AGROCLIMATOLOGÍA DE LOS VALLES DE TULÚM Y ULLÚM-ZONDA DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN -ARGENTINA-.

Arnobio G. Poblete
Instituto de Geografía Aplicada – Departamento de Geografía de la UNSJ
agpoblete@gmail.com

[FECHA ENTREGA. 10/08/2015 - FECHA APROBADO 16/09/2015]

1.RESUMEN

En San Juan los productores agropecuarios, necesitan saber si su clima está siendo afectado por el Cambio Climático Global (CCG), alterando la temperatura por estación, la frecuencia de temporadas de calor intenso, las fechas de inicio y de finalización de las heladas, la ocurrencia de viento zonda; y si los eventos extemporáneos y extremos, tanto térmicos como hídricos, se incrementaron.Este trabajo tiene como propósito dar respuestas a las problemáticas nombradas, mediante el estudio preciso de la variabilidad estacional e interanual, en el periodo 1968-2013, de la temperatura y la precipitación y sus parámetros agroclimáticos asociados; para determinar las temporadas que inciden en la agricultura e identificar sus fechas de inicio y finalización, valuando su comportamiento temporal por medio de índices que los caractericen objetivamente. Además se dará especial énfasis al análisis de extremos con el objeto de determinar la probabilidad de excedencia y tiempo de retorno de los mismos.Para lograrlo se aplican los métodos estadísticos usuales, series temporales distribución de extremos tipo Gumbel, y análisis climatológico dinámico.Los resultados fueron los siguientes, determinando:la variabilidad interanual y estacional del régimen térmico, heladas suprobabilidad de ocurrencia,fechas de inicio y finalización;el régimen hídrico con el periodo de retorno de sus extremos, las precipitaciones, evaporación y evapotranspiración, probabilidad de ocurrencia de granizo, régimen de vientosy la problemática del riego. En todos los casos se realizó un análisis de extremos.

Se sentaron las bases físicas para el desarrollo de métodos de pronóstico estacional que permitirán la prevención de eventos extemporáneos.

Palabras claves: Agroclimatología - régimen térmico-régimen hídrico – vientos - extremos.

2. ABSTRACT

AGROCLIMATOLOGY THE VALLEYS OF TULUM AND ULLÚM-ZONDA IN THE PROVINCE OF SAN JUAN-ARGENTINA-

In San Juan the farmers, need to know if your climate is being affected by global climate change(GCC), altering the temperature station, the frequency of periods of intense heat, the dates of commencement and completion of freezing, occurrence of Zonda wind; and if both thermal and water, untimely and increased extreme events. This paper aims to provide answers to the problems named by the precise study of the seasonal and interannual variability in the period 1968-2013, temperature and precipitation and their associated agro-climatic parameters; to determine the seasons that affect agriculture and identify start and end dates, valuing its temporal behavior through indices that objectively characterize. Besides special emphasis will be given to the analysis of extreme order to determine the probability of exceedance and return time thereof. To achieve the usual statistical methods, time series type Gumbel distribution of extremes, and dynamic climatological analysis are applied. The results were as follows, you determine: the annual and seasonal variability of the thermal regime, frosts their probability of occurrence, start and end dates; water regime with the return period ends, precipitation, evaporation and evapotranspiration, probability of occurrence of hail, wind regime and the problems of irrigation. In all cases analysis was performed ends.

The physical basis for the development of seasonal forecasting methods that will prevent out of time sat events.

Keywords: Vid- Agroclimatology - Thermal-regime-Hidricregime - Extremes.

3. INTRODUCCIÓN

En San Juan los productores agropecuarios necesitan,para realizar sus tareas adecuadamente, conocersi se están alterando los siguientes parámetrosagrometeorológicos: temperatura por estación, frecuencia de tem-

poradas de calor intenso, grados días, horas frío, fechas de inicio y de finalización de las heladas, tormentas de verano con aluviones, granizo, régimen de evapotranspiración, ocurrencia de viento zonda; y si los eventos extemporáneos y extremos, tanto térmicos como hídricos (como es el caso de la actual sequía nival que afecta al derrame del río San Juan) se incrementaron.

Este trabajo tiene como propósito dar respuestas a las problemáticas nombradas, mediante el estudio preciso de la variabilidad estacional e interanual de los regímenes térmico, hídricoy eólico en el periodo 1968-2014, para caracterizar las temporadas que inciden en la agricultura e identificar sus fechas de inicio y finalización, valuando su comportamiento temporalpor medio de índices que las representen objetivamente. Además se dará especial énfasis al análisis de extremos y eventos extemporáneos con el objeto de determinar la probabilidad de excedencia y tiempo de retorno de los mismos, (Wagner-Riddle,2005).

4. DATOS Y MÉTODOS

El área agropecuaria en estudio,comprende los Valles de Tulúm y Ullum-Zonda (ver figura 1 y 2).

Figura 1: Ubicación del área de estudio

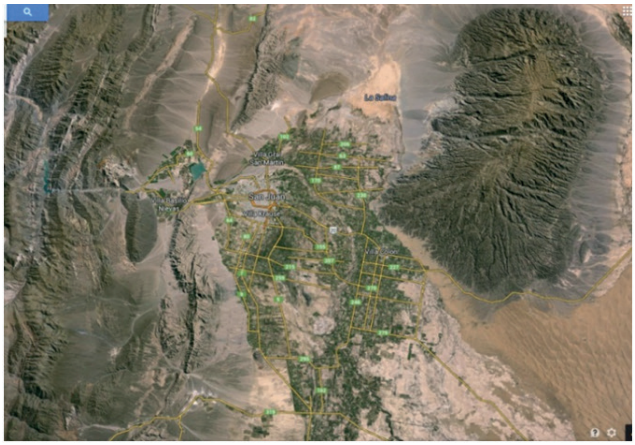


Figura 2: Imagen satelital del Valle de Tulúm, mostrando el marco geomorfológico en el que se encuentra: Sierras de Villicum al Norte, Sierra de Zonda al Oeste, Pie de Palo al Este, y Cerrillos de Valdivia y Barbosa al Sur. Su emplazamiento muestra la vulnerabilidad respecto de los aluviones por la cercanía del pie de monte de las serranías del Oeste. Fuente: Google Earthvía internet.

Los datos diarios utilizados (periodo 1968-2014)en este trabajo fueron aportados por la estación agro-meteorológica de INTA, la cual se encuentra en la localidad de Pocito(31,57° S y 68,42° W, a una altura de 618,23snm).Los citados fueron cotejados con los proporcionados por las estaciones del SMN en elaeropuerto Las Chacritas (periodo 1960-2014), Observatorio de Mendoza y EEA- INTA San Martín de San Juan. Además los datos de la temperatura media (periodo 1931-2014) fueron descargados del sitio http://data.giss.nasa.gov/gistemp/

Se controlaron 47 años de registros diarios de las estaciones mencionadas, por medio de la aplicación de tests de homogeneidad absoluta y relativa, (WMO, 1966).

La metodología empleada para el análisis estacional e interanual se basa en el análisis estadístico descriptivo clásico para valuar las propiedades de los parámetros y su variabilidad(Poblete, 2002).

Para estimar la significación estadística de la tendencia se aplicaron los test de Sperman y Kendall (Drapery Smith, 1976)cuya expresión matemática es:

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{N^3 - N} \quad (1) \qquad r_s \approx N\left(0, \frac{1}{n-1}\right)$$

con: di = la diferencia entre rangos

Se construye el estadístico: $t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}}$ **(2)**

Se extrae t_T de la tabla *"t" de Student* con v =N-2 grados de libertad

Si $|t| \leq t_T$ no hay tendencia significativa al α % de los datos

La metodología básica empleada fue:
La estandarización de los derrames se aplicó la fórmula:

$$z_i = \frac{x_i - \overline{X}}{S} \qquad (3)$$

Con $z_i$la variable estandarizadaobtenida de los N valores de x cuya media ($\overline{X}$) y desviación típica *(S)*, tienen una vez tipificadas, una media =0 ($\overline{Z} = 0$) y desviación típica =1 (Sz=1),

En el análisis de correlaciónentrelas series se usóel coeficiente producto-momento de Pearson, (Drapery Smith, 1976)cuyo algoritmo es:

$$r = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\frac{(x_i - \overline{x})}{s_x}\frac{(y_i - \overline{y})}{s_y} \qquad (4)$$

Donde n= número de datos, x_i es el dato en la posición i, con medias de las dos series, Sx , S y desviaciones estándar de las variables x e y.

Los modelos de pronóstico se obtuvieron medianteel ajuste polinómico por MCO (mínimos cuadrados ordinarios):

Se obtiene el polinomio de grado n:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_n x^n \qquad (5)$$

Donde y es la variable dependiente, x la independiente y los aison los coeficientes a determinar mediante las siguientes ecuaciones normales:

$$\begin{aligned} na_0 + \left(\sum x_i\right)a_1 + \left(\sum x_i^2\right)a_2 + \ldots + \left(\sum x_i^n\right)a_n &= \sum y_i \\ \left(\sum x_i\right)a_0 + \left(\sum x_i^2\right)a_1 + \left(\sum x_i^3\right)a_2 + \ldots + \left(\sum x_i^{n+1}\right)a_n &= \sum y_i x_i \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \left(\sum x_i^n\right)a_0 + \left(\sum x_i^{n+1}\right)a_1 + \left(\sum x_i^{n+2}\right)a_2 + \ldots + \left(\sum x_i^{2n}\right)a_n &= \sum x_i^n y_i \end{aligned} \qquad (6)$$

Para el suavizado de las series se emplearon **medias móviles** que consisten en una serie de medias aritméticas (simples o ponderadas) calculadas a lo largo del tiempo para un período de duración seleccionado L. O sea:

$$_L\overline{Y}_i = \frac{1}{L}\sum_{t=(1-L)/2}^{(L-1)/2} Y_{i+t} \qquad (7)$$

Nótese que lo ideal es que L sea impar para que la media móvil $_L\overline{Y}_i$ *este centrada en el período tkdonde k es el subíndice correspondiente a la misma. Los datos que se pierden son los (L-1)/2 primeros y los (L-1)/2 últimos de la serie(Montgomery, D,C. and Johnson, L.A. 1976).*

En el análisis de extremos se aplicó la distribución Gumbel, también conocida como la distribución Valor Extremo Tipo I, es ilimitada (definida en todo el eje real), y tiene la siguiente función de densidad:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha}\exp\left[\frac{-(x-\beta)}{\alpha} - \exp\left(\frac{-(x-\beta)}{\alpha}\right)\right] \qquad (8)$$

En donde α y β son los parámetros de la distribución. (Pizarro y Novoa, 1986).

3. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA

Debido a que el productor necesita planificar sus actividades en función de la variabilidad climática estacional e interanual, se cree conveniente realizar un análisis de las principales variables meteorológicas que inciden en la producción de uva. De acuerdo a esto, se decide abordar el estudio agroclimático estructurado en el análisis de los regímenes: térmico, hídrico y de vientos (Griffiths, 1994).

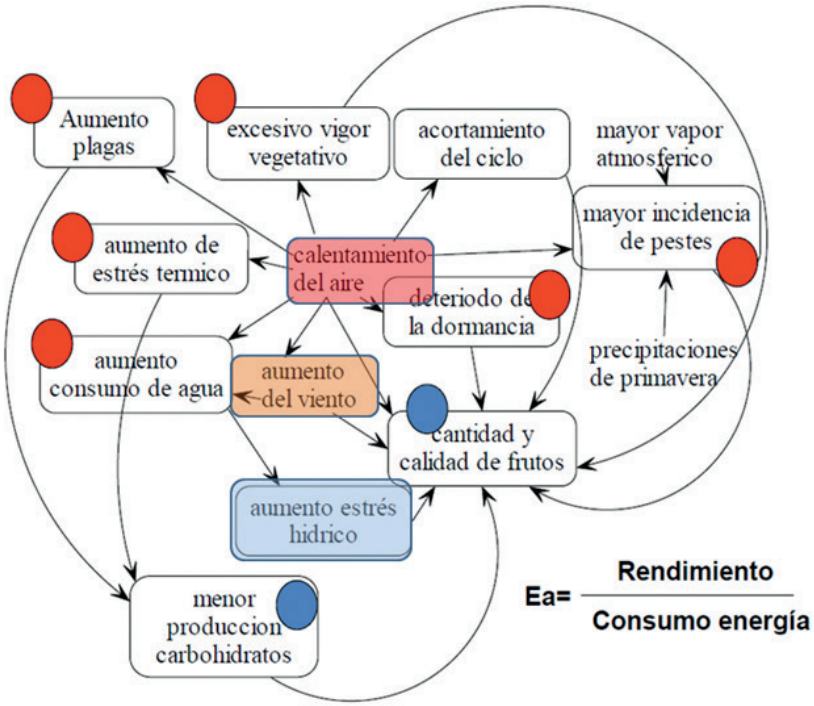


Figura 3: *Interacciones y feedbacks producidos por alteraciones en el régimen hídrico, térmico y eólico. Rojo= consecuencia del calentamiento del aire; celeste = consecuencias del aumento/déficit hídrico.*

La conexión y concatenación de dichos regímenes con sus correspondientes feedbacks se muestran en la Figura 3, donde se aprecia que alteraciones en cualquiera de los mismos se propagan al resto, y de esa manera afectan a todo el sistema agroclimático, (Fischer.et. al, 2001)

A continuación se analiza pormenorizadamente a cada uno de los regímenes citados.

3.1 Marco Radiactivo

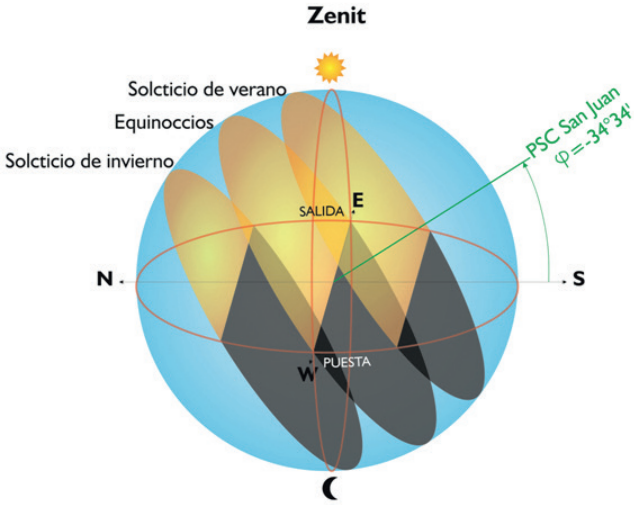


Figura 4: *Marcha diurna aparente del sol en los solsticios y equinoccios. Obsérvese la variación del arco diurno (rayado blanco) y nocturno (rayado negro) en los mismos.*

Como en San Juan la radiación juega un rol preponderante en la marcha diurna y estacional de la temperatura, se cree conveniente hacer un somero repaso de la variabilidad del movimiento aparente del sol durante el año. La figura 4, muestra las principales posiciones anuales del sol: el solsticio de invierno que ocurre en las proximidades del 22 de junio en el cual se origina el día más corto del año y la salida y puesta más septentrional haciendo que los rayos solares tengan una incidencia muy oblicua. En los equinoccios de primavera, (aproximadamente el 22 de septiembre) y de otoño (21 de marzo) las noches son iguales a los días y el sol tiene una salida y puesta en la mitad de la esfera celeste. En el solsticio de verano los días alcanzan su máxima duración a costa de la noche, hecho muy relevante para el clima que domina a Iglesia en la estación estival, (Poblete yAguiar. 2004).

Para valuar la duración de la luz solar diaria efectiva, es necesario agregar al análisis anterior el cálculo

del crepúsculo para la latitud de San Juan, siguiendo el algoritmo expresado por las fórmulas (10) a (12). La figura Nº 5muestra la curva suavizada de la duración del crepúsculo civil total, o sea, la suma del amanecer más el atardecer, para cada día del año. En esta figura y en el cuadro Nº 1, se puede ver, que los máximos son cercanos a los solsticios y los mínimos a los equinoccios.

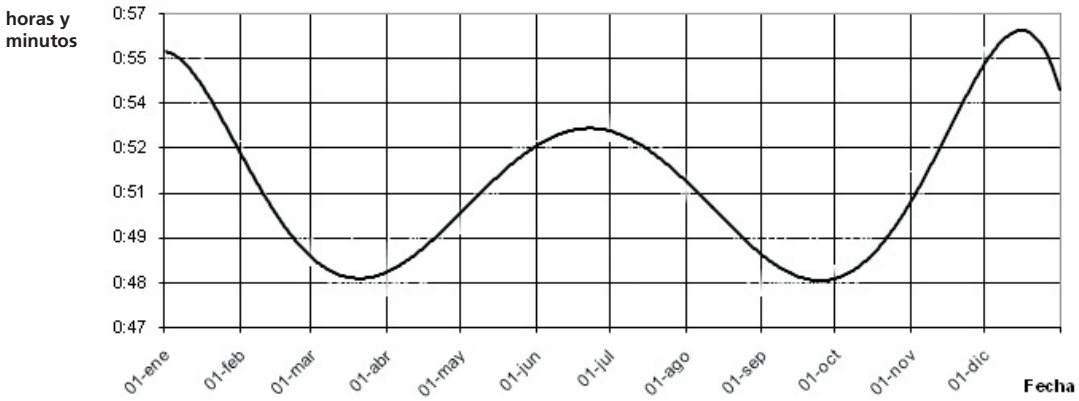


Figura 5: *Variabilidad estacional de la duración total del crepúsculo en San Juan. (Poblete y Aguiar. 2004)*

Máximos	Mínimos
57´ el 23 de diciembre	48´ el 21 de marzo
53´ el 23 de junio	48´ el 23 de septiembre

Tabla 1: *Duración en minutos de los máximos y mínimos medios estacionales del crepúsculo en la latitud de San Juan. (Poblete y Aguiar. 2004).r. 2004)*

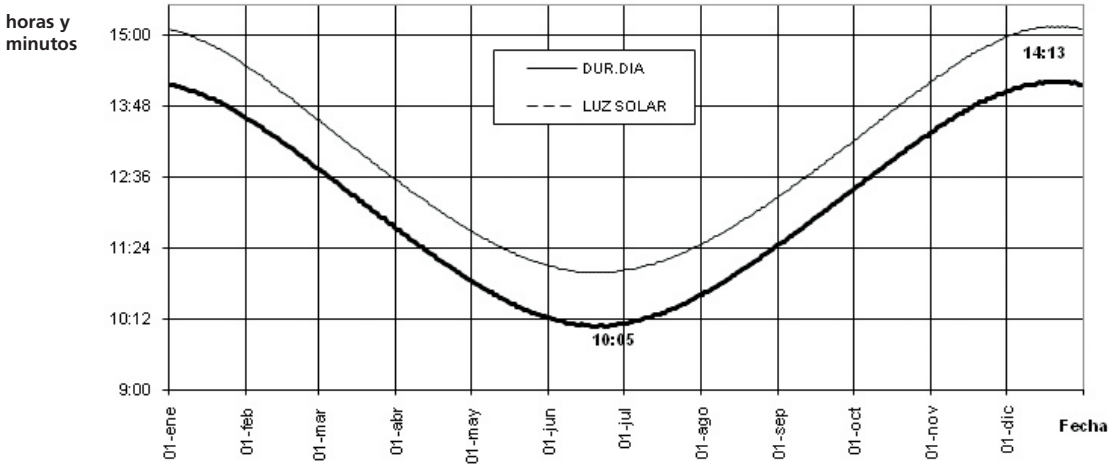


Figura 6: *Figura 6: Variabilidad estacional de la duración total del día y la luz solar en San Juan (Poblete y Aguiar. 2004).*

La Figura Nº 6 muestra la variación estacional de la duración neta del día y de la luz solar, considerando a estaúltima, como la suma de la primera más el crepúsculo total. En la misma se puede observar que el lapso iluminado oscila entre 15h 08´ en el solsticio de diciembre, hasta 10h 58´ en el solsticio de junio.

3.2. Régimen Térmico

Se caracterizan las temperaturas mínimas, máximas, grados días, régimen de heladas y horas frío; además de la determinación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos térmicos tanto extremos como extemporáneos.

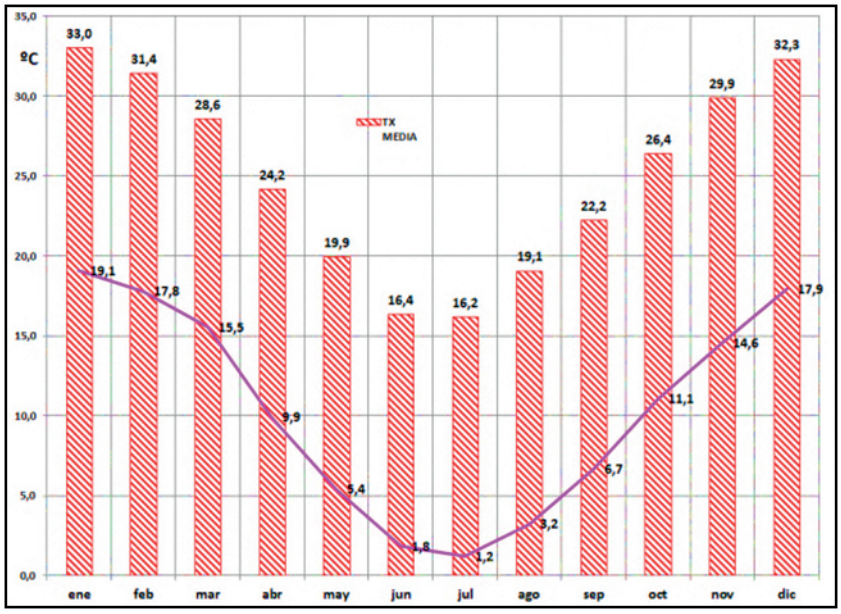


Figura 7: *Temperaturas máximas y mínimas mensuales con sus valores correspondientes*

año/ MES	TX MEDIA	TI MEDIA
Enero	33,0	19,1
Febrero	31,4	17,8
Marzo	28,6	15,5
Abril	24,2	9,9
Mayo	19,9	5,4
Junio	16,4	1,8
Julio	16,2	1,2
Agosto	19,1	3,2
Septiembre	22,2	6,7
Octubre	26,4	11,1
Noviembre	29,9	14,6
Diciembre	32,3	17,9
MEDIA	25,0	10,4

Tabla 2: *Valores de las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales del área en estudio*

En la figura 7 y tabla 2 se pueden apreciar los valores de las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales del área de estudio, mostrando ambas una considerable amplitud térmica propia de un clima continental y árido (Poblete, et. al., 2010).

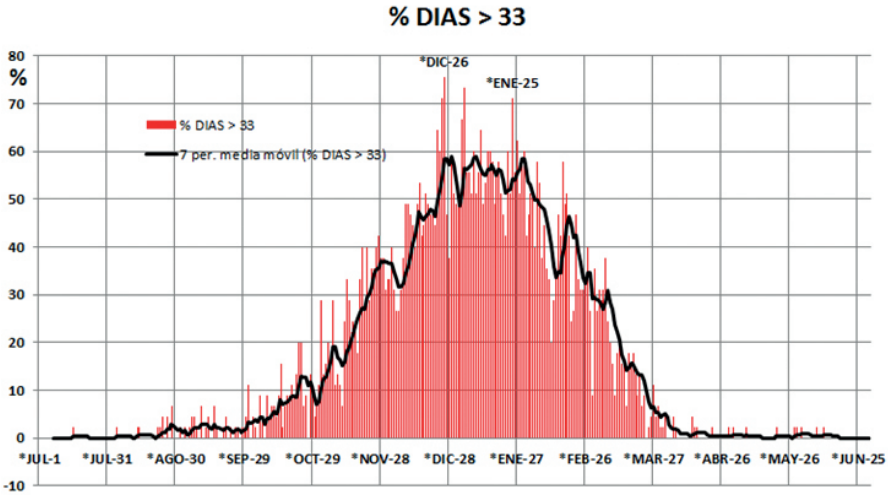


Figura 8: *Probabilidad de ocurrencia de días con temperaturas mayores a 33°C (límite del estrés térmico). Con una media móvil semanal.*

Para valuar el estrés térmico que podría sufrir la planta se calcula la probabilidad de ocurrencia de temperaturas máximas mayores que 33ºC, consideradas como el umbral del mismo(Figura 8). Se observa que en el periodo que va desde el 26 de diciembre al 25 de enero, la probabilidad media es del 60%, con picos que superan el 70%.

3.2.1 Grados días

La progresión del desarrollo de un cultivo en la temporada está muy influenciada por la temperatura del aire. Como tal, la acumulación media de calor se utiliza a menudo para comparar regiones cultivadas en condición de crecimiento, a lo que se denomina grados días (GrowingDegreeDays- GDD-). La suma de unidades diarias de GDD se utiliza, además, de la comparaciones citadas para la predicción de las etapas importantes en el desarrollo de un cultivo (floración, envero y madurez, principalmente). Los valores diarios de los GDD en °C (con una base de 10 ° C) pueden obtenerse como sigue: (TX+ TI /2)-10. (Neild y Seeley. 1977)

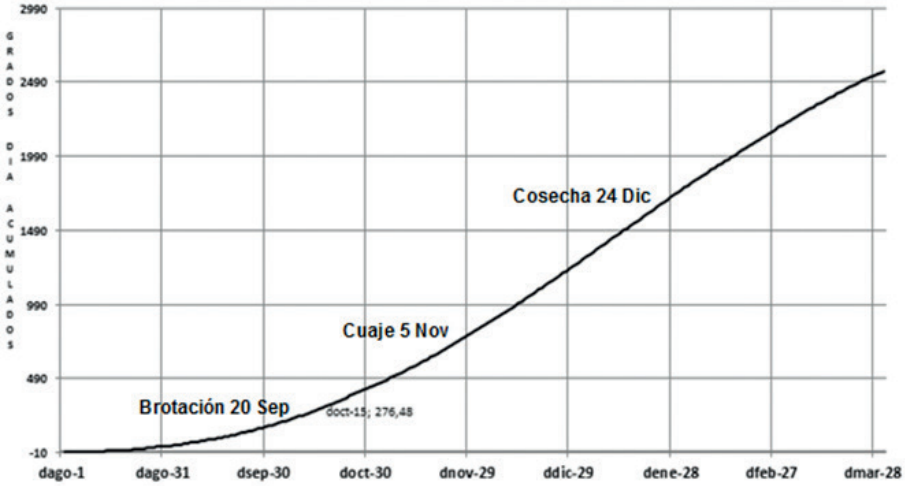
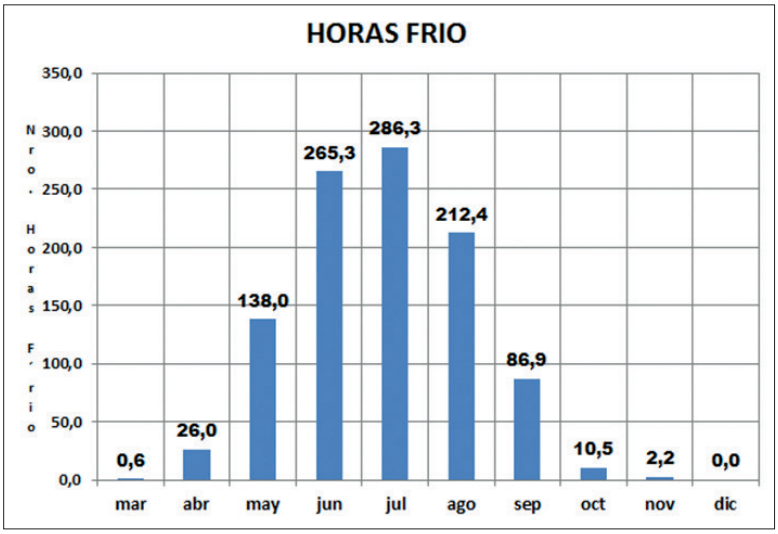


Figura 9: *Grados días acumulados en el periodo de crecimiento de la vid. Calculado con datos de la estación meteorológica de INTA. Pocito.*

A modo de ejemplo, la figura 9 muestra la acumulación de grados días en el periodo de crecimiento de la vid y las fechas fenológicas más importantes: brotación (20 de septiembreGDD de 100 a 350ºC), cuaje (5 de Noviembre GDD de 450 a 780ºC) e inicio de cosecha (24 de diciembre GDD de 1490)

3.2.2 Horas frio.

Las "horas frío" se definen como el número de horas que soporta la especie vegetal, durante el período de reposo invernal, a temperaturas iguales o inferiores a un determinado umbral, que en general es de 7.2ºC. Cuando esto ocurre la planta entra en "dormancia", es decir, que su ciclo vital se relentiza. Su duración se fija desde la caída de la hoja (se puede tomar el 1ro. de mayo o la fecha media de la primer helada) hasta unos días antes del desborre de las yemas. Este día final es más difícil de determinar y se puede tomar como fechas aproximadas: 1ro de agosto en zonas templadas- cálidas, el 15 de agosto en zonas templadas, y el 1ro. de septiembre en zonas frías-continentales. Los autores estiman que en San Juan se pueden tomar al 24 de Agosto, puesto que, es la fecha media de ocurrencia de la última helada, (Torres, 1995).



	HORAS FRIO
Nro. Años	44
Media	1028,205
Mediana	1022,500
Mínimo	781,0000
Máximo	1345,000
1er cuartil	953,5000
3er cuartil	1109,000
Rango	564,000
Desvstd.	122,7309

Tabla 3 *: Estadísticos del total de horas frio por temporada en el valle de Tulum.*

Figura 10: *Cantidad de Horas Frio promedio por mes.*

La cantidad de HF por mes, se muestran en la figura 10, en la que se aprecia que Julio es el que más aporta con 286,3 HF, en la tabla 3se observan los estadísticos por temporada de las mismas, se verifica que el promedio de horas frio (HF) es de 1028,2, con un mínimo de 781 horas (2006) y un máximo de 1345 (1984) con una variabilidad de 122 horas. Lo que justifica el cultivo de la vid, en los valles de Tulum y Ullum-Zonda, puesto que la mayoría de sus variedades necesitan aproximadamente 1000 HF.

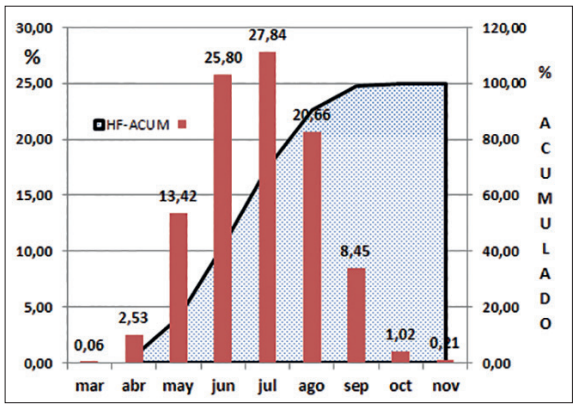


Figura 11: *Porcentaje de horas frio aportadas por cada mes y su acumulación.*

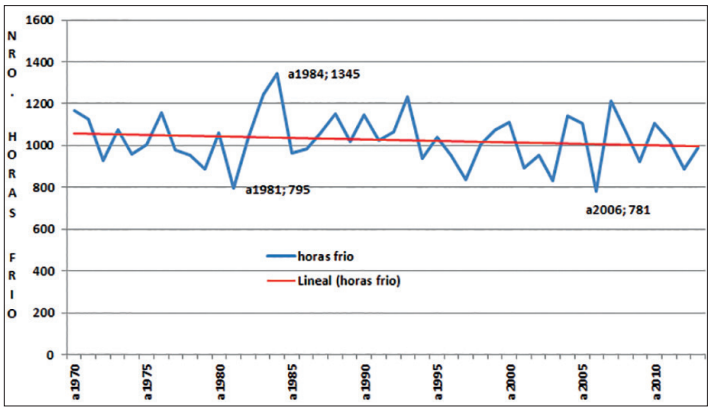


Figura 12: *variabilidad interanual de las horas frio por temporada y su tendencia decreciente*

El porcentaje aportado por cada mes, se observa en la figura 11 siendo julio el de mayor contribución con el 27,8%, siguiéndole junio con 25,8% y agosto con 20,6%.sumando los tres el 74,2% con las horas frio acumuladas.

En la figura 12 se observa la variabilidad interanual de las HF, con una tendencia decreciente pero no significativa según los tests de Spearman (-0.131) y Kendall (-0.093). El año con mayor número es 1984 (1345 HF), en contraposición el año 1981 (795 HF) y 2006 (781 HF).

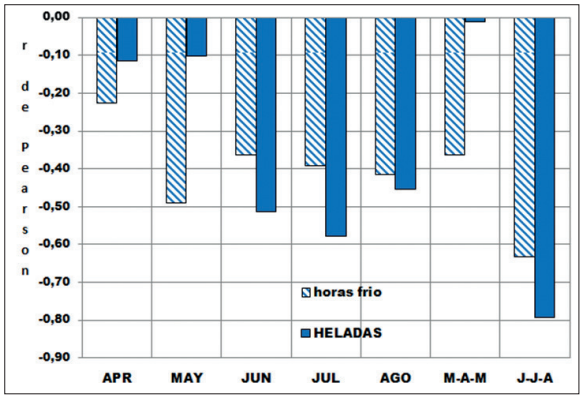


Figura 13: *Correlación entre las horas frio y las heladas con las temperaturas medias de los meses invernales, otoño (M-A-M) e invierno (J-J-A)*

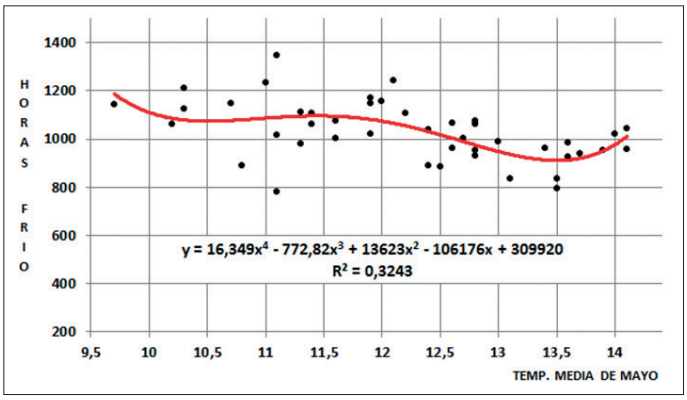


Figura 14: *Modelo para estimar las horas frio por temporada mediante la temperatura media de mayo.*

Se decide valuar la asociación entre las HF y las temperaturas medias de los meses otoñales- invernales. La mayor correlación se verifica con la media invernal (JJA) (figura 13), que alcanza los -0.80. Como mayo es el mes con mayor correlación, se elabora un modelo de pronóstico aplicando las ecuaciones (5) y (6)para estimar desde dicho mes las horas frío totales como se observa en la figura 14.

El mismo es el siguiente:

$$HF = 16{,}349\,x^4 - 772{,}82\,x^3 + 13623x^2 - 106176x + 309920$$

$$R^2 = 0{,}3243$$

Donde x es la temperatura media del mes de Mayo.

3.2.3. Ocurrencia de heladas.

A continuación se analiza el régimen de heladas (Villalpando y Ruiz. 1993).

	N	Media	Mediana	Minima	Maximo	Prop 10%	Prop 90%	1er cuartil	3er cuartil	Std.Dev.(en dias
FECHA1ra.	48	29-may	29-may	23-abr	25-jun	20-may	8-jun	3-may	19-jun	14,94456
FECHA-ult	48	24-ago	22-ago	27-jul	6-oct	12-ago	3-sep	8-ago	14-sep	14,79923
DIASCHEL	48	28,8958	29,5000	6,0000	53,0000	20,5000	38,0000	15,0000	47,0000	11,81099
TIEMPO	48	24,5000	24,5000	1,0000	48,0000	12,5000	36,5000	5,0000	44,0000	14,00000
TI	48	-1,6229	-1,6000	-2,5000	-0,7000	-1,9500	-1,3000	-2,1000	-1,0000	0,42137
TI-MIN-ABS	48	-4,2917	-4,6500	-6,7000	-1,1000	-5,2500	-3,5500	-6,0000	-2,0000	1,38623

Tabla 4: *Estadísticos descriptivos de las fechas de inicio y finalización del periodo de heladas, número de días con heladas por añoy valores de las temperaturas medias y extremas ocurridas, donde: FECHA1ra = la fecha de la primer helada (inicio). FECHA-ult= la fecha de la ultima helada (finalización); DIASCHEL=números de días con heladas; Tiempo= unidades temporales; TI= temperatura media del periodo con heladas considerado y TI-MIN-ABS= temperatura mínima absoluta de dicho periodo.*

El tabla 4 muestra los estadísticos de las fechas medias de inicio y finalización de las heladas. Obsérvese que la fecha media de inicio de la primera helada es el 29 de mayo, con un rango de 15 días, siendo la más temprana registrada en el periodo analizado la que se produjo el 23 de abril y la más tardía el 25 de junio. En cuanto a la fecha media de la última helada es el 24 de agosto, siendo la mínima el 27 de julio y máxima el 6 de octubre.

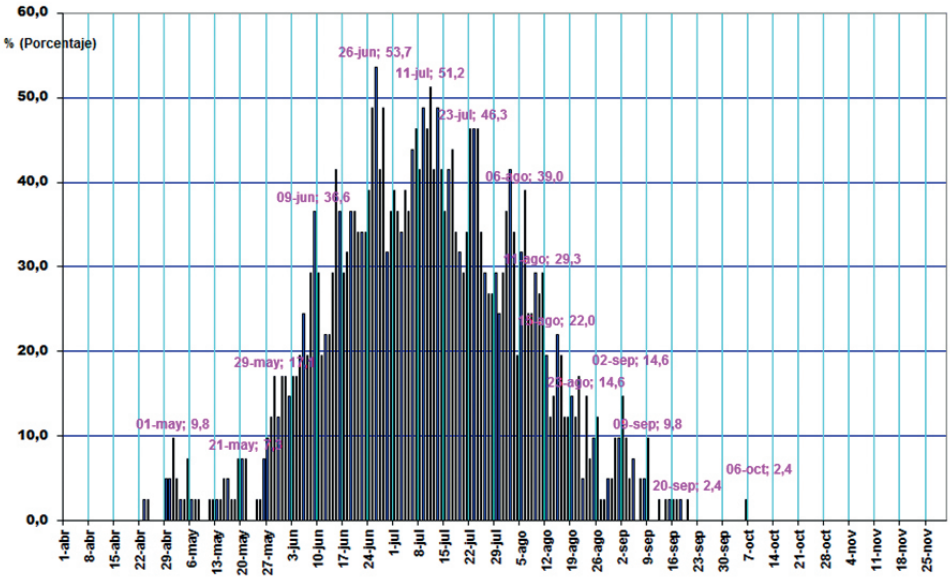


Figura 15: *Fechas de probabilidad de ocurrencia de heladas.*

La figura 15 muestra el periodo libre de heladas que se extiende desde el 8 de octubre hasta el 1 de mayo. Siendo los intervalos de mayor probabilidad los que van desde el 9 de junio hasta el 11 de agosto, cuando superan el 50%. Tanto las tempranas como las tardías tienen una escasa probabilidad de ocurrencia, que en la mayoría de los casos no excede el 5%.

3.2.3.1. Variabilidad interanual

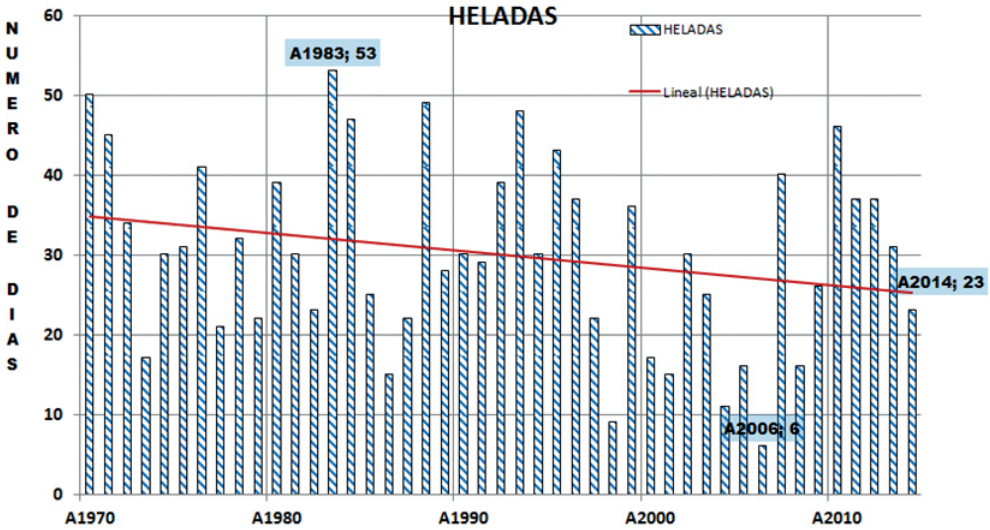


Figura 16: *: Variabilidad interanual del número de días con heladas y su media (29 días). Se muestran los años con valores extremos.*

La figura 16 muestra la variabilidad interanual del número de días con heladas. Se nota que tienen fuertes oscilaciones que van desde seis días en el 2006 a cincuenta y tres en 1983. Siendo su media de 29 días y su tendencia decreciente no significativa según los test de Spearman (-0.204) y Kendall (-0.145)

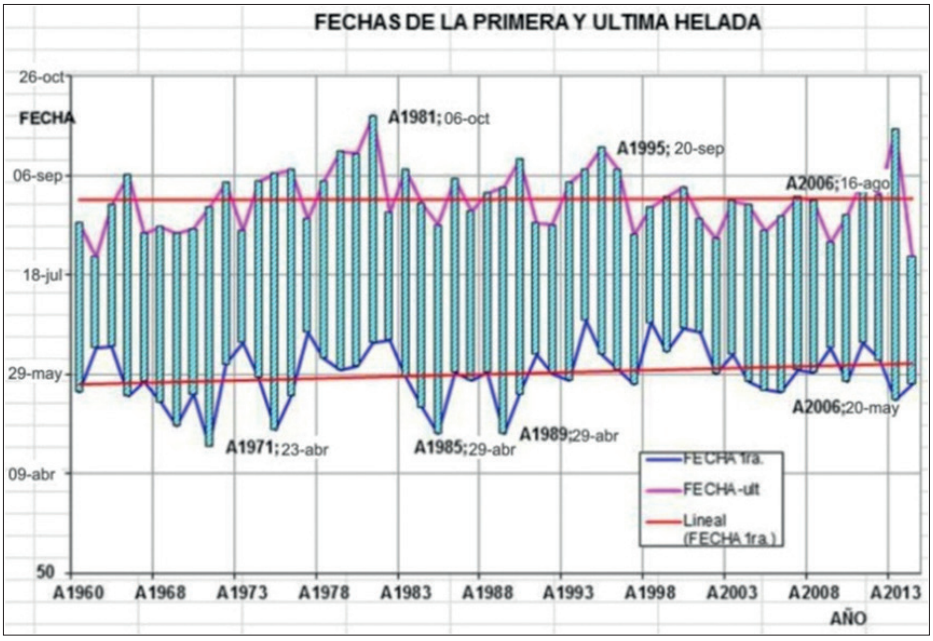


***Figura 17**: Variabilidad interanual de las fechas de inicio (FECHA1ra) y finalización (FECHA-ult) del periodo con heladas. Se muestran las fechas extremas*

En la figura 17 se observa la variabilidad interanual de las fechas de inicio y finalización del periodo con heladas. Nótese una leve tendencia al estrechamiento (no significativa), es decir, cada vez más tardío el comienzo y más temprano el de la finalización.

3.2.4. Variabilidad interanual de la temperatura

Para valuar la variabilidad interanual de la temperatura se decide utilizar sus estadísticos más representativos y las temperaturas umbrales que se describen en la tabla 5, contando el número de días en que se presentan

TEMPERATURA MAXIMA (TX)	TEMPERATURA MINIMA (TI)
Media	Media (TI-MEDIA)
Máxima absoluta	Mínima Máxima (TI-MÁX) El "techo".,
Menor Máxima absoluta	Mínima Absoluta (TI- MIN) el "piso" .
Nro días con TX < 20°). días "frescos" y/o fríos.	Nro de días con TI < 10. frescos y/o fríos
Nro. días con TX >30°. Umbral día caluroso	Nro de días con TI > 20. Inicio día caluroso.
Nro días con TX >35°. Calor intenso.	Nro de días con TI >22. Comienzo de un día muy caluroso
Nro dias con TX > 40 °. Calor extremo.	Nro de días con TI > 25°). Dias con probable calor y sensación térmica extremos.

***Tabla Nº 5:** Parámetros implementados para valuar la variabilidad de la temperatura estival.*

	Spearman	Kendall
TX-MEDIA	0.202172	0.152149
TX-MAX	0.252918	0.151783
TX-MIN	0.173430	0.114690
TX< 20	-0.180346	-0.147936
TX > 30	0.237348	0.174863
TX> 35	0.141982	0.109552
TX> 40	0.276927	0.221142
TI-MEDIA	0.448667	0.337979
TI-MAX	0.207664	0.147600
TI-MIN	0.076093	0.055299
TI< 10	-0.073424	-0.056998
TI > 20	0.460509	0.316875
TI > 22	0.301919	0.204701
TI>25	0.344380	0.272882

***Tabla Nº 6:** test de significación de las tendencias correspondientes a los parámetros descriptos en la tabla 3 según Spearman y Mann Kendall (los significativos al 5 % se destacan en rojo).Con TX-MEDIA =temperatura máxima media.TX- MAX= temperatura maxima absoluta, TX-MIN= temperatura minima absoluta*

A los parámetros descriptos en la tabla 6 se les aplica los test de Spearman y Mann-Kendall para cuantificar la variabilidad interanual del verano. Los únicos parámetros y valores significativos al 5 % (en rojo) para ambos test son: Temperatura Mínima Media, Número de días con Temperatura Mínima mayores que 20ºC y con temperaturas Mínimas mayores a 25ºC; a lo que se le debe sumar lo que registraron temperaturas mayores a 40ºC detectado solamente por Mann-Kendall.

Como se observa la mayoría de los parámetros significativos tienen que ver únicamente con la temperatura mínima, lo que indicaría una mayor presencia de masas tropicales cálidas y húmedas. (Poblete. et. al., 2013), mientras que la no significación de los parámetros asociados a la máxima se podría deber a una mayor presencia de nubosidad, lo que concuerda con el advenimiento más frecuente de masas tropicales .

4. RÉGIMEN HÍDRICO

Se decide valuar solamente los aspectos de este régimen que inciden directamente en la producción de uva (WMO. 1993).

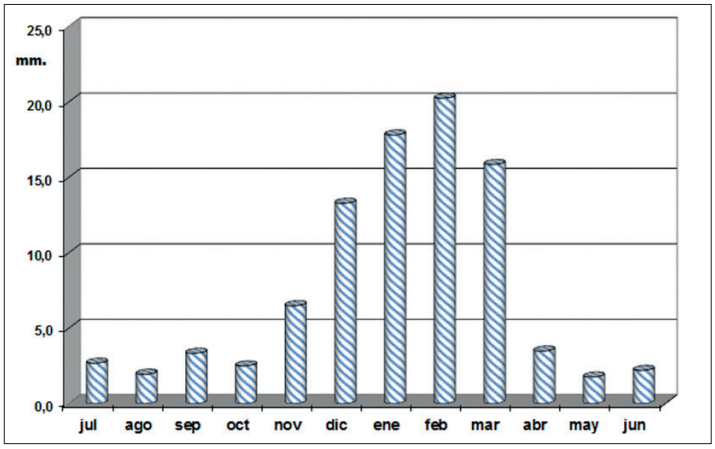


Figura 18: *Monto mensual de las precipitaciones medias en el periodo 1968-2014*

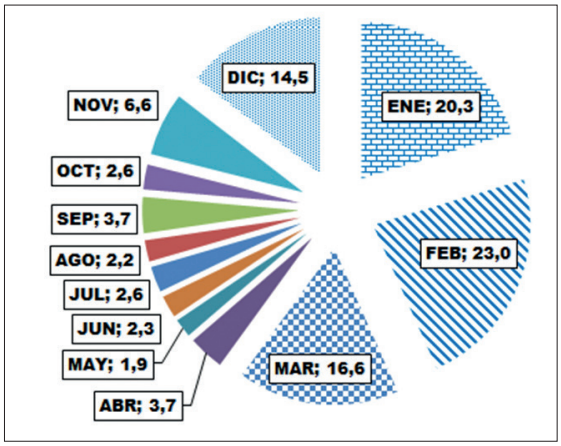


Figura 19: *Distribución mensual en porcentaje de las precipitaciones en Pocito*

La figura 18 muestra la distribución mensual de las precipitaciones notándose claramente el régimen estival, lo que es corroborado con los porcentajes mostrados en la figura 19, sumando los meses de diciembre, enero, febrero y marzo el 74.4% del total anual.

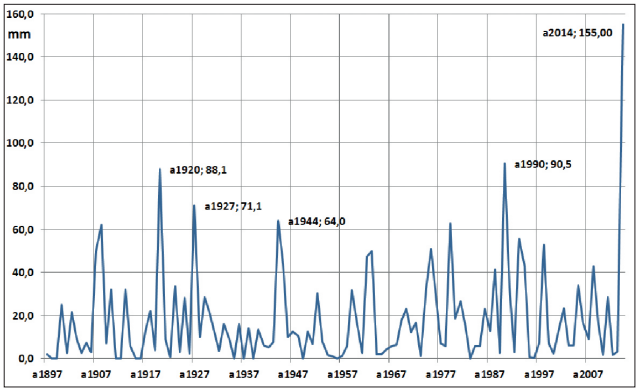


Figura 20: *Variabilidad interanual de las precipitaciones del mes de febrero*

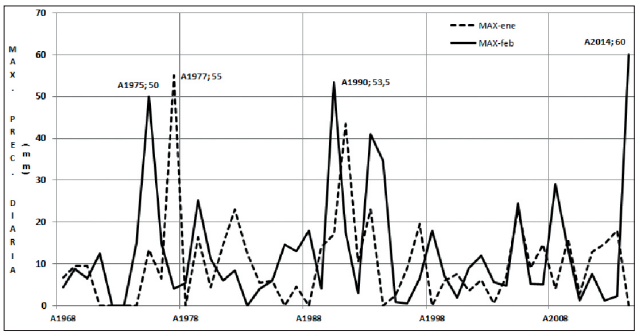


Figura 21: *: Máximos diarios de precipitación en los meses de Enero y Febrero*

Ese predominio de tormentas de verano trae implícito la posibilidad de granizo y aluviones, lo que resulta una desventaja con respecto a las vides cultivadas en Chile Central, cuyo régimen es invernal.

Se analiza la variabilidad interanual de febrero (23 % de las precipitaciones) debido a que es el que presenta el mayor porcentaje de precipitaciones (verla figura 20). Se destaca el extremo ocurrido durante los días 13, 14 y 15 del 2014 (se acumularon 137.6 mm) posibilitando que en ese mes se totalizaran 155.4 mm en la ciudad y en Las Chacritas (Dpto. 9 de Julio): 157.0 mm

Debido a los efectos negativos de dichas tormentas con la posibilidad de granizo y aluviones; se decide realizar un análisis de extremos.

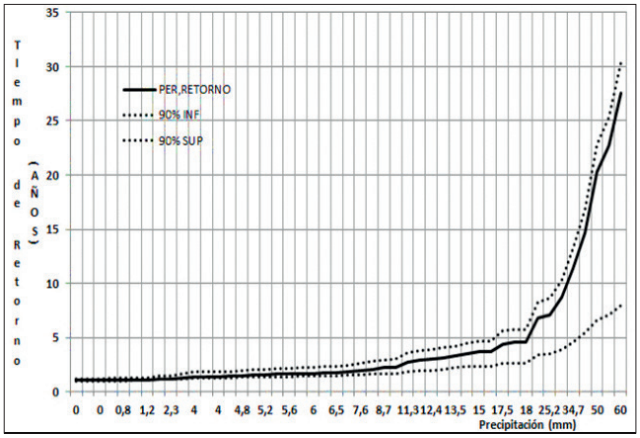


Figura 22: *Periodo de retorno en años de montos de precipitaciones extremas diarias de febrero en el valle de Tulum.*

El mismo se realiza aplicando la distribución de Gumbel, (ecuación8),seleccionando los días de mayor precipitación (figura 21) y se los ajusta a la misma, con el objeto de obtener la probabilidad de excedencia y el periodo de retorno, el resultado se grafica en la figura 22, donde se observa que para que se repita una precipitación de 60mm se necesitan 28 años, para 34.7 mm se necesitan 10 años, de 18 mm 5 años. A partir de este umbral las precipitaciones de 11.3mm a 13.5 mm se pueden repetir año a año.

4.1 Granizo

Debido a que la mayor parte de las precipitaciones estivales provienen de nubes con un gran desarrollo vertical (cumulunimbus), ya que su origen está en la convección inducida por el calentamiento del suelo, el pasaje de vaguadas o combinados y/o frente frío de superficie; la probabilidad de la formación de granizo es alta con el consiguiente daño en la agricultura y vida cotidiana. Sin embargo, no tienen la frecuencia y tamaño de otras regiones por la escasa disponibilidad de vapor de agua en la atmósfera sanjuanina (WMO. 1993).

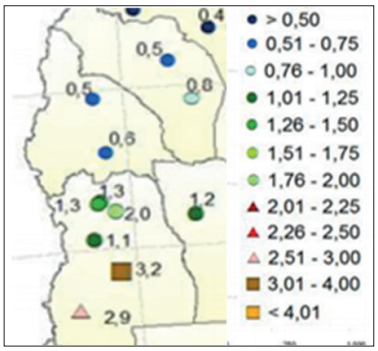


Figura Nº 23: *Promedio anual de eventos de granizo en Cuyo (periodo 1960-2008). (Según Mezher. 2010)*

La figura 23 muestra el promedio de eventos de granizo en Cuyo. Se verifica que tanto San Juan como Jáchal tienen un promedio de 0.5 de casos por año relativamente bajo respecto a lo que ocurre en Mendoza, en donde, hay valores de 3.2 en San Rafael y 2.9 en Malargüe, por ejemplo.

4.2. Evaporación y Evapotranspiración

La Evaporación (Evo) es el retorno o traspaso del agua de la superficie del suelo o mar a la atmósfera en forma de vapor. Es un elemento invi¬sible que no se puede evaluar inmediatamente y aún en la actua¬lidad es uno de los términos del ciclo hidrológico menos conoci¬do. Este constituye el proceso inverso de la precipita¬ción. Por otra parte gran cantidad de agua es gasificada por las plantas, a esta evaporación biológica se la llama: transpiración (Allen,et. al., 1998).

La Evapotranspiración integra el proceso combinado que incluye la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas.Se entiende por Evapotranspiración real al agua total que consume una cierta área, por evaporación del suelo y transpira¬ción de las plantas. La Evapotranspiración Potencial (ETP) es la evapo¬transpiración teórica que podría ocurrir desde un espacio infini¬to de terrenos cultivados o naturales, adecuadamente surtidos con humedad cuando se exponen a condiciones climáticas específi¬cas con remanente inalterado (Allen,et. al., 1998).

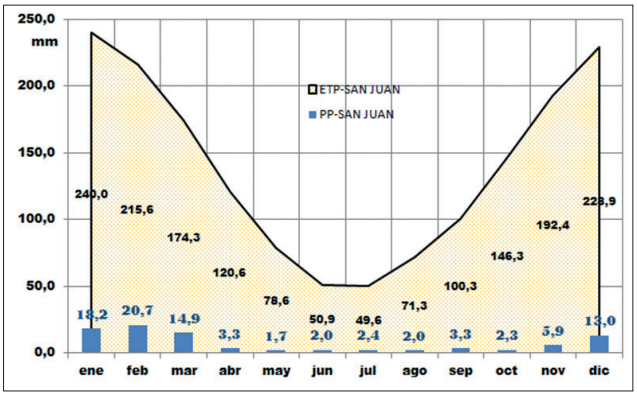


Figura Nº 24: *Déficit hídrico en el Valle de Tulum resultante de la comparación de la evapotranspiración potencial (ETP) y la media mensual de las precipitaciones.*

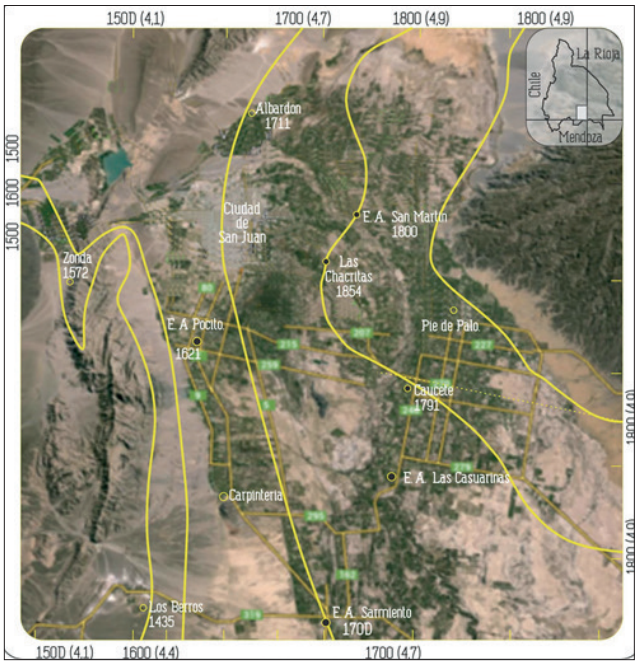


Figura Nº 25: *Distribución espacial de la evapotranspiración potencial en el Valle de Tulum*

En la figura 24se aprecia el origen de la aridez extrema que domina gran parte de la provincia de San Juan, nótese que en enero el promedio de la ETP es de 240 mm, mientras que la precipitación es de solo 18.2. En invierno, las diferencias se minimizan. La figura 25 muestra la distribución espacial de la evapotranspiración anual en el Valle de Tulum, donde se observa que sus isolíneas siguen la advección del calor.

4.3 La problemática del riego

Hasta el año 2014 las regiones de Cuyo y Chile central sufrieron las consecuencias de una de las sequias más prolongadas en los Andes centrales de los últimos tiempos que se agudizó desde 2010, vislumbrándose en 2015 una morigeración en el sentido opuesto (Poblete, et. al., 2014) produciéndose un estado que se asemeja al de las graves sequías de 1968-70 que impactaron severamente en el recurso hidrológico de las citadas regiones y motivaron la construcción de las importantes obras hidráulicas tales como el Dique de Ullum en San Juan y Carrizal y Potrerillos en Mendoza, entre otros.

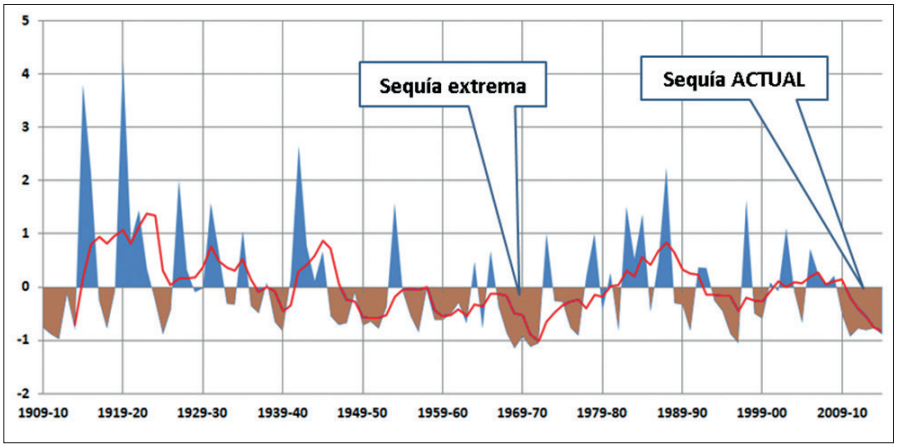


Figura Nº 26: *Rachas de superávit y déficit en el derrame anual del rio San Juan.*

El rio San Juan afectado por la misma no abastece óptimamente el agua para la dotación del riego como lo muestra las figura 26, donde se observa que las rachas de sequias tienen mayor duración que las de superávit a pesar de que en este caso se alcanzan montos más altos. De ahí que los productores vitícolas están muy preocupados por esa situación en la actualidad.

5. RÉGIMEN DE VIENTOS

Dada la importancia que tienen los vientos en todo emprendimiento ambiental, se cree conveniente hacer una somera descripción de su régimen teniendo en cuenta los datos aportados por la estación meteorológica citada.

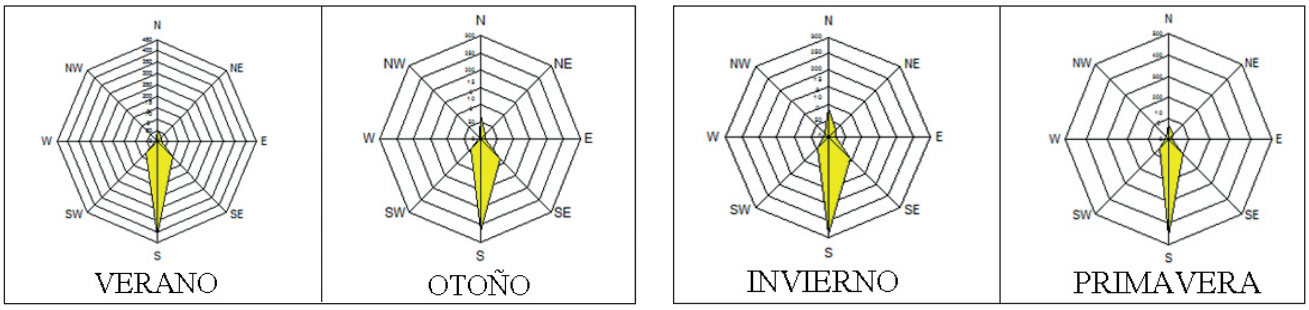


Figura Nº 27: *Rosa de vientos (frecuencia relativa de sus direcciones) correspondiente a cada estación del año.*

En la figura 27se visualizan las correspondientes rosas de viento para cada una de las estaciones representadas, en este caso, por: enero (verano), abril (otoño), julio (invierno) y octubre (primavera). En los cuatro se observa claramente que la dirección que predomina en el área de estudio es la del sur (S), siguiéndole la sur-sureste (SSE). Haciéndose más notoria en verano y en menor medida en otoño; sin embargo en invierno se hace importante la di-

rección norte. Las causas que originan estas dominancias escapa a este informe (Poblete, et,al., 2013)

Esto muestra, también, que el Zonda cuya dirección prevalente es el W y NW es poco frecuente comparado con los otros vientos a pesar de que es el típico de San Juan. Será analizado dado los daños

En la figura 26 se aprecia la frecuencia estacional de vientos zondas, siendo la misma mayor entre Mayo y Noviembre (81% de los casos), mientras que entre los meses de Mayo y Agosto se concentran el 54.3%. Sin embargo, su escasa incidencia en la rosa de los vientos está dada por su promedio de solo 11.5 días por año. También son irrisorio los eventos de zonda severos y muy severos (Norte, 1982).

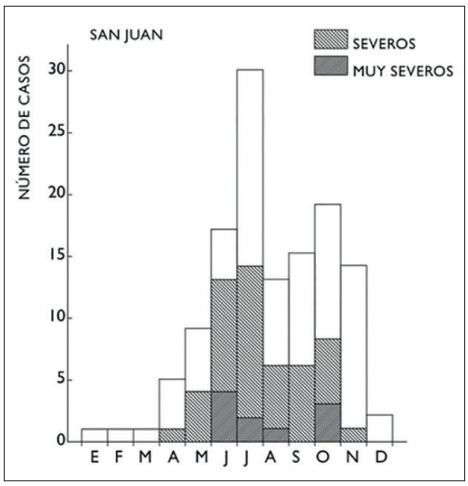


Figura Nº 26: *Frecuencia anual de vientos zondas, discriminados mensualmente en severos y muy severos*

Los principales daños en la agricultura son debido a:

Salto térmico: Entendiéndose por tal a la diferencia entre la temperatura máximadel día anterior y la temperatura máxima del día con Zonda, expresada en gradoscentígrados. Este parámetro se subdividió en las siguientes tres categoríassegún su magnitud:
Leve: 1 a 5 °C
Fuerte: 6 a 10 °C
Severo: mayor de 10 °C

Poder secante de la atmósfera:medido a través de la evaporación registradael día del evento en el tanque tipo "A", expresada en mm/día. Este parámetro sesubdividió en las siguientes tres categorías:
Pequeño: 1 a 6 mm/día
Grande: 7 a 12mm/día
Muy grande: superior a 12 mm/día

Para la determinación de estas categorías se consideraron los valores históricosmensuales de evaporación de tanque para los meses estudiados, como basede comparación.

Duración del evento, expresado en horas. Este parámetro se subdividió enlas siguientes tres categorías:
Corta: 1 a 8 hs
Larga: 9 a 16 hs
Muy larga: superior a 16 hs

Velocidad,expresada como la mitad de la velocidad máxima registrada eldía del evento y subdividida en intervalos de velocidad de:
0 a 10 km/h
11 a 30 km/h
Superiores a 30 km/h

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de San Juan y la FONCYT, PICTO- UNSJ-2009-0150-BID, por sus aportes económicos en el desarrollo de este trabajo y "Análisis Climatológico-Dinámico de la Crisis Hídrica de los Últimos Años en Cuyo y Chile Central en el Contexto del Cambio Climático Global". Cod. F994/FFHA, Res.:18/14-CS-UNSJ. CICITCA-UNSJ.

6. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper No. 56.Fischer, G., Shah, M., van Velthuizen, H., and Nachtergaele, F.O., 2001. *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century. Laxenburg, Austria: International InstituteforAppliedSystemsAnalysis.*

Claudia Wagner-Riddle.2005. Agroclimatology. Encyclopedia of World Climatology. *SPRINGER ISBN 978-1-4020-3264-6.*

Draper Norman R., Smith, Harry . 1998. Applied Regression Analysis, 3rd Edition. *Ed. Wiley. ISBN: 978-0-471-17082-2. 736 pages. New York.*

Griffiths, J.F., 1994. Handbook of Agricultural Meteorology. *Oxford: Oxford UniversityPress.*

Mezher, Romina N., Gattinoni, Natalia N. y Mercuri, Pablo A. 2010. Variabilidad estacional de la ocurrencia de granizo en Argentina I*nstituto de Clima y Agua. INTA. Buenos Aires.*

Neild, R. y M.W. Seeley. 1977. Applications of growing degree days in field corn production. *In: Agrometeorology of the maize crop. WMO N° 481. p. 426-436. Geneva, Swtzerland.*

Norte, F. A. 1988. Caracteristicas climatológicas del viento Zonda en la región de Cuyo. T*esis doctoral. Facultad de Ciencias Exac¬tas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.*

PIZARRO, R.; NOVOA, P. 1986. Instructivo n° 5. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología. *Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. 78 p*.

Poblete A. G., Ruiz, S. 2006. Las Estaciones Térmicas en el Valle de Tulum. *Revista Ciencias. Nro. 1(2006). Año 10. ISSN: 950-605-0327-4446. Fac. Cs. Exactas y Naturales de la UNSJ. Ed. Fundación UNSJ. pg.: 34-42.-*

PobleteA., D. Iranzo. 2011 Publicado: Variabilidad interanual y estacional del régimen de heladas en el valle de Tulum –San Juan. Periodo 1960-2010. *Rev de Geografia UNSJ- ISSN 1514-1942- Vol. XIII- N°15. pp 24-29.*

PobleteA., S. Alday, 2003. Análisis de Extremos de las Temperaturas. Máximas Absolutas del Valle de Tulum (San Juan)**.** *Revista "Proambiente" de PRODEA. Vol. III. Año 3. UNSJ. ISSN: 1515-5943. pg.: 27-34.*

PobleteA., V .Valdez. 2008. Análisis de Extremos aplicados a la recurrencia de precipitaciones de verano en el Valle de Tulum. *en Jornadas de Investigación y Creación de la FFHA. A realizarse en mayo de 2008.-, ISSN en tramite. San Juan.-*

PobleteA., V. Valdez. 2008. Variabilidad interanual de la precipitación de verano en el Valle de Tulum –San Juan-. *en Jornadas de Investigación y Creación de la FFHA. A realizarse en mayo de 2008.-, ISSN en tramite.*

PobleteA.. 1999. Aspectos Estadísticos del Régimen de Heladas Agronómicas en el Valle de Tulum. *Actas del Congreso Ambiental 99. Prodea, San Juan. ISSN: 1515-5943. Pg.: 35-45.-*

Poblete, A. G. Sánchez 1999. Determinación de las fechas de inicio y finalización de la temporada de calor intenso en el Valle de Tulum. *Actas 60ª Semana de la Geografía de GAEA. Soc. Argentina de Estudios Geográficos. Buenos Aires. ISSN Nº: 0328-3194. Pg.: 579-590.-*

Poblete, A. G. 2002. Estadística Multivariante para Geógrafos. *Libro Electrónico. http://www.ffha.unsj.edu.ar/Climatologia/inicio.htm*

Poblete, A. G. Sánchez 1999 . Discriminación de Rangos Térmicos intranuales en el Valle de Tulum. *Actas del Congreso "Ambiental 99" Prodea, San Juan. ISSN: 1515-5943. Pg.: 60-71.*

Poblete, A. G., Aguiar L. 2004. "La implicancia climática del movimiento diurno solar aparente y su variabilidad estacional en San Juan –Argentina-. *Revista de Geografia, Vol.:8 año 7. ISSN 1544-1942. Páginas 9-20.*

Poblete, A.G., Aguiar, L. A., Borbore, C.A. 2013. Análisis Dinámico del Régimen de Vientos en la Provincia de San Juan. *Publicado en Rev de Geografia UNSJ- ISSN 1514-1942- Vol. XVII- N°17. Pg- 29-41. San Jua*

Poblete, A.G., Silva S. 2010. Estructura Estadística de la Tendencia al Calentamiento Estival en el Valle De Tulúm -San Juan-. *Publicado en CD. Ambiental 2010. VI Congreso Nacional. San Juan. ISSN: 1853-2780*

Torres R., E. 1995. Agrometeorología. *Editorial Trillas, S.A. de C. V. México, D.F. p. 154.*

Villalpando, J. y A. Ruiz, 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la agricultura. *Editorial Lumusa, México. p. 133.*

WMO. 1966. Informe TécnicoNro 6. *WMO. Publication N° 12. Geneva.*

WMO. 1993. Practical use of agrometeorological data and information for planning and operational activities in agriculture.*WMO. Publication N° 60. Geneva.*