torno al año 1991 a 1993 y la duración del periodo que abarca gran parte de la década del '80.

Analizando la media móvil se observan dos ciclos completos; el primero comienza en 1966 y finaliza en la segunda mitad de la década del 85, mientras que el segundo concluye entre los años 2005 y 2006. De este modo, se deduce que ambos ciclos presentan una duración de aproximadamente 20 años cada uno.

4.3. Análisis de frecuencias mensuales

La frecuencia relativa mensual se obtuvo mediante los 744 meses que comprende el intervalo de estudio, con respecto a los rangos clasificados del SPI. En la Tabla 4 se exponen los resultados obtenidos y se muestran gráficamente en la Figura 15.

Tabla 4.- Frecuencia relativa mensual para cada intervalo del SPI de la serie de precipitación media anual en Villa Ángela en el período 1955-2017.

Intervalos	Frecuencia relativa mensual (%)
Extremadamente Húmedo	2%
Muy Húmedo	5%
Moderadamente Húmedo	9%
Normal	69%
Sequía Moderada	9%
Sequía Severa	3%
Sequía Extrema	3%

Se observa que la distribución de períodos húmedos y secos es uniforme respecto de la frecuencia de los periodos considerados como normales, siendo éstos notoriamente más elevados (69%).

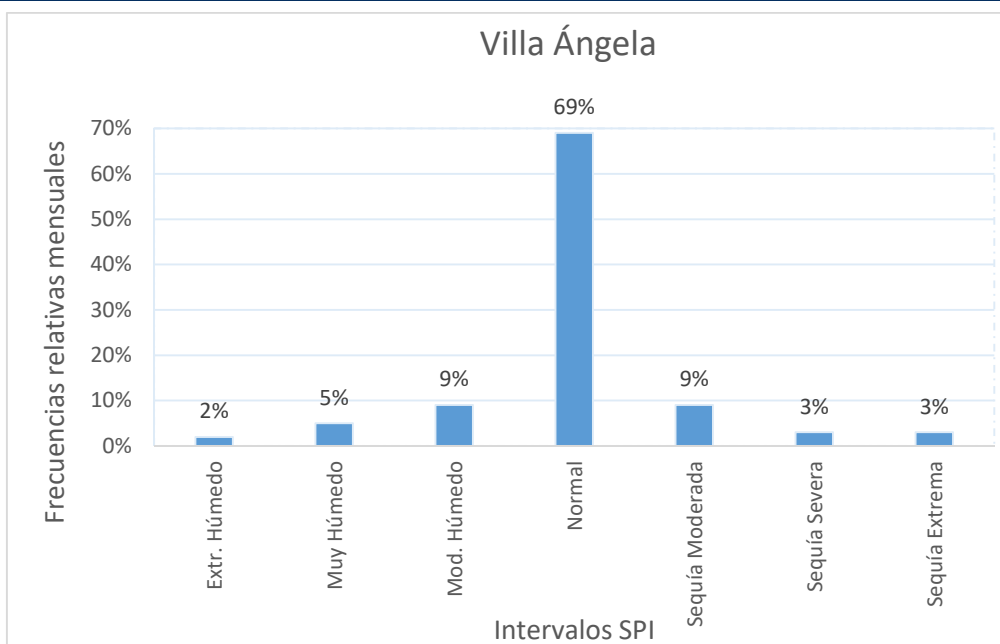


Figura 15.- Gráfico de frecuencias relativas mensuales de los intervalos del índice SPI en la estación Villa Ángela, en el período 1955-2017.

4.4. Análisis de frecuencias anuales

Se caracterizaron los años sobre el promedio del SPI y se obtuvo una valoración cualitativa. Cada uno de los años caracterizados como normales se dejaron en blanco y los años con algún tipo de sequía o nivel de humedad se identificaron con colores de distinta intensidad (Figura 16).

Analizando a nivel anual se observan más períodos con sequías que intervalos húmedos, encontrándose por último los normales.

Tabla 3.- Frecuencia relativa anual para los intervalos del índice SPI para la serie de precipitación media anual en Villa Ángela en el período 1955-2017.

Intervalos	Frecuencia relativa anual (%)
Años Húmedos	34%
Normal	27%
Años Secos	39%

5. CONCLUSIONES

Fue posible identificar los ciclos secos y húmedos en la localidad de Villa Ángela, ubicada en el departamento Mayor Luis Jorge Fontana de la Provincia del Chaco, en el período 1955 - 2017.

A través de una serie de precipitaciones estadísticamente aceptable, se determinaron los valores mensuales del índice SPI. Este índice permitió identificar y analizar las intensidades y frecuencias, tanto de meses y años de sequías como con distintos niveles de humedad. Particularmente se observaron períodos de sequías severas a extremas, tales como entre los años 1977 y 1978, como así también entre 2011 y 2012; además, se observaron periodos muy húmedos en la década del '80 y a principio de la década del '90.

Finalmente, se considera recomendable continuar con la temática planteada en este trabajo para la ciudad de Villa Ángela, ampliando su contenido y aplicación para favorecer la gestión y planificación de los Recursos Hídricos en dicha ciudad y alrededores.

6. BIBLIOGRAFIA

Administración Provincial del Agua - Dirección de Estudios Básicos. (2010) "Anuario de Precipitaciones Provincia del Chaco 1956-2010". (Fecha de consulta: 02/10/2018). Sitio web: <https://www.ecomchaco.com.ar/apa/ANUARIO1956-2010.PDF>

BERETTA, Tomás (2018). Práctica supervisada de Ingeniería Civil: "Regionalización de lluvias máximas diarias en las provincias de Chubut, San Juan, Santa Cruz y Tierra del Fuego". FCEfyN

Carta de suelos de la República Argentina: Los Suelos del Departamento Mayor Luis Jorge Fontana Provincia del Chaco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (I.N.T.A.) 2002. Sitio web: <https://inta.gob.ar/documentos/mapa-de-suelo-departamento-fontana-3> (fecha de consulta: 20 /02/2019)

Chow, V.T.; Maidment, D.; Mays, L. (1994). "Hidrología Aplicada".

Diario Norte: "El golpe de la sequía al Chaco bajo la superficie" (Resistencia, 13 de enero 2018) sitio web: <http://www.diarionorte.com/article/161833/el-golpe-de-la-sequia-al-chaco-bajo-la-superficie>

Diario Norte: "Inundaciones: en la zona de Villa Ángela se perdió una de cada cuatro hectáreas" (Resistencia, martes 24 de enero de 2017). Sitio web: <http://www.diarionorte.com/article/147723/inundaciones-en-la-zona-de-villa-angela-se-perdio-una-de-cada-cuatro-hectareas>

Diario Villa Ángela Hoy: “La sequía no da tregua” (Villa Ángela, 7 de septiembre de 2013). Sitio web: <http://villaangelahoy.com.ar/nota/6451/la-sequia-no-da-tregua>

Diario Villa Ángela Hoy: “Villa Ángela se inunda más que ayer y menos que mañana” (Villa Ángela, 24 de febrero de 2014). Sitio web: <http://villaangelahoy.com.ar/nota/7423/villa-angela-se-inunda-mas-que-ayer-y-menos-que-manana>

Ganancias Martínez, Facundo (2009). “Catedra de Hidrología y Procesos Hidráulicos-Clase de Hidrología”. FCEFyN-UNC

García Jiménez, Fermín; Fuentes Mariles, Ó.; Matías Ramírez, L. G. (2007). “Serie Fascículos: Sequías”. Sitio web: http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/372/1/images/fasciculo_sequias.pdf (Fecha de consulta: 16/01/2019)

Informes Productivos Provinciales: Chaco. Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación. Subsecretaría de Planificación Económica. Dirección Nacional de Planificación Regional. Año 1, N° 6 – Año 2016. Sitio web: https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas_provinciales/SSPE-Informe_Productivo_Provincial-Chaco.pdf (fecha de consulta: 03/03/2019).

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Sitio web: <https://www.indec.gob.ar/> (fecha de consulta 27/02/2019).

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (1973). “Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco”.

Mapa Provincia del Chaco. Sitio web: <http://www.ign.gob.ar/AreaServicios/Descargas/MapasProvinciales> (fecha de consulta 01/03/2019).

Mapa República Argentina. Sitio web: http://mapoteca.educ.ar/.files/wp-content/mapas/republica-argentina/politico/impresion/republica-argentina_politico.jpg?dl (fecha de consulta 01/03/2019).

Mapa Villa Ángela – Chaco. Sitio web: <https://maps.google.com.ar> (fecha de consulta 01/03/2019).

Ministerio de la Producción del Gobierno de la Provincia del Chaco. DIRECCIÓN DE BOSQUES. “Manual para el manejo forestal sustentable de los bosques nativos de la Provincia del Chaco”. Sitio web: http://www.ambienteforestalnoa.org.ar/userfiles/biblioteca/descarga/manualmanejo_chaco.pdf (Fecha de consulta: 19/02/2019).

McKee, T.B., N. J. Doesken and J. Kliest. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales". In Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society. Boston, MA. 179-184.

Naranjo Pérez de León, María Francisca, (2012). "Estimación de períodos húmedos y secos en la Hidrología". Sitio web: <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/85/pdfs/hidrologia.pdf> (Fecha de consulta: 16/01/2019).

Organización Meteorológica Mundial (2012). "Índice Normalizado de Precipitación. Guía del usuario". Sitio web: http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf

Organización de las Naciones Unidas (1994). "Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por la sequía grave o la desertificación, en particular en África". Sitio web: <http://www.un.org/es/events/desertificationday/convention.shtml> (Fecha de consulta: 06/11/2018)

Ortega Gaucin, David (2013). Revista: **Ciencia UANL/ Año 16, Nº 61- Enero-Marzo 2013** "Sequía: causas y efectos de un fenómeno global". Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/260163188_Sequia_Causas_y_Efectos_de_un_Fenomeno_Global (Fecha de consulta: 06/11/2018)

S.A.M.E.E.P. (Servicios de Agua y Mantenimiento Empresa del Estado Provincial). Formato papel. Sitio web: <https://sameep.gov.ar/>

Subsecretaria de Planificación. Estadísticas Chaco. "Población por localidad, sexo y edad en grandes grupos". Sitio web: <http://estadisticas.chaco.gov.ar> (fecha de consulta 01/03/2019)

Wilhite, D.A. and Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Waterinternational*, vol. 10: 111-120.

Young, K.C. (1992). "A Three-Way Model for Interpolating for Monthly Precipitation Values". *Monthly Weather Review*, 120, 2561-2569 pp