



Universidad Nacional del Nordeste  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Maestría en Producción Vegetal

**Evaluación de la fenología de plantas cultivadas de  
Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) como base para  
un modelo predictivo de rendimiento de hoja verde**

**Ing. Agr. Batalla, Andrés Gustavo**

**Director: Ing. Agr. Ph.D Rybak, María Raquel**

**Codirector: Dra. Giménez, Laura**

2019

**ÍNDICE**

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN	2
Origen y distribución	2
Perfil productivo	3
Fenología	6
Objetivo General:	9
Objetivos específicos:	9
BIBLIOGRAFÍA	10
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>13</b>
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Ubicación	14
Micrometeorología	17
Determinación del contenido hídrico del suelo	18
Grados días de crecimiento	19
Metodología de observación	20
ESTADOS FENOLÓGICOS	23
Fenofases vegetativas:	24
Fenofases reproductivas:	25
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	25
BIBLIOGRAFÍA	27
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>30</b>
Resultados y Discusión	30
INTRODUCCIÓN	31
ANÁLISIS DE LAS VARIABLES AMBIENTALES	33
Precipitaciones:	33
Fotoperíodo	35
Temperatura (°C)	35
Radiación fotosintéticamente activa (PAR)	36
Contenido hídrico del suelo, agua gravimétrica	38
Humedad relativa	39
FENOFASES VEGETATIVAS	41
Hinchazón de yemas (V1):	41
Hojas incipientes (V2):	45
Hojas pegadas por el ápice (V3):	47
Hojas desplegadas (V4):	49
Hojas maduras V5:	51
Senescencia natural parcial (SNP)	54
FENOFASES REPRODUCTIVAS	57
Botón floral (F1)	58
Flor abierta (F2)	60
Fruto verde (Fv)	61
Fruto maduro (Fm)	63
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	66
BIBLIOGRAFÍA	71
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>77</b>

CONCLUSIÓN	- 78 -
PERSPECTIVAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	- 81 -
BIBLIOGRAFÍA	- 83 -
Anexos	- 84 -

## AGRADECIMIENTOS

Al Grupo Las Marías por brindarme los recursos necesarios para continuar con mis estudios.

Al Instituto Agrotécnico Víctor Navajas Centeno que me permitió continuar capacitándome.

A mi directora de tesis Ph. D. Rybak Raquel, por su confianza puesta en el trabajo, por su ayuda y consejos brindados.

A mi codirectora Dra. Laura Giménez, por su tiempo y colaboración en el análisis estadístico.

Al Dr. Pedro Sansberro por sus consejos e investigaciones realizadas en el cultivo.

A la Dra. Milani, Jaçanan Eloisa de Freitas, por compartir su experiencia en los trabajos de fenología, por su interés y apoyo para esclarecer mis dudas.

A mi familia por el apoyo brindado todos estos años, mis padres, Mario Batalla y Gladis Espíndola.

A mis suegros Blas Benjamín Basualdo y Teresita Parodi por el apoyo en estos años de estudio.

A mi mujer María Florencia Basualdo, por su paciencia y colaboración en todo momento.

A mis amigos Antonio Benschart y Gaspar Fabro, por su apoyo constante.

A los compañeros de la maestría por permitir compartir sus experiencias a lo largo del trabajo de tesis.

A los alumnos del Instituto Agrotécnico Víctor Navajas Centeno, Marcelo Benítez, y Ortiz Mauro por su colaboración en el registro de datos de campo.

## RESUMEN

El objetivo general de este trabajo fue evaluar la fenología vegetativa y reproductiva de los árboles de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). En este estudio, se propuso generar información sobre la fenología vegetativa y reproductiva de la planta, así como correlacionar las variables ambientales, temperatura, fotoperíodo, radiación fotosintéticamente activa (PAR) y humedad del suelo con las fenofases reproductivas y vegetativas. El trabajo se llevó a cabo en un huerto comercial ubicado en Gobernador Virasoro, Corrientes, Argentina (28 ° 02.48 "S y 56 ° 00'34" W, elevación 151 msnm). Las observaciones se realizaron durante 36 meses consecutivos, a partir de la primavera del año 2015. Se evaluaron seis etapas fenológicas vegetativas y cuatro reproductivas. Las fenofases vegetativas identificadas fueron: hinchazón de yema (V1), hojas incipientes (V2), hojas pegadas en el ápice (V3), hojas desplegadas (V4), hojas maduras (V5) y senescencia natural parcial (SNP). Las fenofases reproductivas que se observaron fueron: yema floral (F1), flor abierta (F2), fruto verde (Fv) y fruto maduro (Fm). La duración de cada fenofase se expresaron en grados días de crecimiento (GDC) acumulado, para los cuales se consideró una temperatura base de 5 ° C. La relación entre una fenofase y cada variable ambiental individual se analizó mediante el índice de correlación de Spearman (rs). Para determinar cuál variable tiene la mayor influencia, se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Los estados fenológicos vegetativos y reproductivos manifestaron sus fenofases en períodos similares en los primeros dos años evaluados. En la mayoría de los fenómenos vegetativos y reproductivos, se encontraron correlaciones positivas para las variables: temperatura, fotoperíodo, radiación y precipitación. En particular, la fenofase llamada senescencia natural parcial (snp) se correlacionó positivamente con humedad relativa y negativamente con temperatura (mínima, máxima, media), radiación, fotoperíodo y precipitación.

**Palabras clave:** yerba mate, fenología, variables ambientales.

## ABSTRACT

The general objective of this work was to evaluate the vegetative and reproductive phenology of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) trees. In this study, it is proposed to generate information on vegetative and reproductive phenology of yerba mate, as well as to correlate the environmental variables, temperature, photoperiod, photosynthetically active radiation (PAR), and soil moisture with reproductive and vegetative phenophases. The study was carried out in a commercial orchard located in Gobernador Virasoro, Corrientes, Argentina (28 ° 02.48 "S and 56 ° 00'34" W, elevation 151 masl). The observations were made during 36 consecutive months, starting in the spring of 2015. Six vegetative and four reproductive phenological stages were evaluated. The vegetative phenophases identified were: swollen foliar bud (V1), incipient leaves (V2), leaves stuck at the apex (V3), unfolded leaves (V4), mature leaves (V5) and partial natural senescence (SNP). The reproductive phenofases observed were: floral bud (F1), open flower (F2), green fruit (Fv) and mature fruit (Fm). The duration of each phenophase was expressed by cumulative degrees day of growth (GDC) for which a base temperature of 5 ° C was considered. The relationship between a phenofase and each individual environmental variable was analyzed using Spearman's correlation index (rs). To determine which variable has the greatest influence, a principal components analysis (PCA) was performed. The vegetative and reproductive phenological stages manifested their phenophases in similar periods in the first two years evaluated. In most vegetative and reproductive phenomena, positive correlations were found for temperature (minimum, medium, maximum), photoperiod, radiation and precipitation. In particular, the phenofase named natural partial senescence (snp) correlated positively with relative humidity, and negatively with temperature (minimum, maximum, average), radiation, photoperiod, and precipitation.

**Key Words:** *yerba mate, phenology, environmental variables*

# CAPÍTULO I

---

Introducción al cultivo de yerba mate

***(Ilex paraguariensis St. Hil)***

## INTRODUCCIÓN

### Origen y distribución

La planta de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) fue estudiada y clasificada por el naturalista francés Augusto de Saint Hilaré quien en 1822, la encontró en la selva subtropical de Curitiba (Giberti, 2011). Perteneciente a la familia Aquifoliácea, es representada aproximadamente por 660 especies la mayoría del género *Ilex*, reconociéndose en América del Sur alrededor de 60 especies (Carvalho, 1994). Se caracteriza por ser una especie umbrófila e higrófila que crece preferentemente en asociaciones con *Araucaria* en la zona caracterizada como selva subtropical paranaense (Edwin y Reitz, 1967). Sin embargo, Giberti (1995) la ha citado en otras partes del continente, específicamente en la República del Uruguay, en los departamentos de Cerro Largo, Lavalleja, Maldonado, Rocha, Tacuarembó, entre otros.

La determinación precisa del área de distribución natural de la yerba mate, históricamente ha sido motivo de polémicas. Giberti (1995) asume que el hábitat natural de la yerba mate lo constituye el sotobosque de *Araucaria angustifolia* y *Ocotea porosa*. Se puede considerar que el área geográfica se extiende desde las latitudes 21° y 30° S y entre las longitudes 48° 30' y 56°10' W, con altitudes variables entre 500 y 1000 msnm, correspondiendo a una extensión aproximada de 540.000 Km<sup>2</sup>. (Olivera y Rotta, 1985). En Argentina se la puede encontrar en la selva misionera formando parte del paisaje, desarrollándose en el sotobosque junto al pino Paraná (*Araucaria angustifolia*) en algunos departamentos de la provincia de Misiones como Andresito y San Pedro.

En condiciones naturales puede llegar a alcanzar 12 a 16 m de altura. Posee hojas coriáceas, de borde ligeramente aserrado, simples y alternas, de tronco recto y corteza lisa, color ceniciento cuando maduro. Sus raíces de color marrón, tipo axonomorfa, con raíces secundarias que se localizan en los primeros centímetros del

suelo permiten la absorción de nutrientes (Medina y Burgos 2017). Es una planta dioica, con flores tetrámeras, con androceo fértil y pistilodio en las plantas masculinas y con gineceo fértil y estaminodios en las plantas femeninas. El fruto es una nuculanio, de color azul violáceo cuando maduro conteniendo en su interior de 4 a 8 semillas contenidos en 4 pirenos. Es un cultivo perenne que puede alcanzar los 90 años en producción, alternando con años donde se realiza una renovación total o parcial de la planta.

Con sus hojas y tallos finos se prepara una bebida estimulante, conocida como mate, chimarrão o tereré. La ingesta de esta infusión presenta muchas propiedades medicinales y nutricionales, entre ellas la capacidad antioxidante del plasma humano (Sánchez Boado et al., 2016).

Dependiendo del sistema de cosecha utilizado por la empresa o productor, la planta es cosechada anual, bianual y hasta trianualmente.

### **Perfil productivo**

Actualmente se la cultiva en la provincia de Misiones y Noreste de Corrientes, en Brasil principalmente en los Estados do Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul y algunas áreas de Matto Grosso do Sul, São Paulo y Minas Gerais. Además es cultivada en Paraguay y Uruguay. En dichos países la actividad yerbatera tiene una gran importancia socioeconómica, cada una con características particulares. En Brasil la mayor parte de la materia prima la proveen los yerbales nativos. En Argentina las plantaciones de los pequeños y medianos productores abastecen a los secaderos que se distribuyen estratégicamente a lo largo y ancho de la provincia de Misiones. Mientras que la provincia de Corrientes priman los grandes productores del Noreste. (INYM 2018)

Es importante destacar que en la década de 1920 comenzaron a implantarse los primeros yerbales del país, la industria, los molinos yerbateros, que eran

preexistentes, ya estaban trabajando desde antaño. Lo hacían moliendo yerba mate canchada de importación, sobre todo de Brasil y algo de Paraguay.

En la actualidad, de acuerdo al Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM, 2018) existen más de 165.326 ha cultivadas en la Argentina, conformadas mayormente por pequeños y medianos productores, distribuidos en la provincia de Misiones y norte de Corrientes, constituyendo un cultivo de interés cultural y económico para miles de familias que viven de su producción. Desde hace una década, el sector primario misionero experimentó el mayor impacto económico como consecuencia del valor deprimido de la yerba mate, generada por los excedentes de producción en relación con las necesidades de la industria molinera.

En el período consignado, se desarrollaron tres segmentos claramente diferenciados por la densidad de las superficies implantadas, sin que hasta el momento se vislumbren acciones orientadas a modificar esta situación. El mayor deterioro lo sufren los productores con cultivos inferiores a 1000 plantas por ha, que poseen bajo o nulo nivel tecnológico. Los datos estadísticos del INYM (2018) indican que la actividad yerbatera cuenta con 18.000 productores, representando aproximadamente unas 165.326 ha cultivadas. La clasificación de los yerbales en función de la densidad de plantas por hectárea, muestra que el 47,84% corresponde a los de alta densidad (más de 2200 plantas/ha), el 25,27% tiene densidad media (2200 plantas/ha) y el resto puede ser categorizado como de baja densidad (1600 plantas/ha). Además, estos últimos se sitúan en suelos degradados y afectados por, al menos, 80 años de explotación ininterrumpida.

La República Argentina lidera la producción mundial con el 62%, seguida de Brasil con el 34% y Paraguay con el 4%. (Fig. 1). En Argentina la producción yerbatera se concentra en las provincias de Misiones (88%) y Corrientes (12%). Si bien la producción se destina principalmente al consumo interno, el volumen de exportación a países como Siria (64%), Chile (11%), Brasil (9%), Uruguay (7%) y Líbano (3,5%) representan una gran oportunidad de mercado. En Europa, países como Francia,

España, Alemania e Italia, con volúmenes inferiores, también integran los destinos de exportación de yerba mate (INYM, 2018)



**Fig. 1:** Distribución porcentual de la producción mundial de hoja verde de yerba mate. (INYM, 2018).

En cada uno de los países productores los manejos de poda cosecha difieren en la época, intensidad y frecuencia. En muchos casos, la situación económica de los productores es el criterio tenido en cuenta para la época y forma de cosecha, producto de un mercado inestable.

Dado que el producto final del cultivo es la consecuencia de un proceso derivado de las actividades agrícolas efectuadas durante todo el ciclo, para los investigadores y productores se hace necesario el conocimiento de la fenología y la posible duración de las diferentes etapas fenológicas. A pesar de ello, la investigación en este campo es escasa en el cultivo de yerba mate. Los estudios que se tienen hasta la fecha fueron realizados mayormente con fines de mejoramiento genético, por tal motivo se han centrado en estados fenológicos reproductivos, como ser floración y fructificación (Sousa et al., 2003), lo que sumado a la heterogeneidad en el crecimiento dificulta predecir los períodos de brotación.

## Fenología

Conocer los cambios visibles que se suceden a lo largo del ciclo de una especie vegetal, considerando el efecto de los factores meteorológicos, ha permitido a muchos agricultores determinar las fechas de siembra, plantación, aplicación de productos hormonales, etc. Los mayas realizaban calendarios agrícolas de manera de lograr abastecerse de alimento a lo largo del año. Desde hace más de 200 años algunos agricultores de los E.E.U.U. iniciaron sus registros de las fechas de siembra, emergencia, foliación, caída de hojas, y otros, de muchas especies de plantas (Azkues, 2009). Luego del desarrollo del termómetro se hizo posible correlacionar estas etapas del desarrollo con variables meteorológicas, especialmente con la temperatura y humedad. En 1918, Andrew Hopkins estableció la ley bioclimática, ampliada en 1938, donde se recomienda el uso de observaciones fenológicas en lugar de observaciones meteorológicas. Esto ha tenido una gran importancia, ya que las observaciones fenológicas integran los efectos del microclima y los factores edáficos en la vida de las plantas, de tal forma que otra herramienta de análisis no lo puede hacer (De Fina y Ravelo, 1979).

La definición del término fenología, en plantas vasculares, ha tenido cambios a lo largo del tiempo. Inicialmente se enfatizaba en los aspectos descriptivos, incorporando luego la relación entre la temporalidad de los eventos biológicos y los climáticos. Actualmente se agregaron las interacciones bióticas en la causalidad de los eventos fenológicos (Williams y Meave, 2002).

Los métodos de observación utilizados varían de acuerdo al objetivo de estudio. Tal es el caso de la metodología de Ledesma (1953) para plantas arbóreas. Un sistema fitofenológico integral para el registro de todas las fases fenológicas de las plantas. Dicho sistema consiste en el registro de todos los órganos visibles al momento de la observación. En Argentina, se han realizado estudios fenológicos aplicados a numerosos cultivos (Papadakis, 1954; De Fina y Ravelo, 1979) y más

recientemente, aplicados al estudio de la dispersión de granos de polen en la atmósfera (Sánchez y Latorre, 2011). Para unas 50 plantas cultivadas en los jardines botánicos Carlos Thays y de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires existe un registro de la ocurrencia de las principales fases fenológicas para el período 1948-1956 publicado por el Servicio Meteorológico Nacional. Nizzero (1986) da a conocer la época de floración de 146 árboles y arbustos ornamentales de la citada Facultad de Agronomía. Existen por lo tanto diferentes metodologías de observación las cuales difieren de acuerdo a la especie y objeto de estudio.

Las nuevas técnicas micrometeorología han permitido obtener mediciones, a escala horaria, de muchas variables ambientales junto con el crecimiento, desarrollo y transpiración de plantas de cultivo y de especies forestales (Heuvelodp et al., 1986).

Actualmente y con el avance de tecnología, se desarrollaron software de simulación, basados en información recabada del campo. El uso de estas herramientas permitió, a muchos investigadores, lograr predecir con un cierto grado de fidelidad, el comportamiento de las especies vegetales de interés. La mayoría de los modelos desarrollados para describir el desarrollo de cultivos y plagas, donde se han considerado factores climáticos, se fundamentan en la temperatura o la interacción de esta con el fotoperíodo. El análisis y las conclusiones de los datos, se basan en relaciones no lineales con posibilidad de transformación lineal (Ruiz, 1991). Los registros de las variables ambientales, surgen de la toma de datos confiables de las variables que intervienen en los cambios morfológicos de las plantas.

La producción de un cultivo es función de su ciclo fenológico, de los nutrientes disponibles y de la radiación interceptada. Es por lo tanto elemental comprender la importancia de la fenología en el cultivo de yerba mate. Beneficiaría a los productores en las labores culturales como fertilización, cosecha, desmalezado, etc, así como en los planes de mejoramiento genético. Los trabajos realizados en Brasil, mencionan la gran heterogeneidad genética de las plantas encontradas en plantaciones (88%,

Neumann, 2005), indicando que es tan elevada como la variación poblacional natural de la especie (85%, Gauer y Cavalli, 2000). Es probable que la superposición entre la zona de producción de los tres países yerbateros y el área de distribución natural originara dicha variabilidad. Reportes realizados por Belingheri y Prat Kricun (1994) consideran que menos del 35% de las plantas de un lote en total producción, aportan el 50% de la cosecha. Puesto que las grandes diferencias de comportamiento de la especie, en cuanto a los tiempos de brotación, rendimiento, arquitectura de las ramas, etc, son claves en el mejoramiento genético, describir cada una de las etapas del cultivo tiene una gran importancia en los estudios de genética poblacional.

Los registros de observaciones fenológicas han asumido una importancia particular en las últimas décadas, ya que cambios como la anticipación o el retraso de los eventos fenológicos han sido explicados por los cambios en el clima (Menzel et al., 2006; Rossi et al. 2013)

La estructuración, formulación y aplicación de modelos de simulación en la agricultura se ha usado ampliamente en los últimos años debido a su utilidad como herramienta en la toma de decisiones sobre el manejo apropiado de los cultivos (Salazar, 2006). Para lograr estos modelos resulta necesario conocer el comportamiento fenológico de la especie y las principales condiciones climáticas que pueden influir en su desarrollo y crecimiento.

Del comportamiento de la planta en relación a factores ambientales, surge la necesidad de evaluar la fenología de la planta de yerba mate como base para un modelo predictivo de producción de hoja verde. Por tal motivo, la contribución se basa en mejorar el conocimiento básico del desarrollo de la planta de yerba mate lo que posibilitaría un manejo económico y sustentable del cultivo.

Con el propósito de obtener dicha información y contribuir al estudio del cultivo, surge la siguiente hipótesis:

- Los estados fenológicos de la yerba mate dependen no solo de factores intrínsecos sino de variables meteorológicas como, temperatura, humedad relativa, fotoperiodo y precipitación.

**Objetivo General:**

- Evaluar la fenología vegetativa y reproductiva de plantas cultivadas de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St Hil).

**Objetivos específicos:**

- Describir la fenología de plantas de yerba mate.
- Correlacionar las variables ambientales tales como, temperatura, fotoperíodo, radiación fotosintéticamente activa (PAR), precipitación y humedad del suelo, con las fenofases reproductivas y vegetativas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Azkue M. 2009. La fenología como herramienta en la agroclimatología. Recuperado de <http://www.infoagro.com/frutas/fenologia.htm> [Fecha de consulta 10/10/2017]
- Belingheri, L. D., y Prat Kricun S. D. 1994. Evaluación de los rendimientos de clones y progenies de Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Misiones. Argentina: INTA, Cerro Azul. Informe técnico 60:10-17.
- Carvalho, P.E.R.1994. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Curitiba. Brasil: Embrapa-CNPQ / SPI. p. 639-655.
- De Fina y Ravelo. 1979. Climatología y fenología agrícola. Buenos Aires. Argentina: Eudeba. p. 35-50.
- Edwin, G. y Reitz P. R. 1967. Aquifoliaceae. Flora ilustrada Catarinense. Parte 1. Aquí, Itajaí, Santa Catarina, Brasil: Colombo, Embrapa-CNPQ / SPI. p. 67-78.
- Gauer, L. y S. Cavalli Molina. 2000. Variación genética en poblaciones naturales de mate (*Ilex paraguariensis* A. St.Hil., Aquifoliaceae) utilizando marcadores RAPD. Heredity. 84 (6), 647-56. doi:10.1046/j.1365-2540.2000.00687x.
- Giberti, G. C. 1995. *Ilex* en Sudamérica: florística, sistemática y potencialidades con relación a un Banco de Germoplasma para la Yerba Mate. In: Reunião técnica do cone sul sobre a erva-mate. 1995. Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 303-312.
- Giberti, G. C. 2011. La "yerba mate" (*Ilex paraguariensis*, Aquifoliaceae) en tempranos escritos rio-platenses de Bompland y su real distribución geográfica en Sudamérica austral. *Bomplandia*. 20 (2): 203-212. Recuperado de: [http://ibone.unne.edu.ar/objetos/up/documentos/bomplandia/public/20\\_2/203\\_212.pdf](http://ibone.unne.edu.ar/objetos/up/documentos/bomplandia/public/20_2/203_212.pdf). [Fecha de consulta 1/02/2017]
- Heuveldop, J., J. P. Tasies, S. Quiros Conejo y L. E. Prieto, 1986. Agroclimatología tropical. San José. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia. p. 226-258.
- INYM. 2018. Datos Estadísticos del Instituto Nacional de la Yerba Mate. Recuperado de: <https://www.inym.org.ar>. [Fecha de consulta 06-08-2018]
- Ledesma, N. R. 1953. Registro Fitofenológico Integral. Bs. As. Argentina: Meteoros, 3 (1):81-96.
- Medina, R. D. y Burgos, A. M. 2017. Sistemática y Morfología. En: Capellari, P.L., Yerba Mate. Reseña Histórica y Estadística. Producción e industrialización en el siglo XXI. Bs. As. Argentina: Consejo Federal de inversiones, p.37-58.

- Menzel, A. y Sparks; Tim y Estrella; Nicole y Koch; Zust, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*. 12 (10): 1969-1976. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193x
- Neuman S. W., 2005. Genética de população em *Ilex paraguariensis* St.Hill. (Tesis PhD). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Brazil. 165 p.
- Nizzero, G. R. 1986. Época de floración de las plantas ornamentales (observaciones fenológicas en latifoliadas leñosas). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 7 (2-3):183-90.
- Oliveira, Y. M. M.; Rotta, E. 1985. Área de distribuição natural de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: Embrapa-CNPQ. Seminario sobre atualidades e perspectivas florestais – silvicultura da erva-mate. Curitiba. Anais. Brasil: Embrapa-CNPQ, 1985. p.17-36. Recuperado de <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102798/1/AreaDistribuicao.pdf>. [Fecha de consulta 15-02-2016]
- Papadakis, J. y Soriano A. 1954. *Ecología de los cultivos*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2): 153 – 65.
- Rossi S., Anfodillo T., Čufar K., Henri E. C., Deslauriers A., Fonti P., Frank D., Gričar J., Gruber A., King G. M., Krause C., Morin H., Oberhuber W., Prislan P., Cyrille BK Rathgeber. 2013. Un metaanálisis de la fenología y el crecimiento del cambium: patrones lineales y no lineales en coníferas del hemisferio norte. *Annals of Botany*. 112 (9): 1911–1920. doi:10.1093 / aob / mct243
- Ruiz, A. 1991. Caracterización fenológica del Guayabo (*Psidium guayava* L.). (Tesis de Maestría en Ciencias). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p 78.
- Salazar G., M.R. 2006. Un modelo simple de producción potencial de uchuva (*Physalis peruviana* L.). (Tesis doctoral). Facultad de Agronomía. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 114 p.
- Sánchez B., Fretes R., Hartwig V. y Brumovsky L. 2016. Contenido de polifenoles de la yerba mate y su impacto en el plasma humano. En: III Jornada de divulgación científica Yerba Mate y Salud. Escuela de Nutrición - Facultad de Ciencias Médicas UNC. p. 4-5.
- Sánchez, A., y Latorre F., 2011. Floración de especies arbóreas urbanas y concentración de polen en el aire de Diamante (Entre Ríos, Argentina). *Scientia Interfluvius*, 2(1): 7-19.
- Sousa, V.A.; Daros, T.L.; Sturion, J.A. 2003. Fenología reproductiva de ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St.Hil.) Embrapa Florestas. p. 1-8.

Williams Linera, G. y Meave J., 2002. Patrones Fenológicos: En: Guariguata, M. y Kattan, G. (Eds.) Ecología y Conservación de bosques Neotropicales. Costa Rica: Ediciones LUR, p. 407-431.

## **CAPÍTULO II**

---

Materiales y métodos

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación

El ensayo se realizó en un lote comercial situado en la localidad de Gobernador Virasoro, ( $28^{\circ}02,48''S$  y  $56^{\circ}00'34''W$ , elevación 151 msnm), Corrientes, Argentina (Fig. N° 2). Esta región es conocida, fitogeográficamente como Distrito de los Campos Correntinos - Misioneros, siendo la continuación del paisaje sudmisionero, constituido por un paisaje de colinas cupuliformes, con Ultisoles y Alfisoles como suelos más característicos, fuertemente meteorizados y de color rojo (Escobar et al., 1996).



100 0 100 200 300 400 Metros



AREA DE ESTUDIO

ig.

F

**N° 2:** Área de estudio.

El suelo del sitio de observación ha sido clasificado como Kandiudalfes ródicos, familia arcilloso muy fino, con epipedón ócrico, pardo amarillento oscuro, de textura arcillosa y estructura granular. El horizonte subyacente es kándico (B), de 120 cm de espesor se caracteriza por su color rojo fuertemente oscuro, con bajos valores de bases de cambio, de textura arcillosa y fuertemente ácido, con concreciones de hierro-manganeso y restos de material originario desde el epipedón. La profundidad efectiva

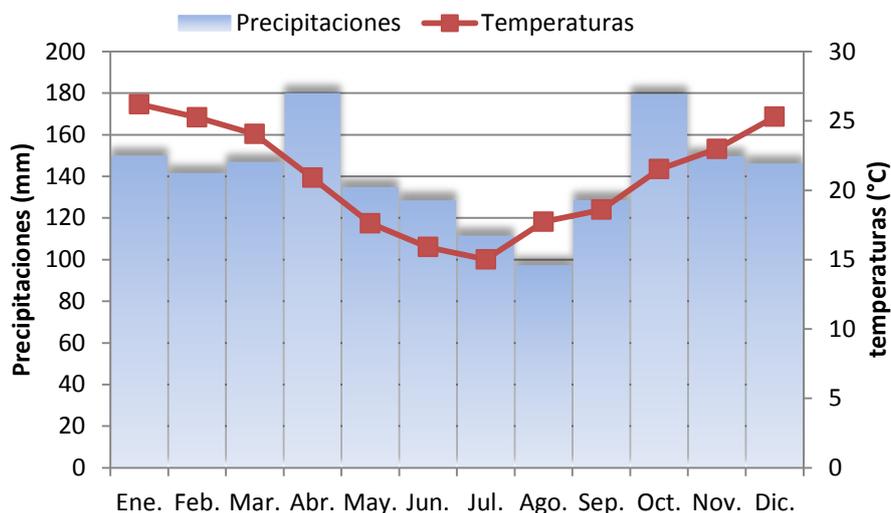
se extiende hasta los 137 cm, pertenecientes a la serie Arroyo Itaembé. Estos suelos presentan buenas condiciones físicas para la penetración de raíces y el agua; el horizonte superficial presenta altos contenidos de materia orgánica. Son medianamente fértiles, con baja capacidad de intercambio catiónico, por el tipo de arcillas de baja actividad (caolinitas), aunque con buena capacidad de retención de humedad. Las limitaciones están relacionadas a la susceptibilidad a la erosión hídrica y moderada fertilidad. Son aptos para cultivos perennes y forestales. En la actualidad estos suelos están ocupados principalmente por forestación, yerba mate y en menor medida soja y maíz. La ganadería extensiva se realiza sobre campo natural y pasturas cultivadas. La Capacidad de Uso es IIe y el Índice de Productividad es de 49 (Escobar et al., 1996).

El clima de la región, en el sistema de clasificación de Köppen, es considerado subtropical húmedo (Cf w'a), que expresa un clima mesotermal, cálido templado, sin estación seca, con lluvias distribuidas regularmente durante el año y temperaturas medias anuales de 25° C. Las precipitaciones son abundantes con un promedio anual de 1923 mm en los últimos diez años. Los meses de mayor precipitación son los de abril y octubre y los de menor julio y agosto. En el verano generalmente se presentan fuertes chaparrones aislados, notándose grandes diferencias entre un lugar y otro. En el invierno las lluvias son más suaves y constantes (Escobar et al., 1996).

En la localidad de Gobernador Virasoro la temperatura media anual es de 21°C, registrándose temperaturas máximas absolutas promedio en el mes de enero de 37° C y mínimas absolutas promedio en el mes de julio de 0,7° C (Estación Meteorológica IAVNC Virasoro, Corrientes 1993-2003).

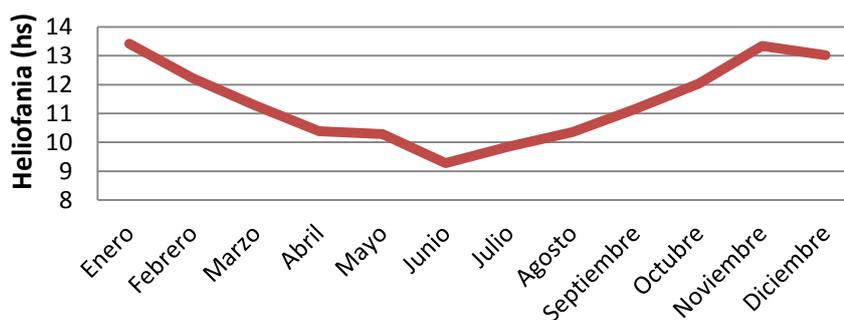
Se registran heladas meteorológicas ( $\geq 0^{\circ}$  C) en los meses de junio, julio y agosto, siendo julio el mes de mayor frecuencia de heladas con un promedio de 3,2 días en el mes (Estación Meteorológica IAVNC Virasoro, Corrientes 1993-2003).

En la Fig. 3, se presentan las temperaturas y precipitaciones medias mensuales registradas en la localidad de Gobernador Ing. Valentín Virasoro, por la estación meteorológica del Instituto Agrotécnico Víctor Navajas Centeno (IAVNC) para el período 1950-2000.



**Fig. 3:** Precipitación y temperatura media mensual histórica registradas por la Estación Meteorológica I A V N C, para el período 1950-2000. Gobernador Virasoro, Corrientes.

### Heliofanía media mensual



**Fig. 4:** Heliofanía media mensual histórica registradas por la Estación Meteorológica I A V N C, para el período 1950-2004. Gobernador Virasoro, Corrientes.

En la Fig. 4 se observan los valores de heliofanía media mensual, expresados en horas, para los años 1993-2004, registrados en la estación meteorológica del Instituto Agrotécnico Víctor Navajas Centeno (IAVNC).

## Micrometeorología

Gracias al avance de la tecnología se han ideado distintos dispositivos para el estudio de la micrometeorología. Estos incluyen la utilización de diferentes sensores que caracterizan la atmósfera, y la almacenan en colectores de datos, los cuales son almacenados en algún elemento de memoria para posteriormente ser transferidos a una computadora.

En el presente trabajo se utilizó un datalogger de 8 canales. La electrónica de este dispositivo se encuentra protegida en el interior de una caja estanca que asegura la aislación del equipo ante lluvia o humedad excesiva. El equipo funciona con 4 pilas alcalinas que le dan una autonomía de 2 años.

La estructura del dosel, distribución de ramas, orientación, tamaño afectan las condiciones del microambiente que circunda a la planta (Casella y Sinoquet, 2003), por lo tanto las condiciones del ambiente que en este trabajo se presentan, están influenciadas además, por el tipo de poda, crecimiento y desarrollo de la planta a lo largo del año. Estudios realizados por Aquilino y Sansberro (2008), demuestran la variabilidad tanto en el ambiente lumínico como térmico de la planta dentro y por encima del dosel del cultivo de la planta de yerba mate. En esta investigación se caracterizaron dos estratos, una dentro del dosel y otro por encima de la copa de la planta. Para lograr este objetivo se colocaron sensores de temperatura, humedad, y radiación PAR, en la parte media y superior de la copa de las plantas de yerba mate. Los sensores de humedad relativa y temperatura que se utilizan son HIH4000 de Honeywell, y TC1047A de Microchip Inc, respectivamente, ambos protegidos con tubos de PVC. El sensor de radiación PAR está compuesto por una celda de GaAsP que posee una respuesta espectral en la banda comprendida entre los 400 y los 700 nm de longitud de onda, posee un encapsulado de aluminio y un difusor, que lo convierten en apto para la intemperie. El sensor genera una corriente que es

proporcional a la intensidad de radiación que incide sobre su superficie (Gyenge y Fernandez, 2010).

La frecuencia de recolección de datos se configuró cada 60 minutos, siendo la capacidad máxima de recolección de datos de 2000 por cada canal, motivo por el cual la descarga de datos se debía realizar cada 2 meses. Los datos se volcaron en formato Excel para ser analizados en cada período evaluado. Para cada uno de los sensores y para cada día y hora en particular, se realizaron los promedios, que fueron analizados posteriormente en conjunto para obtener un promedio quincenal y mensual de temperaturas, (mínima, máxima, media), humedad relativa (media) y radiación PAR (media).

### **Determinación del contenido hídrico del suelo**

La variación del contenido hídrico del suelo y su influencia en la fenología de las plantas ha sido estudiada por varios autores. (Fournier y Stéfano, 2004; Nakama 1988; Orduz y Fischer, 2010; Alvim, 1964; Alvim y Alvim 1976; Opler et al., 1976; Borchert 1983; Reich y Borchert 1984; Reich 1995).

Para medir el contenido de humedad del suelo gravimétricamente, la muestra fué sometida a una temperatura de 105°C hasta peso constante expresada como peso de agua por peso de suelo seco. El porcentaje de humedad se determinó tomando una muestra representativa a una profundidad de 30 cm., en forma semanal y luego aplicando la fórmula:

$$\text{Humedad del suelo} = \frac{\text{P.S.H.} - \text{P.S.S.}}{\text{P.S.S.}} * 100$$

P.S.S.

Dónde:

PSH: peso de suelo húmedo, pesado inmediatamente tomada la muestra de suelo.

P.S.S.: peso suelo seco, secado a estufa a 105 ° C.

## Grados días de crecimiento

En general los principales factores que influyen en la velocidad de crecimiento y desarrollo de las especies son la temperatura y el fotoperíodo. La temperatura ejerce un efecto muy marcado sobre todas las fases de crecimiento y desarrollo como ser brotación, floración, germinación, y pueden acelerar o en algunos casos detener el desarrollo. Para la mayor parte de las plantas que crecen en la zona templada no hay desarrollo y, asimismo, se produce escaso crecimiento hasta una temperatura de entre 0 y 5° C (umbral térmico). El umbral térmico, varía de una especie a otra y puede ser distinto, a su vez, para diferentes fases del desarrollo dentro de una misma especie. Conviene destacar la importancia atribuida en la bibliografía a la temperatura como reguladora del desarrollo vegetativo. De Candolle (1855) introdujo el concepto de la integral térmica o suma de calor, definida por la cantidad de calor acumulada por encima de cierto umbral de actividad fisiológica  $t_0$ . Su unidad es el producto grado día ( $^{\circ}\text{d}$ ) que se calcula restando de la temperatura media diaria  $t$  la temperatura umbral  $t_0$  y sumando estos valores diarios durante el ciclo de desarrollo de la planta. Uno de los métodos más utilizados para relacionar el desarrollo de las plantas es la suma térmica o grados días de crecimiento (Stenzel et al., 2006; Fraisse et al., 2007). Se denomina grados días de crecimiento (GDC) a la relación temperatura-fenología de los cultivos. Cada especie vegetal posee un umbral mínimo y máximo de temperatura, de modo tal que fuera de este rango el cultivo no se desarrolla. Así, cada cultivo y sus fases necesitan de una determinada y definida acumulación de calor, medida por los grados de temperatura, más que una acumulación determinada de tiempo calendario para completarlas.

Para las estimaciones de las diferentes fases de crecimiento y desarrollo, se utilizó el concepto de tiempo térmico, definido como la suma de la diferencia entre la temperatura media diaria del aire ( $T$ ) y la temperatura base ( $T_b$ ) correspondiente. (Andrade y Sadras, 2002).

Tiempo térmico =  $\epsilon (T - T_b)$

Estudios realizados en yerba mate por Rakocevic et al. (2011) para yerba mate indican que la temperatura a la cual se obtiene la mínima actividad fotosintética foliar positiva, medido en condiciones de campo, es de 5° C. Cabe añadir que dichos autores estudiaron el crecimiento de plantas de yerba mate en condiciones de campo, evaluadas en los diferentes ritmos de brotación. Poletto et al. (2016) en plantas jóvenes de yerba mate y en diferentes épocas de transplante, proponen un modelo de estimación de la temperatura base para la emisión de hojas, bajo vivero. El filocrono fue obtenido como la inversa del cociente angular de la regresión lineal entre el número de hojas y la suma térmica. La temperatura base obtenida por dicho autor fue de 8,5 °C.

En este trabajo para determinar el tiempo térmico ( $TT_5$ ) para cada fenofase observada se tomó una temperatura base de 5°C (Rakocevic et al., 2011).

### **Metodología de observación**

Con el fin de caracterizar las fases fenológicas de la planta de yerba se utilizó una adaptación de la escala semicuantitativa de Fournier (1974), la cual establece observar cinco a diez individuos para plantas en estado silvestre. Considerando que son plantas cultivadas, se tomaron 20 plantas para el estudio. Dicha escala establece arbitrariamente cuatro intervalos (0-4) de intensidad de 25 % (Fournier, 1974), donde 0= ausencia de la fenofase, 1= 25 % ,2=50%; 3=75% y 4 = más del 75 % de la copa con fenofase observable. La duración de cada fenofase se expresó mediante grados día de crecimiento (GDC) acumulados para lo cual se consideró una temperatura base de 5°C (Rakocevic et al., 2011).

Dentro de un cuadro homogéneo, en cuanto a procedencia, edad (4 años) y estado general de la planta (corte de rama madura); tipo y ubicación de suelo y manejo del cultivo, con distanciamiento de 1 x 2,5 m (4.000 plantas/ha), se establecieron al azar cuatro bloques experimentales. En cada bloque, se

seleccionaron para las observaciones fenológicas, cinco plantas adultas (20 en total). Estas se realizaron desde Agosto del 2015 a Julio del 2018, cada dos semanas en los flushing de brotación y mensualmente durante las pausas de crecimiento. Considerándose año 1 a la campaña 2015-2016, año 2 a la campaña 2016-2017, y año 3 a la campaña 2017-2018. El control tanto de insectos como de malezas fue llevado a cabo por la empresa según plan anual de trabajo.

Para la diferenciación de los diferentes ritmos de brotación que se suceden a lo largo del período evaluado, se realizaron observaciones del largo de entrenudo y del momento de cese del crecimiento, de la copa del árbol. En general dos períodos de crecimiento están separados por una zona de entrenudos cortos asociados a catáfilos que protegen el meristema durante la fase de reposo. El crecimiento es llamado rítmico cuando existe una alternancia regular de fases de alargamiento y de reposo (Hallé y Martin, 1968; Barthélémy y Caraglio, 2007). Se conoce que la yerba mate posee una ramificación pseudosimpodial con dos ritmos de crecimiento, uno en verano (total o parcial), más relacionado con el fotoperíodo, y otro en invierno causado por las bajas temperaturas que inducen al adormecimiento (Bazzo y Rakocevic, 2005). Una ramificación monopodial es aquella en la que suceden ramificaciones laterales sin detención del meristema del vástago principal, por el contrario una ramificación simpodial es aquella donde existe un crecimiento definido del tallo cuando se comienzan a desarrollar ramas laterales dando origen a un simpodio (Hallé y Martín, 1968). En una ramificación simpodial, la ramificación se construye por una sucesión de vástagos con crecimiento definido, cualitativamente equivalentes, dichos ejes se denominan módulos (Hallé et al., 1978). El término módulo ha sido utilizado en sentido amplio por varios autores con diferentes acepciones metámero (Sachs, 1874), fitómero (Harper, 1981), artículo (Barlow, 1989), caulómero (Stone, 1975), ramet (White, 1984). A su vez la ramificación puede ser considerada continua, es decir por cada hoja existe una ramificación, difusa, cuando no se diferencia un patrón definido, y rítmica en el

caso que si exista una ramificación definida conformando pisos, como es el caso de la araucaria.

Debido a la falta de antecedentes en estudios de fenología en yerba mate y considerando que los ciclos fenológicos de las plantas tropicales son complejos, durante los primeros meses se realizó la calibración del método de observación fenológicas. Esta metodología permitió familiarizarse con el comportamiento de la planta facilitando identificar las diferentes fases fenológicas. Por consiguiente, durante la campaña 1, 2015-2016, desde la cosecha hasta los 4 meses posteriores, se realizó la calibración del método de observación. Estas calibraciones fenológicas tuvieron el objetivo de identificar los cambios morfológicos más importantes y adquirir entrenamiento en la metodología de observación.

Las plantas se cosecharon el 13 de Agosto del 2015, según el plan anual de cosecha manual, corte mesa, eliminando el ápice de las banderillas dejadas por debajo de la bifurcación tal como se muestra en la Fig. °5. Este tipo de cosecha consistió en cortar las ramas de 3 cm de diámetro, a una misma altura, 10 cm por encima del corte anterior, dejando las ramas jóvenes (banderillas) sin cortar y otras cortadas en el ápice unos centímetros por encima de la bifurcación.

Durante el tiempo de calibración de las observaciones se obtuvieron datos generales de los diferentes cortes dentro de la planta.



**Fig. 5:** Foto de planta de yerba mate cosechada con corte mesa.

Debido a la diferencia en el comportamiento fenológico observada, (campaña 2015-2016) se intentó uniformar la planta para las siguientes campañas 2016-2018. Esta práctica consistió en simular una cosecha mecánica, donde se eliminaron el total de las ramas por encima de la altura de corte, evitando parcialmente, las diferencias de comportamiento fenológico entre las ramas de una misma planta.

Si bien en este trabajo no se describe la arquitectura de la planta, Edelin (1984), hace referencia, para diferentes especies, a una construcción de la planta que ha sido el resultado del equilibrio de factores endógenos y exógenos ejercidas por el medio ambiente y se manifiesta por la disposición relativa de los vástagos vegetativos aéreos y subterráneos.

## ESTADOS FENOLÓGICOS

La escala fenológica de evaluación que se utilizó en el presente trabajo de investigación se basó en la observación macroscópica de la morfología externa de la planta. Los estados fenológicos han sido construidos y definidos en base a la experiencia del cultivo y observación macroscópica de la planta. Es importante destacar la importancia de la descripción de los estados fenológicos del cultivo, ya que antes de este estudio no existía una descripción estandarizada y precisa de los estados fenológicos del cultivo de yerba mate. Se estudiaron cinco eventos fenológicos vegetativos y cuatro reproductivos desde inicio de brotación hasta cosecha. Las fenofases vegetativas estudiadas fueron diferenciadas en los ritmos de brotación presentados a lo largo del año. Es importante destacar que los estados fenológicos observados se detallaron en el cultivo con el manejo que la empresa impulsa actualmente, realizando un análisis global de la planta en cuanto a su comportamiento fenológicos de los meristemas de los vástagos. Para cada una de los estadios de desarrollo se utilizaron características externas claramente reconocibles.

**Fenofases vegetativas:**

**Hinchazón de yemas (V1):** El estado fenológico V1 considerado como hinchazón de yemas, se estableció en cada flush de brotación, yema hinchada visible de color verde claro y diámetro de un lápiz.

**Hojas incipientes (V2):** En este estado se consideró el tamaño incipiente de las primeras hojas en desarrollarse tanto en el ápice como en las axilas de las hojas, de 1,5 a 2 cm de longitud, después de hinchazón de yemas y antes de que se plieguen.

**Hojas pegadas por el ápice (V3):** Considera el comportamiento que presentan las hojas cercanas al meristema caulinar, las cuales permanecen unidas por sus ápices.

**Hojas desplegadas totalmente (V4):** Este estadio considerado como hojas desplegadas totalmente, permitió delimitar una etapa previa a la maduración.

**Hojas maduras (V5):** Esta fase da inicio a la etapa de maduración de la planta y fin de un ritmo de brotación. Las hojas de las ramas (bandera, banderilla, viruta y melena) se tornan de un color verde oscuro y adquieren su tamaño final.

**Senescencia natural parcial (SNP):** Para la observación de la senescencia natural parcial de las hojas ocurridas durante los meses de otoño-invierno, a partir de la segunda quincena de marzo de cada año, se identificaron 50 hojas ubicadas en el  $1/4$  inferior de la planta colocando etiquetas confeccionadas de plásticos de color blanco de 4x4 cm. Para la cuantificación de la caída de las hojas se convirtió en porcentajes el número de identificadores caídos en relación a los utilizados para identificar.

### **Fenofases reproductivas:**

**Botón floral (F1):** la fase correspondió a la formación de botones florales en planta. La intensidad de dicha fase se tomó como intensidad de cada rama observada en estado reproductivo.

**Flor abierta (F2):** correspondió a la apertura de la flor masculina y femenina de cada rama.

**Fruto verde (Fv):** esta fase comprendió la formación de fruto donde aún poseía coloración verde.

**Fruto maduro (Fm):** esta fase correspondió a la aparición de fruto maduro es decir cuando poseían una coloración violácea.

Para cada una de las fenofases se indicó **inicio** cuando los valores se encontraban entre 10 % y 50% de intensidad; **plena** cuando los valores fueron mayores al 50% y hasta un 75%; y **fin** cuando los valores fueron mayores al 75% o menores al 10%. Para determinar las fechas de cada una de estas se utilizaron las observaciones quincenales (ver anexo, Tabla 2). Para una mejor comprensión, cada una de las fenofases y el formato de planilla utilizada se muestra en la Fig. 23 y Tabla 3.

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

La relación entre una fenofase y cada variable ambiental individual, se analizó utilizando el índice de correlación de Spearman ( $r_s$ ), utilizando el software estadístico InfoStat versión 2017 (Di Renzo et al.). Las variables evaluadas, fueron calculadas como una media de los sensores ubicados en el cultivo, por encima y por debajo de la canopia. Las variables ambientales vs. las fenológicas a lo largo del periodo de estudio (36 meses). fueron correlacionadas.

Para estudiar la variabilidad entre las fenofases y su grado de asociación con los factores ambientales, se utilizó un análisis multivariado de componentes principales (ACP). Este análisis busca reducir la dimensión del espacio en el cual están representadas las variables originales, para detectar estructuras de variabilidad y eventualmente realizar agrupaciones por similitud (Bramardi, 2000).

Para analizar la frecuencia relativa mensual de la especie en cada fenofase se utilizó el test de Rayleigh (Z) para distribución circular y se graficaron los resultados de frecuencia de la ocurrencia de cada fenofase mediante histogramas de frecuencia circulares (Morellato et al., 2000). La prueba de uniformidad de Rayleigh (Fisher, 1993; Zar, 1998) calcula la probabilidad de la hipótesis nula de que los datos se distribuyen de manera uniforme.

Para realizar dichos gráficos se utilizó el software ORIANA 3 (Kovach, 2004), en el cual los meses fueron convertidos en ángulos, con intervalos de 15° para cada observación (0° primera quincena de agosto, 15° segunda quincena de agosto, 345° segunda quincena de diciembre). Las flechas representan ángulos promedios significativos (Rayleigh test  $p < 0,001$ ), mientras que la longitud del vector  $r$  (0-1) indica la concentración alrededor del ángulo medio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F.H. y V.O. Sadras, 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Unidad Integrada INTA Balcarce, Fac. Ciencias Agrarias UNMP, Universidad de Buenos Aires, INTA Pergamino. 1º Ed. ISBN: 987-521-016-1. 443 p.
- Alvim, P., 1964 a, 1976 b. Periodicidade do crescimento das árvores em climas tropicais. In Anais do 15º Congresso Nacional de Botânica: Sociedade Botânica do Brasil, Porto Alegre, Brasil. pp. 405-422
- Aquilino A, Distel, M., Sansberro P, 2008. Intercambio gaseoso y estado hídrico de dos clones de yerba mate implantados en un dosel de alta densidad. XX Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. Corrientes, Argentina.
- Barlow, P. W. 1989. Meristems, metamers and modules and the development of shoot and root systems. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 100: 255-279.
- Barthélémy, D., Y. Caraglio, 2007. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Ann. Bot.* 99 (3): 375–407.
- Bazzo, K.C. de y Rakocevic. 2005. Periodicidade no crescimento vegetativo de *Ilex paraguariensis* (St.Hill). En: Evento de Iniciação científica da embrapa florestas, 4. Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas. Recuperado de: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100012/1/2005-RAC-PeriodicidadeCrescimento.pdf>
- Borchert, R. 1983. Phenology and control of flowering in tropical trees. *Biotropica* 15 (2): 81-89.
- Bramardi, S.J. 2000. Estrategias para el análisis de datos en la caracterización de recursos naturales. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Valencia. España.
- Casella E. y Sinoquet H. 2003. A method for describing the canopy architecture of coppice poplar with allometric relationships. *Tree Physiology* 23:1153-1170.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión (2016). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Edelin, C. 1984. L'architecture monopodiale: l' exemple de quelques arbres d'Asie tropicale. PhD Thèse. Universite de Montpellier II, France. 258
- Escobar H., Liger D., Melgar R., Matteio H., Vallejos O. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000.1996. Área de Producción y Recursos Naturales. EEA. INTA. Corrientes. p. 4-185.

- Fisher, N. I. 1993. Statistical analysis of circular data. Ed. University of Cambridge, Cambridge Gran Bretaña. 70 p.
- Fournier, L.A. y J.F Di Stéfano. 2004. Variaciones climáticas entre 1988 y 2001, y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en la Ciudad Colón de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28 (1): 101-120.
- Fournier, L.A. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba* 24 (4): 422-423.
- Fraisse, C.W.; Bellow, J. & Brown, C. 2007. Degree days: heating, cooling, and growing. Florida Cooperative Extension Service, University of Florida. ABE 381, 9 p.
- Gyenge, J. E y M.E. Fernandez. 2010. Introducción al funcionamiento y uso de colectores de datos y sensores. En: María Elena Fernández y Javier Gyenge, Técnicas de Medición en Ecofisiología Vegetal. San Carlos de Bariloche. CONICET-INTA EEA. p. 25-33
- Hallé F., Oldeman R.A.A. y Tomlinson, P. B. 1978. Tropical Trees and Forests. An architectural analysis. Ed. Springer, Berlín. 441p.
- Hallé, F., Martin, R. 1968. Étude de la croissance rythmique de l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Mull Ay Euphorbiacées crotonoïdés). *Adansonia* 2 (8): 475–503.
- Harper, J. L. 1981. The concept of population in modular organisms. In *Theoretical Ecology: principles and applications*. R. M. May ed, Blackwell, Oxford. p. 53-77.
- Kovach. 2004. Oriana for Windows. Wales, Kovach Computing Services. (4). Recuperado de: <https://www.kovcomp.co.uk/oriana/index.html>.
- Morellato, L.P.C., Talora, D.C., Takahasi, A., Bencke, C.S.C., Romera, E.C. & Zipparro, V. 2000. Phenology of atlantic rain forest trees: a comparative study. *Biotropica* 32 : 811-823.
- Nakama, V. 1988. Evaluación de Tierra para uso específico (esquema FAO) del Departamento de L.N. Alem , Misiones (Yerba Mate, Té y Tabaco Burley). Castelar: CIRN- Instituto de Evaluación de Tierras, 19 p.
- Opler, P., A., G. W. Frankie, and H. G. Baker 1.976. Rainfall as a factor in the release, timing, and synchronization of anthesis by tropical trees and shrubs. *J. Biogeogr.* 3 (3): 231-236.
- Orduz J. O., Monroy H. J. y Fisher G. 2010. Comportamiento fenológico de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte del Meta, Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*. 28 (1): 63-70.
- Poletto G. C.; Paula G. M.; Caron B. O.; Elli E. F., 2016. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono da erva-mate na fase de muda.

Ecologia e Nutrição Florestal. 5 (1): 23-32 p. doi:  
<http://dx.doi.org/10.5902/2316980X23814>.

- Rakocevic, M., Costes, E., Assad, E.D. 2011. Structural and physiological sexual dimorphism estimated from 3D virtual trees of yerba-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) is modified by cultivation environment. *Ann. Appl. Biol.* 159 (2): 178–191.
- Reich, P. B. 1995. Phenology of tropical forest: patterns, causes, and consequences. *Canadian Journal of Botany.* 73:164-174.
- Reich, P. B. y R. Borchert. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology, London,* 72: 61 – 74.
- Sachs, J. 1874. *Traité de botanique, conforme à l'état présent de la science.* traducido por Van Tieghem. Librería F. SAVY, París, 1120 p.
- Stenzel, N.M.C.; Neves, C.S.V.J.; Marur, C.J.; Scholz, M.B.S. & Gomes, J.C. 2006. Maturation curves and degree-days accumulation for fruits of Folha Murcha orange trees. *Sci.Agric.* 63 (3): 219-225.
- Stone, B.C. 1975. Authorized translation of "An essay on the architecture and dynamics of growth of tropical trees" (eds. F. Hallé & R. A. A. Oldeman). Penerbit University, Malaya, Kuala Lumpur. 200 p.
- White, J. 1984. Plant metamerism. In: Dirzo, R. & J. Sarukán, *Perspectives on plant population ecology.* Sinauer Associates. Massachusetts. p. 15-47.
- Zar, H. J. 1998. *Biostatistical Analysis.* 3 Ed. Prentice Hall, New Jersey. 662 p.

# **CAPÍTULO III**

---

Resultados y Discusión

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describieron cada una de las fenofases vegetativas y reproductivas registradas entre los años 08/2015 y 07/2018 en plantas de yerba mate. A su vez se presentaron las correlaciones con cada una de las variables ambientales. Cada año evaluado comprendió el período de observación de julio a julio del siguiente año. Al finalizar la recolección de datos, se procedió a realizar el análisis de los mismos. Se confeccionaron las tablas de frecuencia quincenal y resúmenes mensuales de frecuencias de intensidad de cada una de las fenofases siguiendo la metodología de registro fitofenológico descrita en el capítulo II. A su vez, se graficaron las fenofases vegetativas y reproductivas mediante histogramas de frecuencia circulares para cada año registrado. Se calcularon los tiempos cronológicos y térmicos en cada una de las fenofases considerando una temperatura base de 5°C.

La especie presentó diferencias en el comportamiento de inicio y fin de cada una de las fenofases, tanto en tiempo cronológico como en grados días. Cuando se compararon las variaciones mensuales entre años, las más distantes fueron encontradas en los primeros estadios, yema hinchada (v1), hojas incipientes (v2) y hojas pegadas por el ápice (v3). Las fenofases que presentaron mayor regularidad mensual correspondieron a las fenofases vegetativas de hojas desplegadas (v4) y hojas maduras (v5). En cuanto a las fenofases reproductivas, los años evaluados marcaron una tendencia mensual de reproducción, a excepción del año 3 donde la fenofase fruto verde y fruto maduro estuvo ausente.

Las condiciones ambientales, presentaron diferencias marcadas cuando se analizaron los sensores por estrato, verificando los dos ambientes contrastantes que se suceden a lo largo del cultivo, interior del dosel y por encima del mismo. A su vez durante este estudio se presentó el fenómeno del Niño (2015-2016), la Niña (2016-2017), lo que

alteró los valores históricos promedios de precipitación, humedad relativa, radiación PAR y temperatura.

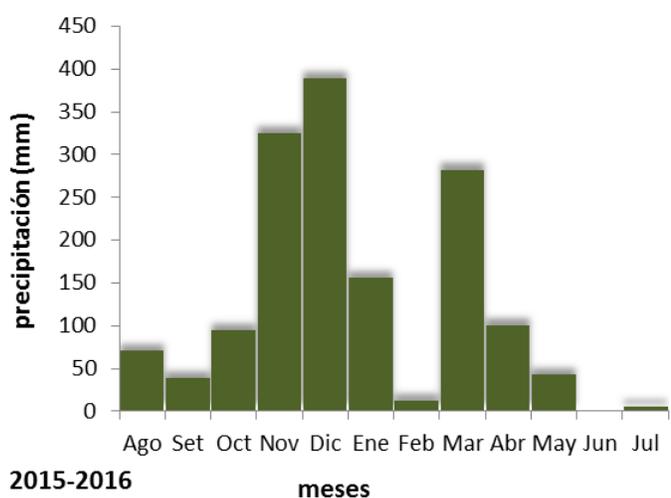
A continuación, se presentan los resultados de las variables ambientales registradas, temperatura media, humedad relativa, radiación PAR, precipitaciones, fotoperíodo y agua gravimétrica del suelo.

Posteriormente se presentan los resultados del comportamiento de la planta y las correlaciones existentes entre las variables ambientales evaluadas, el tiempo cronológico y el tiempo térmico calculado para cada una de las fenofases.

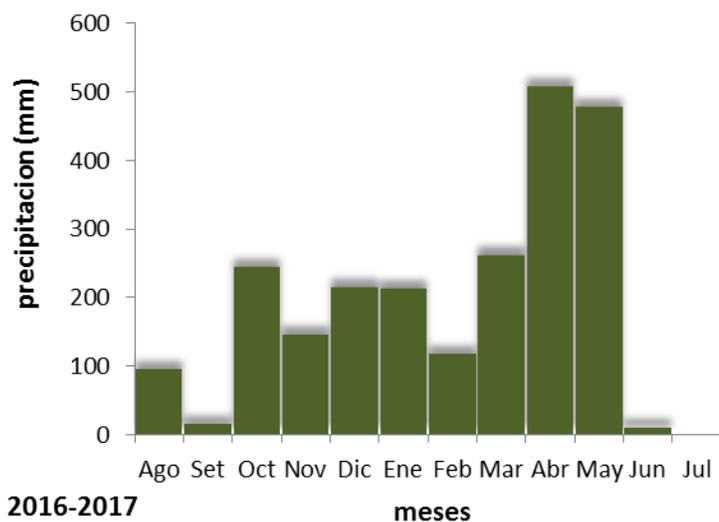
## ANÁLISIS DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

### Precipitaciones:

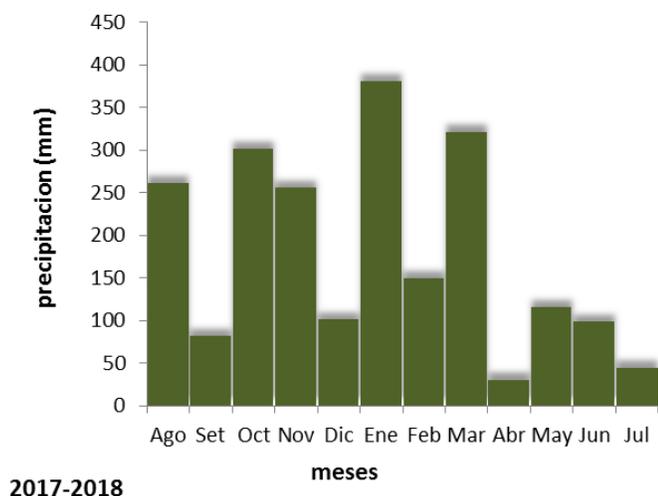
Las precipitaciones registradas por el período de estudio mostraron diferencias marcadas, tanto en la distribución como en la cantidad de milímetros caídos durante el año (Fig. 6). Las medias históricas anuales para la región, fueron mencionadas en el capítulo II.



a)



b)



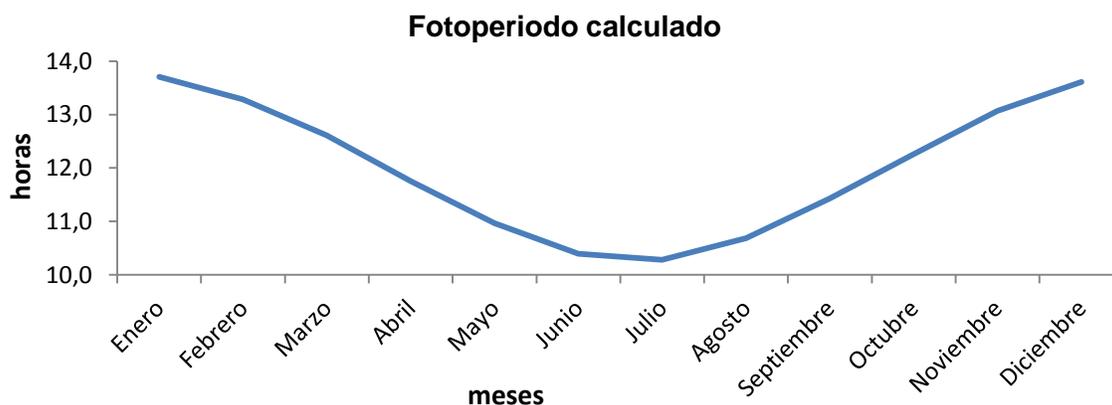
c)

**Fig. 6** Valores de precipitación mensual registrados para el periodo de estudio (agosto 2015-julio 2018), Gobernador Virasoro, Corrientes. Estación Meteorológica Asociación Correntina de plantadores de arroz (ACPA). a) año 2015-2016; b) 2016-2017; c) 2017-2018

Durante el primer período evaluado, considerado año 1 desde 13-08-15 al 13-07-16, las menores precipitaciones se registraron en el mes de junio, con los mayores valores para el mes de diciembre, siendo un año atípico por influencia del fenómeno el Niño para la campaña 2015 y 2016. Durante el año 2, las menores y mayores precipitaciones se registraron para el mes de julio y abril, respectivamente. Los valores acumulados para el año 1, 2, y 3, mostraron grandes diferencias con 1606.4 mm, 2324 mm y 2147 mm, respectivamente. (Fig. 6). Mediante la serie de tiempo evaluada, se puede observar que se registraron valores anormales de precipitación, tanto por encima como por debajo de los promedios históricos, febrero 2016 (12 mm), abril-mayo 2017 (509 mm, 479 mm), abril 2018 (31 mm) (Fig. 3). Es importante considerar que la estación Meteorológica ACPA, se encuentra ubicada en el Instituto Agrotécnico.

## Fotoperíodo

El cálculo del fotoperíodo puede ser determinado mediante tablas (Heliofanía teórica astronómica), software o programas realizados por diferentes organismos. En la Fig. 7 se muestran los resultados del fotoperíodo calculado para el área de estudio.



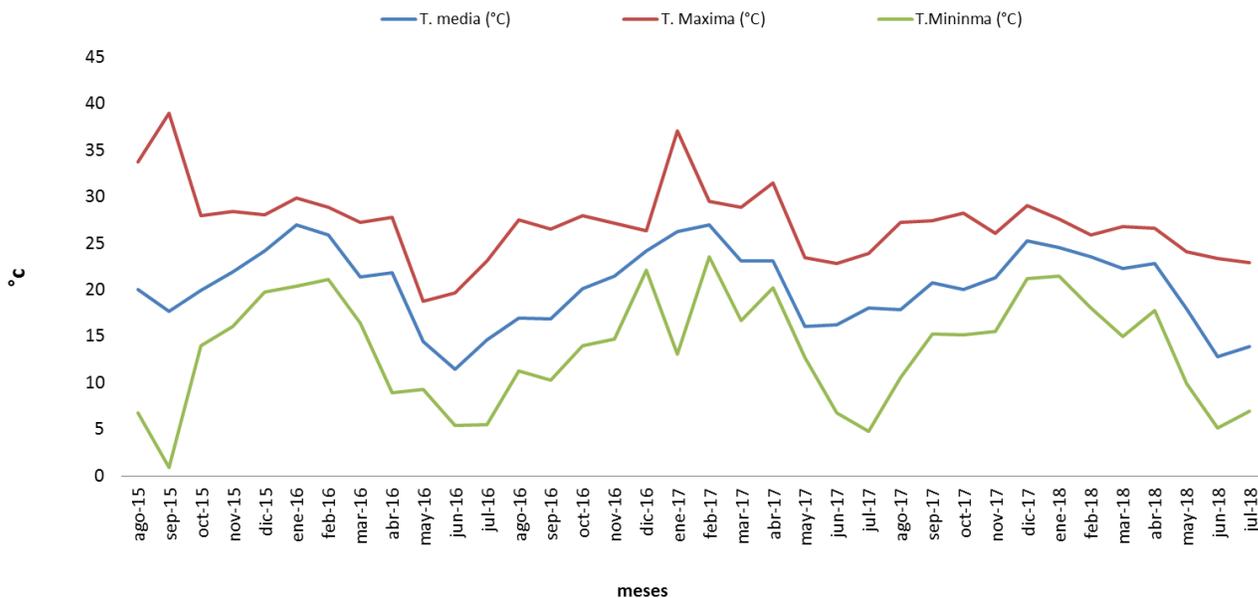
**Fig. 7:** Fotoperíodo mensual, Enero-Diciembre, calculado para la localidad de Gobernador Virasoro, Corrientes, Argentina.

Durante los meses de Junio, Julio (10,4 h, 10,2 h.) se obtuvieron los menores valores de fotoperíodo, y en los meses de diciembre y enero (13,7 h y 13,8 h) se obtuvieron los mayores valores.

## Temperatura (°C)

Los registros de temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales se muestran en la Fig. 8.

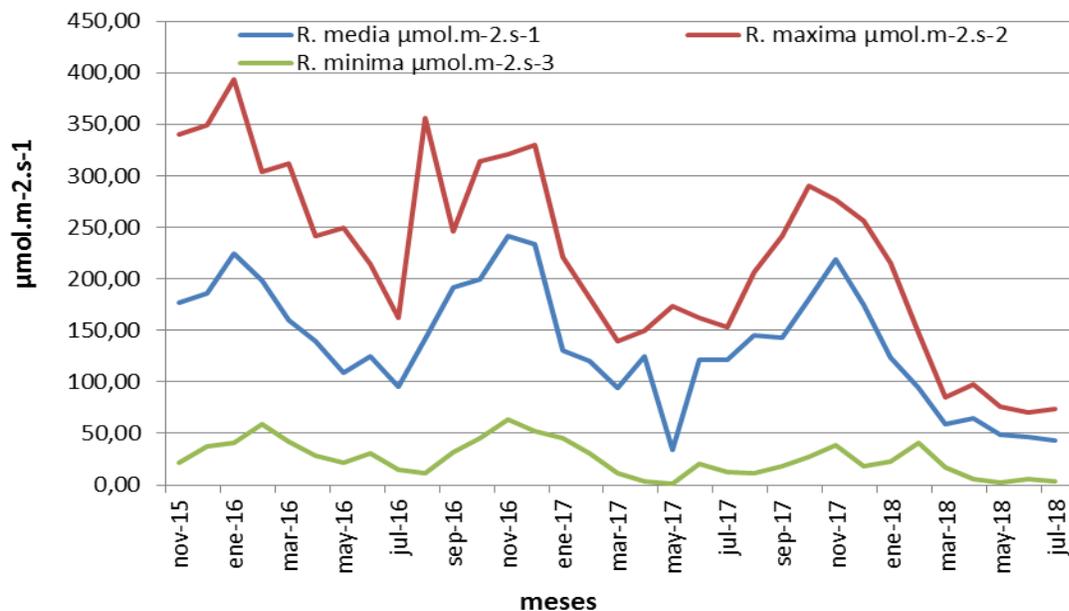
Las temperaturas mínimas absolutas fueron registradas para el mes de Junio 2016 (5,4 °C), y Julio 2017 (4,8 °C). Las mayores temperaturas fueron registradas para el mes de enero 2015 (29,9 °C), febrero 2016 (29,5 °C), y diciembre 2017 (29,09 °C).



**Fig. 8:** Temperaturas mínimas, medias y máxima mensual registradas por el datalogger en el cultivo, para el periodo Noviembre 2015-Julio 2018. Gobernador Virasoro, Corrientes.

### Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

Al evaluar la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que llega al estrato superior y medio de la copa de yerba mate se encontraron grandes diferencias, durante el año y entre los años evaluados. Se graficaron los resultados de la medias mensuales, máxima mensuales y mínimas mensuales del cultivo (Fig. 9). Los mayores valores de radiación media se encontraron durante los meses de noviembre, diciembre y enero para los dos primeros años y octubre, noviembre y diciembre para el año 3 (2017-2018).

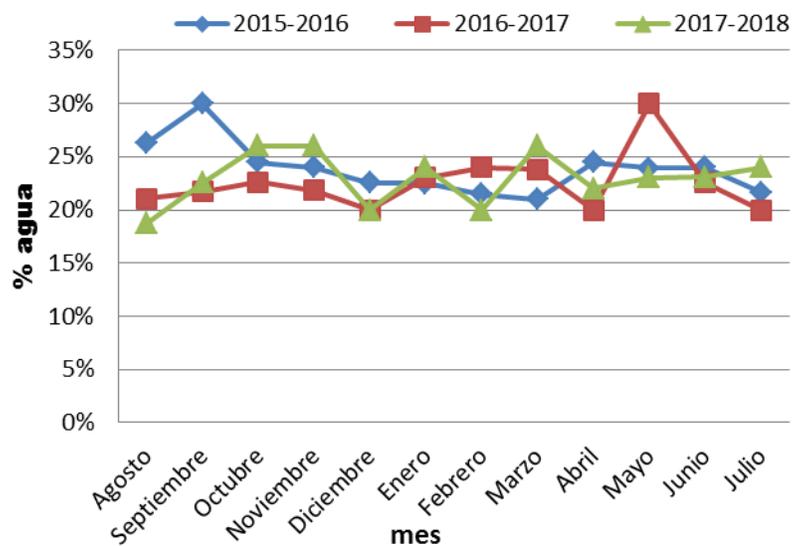


**Fig. 9:** Variaciones de radiación PAR media mensual, máximas y mínimas registradas por el datalogger para el periodo evaluado Noviembre 2015-Julio 2018. Gobernador Virasoro, Corrientes.

Las diferencias encontradas en los años evaluados demuestra la variación anual e interanual provocada probablemente, no solo por la época del año sino por la arquitectura de la planta. Sampson et al. (1998) indica que la radiación fotosintéticamente activa disponible en un sistema cultivado, está determinado por factores geográficos, temporales y estructurales, como son: latitud, especie, densidad del rodal, índice de área foliar (IAF), biomasa y estructura de la copa tanto vertical como horizontal (Sampson et al., 1998). Si bien en este estudio no fueron considerado los rendimientos promedios, Mazuchowski et al. (2002), estudiando el comportamiento de la planta de yerba mate en diferentes condiciones de luminosidad, obtuvieron como resultados preliminares que las plantas en condiciones de sombreado de 50 y 70% presentaron ciertos parámetros productivos incrementados en comparación con aquellas que reciben el 100% de luz incidente.

## Contenido hídrico del suelo, agua gravimétrica

En la Fig. 10 se observan los valores encontrados de agua gravimétrica del suelo para el período 2015-2018, los valores registrados durante el período de estudio muestran un mínimo de 18,7% (agosto 2017) y un máximo de 30 % (mayo 2016). Valores similares fueron encontrados por Bárbaro y Sosa (2011) estudiando dos tipos de manejo, conservacionista y tradicional, en la región productora de yerba mate en 14 plantaciones, actividad del proyecto RIAN (Red de Información Agropecuaria Nacional), INTA Misiones. Los resultados de los autores demuestran que los valores promedios de CC (capacidad de campo) 28,59% y PMP (punto de marchites permanente) 22,58% para manejo conservacionista y CC 28,40% y PMP 22,32% para manejo tradicional, encontrando en la zona denominada nordeste (Colonia Unión) 26,8 % CC, y 19,9 % PMP. A su vez resultados obtenidos por Sansberro y Miroginski (2007) sugieren que la planta de yerba mate tiene un rápido restablecimiento de la actividad fotosintética soportando la sequía, y que podría estar atribuido a un ajuste osmótico para mitigar los efectos de estrés.

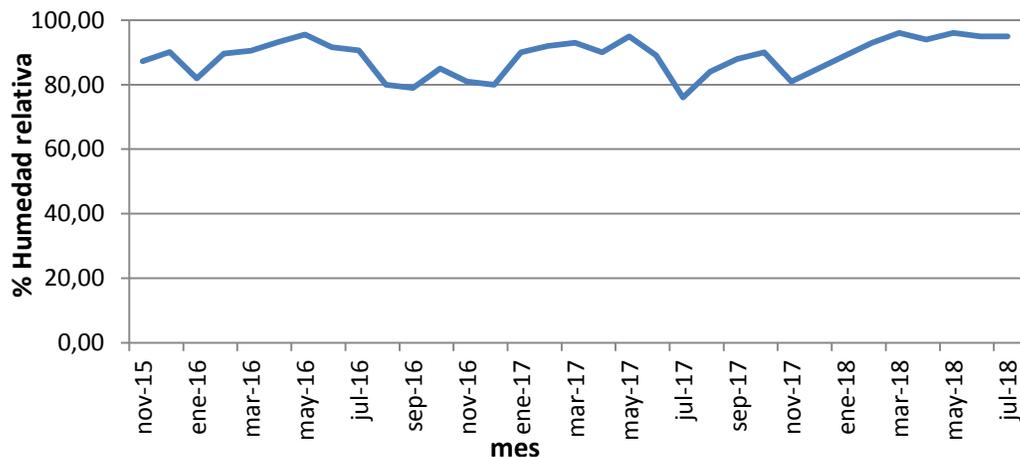


**Fig. 10:** agua gravimétrica de los primeros 30 cm de suelo.

Es necesario considerar que el agua del suelo probablemente se vea influenciado por el plan anual de trabajos de la empresa, específicamente por la incorporación de compost que la misma confecciona. Se conoce comúnmente que la aplicación de compost mejora las propiedades del suelo tanto físicas como químicas, que está relacionado con un incremento en el contenido de carbono orgánico. En tal sentido Weber et al. (2006), estudiando la incorporación de diferentes tipos de compost en suelos arenosos por tres años, encontraron que la incorporación de compost modificaron las propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo. Aplicación de diferentes tipos de compost mejoraron las propiedades físicas, asociadas con el aumento del contenido de carbono orgánico y aumentos estadísticamente significativos de la porosidad total y capacidad de retención de agua. Esto probablemente esté relacionado con los altos valores de agua gravimétrica del suelo encontrado ya que la empresa actualmente incorpora compost a los yerbales en producción.

### **Humedad relativa**

La humedad relativa evaluada en las plantaciones de yerba mate mostró una variación anual tanto dentro como fuera del dosel. Probablemente el sistema de manejo que lleva la empresa, principalmente poda y cosecha (agosto), modifique los valores registrados. En la Fig.11 se grafican los valores de medias de humedad relativa (%) mensuales para el período evaluado.



**Fig. 11:** Variaciones mensuales de humedad relativa (%), medias registradas para el periodo evaluado (Noviembre 2015-Julio 2018).

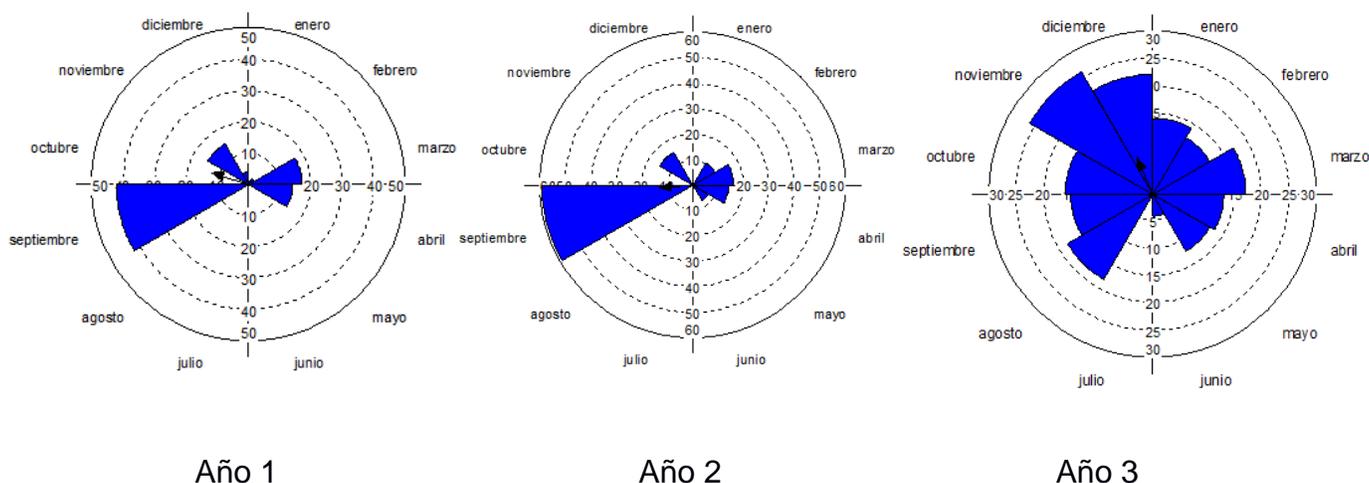
Los datos analizados indican la existencia de un rango de variación de humedad relativa del 75 % (julio 2017) al 95% (julio 2018). Es probable que el volumen de copa a lo largo del período de crecimiento del cultivo, retenga el vapor de agua en el interior del cultivo, y se obtengan valores superiores en el interior respecto del exterior, así como antes de la cosecha y posterior a esta. Resultados similares fueron encontrados por Duval Valera y Campo (2002), evaluando las condiciones del bosque de caldén en la Reserva Provincial Parque Luro, Argentina. Para el caso del cultivo de yerba mate, los mayores valores de humedad relativa media fueron registrados en el período de marzo-abril durante los tres años evaluados. Este período coincidió con un mayor volumen de copa, ya que debido al manejo que realiza la empresa, cosecha anual de otoño-invierno, permite mantener la humedad relativa en valores de 89% a 95% (2015-2017).

## FENOFASES VEGETATIVAS

### Hinchazón de yemas (V1):

El inicio de la brotación comienza con la fase de hinchazón de yemas. Esta fenofase es caracterizada por la emergencia y activación de yemas localizadas tanto en las ramas que se podaron, como aquellas yemas axilares de las banderas generadas en el año.

Durante los períodos evaluados, el primer ritmo de brotación comenzó luego de un período de inactividad biológica y después de la poda.



**Fig. 12:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofase vegetativa V1 o hinchazón de yema de *Ilex paraguariensis*, para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

Para el año 1 y 2, el inicio de la brotación (< 10% hasta el 50% de intensidad) se registró en septiembre, con un 42% y 59% de intensidad, y una duración aproximada de 13 días y 25 días, respectivamente. Sin embargo, para el año 3 el inicio de la brotación se registró el 12 de agosto del 2017 (32%) para finalizar el 31 de agosto del mismo año, con una duración aproximada de 19 días. (Tabla N°2). Esta diferencia puede ser atribuida a la mayor precipitación ocurrida en los meses de agosto, septiembre y octubre para la

campana 2017-2018 (646 mm) en comparación con los anteriores años evaluados (201,8 mm y 360 mm) (Fig. 6).

En los años evaluados se pudieron identificar 3 ritmos de esta fenofase. Resultados similares fueron encontrados por Sansberro et al. (2002), definiendo que existen períodos alternados de crecimiento de la yerba mate, en tres épocas distintas: durante la primavera, el verano y el otoño.

Lieberman (1982) y Borchert (1994) mencionan que la brotación en la época de verano en regiones tropicales puede estar asociada a precipitaciones elevadas. Durante el año 2 y 3 donde las precipitaciones superaron los 2000 mm anuales, los histogramas muestran mayor distribución de brotación, identificando cambios importantes tanto en la intensidad como en la frecuencia, año 2 (2324 mm) y un el año 3 (2147 mm). A su vez Larcher (2003) estudiando varias especies, afirma que el surgimiento de nuevas hojas requiere una inversión significativa de carbono, agua y nutrientes cuya disponibilidad es influenciada por variaciones intra e interanuales de condiciones ambientales.

Montechiesi (2008), menciona que la planta de yerba mate en años suficientemente húmedos se producen tres brotaciones, y en años más secos 2 brotaciones. Si bien durante el tiempo de observación se observaron 3 ritmos con la metodología de observación descripta, es de destacar el cambio en la frecuencia de intensidad y duración de la fenofase hinchazón de yema para los años de mayores precipitaciones.

El requerimiento en  $TT_5$  calculado para iniciar el primer ritmo de brotación, considerado luego del estado de reposo invernal (dormición) y después de la poda, fue de 951,30 grados día (GD). Una vez iniciada la fenofase, la duración fue de 149 (año1), 351,25 (año2) y 259,65 GD (año3). Estos resultados sugieren que además de la temperatura existen otras variables que influyen en la duración de cada fenofase que no han sido considerados en este estudio.

El segundo flujo de brotación se registró para el año 1 y 2 en noviembre, con una duración de 19 días (27%) y 22 días (18%) aproximadamente. Para el año 3 la segunda brotación comenzó en septiembre, llegando hasta fin de la temporada totalizando 124 días. El  $TT_5$  requerido para iniciar el segundo ritmo fue de 441,6 GD, grados días.

La tercera aparición de la fenofase se dió en marzo para el año 1 con 66 días (25%) y febrero para el año 2 y 3, con 88 días (19%) y 102 días (14%) respectivamente. El  $TT_5$  requerido para iniciar el tercer ritmo de brotación fue de 317 GD.

En base a la evaluación y registro de los datos, se podría considerar que para disparar el inicio de la fenofase, y para el primer ritmo, se requieren de 951,3 GD; para el segundo ritmo 441 GD; y para el tercer ritmo 317 GD. Cabe añadir que, en esta primer fenofase y para el inicio del año, es decir luego de la poda, se obtuvieron valores de intensidad superiores a 32%, a diferencia del segundo y tercer ritmo donde las intensidades se encontraron entre un 18% y 30%. Es importante destacar que estos GD calculados tuvieron variación en los años evaluados y el resultado de GD es la mínima temperatura encontrada durante el período de evaluación para disparar la fenofase. Esto podría estar indicando que la fenofase hinchazón de yema podría estar influenciada por otras variables que no son consideradas en este estudio. Para estudios posteriores, las observaciones se deberían realizar con mayor frecuencia en cada ritmo para obtener intensidades inferiores, debido a que el aumento de las variables ambientales, principalmente temperatura, y radiación propia de la estación y incentivado por la poda, provocan el aumento rápido de intensidad de esta fenofase. Con observaciones menos espaciadas se podrían disminuir esta variabilidad.

También se debe considerar que la fenofase hinchazón de yemas en los meristemas apicales y axilares resultó difícil de observar luego del primer ritmo, ya que la planta generó una copa densa que perjudicó la toma de datos.

Rakocevic et al. (2003), caracterizando el crecimiento del tallo de la yerba mate, obtuvieron resultados semejantes, con dos detenimientos de crecimiento bien definidos, uno total en invierno y otro parcial en verano (diciembre- febrero). Sin embargo, Guédon, et al. (2018), caracterizando el patrón de crecimiento utilizando modelos de segmentación y durante dos años de evaluación, obtuvieron que el patrón de crecimiento se caracterizó por una fase de reposo sistemática correspondiente a un período con temperaturas relativamente frías, mientras que las fases de reposo en el medio del año fueron frecuentes pero no obligatorios.

Probablemente las diferencias en cuanto a inicio y duración de las fenofases notadas para el primero, segundo y tercer año de evaluación se relacionen con las diferencias de precipitación (Fig.6). Dependiendo en que momento suceda, al final o al principio de una fenofase, una falta de agua puede acelerar el desarrollo del cultivo al elevar la temperatura de las plantas, y, por ello, reducir el número de días requeridos para alcanzar una determinada integral térmica (Wild 1992). Durante el año 1, donde las precipitaciones fueron inferiores en comparación con el año 2 y 3, tanto la intensidad como la duración en los tres ritmos se reducen considerablemente, presentando la menor duración de esta fenofase en los tres años evaluados.

Para el año 3 (2017-2018) se registró una correlación positiva con la variable radiación ( $r_s=0,91$   $p <0,05$ ) y temperatura máxima ( $r_s=0,64$   $p <0,05$ ) y una correlación negativa con humedad relativa ( $r_s=-0,7$   $p <0,05$ ). Cuando se analizan los tres años observados, se obtienen correlaciones positivas con precipitación ( $r_s=0,37$   $p <0,05$ ). Sin embargo para el año 1 y 2 no se detectaron correlaciones. Pintro y Flores (2003), evaluando como afecta los diferentes niveles de agua de suelo en plantas de yerba mate, encontraron que, tanto el exceso como la falta de agua en el sustrato presentan influencia negativa en el crecimiento de plantas de yerba mate. Sansberro et al. (2004) resaltan la

susceptibilidad de la especie al estrés hídrico bajo condiciones de cultivo, probablemente debido a la alteración de su ambiente original.

La ausencia de correlaciones en el año 2 y con las demás variables sugiere que la fenofase, considerada como hinchazón de yema, fue graduada por factores intrínsecos de la especie y por otros factores no considerados y su interacción.

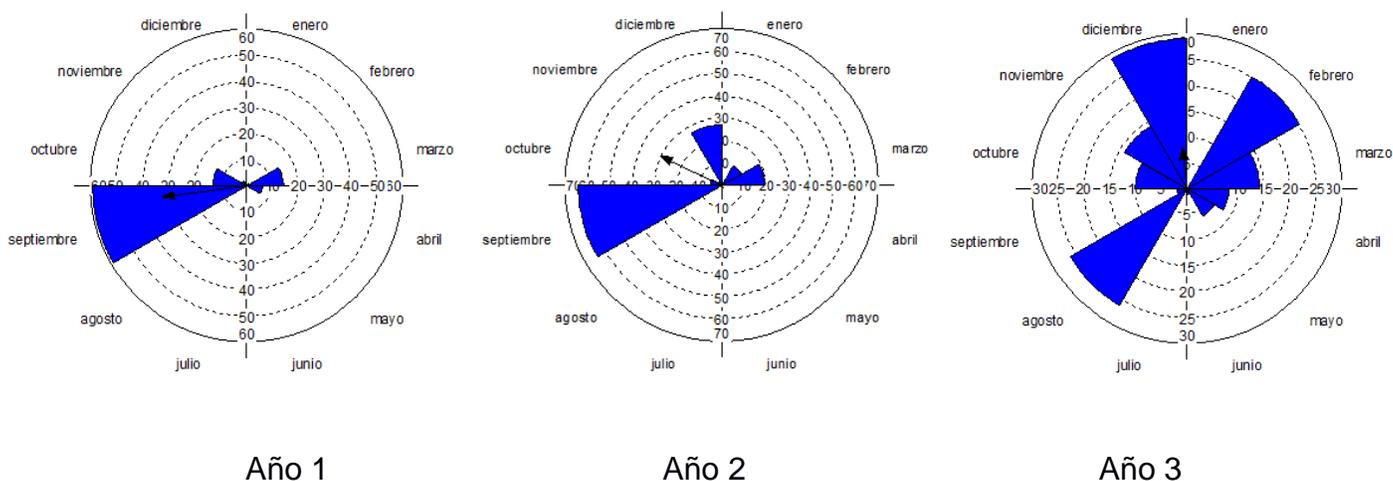
Cabe señalar que la observación de la fenofase hinchazón de yema, resulta un parámetro importante para establecer el momento de manejo de plagas, principalmente aquella que afecta y es considerada plaga de la brotación como ser *Gyropsylla spegazziniana* (Lizer y Trelles), puesto que este insecto compromete seriamente la viabilidad de la yema y por la tanto la productividad futura de las plantaciones.

Es importante recalcar que se encontraron momentos donde la intensidad de la fenofase parecía indicar el inicio del proceso pero luego se detenía. Resultados similares fueron encontrados por Rakocovic et al. (2003), observando que al inicio de cada ritmo de brotación, las yemas producían nuevos tallos, mientras que otras permanecían latentes.

### **Hojas incipientes (V2):**

La fenofase vegetativa denominada V2 o de hojas incipientes es caracterizada por hojas no mayores a 2 cm de longitud, ocurrida luego de finalizada la fenofase hinchazón de yemas y antes del estado V3 o de hojas pegadas por el ápice. Esta fenofase, mostró un comportamiento similar al estado hinchazón de yema, mostrando 3 flujos durante los dos primeros años y un cuarto en el tercer año de evaluación. Un primer flujo que inicia para el año 1 y 2 en septiembre con 41% y 64% respectivamente y otra en agosto para el año 3 con un 28% de intensidad.

Se analizaron el año 1, registrando tres flujos, uno en septiembre (41%) con aproximadamente 13 días cronológicos, otro que inicia en octubre (25%) con una duración de 20 días y el último inicia en marzo (10%) con 18 días. (frecuencia quincenal, Tabla 2)



**Fig. 13:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofase vegetativa V2 o de hojas incipientes de *Ilex paraguariensis* para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

En el año 2 el inicio de brotación se registraron en septiembre (64% de intensidad, plena brotación) finalizando en octubre, con 16 días cronológicos, el año 3 inició en agosto (26 %) y finalizó en septiembre (2%) con 34 días.

El segundo flujo de brotación se observó para el año 1 y 3 en el mes de octubre, con intensidades de 25% y 11%. Sin embargo, en el año 2 el segundo flujo se registró en diciembre (27%). El tercer flujo se registró en el mes de marzo, año 1 (10%), fines de febrero, año 2 (19%) y noviembre, año 3 (23%). Para el último año de evaluación se registró un cuarto ritmo a mediados de febrero (14%).

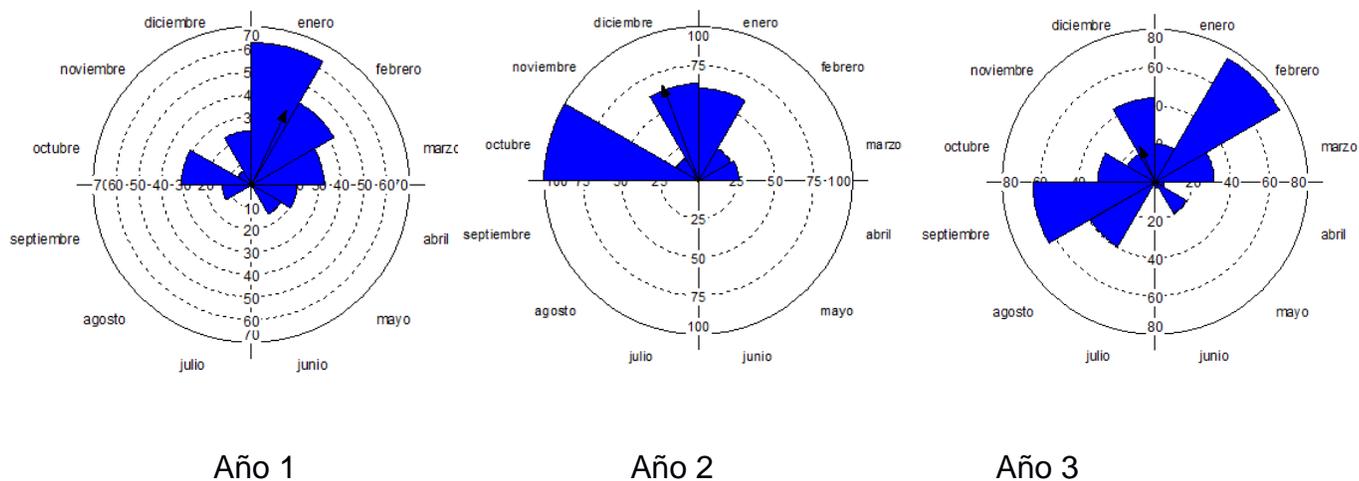
El tiempo térmico calculado, para el primero, segundo y tercer ritmo fue de 297, 416 y 540 GD. El cuarto ritmo excepcionalmente registrado para el tercer año fue de 766 GD.

Durante los tres años evaluados existió una latencia de la actividad meristemática de las yemas, tanto apicales como axilares. Por otra parte, la entrada de yemas en un período de inactividad en el final del verano podría controlarse por una disminución de la duración del día (Caffarra et al., 2011), posiblemente combinado con un efecto de baja temperatura como en algunas especies de peras y manzanas (Heide y Prestrud, 2005). El momento del cese del crecimiento y la reanudación en respuesta a las condiciones climáticas cambiantes se considera como un rasgo adaptativo específico en especies perennes templadas (Rinne et al., 2001).

La fenofase de hojas incipientes no mostró correlaciones ni dentro de cada año ni entre años con ninguna de las variables ambientales evaluadas. Esto sugiere que, en particular esta fenofase, estaría fuertemente regulada por factores intrínsecos de la planta, o por factores no considerados en este trabajo.

### **Hojas pegadas por el ápice (V3):**

La fenofase vegetativa V3 o de hojas pegadas por el ápice es caracterizada por el aumento en el tamaño de las hojas pero que permanecen pegadas por el ápice, y que no han completado aún su tamaño final. Esta fenofase representó marcadas diferencias de comportamiento durante el período evaluado. Para el año 1, el inicio de la fenofase ocurrió en septiembre y finalizó en noviembre, con una duración aproximada de 37 días y un segundo ritmo, desde diciembre hasta mayo, con una duración de 174 días, con las mayores intensidades en enero (63%, plena brotación). Durante el año 2 el primer ritmo se registró en septiembre finalizando a mediados de noviembre, durando aproximadamente 53 días, y un segundo ritmo que inicia a fines de noviembre y finaliza en marzo totalizando 134 días, con las mayores intensidades en diciembre, plena brotación (63%) (Fig.14).



**Fig. 14:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofase

vegetativa, hojas pegadas por el ápice de *Ilex paraguariensis* para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

El año 3 se comportó notablemente diferente, las mayores desigualdades se presentaron tanto en el inicio como en la duración de la fenofase. Se registró el primer ritmo en agosto y finalizó en la primera quincena de septiembre con una duración de 34 días, un segundo ritmo a fines de septiembre hasta mediados de noviembre con 41 días, un tercer ritmo con inicio a fines de noviembre y fin en mayo, 154 días, y un cuarto ritmo con inicio en mayo y con fin en junio, 30 días. Los menores valores se registraron en noviembre (6%). Esto podría indicar que durante el mes de noviembre y para los 3 años evaluados se registran los menores valores de intensidad o la ausencia de la fenofase (año 1 y 2) del estado de hojas pegadas por el ápice.

Con respecto a los grados días, se acumularon 980, 197,67, 241 y 273 GD para el primer, segundo, tercer y cuarto ritmo observado.

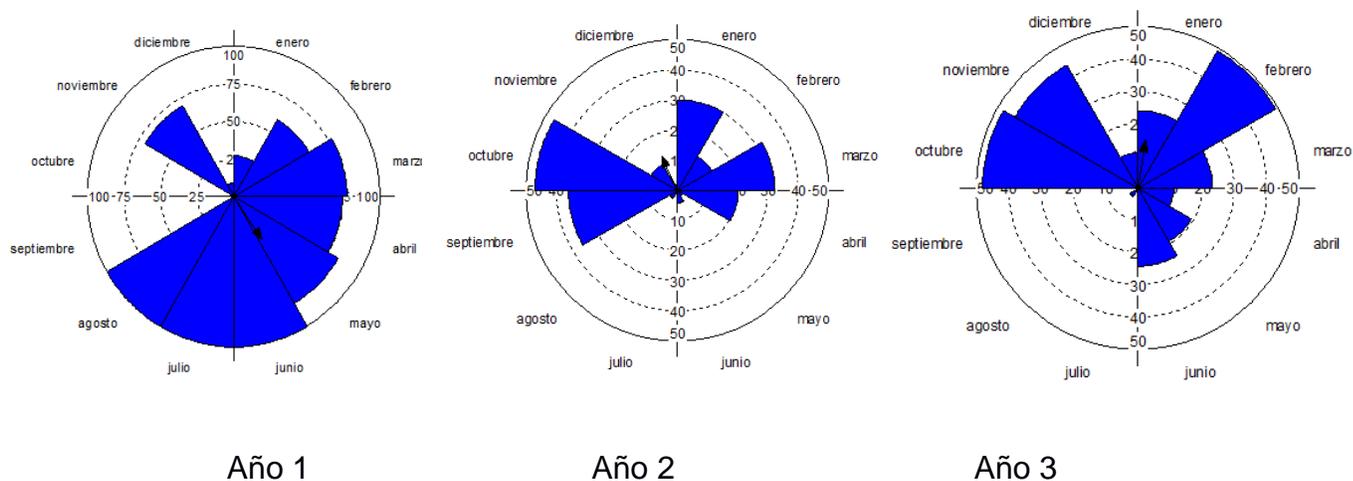
Las correlaciones de Spearman para los 3 años de estudio mostraron una correlación positiva para temperaturas mínimas ( $r_s=0,55$   $p<0,05$ ); temperatura media ( $r_s=0,61$   $p<0,05$ ), radiación ( $r_s=0,42$   $p<0,05$ ), y fotoperíodo ( $r_s=0,65$   $p<0,05$ ). Cuando se observaron los valores obtenidos dentro de cada año, se obtuvieron correlaciones

similares. En el año 1 se verificó una correlación positiva con las temperaturas mínimas ( $r_s=0,78$   $p<0,05$ ); media ( $r_s=0,69$   $p<0,05$ ), radiación (0,75), fotoperíodo (0,82) y una correlación negativa para agua gravimétrica ( $-0,58$   $p<0,05$ ). Para el año 2 se obtuvieron correlaciones positivas para temperatura media ( $r_s=0,58$   $p <0,05$ ) y fotoperíodo ( $r_s=0,76$   $p<0,05$ ). El año 3 los resultados mostraron una correlación positiva para la variable fotoperíodo ( $r_s=0,48$   $p<0,05$ ). En climas templados, la regulación y ritmicidad de los árboles está regulada principalmente por la temperatura y el fotoperíodo. Rakocevic y Martin (2011), observaron que los meristemas de yerba mate se mantenían en estado de reposo cuando las temperaturas del invierno eran inferiores a  $10^{\circ}$  C y fotoperíodo corto (alrededor de 10 hs). Durante los meses evaluados se registraron temperatura mínimas de  $7^{\circ}$  y  $1^{\circ}$ C (agosto, septiembre del 2015), entre  $9$  y  $5^{\circ}$ C (abril, mayo, junio y julio 2016),  $7$  y  $5^{\circ}$  C durante los meses de junio y julio 2017 y 2018. Estos meses coinciden con los mayores valores de presencia de la fenofase hoja madura, con una disminución marcada de la fenofase hojas pegadas por el ápice.

#### **Hojas desplegadas (V4):**

El registro de la fenofase vegetativa denominada V4 o de hojas desplegadas contempla el estado comprendido desde fin de la fenofase hojas pegadas por el ápice hasta comienzo de la maduración de la hoja. Esta característica permitió diferenciar los diferentes estados de reposo de la planta, puesto que en algunas estaciones el estado de reposo fue marcado por dicha fenofase, y en otras las actividades de las fenofases V1, V2, V3 se solaparon. Es decir, el fin de las fenofase hinchazón de yemas, hojas incipientes y hojas pegadas por el ápice, está caracterizada por un aumento progresivo del estado de hojas desplegadas, en desmedro de las intensidades de las anteriores fenofases, aunque en ciertas ocasiones principalmente el primer y segundo ritmo de brotación las fenofases suceden casi al mismo tiempo.

El comportamiento de la fenofase de hojas desplegadas, al igual que en las anteriores fenofases descritas, muestra que tanto el inicio como la duración de la fenofase variaron marcadamente entre días.



**Fig. 15:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofases vegetativa V4 o de hojas desplegadas de *Ilex paraguariensis* para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

Para los tres años evaluados se muestran diferencias tanto para el inicio como para el fin de la fenofase. Para el año 1, los mayores episodios de hojas desplegadas, considerándose plena brotación, se registraron en octubre (65%), noviembre (56%) y febrero (55%), con ausencia o fin de la fenofase desde julio a agosto Fig.15 (año 1).

El año 2, los meses de octubre, segunda quincena, (30%), noviembre (40%), enero (48%), abril (50%) y mayo (45%) se destacaron por su frecuencia (Fig.15).

En el año 3, la primera observación se registró en septiembre (36%), con las mayores intensidades en octubre (47%); enero (30%) y marzo (32%), la fenofase estuvo ausente desde mayo hasta julio (Fig.15).

Las correlaciones de Spearman se muestran positivas con las variables temperatura mínima ( $r_s=0,48$   $p<0,05$ ), temperatura media ( $r_s=0,43$   $p<0,05$ ) fotoperíodo

( $r_s = 0,40$   $p < 0,05$ ) y precipitación ( $r_s = 0,36$   $p < 0,05$ ). Para el año 1 los resultados mostraron una correlación positiva con las variables temperatura mínima ( $r_s = 0,65$   $p < 0,05$ ), radiación ( $r_s = 0,5$   $p < 0,05$ ) y fotoperíodo ( $r_s = 0,52$   $p < 0,05$ ). Esta fenofase es un paso previo a la fase considerada maduración. Las correlaciones encontradas muestran que la especie está condicionada principalmente por el fotoperíodo ( $r_s = 0,52$ ) y las temperaturas mínimas ( $0,65$ ). En muchas especies el periodo de inactividad está relacionado con características ambientales. En selvas tropicales y subtropicales las temperaturas elevadas y la precipitación son menos restrictivas para el crecimiento que en condiciones templadas, y las temperaturas mínimas y la corta duración del día son las variables climáticas que están correlacionadas con las fenofases vegetativas de la mayoría de los árboles.

El año 2 y 3 no mostraron correlación con ninguna de las variables evaluadas.

La evaluación de la fenofase en el período observado, tuvieron una duración de 41 a 127 días cronológicos. El inicio de la fenofase ocurrió luego de acumular 1073, 409 y 197 GD para el primer, segundo y tercer ritmo respectivamente.

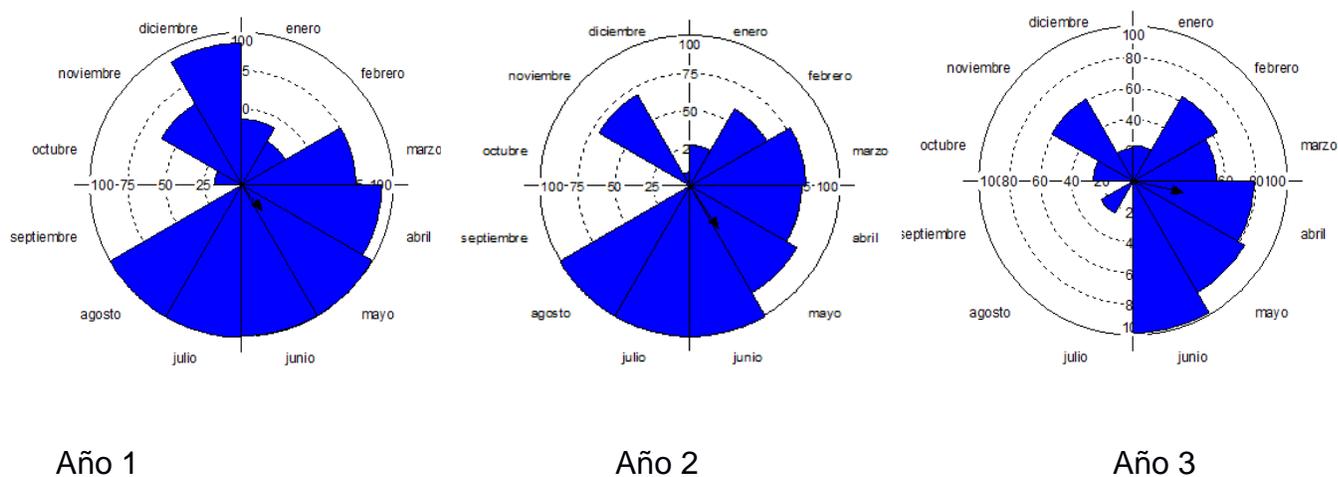
### **Hojas maduras V5:**

El registro de la fenofase V5 o de hojas maduras, aunque irregular, mostró una continuidad del evento en el período comprendido entre octubre-julio (año 1), noviembre-agosto (año 2) y octubre-agosto (año 3). Esta fenofase es caracterizada por el aumento en tamaño de la hoja, cambio de coloración y textura, demostrando un aspecto coriáceo y de coloración verde oscura.

El análisis de la fenofase entre los años evaluados demuestran una correlación negativa de la fenofase con temperaturas mínima ( $r_s = -0,34$   $p < 0,05$ ), temperatura máxima ( $r_s = -0,33$   $p < 0,05$ ), radiación ( $r_s = -0,45$   $p < 0,05$ ); y fotoperíodo ( $r_s = -0,36$   $p < 0,05$ ). Si se analizan las correlaciones dentro de cada año, para el año 1 se obtuvieron resultados

similares, correlaciones negativas para fotoperíodo ( $-0,59$   $p < 0,05$ ) y radiación ( $r_s = -0,86$   $p < 0,05$ ) al igual que el año 2 radiación ( $r_s = -0,58$   $p < 0,05$ ) y fotoperíodo ( $r_s = -0,68$   $p < 0,05$ ).

Para el año 3 no se encontraron correlaciones (Tabla 4; 6; 8 y 10).



**Fig. 16:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofase V5 o de hojas maduras de *Ilex paraguariensis* para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

Esto refleja la importancia de la luz, en términos de radiación, fotoperíodo y temperatura mínima y máxima en el desarrollo de las plantas. Rakocevic (2003) y Rachwal et al. (2000), evaluando plantas de yerba mate de 3 años de edad, a diferentes luminosidades, encontraron que los mayores coeficientes de correlación fueron encontrados entre la materia seca y la radiación. Por otro lado algunos autores mencionan la importancia de las fluctuaciones de la temperatura sobre la tasa de fotosíntesis y producción de materia seca por planta. En la yerba mate, como planta C3, las temperaturas más altas ejercen un efecto adverso en la fotosíntesis, que constituye quizás el componente fisiológico más determinante de la productividad de la especie (Zbigniew Mazuchowski, 2004). Varios autores mencionan el papel regulador de la temperatura que actúa sobre las reacciones enzimáticas que directa o indirectamente

intervienen en los procesos de desarrollo (Baker et al., 2001; Bonhomme, 2000; Normand y Léchaudel, 2006; Pulido, 2008). Las correlaciones negativas con radiación y temperaturas máximas podrían ser explicadas en parte por lo que obtuvieron estos autores.

Rachwal et al. (2000) en un estudio realizado para verificar la influencia de la luminosidad sobre los tenores de macronutrientes y taninos en hojas de yerba mate, formulan la hipótesis que en ambientes más sombreados, la yerba mate tiene actividad metabólica más constante, presentando menores variaciones en los contenidos de N, entre las estaciones del año. Esto podría explicar en parte las correlaciones encontradas con radiación para la fenofase V5 o de hojas maduras, ya que para las condiciones de altas densidades, las hojas dependen más de fotosíntesis actual que de removilización de nutrientes ya que lograrían mantener una actividad metabólica más constante a lo largo de las estaciones. Asimismo Rakocevic et al. (2002), estudiando las respuestas fotomorfogénicas de plantas jóvenes de yerba mate, mostraron que estas tienen una respuesta de "shade – avoiding" o gradiente de sombra, estrategia del aumento del área foliar individual. Las plantas tolerantes a la sombra tienen menor plasticidad de respuestas que las plantas que evitan la sombra ("shade avoiders") (Sack y Grubb, 2002) y logran mantener la estructura de la planta, con funciones reducidas (fotosíntesis, respiración).

El tiempo térmico requerido para el inicio de la fenofase fue de 938,31; 641,49 y 842 gd para el primero, segundo y tercer ritmo correspondientemente. Es importante destacar que esta fenofase depende de la latencia de yemas axilares. Esta fenofase cobra una gran relevancia, debido principalmente a las diferencias encontradas de peso de la hoja. Los productores podrían determinar la fecha de cosecha en base a la observación y registro fenológico de sus plantaciones. Si lo traducimos a grados días, la determinación del valor del cálculo de los GD para un cultivo radica en que una vez que

se determinan estos valores, la tasa y duración de un proceso o fase fenológica en un rango de temperatura determinado se podrían calcular fácilmente (Trudgill et al., 2005).

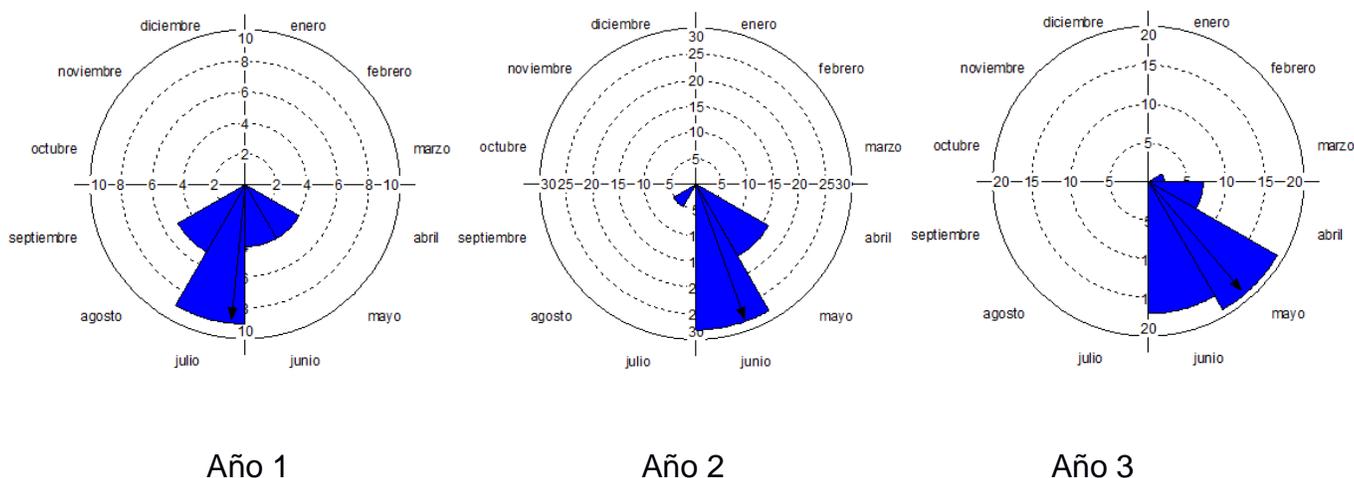
### **Senescencia natural parcial (SNP)**

La senescencia foliar se inició en el mes de mayo hasta fines de junio para los dos primeros años evaluados. El tercer año, a diferencia de los dos primeros, la abscisión de hojas comenzó en marzo, finalizando en junio.

El mes de mayor intensidad de frecuencia fue registrado para el mes de junio para el año 2 (28%). Esta senescencia que comienza en mayo y finaliza en junio, es considerada una estrategia de la planta para su desarrollo, puesto que en este período existen una disminución en la duración del día y también en la disponibilidad de agua de la planta. Larcher (2003) menciona que la interacción de estos dos factores, duración del día y precipitación, compromete la asimilación por parte de la clorofila, disminuyendo la capacidad fotosintética de la planta, induciendo la senescencia.

Es importante considerar que para la localidad estudiada, el otoño y el invierno son los períodos más secos del año. Borchert et al. (2002) explican que la pérdida de hojas en un período seco es una estrategia de economía hídrica de la planta, que se deshace de sus hojas en un período de baja humedad relativa del aire, que favorece la abscisión foliar. Sin embargo, en este trabajo los mayores valores de intensidad de caída de hoja correspondieron a la campaña 2016-2017, caracterizado por un aumento en la precipitación del mes de mayo con 479,3 mm en comparación con los 42 mm registrados para el mismo mes durante la campaña 2015-2016 y 116 mm, para el periodo 2017-2018. La reducción importante de rendimiento por caída de hojas que han tenido los productores yerbateros en el año 2017, ha sido una de los motivos, por lo que muchos de ellos decidieron no cosechar. Esto fue reflejado por las estadísticas del INYM, ya que en el periodo enero – mayo del 2016 habían ingresado a secaderos 326.425.253 Kg de hoja

verde, mientras que durante la zafra siguiente (2016-2017) los ingresos de hoja verde en el mismo periodo totalizaron 260.386.687 Kg (INYM 2017).



**Fig. 17:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofase SNP o de senescencia natural parcial de *Ilex paraguariensis* para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

El hecho de que la caída de hoja se dió en la misma época permite verificar que se trata de una fase fenofisiológica. Es decir, si bien es una muerte programada por la planta, hay factores extrínsecos que inducen la caída de hoja. En años de mayores precipitaciones es sabido que propicia la aparición de enfermedades foliares (Braun et al. 2012, Rybak et al., 2014) y probablemente un aumento en la caída de hojas. Esto podría explicar la razón por lo cual durante las campañas de aumento de precipitaciones durante la estación de invierno, se registraran las mayores intensidades de caída de hoja. Así para la campaña 2016-2017, con 754 mm de precipitación, las intensidades de caída de hoja llegaron hasta un 28%, y para la campaña 2015-2016 los mayores valores no superaron el 9%.

Los resultados de correlación muestran una marcada dependencia de la fenofase a las características ambientales evaluadas. Los análisis de correlación de Spearman

para los 3 años evaluados, muestran una correlación negativa para la variable radiación, (-0,60), temperatura media (-0,56), temperatura máxima (-0,5), temperatura mínima (-0,48), precipitación (-0,31), fotoperíodo (-0,56) y una correlación positiva con la variable humedad relativa (0,43). Cuando se analizan cada uno de los años por separado, las correlaciones mostraron las mismas tendencias, temperatura media ( $r_s = -0,69$  año 1;  $-0,74$  año2), temperatura mínima ( $r_s = -0,6$  año1), radiación ( $r_s = -0,84$  año1), precipitación ( $r_s = -0,6$  año1), fotoperíodo ( $r_s = -0,83$  año1;  $-0,59$  año2), y para el año 3 una correlación positiva con la variable humedad relativa ( $r_s = 0,73$ ) (Tabla 6;8 y10).

Estos resultados podrían ser explicados por el hecho que la yerba depende más de fotosíntesis actual que de la translocación de nutrientes de reserva. (Moretti et al. 2008). Estudios realizados sobre especies del bosque de llanura costera de Picinguaba (Brasil) presentan un aumento de la caída foliar en el período de menor humedad, fotoperíodo y temperatura (Koptur et al., 1988).

Es importante considerar que en este trabajo se marcaron con etiquetas plásticas las hojas que se encontraban en el tercio medio de la planta las que permanecen sombreadas. Estudios realizados por Espíndola, (2004), sobre el efecto de diferentes condiciones de luz y concentración de nitrógeno sobre la estructura foliar de yerba mate encontraron que las hojas de plantas con mayor sombreadamiento (70%), contenían un espesor menor de parénquima en empalizada de aquellas que se encontraban con un 19% de sombreadamiento, esto podría indicar que tienen menor capacidad de realizar fotosíntesis. Kolzowski y Pallardy (1997), indican en otras especies, que las hojas de ambientes sombríos presentan menor concentración de clorofila por unidad de área.

Morellato et al. (1989) y Reich (1995) encontraron que la caída de la hoja en los bosques estacionales está directamente relacionado con el estrés hídrico y la ocurrencia de una estación seca, período en el cual ocurre la caída máxima de la hoja. Sin embargo,

Wright y Cornejo (1990) no encontraron ninguna correlación entre el suministro de agua y la caída de hojas en un bosque tropical húmedo de Panamá.

Si bien en este trabajo no se estudiaron los nutrientes del suelo, Verón (1995) menciona que altos contenidos de aluminio provocan la mayor intensidad de caída de hojas en los yerbales, probablemente debido a la acidez provocada por las formas de aluminio libre, que influye en el crecimiento radicular y absorción de fósforo.

Es importante considerar por lo tanto otras variables que podrían estar asociadas a la senescencia de hojas, en años extremadamente húmedos, se debería tener en cuenta el daño causado por agentes patógenos.

## FENOFASES REPRODUCTIVAS

Los patrones de producción de flores, frutas y hojas en bosques estacionales se han correlacionado con la variación anual en lluvia y temperatura, y con la presencia de una estación seca en la que la precipitación es usualmente <60 mm (Janzen, 1967; Frankie et al. 1974; Sarmiento y Monasterio 1976; Alencar et al. 1979; Morellato et al. 1989).

La planta de yerba mate, como árbol diclino dioico, presenta flores unisexuales formando una inflorescencia denominada fascículo corimboide en ramas de la última brotación o en ramas más antiguas en las axilas de nomófilos. La floración de la yerba mate se produce en la primavera entre los meses de octubre a noviembre, e incluso hay autores que mencionan que produce flores hasta diciembre (Medina y Burgos 2017; Muello, 1946).

El estudio de las fases reproductivas, ha contribuido para el entendimiento de los aspectos productivos de semillas y frutos, la dinámica de las comunidades, las interacciones planta-animal y la evolución de la historia de vida de los animales que

dependen de las plantas para su alimentación (Talora y Morellato, 2000; Vílchez y Rocha, 2004).

En el período estudiado, las fenofases denominadas botón floral (F1), flor abierta (F2), fruto verde (Fv) y fruto maduro (Fm), fueron observadas en diferentes momentos del año. Es importante destacar, que si bien se obtuvieron correlaciones con las variables evaluadas, durante los años 2 y 3, las condiciones de la planta, tipo de corte, influyeron de manera considerablemente sobre las intensidades encontradas.

### **Botón floral (F1)**

Para el año 1 y 2 el inicio de esta fenofase reproductiva la fase comenzó en el mes de septiembre, a diferencia del año 3 que se manifestó en agosto. Las mayores intensidades se encontraron en octubre (año1), y septiembre (año 2 y 3). La duración de la fenofase tuvo una variación de 1 a 2 meses, desde la primera quincena de agosto hasta fines de octubre. Estudios similares fueron obtenidos por Sousa et al. (2003), quienes indican que el inicio de botón floral en plantas masculinas se encuentra en los primeros días de septiembre, extendiéndose hasta la última semana de octubre, y hasta noviembre en plantas femeninas.

Es importante mencionar que, tanto en plantas masculinas como femeninas, se encontraron flores en ramas terminales jóvenes, incluso durante el otoño que, por el método de observación, no fueron consideradas en el análisis. Giberti (1994), menciona que pueden observarse a veces flores solitarias en axilas de brácteas dispuestas en la base de ramitas jóvenes.

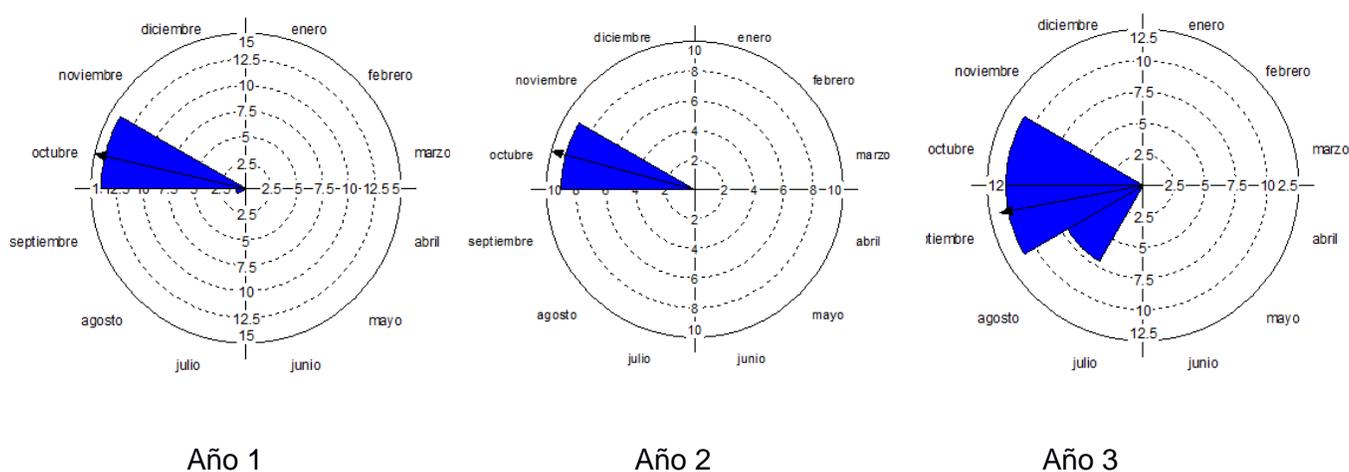
Los resultados de correlación muestran una marcada dependencia de la fenofase a las características ambientales evaluadas. Cuando se analizan los 3 años, los resultados mostraron una correlación positivas para radiación ( $r_s=0,55$   $p<0,05$ ) y negativa para la variable humedad relativa ( $r_s=-0,43$   $p <0,05$ ). Cuando se analizan las



temperatura y duración del día. La influencia de la duración del día en el árbol ha sido sugerida por varios autores (Njoku, 1963; Wright y Van Schaik, 1994). Durante el período de estudio la fenofase botón floral mostró una dependencia de la radiación en el año 2 y cuando se analizan los 3 años evaluados.

### Flor abierta (F2)

El período de observación la fenofase flor abierta, tuvo una duración de 20 días, año 1, 10 días año 2 y 68 días para el año 3, desde mediados de Septiembre hasta principios de Noviembre. Estudios de fenología reproductiva en yerba mate realizados en Brasil (Sousa et al., 2003) observaron que floración ocurre desde mediados de octubre hasta los primeros días de noviembre. Es importante destacar que las intensidades encontradas tuvieron variaciones del 1% al 11 % en los tres años evaluados. Las mayores intensidades se registraron en Octubre, (año 1 y 2), y Septiembre-Octubre (año 3), esto coincide con los resultados obtenidos por otros autores sobre la floración de la yerba mate (Reitz et al., 1988; Sousa et al., 2003).



**Fig.19:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofase F2 o de flor abierta de *Ilex paraguariensis* para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

Es conocido que tanto la floración como fructificación de yerba mate, tiene una maduración despareja, y por lo tanto dentro de un racimo, se encontraron los estados de botón floral, flor abierta y en algunos casos hasta frutos verdes.

Dicha situación es planteada por Medina y Burgos (2017). Cuando se analizan las correlaciones de esta fenofase con las variables ambientales estudiadas, y para los tres años, esta muestra una correlación positiva con radiación ( $r_s = 0,33$ ), (Tabla 5). Muello (1946), observó que la yerba mate produce flores en la primavera, entre los meses de octubre a noviembre, e incluso hasta diciembre. Si bien durante el período de observación no se observaron correlaciones con las demás variables ambientales, es importante destacar que estudios realizados por Pires et al. (2014), observaron que la floración de esta especie fue registrada en los períodos de menor precipitación y de temperaturas medias por encima de los 25°C. Durante el período de estudio, la floración se produce después de un mes de precipitaciones muy por debajo de la media, septiembre 2015, 2016 (38 mm, 17 mm) julio 2016 (0 mm). Asimismo, estos autores indican que cerca del 28% de las plantas no completan el ciclo reproductivo. Trabajos en el bosque tropical de Tenosique, México, sobre un total de 30 familias, integrando 66 géneros y 75 especies, los autores no encontraron ninguna relación significativa entre el número de especies floreciendo o fructificando con la cantidad de lluvia mensual (Ochoa et al., 2000).

En plantaciones de café la precipitación provocaron un efecto significativo en la floración, producción y en la época de maduración del grano (Alvarado y Rojas 2007). Asimismo, Carvajal (1984) considera que la iniciación de flores en café necesita de una buena distribución de la lluvia a lo largo del año y la existencia de un período seco que dure de tres a cuatro meses.

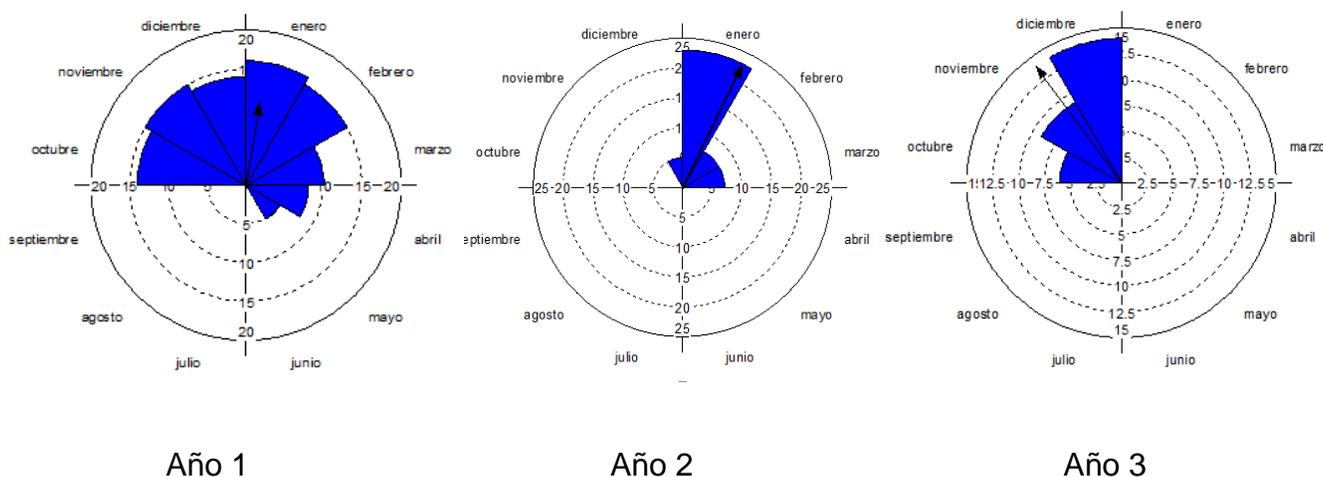
### **Fruto Verde (Fv)**

Durante el proceso de maduración del fruto, su coloración va cambiando, variando del

verde, variegado, rojizo, y finalmente a un color violáceo a negro cuando maduro (Medina y Burgos, 2017). En este estudio se consideró los estados de fruto verde y fruto maduro.

El pericarpio del fruto de yerba mate está constituido por una epidermis de cutícula espesa y un parénquima de relleno no especializado. Según Ives (1923), la parte más externa del fruto está formada por una epidermis cutinizada, una serie de células con pigmento antocianínicos, células esclerenquimáticas y parénquima. Sus frutos son un nuculanio (Giberti 1979), presentando una media de 4 semillas por fruto (Backes y Irland, 2002).

Durante el período de observación, los primeros frutos en aparecer y para el año 1 y 3, fue en el mes de octubre. Esto coincide con observaciones realizadas por Sousa et al. (2003) quienes obtuvieron registro a partir de fines de octubre. Sin embargo, el año 2 el inicio de la fenofase se registró en enero, con un 23% de intensidad.



**Fig. 20:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofase Fv o de fruto verde de *Ilex paraguariensis* para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

Es importante destacar que el año 1 (2015-2016) tuvo la mayor duración cronológica, 141 días, a diferencia de los 33 y 101 días encontrados en el año 2 y 3, respectivamente. Esto podría deberse al tipo de corte, ya que para el año 1 el tipo de

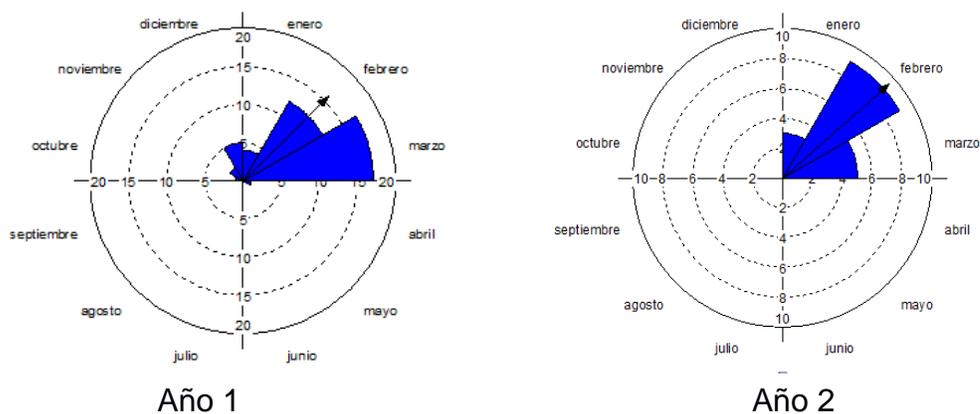
corte permitió conservar las ramas (banderas), contrario a la sucedido en los años posteriores donde la planta no conservó ninguna rama bandera.

El análisis de correlación mostró una marcada dependencia de la fenofase con las variables evaluadas. Las correlaciones para los tres años evaluados muestran correlaciones positivas para temperatura mínima (0,48), temperatura media (0,57), temperatura máxima (0,44), radiación (0,45) y fotoperíodo (0,66). (Tabla 5). Cuando se analizaron los tres años por separado, se encuentran correlación positiva para la variable temperatura mínima (0,92, año 1, 0,51 año2), temperatura media (0,84 año 1; 0,79 año2), temperatura máxima (0,55 año 2), radiación (0,73 año 1; 0,75 año2), precipitación (0,61 año1) y fotoperíodo (0,92 año 1; 0,76 año 2). (Tabla 7 y 9)

### **Fruto maduro (Fm)**

Algunos autores datan la maduración de los frutos de enero a marzo, otros de febrero a abril y algunos lo extienden hasta junio, variando con la latitud, clima y otros factores que alteran el desarrollo de los mismos. (Muello, 1946; Prat Kricun, 1993; Pires et al., 2014).

Con los datos de intensidades de ocurrencia mensual de la fenofase Fm, se graficaron los histogramas circulares para el año 1 y 2 (Fig. 21). Durante el año tres no se lograron observar frutos maduros, probablemente por el tipo de corte asociado a las condiciones ambientales. En la Figura 21 se observa que la maduración de fruto comienza a partir del mes de Febrero, finalizando a mediados de abril (año1) y marzo (año 2). Según Zanon (1988), la fructificación de la yerba mate es heterogénea, habiendo gran variabilidad entre las poblaciones, pues la cantidad de frutos depende de la nutrición del fruto.



**Fig.21:** Histogramas circulares de frecuencia mensual para la fenofase Fm o de fruto maduro de *Ilex paraguariensis* para el año 1 (2015-2016), año 2 (2016-2017) y año 3 (2017-2018).

Observaciones fenológicas realizadas en Brasil en la especie *Ilex affinis* por Keller, y Giberti (2011), encontraron la presencia de flores desde octubre a abril, excepcionalmente en junio. La fructificación para la misma especie se da en noviembre y los frutos maduros desde enero hasta junio. En la Argentina, en enero y febrero fueron halladas plantas portando en simultáneo botones, flores, frutos inmaduros y frutos maduros. Esta especie es conocida en Paraguay como: “ka’a chiri” ó “ka’a chivi” (yerba purgante); “ka’a rä” (similar a la yerba), “congonha de campo”, “congonha de Goyaz”, “mate bastardo”. En Argentina, los guaraníes de la parcialidad guaraní mbya la llaman “ka’a mirí” (pequeña yerba).

La fenofase evaluada muestra una correlación positiva con temperatura media ( $r_s=0,47$   $p<0,05$ ), temperatura mínima ( $r_s=0,36$   $p<0,05$ ), temperatura máxima ( $r_s=0,4$   $p<0,05$ ) y fotoperíodo ( $r_s=0,48$   $p<0,05$ ). Cuando se analizan los años por separado, los resultados muestran una correlación positiva para la variable temperatura media ( $r_s=0,75$ , año 1;  $r_s=0,67$  año 2), temperatura mínima ( $r_s=0,92$   $p<0,05$ , año 1), temperatura máxima ( $r_s=0,62$   $p<0,05$ , año 2), precipitación ( $r_s=0,63$   $p<0,05$ , año 1), fotoperíodo ( $r_s=0,85$  año 1;  $r_s=$

0,76 año2) y una correlación negativa con agua gravimétrica para el año 1 ( $r_s = -0,72$   $p < 0,05$ ). (Tabla 5; 7; 9 y 11). Estudios similares realizados en otras especies indican que el fotoperíodo muestra una alta correlación con las fenofases reproductivas (Morellato et al., 2000).

Si consideramos el período de inicio de floración hasta maduración de fruto, la duración aproximada fue de 230 días iniciando en septiembre y finalizando en mayo. Esto coincide con los resultados de Pires et al. (2014), quienes obtuvieron resultados similares, desde botón floral hasta maduración de frutos comprendido entre los meses de septiembre a mayo, con las mayores intensidades de botón floral en el mes de octubre (78% de intensidad).

Es importante mencionar, que durante el año 2 se dio un marcado período de exceso hídrico que no estuvo presente en el año 1 y 3 de este trabajo.

La observación de 22 plantas de yerba mate durante el período evaluado mostró una diferencia en el comportamiento individual. Guedona et al. (2018) estudiando unidades de crecimiento, obtuvieron resultados similares destacando la variabilidad en los patrones de crecimiento. Esto podría estar relacionado a lo que mencionan Prat Kricun (1994) en su trabajo sobre rendimiento individual por planta, concluyendo que menos del 35% de las plantas aportan más de 50% de la cosecha. Los resultados de estos autores

Encontrar una metodología que permita describir los eventos fenológicos de la yerba mate que se suceden a lo largo del año, dentro de un sistema productivo, cobra una relevancia por diferentes motivos. Para técnicos y productores contar con una base sobre el comportamiento de la planta permitiría mejorar las decisiones técnicas, determinar los momentos de las labores culturales, como poda, manejo de enfermedades, plagas y fertilización. También es importante destacar que la producción de la planta, es decir la extracción de hojas y ramitas finas, dependen muchas familias y toda la cadena industrial que conlleva a la elaboración de yerba mate.

Es necesario considerar que estudios fenológicos de corta duración pueden provocar conclusiones equivocadas sobre los factores que inducen al comportamiento fenológico de la especie. Por tal motivo, son necesarias más observaciones para establecer correlaciones más concluyentes, estudios complementarios que permitan establecer los factores intrínsecos (probablemente equilibrios o desequilibrios hormonales).

Este trabajo permitió la obtención de datos relevantes para el desarrollo de un modelo predictivo de producción de hoja verde, que puede basarse en las correlaciones que se han obtenido.

Establecer la ocurrencia de las fenofases vegetativas y reproductivas de la yerba mate, sus intensidades a lo largo del año a través de un método de registro fitofenológico y sus relaciones con las variables ambientales, permitiría simular el comportamiento de la planta mediante la manipulación *in silico* de datos.

Si bien es importante destacar las limitaciones de este estudio (tiempo de observación y excesiva variabilidad climática), las correlaciones con las variables ambientales y la descripción fenológica de la planta de yerba mate son el puntapié inicial para desarrollar un modelo predictivo de producción de hoja verde, al ser esta el componente de rendimiento de la especie.

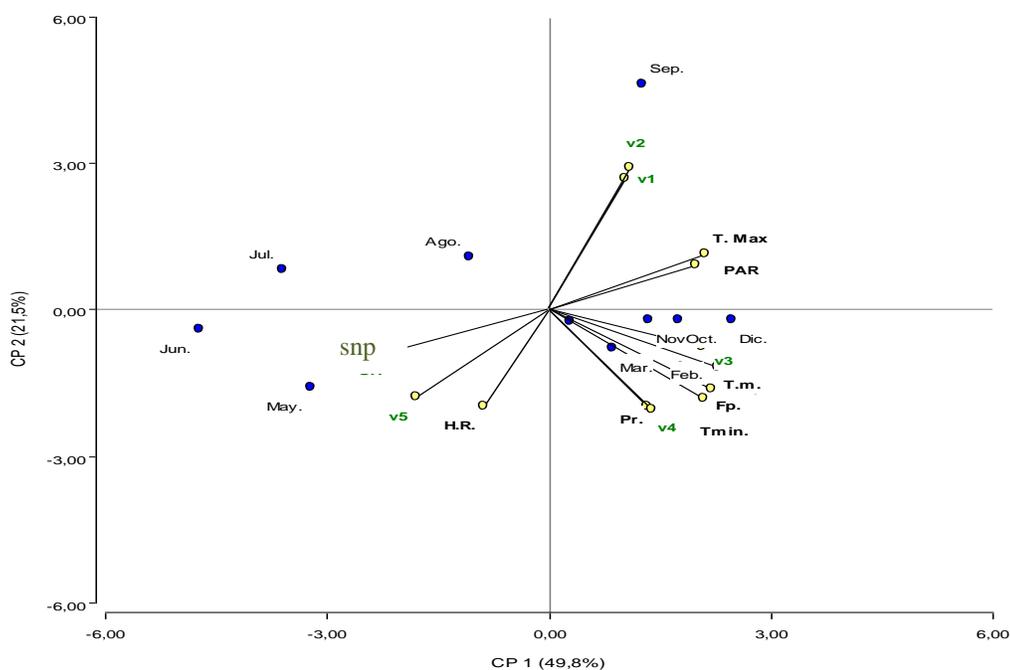
Por otro lado es importante destacar que se ha podido establecer mediante este estudio una metodología sólida para el estudio de la fenología de la yerba mate, la cual debe ser ajustada a períodos de observación más frecuentes y durante mayor cantidad de años para reducir la variabilidad encontrada.

## ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Dado que una de las propiedades del análisis de componentes principales (ACP) es mostrar el sentido de relación entre las variables y el grado de asociación entre ellas,

en la Fig. 22 y 23, se representa cada una de las fenofases vegetativas (V1, V2, V3, V4, V5 y SNP) y reproductivas (F1, F2, Fv, Fm) y su grado de asociación con las variables ambientales, temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media, radiación PAR media, fotoperíodo, humedad relativa y precipitación.

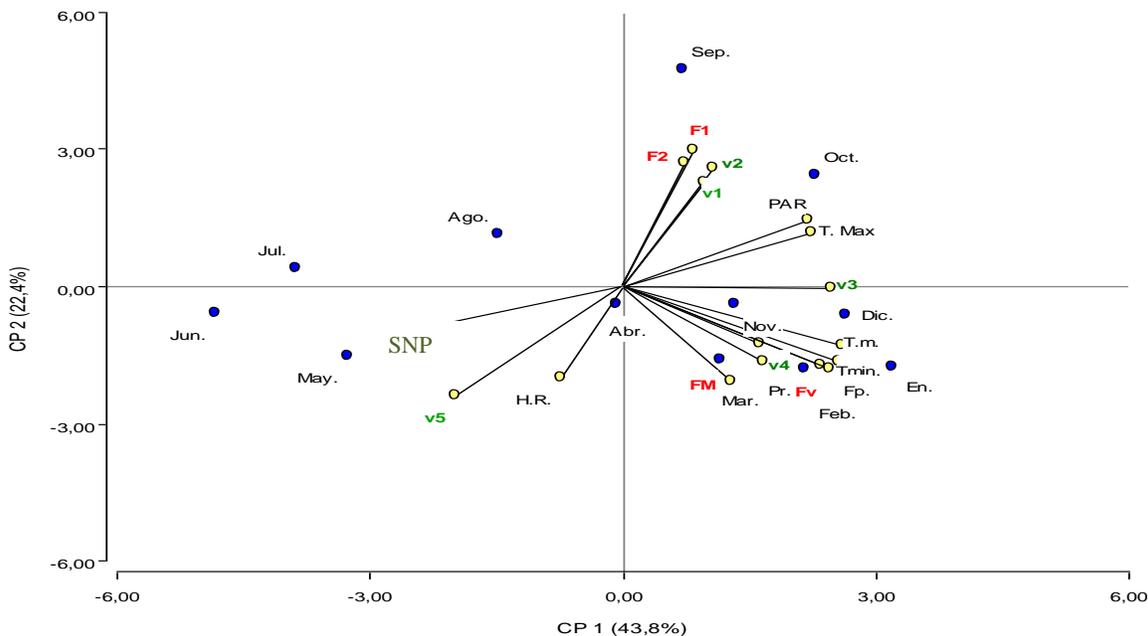
En el ACP de las fenofases vegetativas, con las dos primeras componentes se logra explicar el 70,8% de la variabilidad. Las variables que más aportan a la componente 1 son: temperatura media, fotoperíodo, senescencia natural parcial, temperatura máxima, hojas pegadas por el ápice, temperatura mínima y radiación PAR. En la componente 2 son: hinchazón de yemas (V1), hojas incipientes (V2), hojas desplegadas (V5) y humedad relativa (Hr). (Tabla 12)



**Fig. 22:** Análisis de Componentes Principales, para las fenofases vegetativas, (V1, V2, V3, V4, V5, y SNP), y variables ambientales (temperatura media, t. mínima, t. máxima, radiación PAR, humedad relativa, precipitación y fotoperíodo). Pr (precipitación), T.m. (temperatura media), T. min (temperatura mínima), T. Max. (Temperatura máxima), HR (humedad relativa), PAR (radiación PAR) y Fp (fotoperíodo).

La Fig. 22 muestra una dependencia del estado hojas pegadas por el ápice (V3) y hojas desplegadas (V4) con la variable fotoperíodo, temperatura media, temperatura mínima, precipitación y radiación PAR media. A su vez los meses que están asociados a estas relaciones, son, octubre, noviembre, diciembre, enero (en menor medida), febrero y marzo. Los estados de senescencia natural parcial (SNP) y hojas maduras (V5), están asociados a la variable humedad relativa y a los meses de mayo y junio.

Cuando en el mismo análisis se incluyen además de las fenofases vegetativas, las fenofases reproductivas, las dos primeras componentes sólo explican el 65 % de la variabilidad. Las variables que más aportan a la componente 1 son: temperatura media, fotoperíodo, hojas pegadas por el ápice (V3), temperatura mínima, fruto verde (Fv) y senescencia natural parcial (SNP). En la componente 2 son: botón floral (F1), flor abierta (F2), y hojas incipientes (V2).



**Fig. 23:** análisis de componentes principales, para las fenofases vegetativas, (V1, V2, V3, V4, V5, y SNP), y reproductivas (F1, F2, Fv, Fm) y variables ambientales (temperatura media, t. mínima, t. máxima, radiación PAR, humedad relativa, precipitación y fotoperíodo). Pr (precipitación), T.m. (temperatura media), T.min (temperatura mínima), T.Max. (temperatura máxima), HR (humedad relativa), PAR (radiación PAR) y Fp (fotoperíodo).

La Fig. 23, muestra la relación de las fases reproductivas, Fm y Fv, con las variables precipitación (pr), fotoperíodo (fp) y temperatura media (tm), asociadas a los meses de febrero y marzo, F1 y F2 están asociadas a los meses de septiembre, octubre, y a la variable radiación PAR y temperatura máxima. En la componente 1 la que más aporta es el estado hojas pegadas por el ápice (V3), senescencia natural parcial (SNP), fruto verde (Fv), temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima, radiación PAR y fotoperíodo. En la componente 2, botón floral (F1), flor abierta (F2) y hojas incipientes (V2) y hojas maduras (V5).

La respuesta de la planta en los análisis de componente presentados, muestra una clara dependencia de las fenofases a las variables ambientales y a su vez los meses donde se presentan. A excepción del agua gravimétrica, la mayoría de las variables evaluadas muestra un grado de asociación con cada una de las fenofases.

El Análisis de Componentes Principales, tanto cuando se analizan sólo las fenofases vegetativas, como reproductivas y vegetativas en el mismo análisis no logran explicar más del 70,8% de la variabilidad. Esto sugiere que se podrían seguir estudiando otras variables que podrían incluirse en el análisis, como la influencia de factores bióticos, variabilidad genética, manejo, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, M; Rojas, G. 2007. El cultivo y beneficiado del Café. Universidad Estatal a Distancia, San José, C.R. 184 p.
- Alencar, J. C., y N. P. Fernández. 1979. Fenología de especies florestais em floresta tropical úmida de terra na Amazonia Central. *Acta Amaz.* 9 (1): 63-97.
- Backes, P. y Irgang, B. 2002. Árvores do Sul: guia de identificação e interesse ecológico. 1.ed. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz. 320 p.
- Baker, J.T., D.I. Leskovar, Reddy, V.R. and Dainello, F.J. 2001. A simple phenological model of muskmelon development. *Annals of Botany* 87 (5): 615-621.
- Bárbaro Sebastián y Sosa A. 2011. Caracterización de las constantes hídricas de suelos bajo cultivo de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil. 1822). Congreso Sudamericano de la Yerba Mate. Libro de Actas.
- Braun U., Rybak M., Rybak R. and Cabrera MG. 2012. Foliar diseases on tea and maté in Argentina caused by *Pseudocercospora* species. *Plant Pathology & quarantine. Journal of Fungal Biology.* 2 (2): 103-110.
- Bonhomme, R. 2000. Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy*, 13:1-10.
- Borchert, R.1994. Water status and development of tropical trees during seasonal drought. *Trees*, 8: 115 – 125.
- Borchert, R.; Rivera, G.; Hagnauer, W. 2002. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. *Biotropica*, 34: 27 - 39.
- Carvajal, J.F. 1984. Cafeto: cultivo de la Potasa. Instituto Internacional de la Potasa, Berna CH. 2 ed. p. 254.
- Caffarra, A., Donnelly, A., Chuine, I., Jones, M.B., 2011. Modelling the timing of *Betula pubescens* budburst. I. Temperature and photoperiod: a conceptual model. *Clim. Res.* 46 (2): 147–157.
- Duval, V. S. y Campo, A. M. 2002. Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (*Prosopis caldenia*), Argentina. *Revista Colombiana de Geografía.* 26 (1):37-49. doi: org/10.15446/rcdg.v26n1.42372.
- Frankie, G.W, Baker, H.G. & Opler, P.A. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 62: 881-913.

- Guédon Y., Costes E. y Rakocevik M. 2018. Modulation of the yerba-mate metamer production phenology by the cultivation system and the climatic factors. *Ecology Modelling*. 384: 188-197. Doi: [org/10.1016/j.ecolmodel.2018.06.020](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.06.020).
- Giberti, G.C. 1979. Las especies argentina del género *Ilex*. (Aquifoliaceae). *Darwiniana* 22 (1-3): 217-240.
- Giberti, G. C., 1994. Aquifoliaceae. En: Hunziker, A.T. (Ed.), *Flora fanerógama de Argentina Fascículo 1 (157)*, Museo Botánico, IMBIV, Córdoba, Argentina.
- Heide, O.M., Prestrud, A.K., 2005. Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. *Tree Physiol.* 25 (1): 109–114.
- INYM 2017. Datos estadísticos del Instituto Nacional de Yerba Mate. <https://www.inym.org.ar>. [Fecha de consulta 10/10/2017]
- Ives, S.A. 1923. Maduración y germinación de *Ilex opaca*. *Bot. Gaz.* 76: 61-77.
- Janzen, D. H. 1967. Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in central America. *Evolution* 21: 620-637.
- Espíndola J., 2004. Efecto de diferentes condiciones de luz y concentración de nitrógeno sobre la estructura foliar de *Ilex paraguariensis* St.Hill. Curitiba. Brasil. Departamento de botánica, Setor Ciências Biológicas. Universidade Federal do Paraná. 11 (2) : 295-300.
- Keller H. A. y Giberti. G. C. 2011. Primer registro para la flora argentina de *Ilex affinis* (Aquifoliaceae), sustituto de la “yerba mate”. *Boletín Argentino de Botánica*. 46 (1-2): 87-194.
- Koptur, S., W. A. Haber, G.W. Frankie, and H. G. Baker 1988. Phenological studies of shrub and treelet in tropical cloud forests of Costa Rica. *J. Trop. Ecol.* 4(4): 347-359.
- Kozłowski, T.T. y Pallardy, S.G. 1997. *Fisiología de las plantas leñosas*. San Diego: Prensa académica. 411 p.
- Kozłowski, T.T. and Kramer, P.J. (1979) *Physiology of Woody Plants*. 2nd Edition, Academic Press, New York. 811 p.
- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology*. 4ª ed. New York: Springer-Verlag, 506 p.
- Lieberman, D. 1982. Seasonality and phenology in a dry tropical forest in Ghana. *Journal of Ecology*. 70 (3): 791-806. doi: 10.2307/2260105.

- Mazuchowski, J.Z.; Maccari Junior, A., Silvia, E.T. 2002. Efeito de diferentes intensidades luminosas na de biomassa inicial de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.).En: Segundo Congreso SulAmericano de Erva Mate. p. 30-45.
- Medina, R.D. y Burgos A.M., 2017. Sistemática y morfología. De su identidad, sus aspectos externos y algunos más íntimos. En: Capellari, P.L., Yerba Mate. Reseña histórica y Estadística. Producción e Industrialización en el siglo XXI. Bs. As., CFI, p. 37-58.
- Montechiesi, R. 2008. Yerba Mate, cambios en la producción, no en la actividad. INYM Misiones, Argentina. 62 p.
- Morellato, L. P. C.; Rodrigues, R. R.; Leitao Filho, H. F.; Joly, C. A. 1989. Estudio comparativo da fenologia de espécies arbóreas de floresta de altitude e floresta mesófila semi-decídua na Serra do Japí, Jundiá, São Paulo. Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, 12: 85 – 98.
- Morellato, L. P. C.; Haddad, C. F. B. 2000. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. Biotropica, 32 (4): 786-792.
- Morellato et. al. 2000. Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study'. 32 (4): 811-823. doi: 10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x
- Moretti de Souza, Araujo María, et. al. 2008. Tenores de nutrientes foliares en plantas de yerba mate en función de la posición y orientación geográfica de la copa. Scientia Agraria, 9 (1): 49-58.
- Muello, A.C. 1946. Yerba Mate. Su cultivo y explotación. Enciclopedia Agropecuaria Argentina. 31. Edit. Sudamericana, Bs.As. 217 p.
- Njoku, E. 1963. Periodicidad estacional en el crecimiento y desarrollo de algunos árboles forestales en Nigeria. I. Observación sobre árboles maduros. J. Ecol. 51: p. 617-624.
- Normand, F. and Léchaudel, M. 2006. Toward a better interpretation and use of thermal time models. Acta Horticulturae 707:159-165.
- Ochoa Gaona, S, I. Pérez Hernández y H.J. de Jong. 2000. Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México.56: 657-673.doi: 10.15517/rbt.v56i2.5612
- Pires, E. Z., Stedille, L.I.B., Machado, S. Mantovani, A. y R. Lopez da Costa Bartoluzzi. 2014. Biología reproductiva de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) em remanescente de Floresta Ombrófi la Mista Altomontana. Revista de Ciencias Agroveterinarias. 3:171-180.

- Pintro, J. C.; Flores, F.E.V. 2003. Crecimiento e trocas de CO<sub>2</sub> de plantas de erva-mate cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade de agua no solo. *Scientia Agraria*, 2003. 4 (1-2): 35-40.
- Pulido, S.P. 2008. Desarrollo de un modelo fenológico de Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) var. Septentrionale. Tesis de maestría, Facultad de Agronomía. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 84.
- Prat Kricun, S. D. 1993. Yerba mate: técnicas actualizadas de cultivo. Cerro Azul, Publicación Miscelânea no 27. Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul - INTA. Misiones, 14 p.
- Prat Kricun, 1994. Evaluación de los rendimientos de siete clones y ocho progenies de Yerba Mate *Ilex paraguariensis* St.Hilaire, Informe Técnico 60 ISSN 0326-0135. 17 p.
- Rachwal, M.F.G.; Nietschek, K.; Radomski, M.I.; Curcio, G.R.; Dedecek, R.A. 2000. Influência da luminosidade sobre a produtividade da erva-mate aos quatro anos e quatro meses de idade sobre latossolo vermelho-amarelo distrófico em São Mateus do Sul - PR. EMBRAPA-CNPQ, Pesquisa em Andamento, 92: 1-3.
- Rakocevic, M. 2003. Caracterización de crecimiento del tallo de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivada en dos ambientes luminosos contrastantes. 4° Congreso Sudamericano de la Yerba Mate - 4° Reunión Técnica de la Yerba Mate; 2° Exposición de Agronegocios de la Yerba Mate. Posadas, Argentina.
- Rakocevic M.; Medrado M.J.S.; Takaki M. 2002. Aspectos fotomorfogénicos de plantas jóvenes de erva-mate. En: Tercer Congresso Sul-Americano da Erva-Mate, p.5-15.
- Rakocevic, M., Martim, S.F., 2011. Time series in analysis of yerba-mate biennial growth modified by environment. *Int. J. Biometeorol.* 55 (2): 161–171.
- Reich, P. B. y Borchert, R. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*, London, 72: 61 – 74.
- Reitz, R.; Klein, R.M.; Reis, A. 1988. Projeto madeira do Rio grande do Sul. Itají: Herbario Barbosa Rodriguez – HBR. p. 284-292.
- Rinne, P.L.H., Kaikuranta, P.M., van der Schoot, C., 2001. The shoot apical meristema restores its symplasmic organization during chilling-induced release from dormancy. *Plant J.* 26 (3): 249–264.
- Rybak M.A., Rybak R., Cabrera G. y Álvarez R., 2014. Enfermedades de yerba mate y té en Misiones y Norte de Corrientes. *Miscelânea* N° 66, p. 32.

- Sampsons, D.A.; Lee Allen, H. 1998. Light attenuation in a 14-year-old loblolly pine stand as influence By fertilization and irrigation. *Trees*.13 (2): 80-87.
- Sanchez P.A. 1981.Suelos del trópico. Características y manejo. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 660 p.
- Sansberro, P.A.; Mroginski, L.A.;Masciarelli, O.A.;Bottini, R. 2002. Shoot growth in *Ilex paraguariensis* plants grown under varying photosynthetically active radiation in affected through gibberellin levels. *Plant Growth Regulation* 38: 231-236.
- Sansberro P, Mroginski, L, Bottini, R. 2004. Abscisic acid promotes *Ilex paraguariensis* growth by alleviating diurnal water stress. *Plant Growth Regul.* 42: 105- 111.
- Sansberro, P. A., Mroginski, L. A. 2007. Dinámica del intercambio gaseoso foliar em plantas de yerba mate que soportan la sequía. Facultad de Ciencias Agrarias (UNNE), Instituto de Botánica del Nordeste. Recuperado de: [http://www.agr.unne.edu.ar/images/documentos/extension/Res2007/Biotecnologia/Biotecnol\\_08.pdf](http://www.agr.unne.edu.ar/images/documentos/extension/Res2007/Biotecnologia/Biotecnol_08.pdf). Fecha de consulta: 08-08-17
- Sack, L.; Grubb, P. J. 2002. The combined impact of deep shade and drought on the growth and biomass allocation of shade tolerant woody seedlings. *Oecologia*. 113: 175-185.
- Sarmiento, G.; Monasterio, M. 1983. Life forms and phenology. In: Bouliere, F. (Ed.). *Ecosystems of the world: tropical savannas*. Amsterdam: Elsevier, p. 79 – 108.
- Satur, C. A.1997. Relaciones entre las propiedades edáficas y diferentes niveles de rendimiento en yerbales del departamento de L.N. Alem y San Javier (Misiones). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Corrientes, Argentina. p. 17.
- Sousa, V.A.; Daros, T.L. y Sturion, J.L. 2003. Fenología reproductiva de erva-mate. (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). En: Congresso Florestal Estadual Do Rio Grande Do Sul, 9., 2003, Nova Prata, RS. Floresta: função social: anais. Nova Prata: Prefeitura Municipal, 2003. Embrapa. Recuperado de: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39837/1/fenologia.pdf>.
- Streck, N. A. et al. 2005. Estimating leaf appearance and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) *Ciência Rural*. 35 (6): 1448-1450.
- Talora, D. C.; Morellato, L. P. C. 2000. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo. 23 (1): 13-26.

- Trudgill, D.L., Honek, A., Li, D., and van Straalen, N.M. 2005. Thermal time - Concepts and utility. *Annals of Applied Biology*. 146:1-14.
- Veron, J.A. 1995. Determinación del contenido de aluminio en suelos con problemas de manchoneo en el cultivo de yerba mate en la localización de Andresito, Dto. General Belgrano Misiones. Trabajo final de graduación. F.C.A.UNNE. 85 p.
- Vílchez, B. y O. Rocha. 2004. Fenología y biología reproductiva del nazareno (*Peltogyne purpurea* Pittier). 56 (2): 657-673.
- Whatley, J.M.; Whatley, F.R. 1982. La luz y la vida de las plantas. Temas de Biología. Sao Pablo. EDUSP. 101 p.
- Weber J., Karczewska A., Drozd J., Licznar M., Licznar S., Jamroz E., Kocowicz A. 2006. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology and Biochemistry* Agricultural University of Wroclaw, Institute of Soil Science and Agricultural Environment Protection, Grunwaldzka 39 (6): 1294-1302. doi:.org/10.1016/j.soilbio.2006.12.005.
- Wild A. 1992. Relación suelo planta. Ed. Mundi Prensa. p. 35-40.
- Wright, S.J. y C.P. van Schaik. 1994. Light and the phenology of tropical trees. *Am. Nat.* 143: 192-199.
- Wright, S. J. y F. H. Cornejo. 1990. Seasonal drought and leaf fall in a tropical forest. *Ecology* 71: 1165-1175.
- Zanon, A. 1988. Produção de sementes de erva-mate. Curitiba: Embrapa-CNPQ. Embrapa-CNPQ. Circular Técnica, 16, 7 p.
- Zbigniew Mzuchowski, J. 2004. Influencia de níveis de sombreamento e de nitrogênio na produção de massa foliar da erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil. Tese de Maestría do Departamento de Solos e Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil. 94p.

## **CAPÍTULO IV**

---

Conclusión

## CONCLUSIÓN

El estudio de la descripción de las diferentes fases surge de la necesidad de contar con información básica que permita predecir el comportamiento de la planta a lo largo del año y su correlación con las variables ambientales estudiadas durante el período de 3 años de observación. La escasa información y descripción de los estados fenológicos de la planta de yerba mate ha motivado esta investigación siendo este un valioso soporte para determinar los fenómenos periódicos y su relación con las características atmosféricas. Por tal motivo este trabajo cobra real importancia ya que productores y técnicos podrán utilizarlo para tomar las decisiones que mejor se ajusten a su objetivo de producción. Los resultados de la utilización del método de observación de registro fitofenológico permitió identificar y describir diferentes fases, principalmente las vegetativas, hinchazón de yema (V1), hojas incipientes (V2), hojas pegadas por el ápice (V3), hojas desplegadas (V4), hojas maduras (V5) y senescencia natural parcial (SNP), es una valiosa contribución al sector yerbatero. Los estados fenológicos próximos, como el estado de hinchazón de yema y hojas incipientes, muestran un comportamiento similar ya que el inicio de ambas fenofases están muy cercas una de otras,. Cabe destacar que estas fenofases son las más susceptibles al ataque del psílido (*Gyropsylla spegazziniana*, Lizer & Trelles), por esta razón poder incorporar esta metodología de observación en los yerbales (adaptación semicuatitativa de Fournier) podría ayudar a técnicos y productores determinar el momento de aplicaciones fitosanitarias, determinar umbrales de daño económico, etc.

Si bien las plantas evaluadas son de cruzamiento controlado, se observaron diferencias en los momentos de aparición y intensidad de las fenofases vegetativas en los primeros ritmos (V1,V2,V3). Cabe destacar que en plantaciones de productores, la mayoría utiliza plantas provenientes de semillas, ya sea cosechada en su propia chacra o adquiridas a través de organismos estatales (INTA). Esto hace que la

metodología pueda tener un mayor alcance y utilidad en el campo del productor yerbatero.

Es necesario considerar que durante el periodo de observación, las intensidades en el primer ritmo de brotación cada 15 días, resulta difícil precisar con exactitud el inicio y el fin de cada fenofase, por lo que se debería continuar con nuevos estudios que comprendan la observación más frecuente de la planta. La evaluación fenológica de la especie muestra 3 o 4 ritmos de brotación a lo largo del período de estudio, coincidiendo con lo observado por otros autores (Rakocevic et al, 2018, Sansberro et al. 2002).

Los 20 individuos evaluados, fueron influenciados en mayor o menor grado por las variables ambientales presentadas en el estudio. Si bien los años fueron atípicos con respecto a la media histórica, se puede concluir que en años donde las precipitaciones son abundantes en la estación de otoño e invierno, podrían generar un aumento y anticipo senescencia parcial de hojas. Se observó que a partir del 2018, las fenofases reproductivas fueron influenciadas por el tipo de corte, obteniendo muy pocos frutos o en algunos años ausencia de fructificación.

Si bien el Análisis de Componentes Principales logró explicar el 70% de la variabilidad, las variables ambientales fotoperíodo, temperaturas, radiación y precipitación se destacan como los principales reguladores del crecimiento y desarrollo del cultivo. La variable que menor correlación presentó fue el agua gravimétrica (%).

La búsqueda de correlaciones entre las diferentes fenofases es un proceso complejo y requiere de más años para obtener conclusiones más fehacientes. Debe tenerse en cuenta además que estudios realizados a campo de fenología exige que al menos uno de los años evaluados el comportamiento estadístico del clima sea el representativo del comportamiento histórico de una serie de al menos 10 o más años. En consecuencia, debido a la extensión del trabajo, sumado a la creciente variabilidad climática que impone el cambio climático global, no ocurrió, por lo que se sugiere

seguir realizando observaciones. Es necesario recalcar que durante el período de estudio se suscitaron los fenómenos “el Niño” y “la Niña”. Estudios realizados de fenología en varias especies leñosas y un cafetal con sombra por Fournier y Di Stéfano (2004), encontraron importantes variaciones anuales de la fenología de las especies, en general asociadas con “el Niño” y “la Niña”. Sin embargo, los resultados son una aproximación y una base para obtener modelos de simulación de rendimiento, en el cual se podrían configurar en base a las correlaciones encontradas, sumadas a estudios de producción de biomasa. Aunque estas tendencias reflejan la sensibilidad de las diferentes fenofases a factores ambientales, hay que considerar los factores genéticos y evolutivos que también regulan el tiempo de las fenofases, y que los patrones que vemos en la naturaleza son, en gran parte, el resultado de la interacción entre el ambiente y los factores genéticos. Entendiendo estas interacciones es posible verificar si los cambios observados hasta ahora tienden a ser respuestas adaptativas. En relación a la adaptación de la especie, Alves da Silva et al. (2018), estudiando el impacto del cambio climático en la distribución geográfica de la yerba mate, mencionan que los factores ambientales como la temperatura en el trimestre más cálido y las precipitaciones en el mes más frío, son elementos ecológicos importantes en la determinación de la presencia de esta especie.

El seguimiento de la fenología de la especie a largo plazo podrían mejorar las interpretaciones que en este trabajo se plantean con carácter preliminar. Estos primeros aportes al estudio de la fenología comprenden un paso inicial para conocer la dinámica de la especie y, a largo plazo, contribuirá a generar modelos de simulación del cultivo.

La importancia de la determinación del valor del cálculo de la suma térmica para el cultivo radica en que una vez que se determinan estos valores, la tasa y duración de un proceso o fase fenológica en un rango de temperatura determinado se pueden calcular fácilmente (Trudgill et al., 2005). En función a los resultados obtenidos

en términos de tiempo térmico para las fenofases vegetativas, se concluye que se necesitan acumular para el primer ritmo, 951 (V1), 297 (V2), 980 (V3), 1073 (V4) y 938.31 (V5) GD, para el segundo ritmo, 441 (V1), 416 (V2), 197.67 (V3), 409 (V4) y 641 (V5) GD; para el tercer ritmo, 317 (V1), 540 (V2), 241 (V3), 197 (V4), 842 (V5) GD. Las fenofases hojas incipientes y hojas pegadas por el ápice presentaron un cuarto ritmo 766 (V2) y 317 (V3).

El registro del comportamiento fenológico proporciona una valiosa fuente documentada de los procesos biológicos en los seres vivos, además del entendimiento de la regeneración, de la organización temporal de los recursos dentro de la comunidad, interacción planta animal y de la evolución de los animales que dependen de las plantas para su alimentación como polinizadores y dispersores. (Schaik, 1986; Morellato et al., 2000). Con respecto a esto Pires et al. (2014) destacan el hecho de que la yerba mate es una especie dioica, polinizada por insectos del orden Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera y Diptera y juega un importante papel como fuente de alimento para las aves (Colussi y Prestes, 2011). Por medio de un análisis de series temporales puede determinarse que los factores que han ocasionado patrones o tendencias en el pasado y en el presente (comportamiento de la especie en esta región de estudio), continuarán haciéndolo más o menos en la misma tendencia. Si bien es necesario un mayor tiempo de evaluación para establecer tendencias, este estudio cobra importancia para establecer comportamientos anuales mediante el método de registro fenológico.

## PERSPECTIVAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

En la actualidad se ha tomado conciencia de la importancia de conocer y poder predecir los rendimientos de los cultivos. La mayoría de los software de simulación de cultivos utilizan como información básica el desarrollo de la especie y las correlaciones con las variables climáticas. Por otro lado, determinar la ocurrencia de los distintos eventos fenológicos en el cultivo de yerba mate facilitaría a productores y empresas en

la coordinación de las labores a realizar, tales como aplicaciones de pesticidas y fertilizantes, manejos culturales, poda y coordinar la cosecha de acuerdo al comportamiento de la especie. Es importante destacar que este estudio puede contribuir directa o indirectamente en el desarrollo y la comprensión de varias investigaciones y trabajos en el área yerbatera, que es fundamental para el conocimiento del ciclo de vida de la especie. Por lo tanto, hay varios aspectos derivados de esta tesis que podrían constituir líneas interesantes para continuar investigando. Entre ellos:

- 1- Desarrollar modelos de simulación de cultivo, utilizando las correlaciones de este trabajo y de futuras investigaciones.
- 2- Estudiar la fenología de la especie bajo condiciones controladas.
- 3- Analizar la aplicación de fertilizantes y su correlación con los diferentes estados de fenológicos.
- 4- Utilizar el método de registro fitofenológico para programas de mejoramiento genético.
- 5- Crear un proyecto regional de observaciones fenológicas por organismos responsables, que brinden información a productores.
- 6- Mejorar aspectos de manejo de cultivo, poda, cosecha, considerando cada una de las fenofases descritas.
- 7- Realizar estrategias de cosecha integradas en cada zona en particular, considerando el inicio y fin de cada ritmo de crecimiento.
- 8- Extender las variables ambientales que en esta tesis se presentan, para obtener otras correlaciones.
- 9- Integrar los patrones de partición de biomasa al desarrollo fenológico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alves Ferrer da Silva, M., Higuchi, P., & Silva, A. C. (2018). Impacto de mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica potencial de *Ilex paraguariensis*. *Rodriguésia*, 69 (4): 2069-2079. doi:10.1590/2175-7860201869437.
- Colussi J & Prestes NP. 2011. Frugivoría realizada por aves em *Myrciaria trunciflora* (Mart.) O. Berg. (Myrtaceae), *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) e *Ilex paraguariensis* St. Hil. no norte do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ornitologia* 19: 48-550.
- Fournier L. A., J. F. Di Stéfano. 2004. Variaciones climáticas entre 1988 y 2001, y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en ciudad de Colon de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28 (1): 101-120.
- Guédona Y., E. Costesb, M. Rakocevic, 2018. Modulation of the yerba-mate metamer production phenology by the cultivation system and the climatic factors. *Ecological Modelling*. Elsevier 384: 188-197.
- Pires EZ, Stedille LIB, Machado S, Mantovani A & Bortoluzzi RLC. 2014. Biología reprodutiva de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St. Hill.) em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista Altomontana. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 13: 171-180.
- Sansberro, P.A.; Mroginnski, L.A.; Masciarelli, O.A.; Bottini, R. 2002. Shoot growth in *ilex paraguariensis* plants grown under varying photosynthetically active radiation in affected through gibberellin levels. In: *Plant Growth Regulation* 38: 231-236.
- Schaik, C. P. 1986. Phenological changes in a Sumatran rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, 2: 327 - 347.
- Tixer, P., Malezieux, E., and Dorel, M. 2004. SIMBA-POP: A cohort population model for long-term simulation of banana crop harvest. *Ecological Modelling* 180: 407-417.
- Trudgill, D.L., Honek, A., Li, D., and van Straalen, N.M. 2005. Thermal time - Concepts and utility. *Annals of Applied Biology* 146: 1-14.

Anexos

Fig 23: Estados fenológicos vegetativos y reproductivos de la planta de yerba mate.



V1: hinchazón de yemas.



V2: hojas incipientes.



V3: hojas pegadas por el ápice



V4: Hojas desplegadas



V5: hojas maduras.



F1: botón floral.



F2: Flor abierta.



Fv: Fruto verde



Fm: Fruto maduro

Tabla 1: Datos de observación fenológica , frecuencia de intensidad mensual de plantas de *Ilex paraguariensis* y variables ambientales evaluadas 2015-2018.

	v1	v2	v3	v4	v5	Snp	F1	F2	Fv	FM	T. Media	T. Mínima	T. Maxima	Radiación	Precipitación	H.R. (%)	Fotoperíodo	Agua gravimétrica (%)
Agosto/15	0	0	0	3	100	5	0	0	0	0	20	7	34	138	69,8	80	10,7	26
Sep/15	42	59	13	0	0	0	30	1	0	0	18	1	39	190	38,2	79	11,4	30
Oct/15	2	13	31	48	18	0	19	14	14	1	20	14	28	202	93,8	85	12,3	24
Nov./15	13	2	7	44	61	0	0	0	15	2	22	16	28	181	324	87	13,1	24
Dic./15	4	1	24	11	93	0	0	0	14	5	24	20	28	184	388	90	13,6	23
En./16	1	0	63	24	43	0	0	0	16	4	27	20	30	219	155	82	13,7	22
Feb./16	2	1	42	49	33	0	0	0	15	12	26	21	29	202	12	90	13,3	21
Mar./16	17	14	32	23	75	0	0	0	10	17	21	16	27	160	281,6	90	12,6	21
Abr/16	14	6	20	11	92	0	0	0	8	1	22	9	28	140	100	93	11,8	24
May/16	0	0	15	19	99	4	0	0	5	1	14	9	19	110	42	96	11,0	24
Jun/16	0	0	1	24	99	4	0	0	0	0	11	5	20	126	0	92	10,4	24
Jul/16	0	0	0	0	100	9	0	0	0	0	15	5	23	99	5	91	10,3	22
Ag/16	0	0	0	3	100	5	0	0	0	0	17	11	28	138	97	80	10,7	21
Sep/16	59	64	1	0	0	0	5	0	0	0	17	10	27	190	17	79	11,4	22
Oct/16	0	5	100	1	0	0	72	9	0	0	20	14	28	202	246	85	12,3	23
Nov./16	15	2	17	34	70	0	6	0	0	0	22	15	27	239	148	81	13,1	22
Dic./16	0	27	63	14	9	0	5	0	5	0	24	22	26	234	217	80	13,6	20
En./17	0	0	60	48	27	0	0	0	23	3	26	13	37	130	215	sd	13,71	23
Feb./17	10	10	24	39	59	0	0	0	7	9	27	24	30	120	119	92	13,28	24
Mar./17	16	19	26	2	77	0	0	0	7	5	23	17	29	94	263,8	93	12,61	24
Abr/17	14	0	0	50	74	0	0	0	0	0	23	20	32	125	509,2	45	11,75	20

May/17	7	0	0	38	82	16	0	0	0	0	16	13	23	35	479,3	95	10,97	30
Jun/17	0	1	1	19	100	28	0	0	0	0	16	7	23	118	12,8	89	10,39	23
Jul/17	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	18	5	24	121	0	76	10,28	20
Ag/17	18	26	39	3	24	0	12	7	0	0	18	11	27	143	262	84	10,7	19
Sep/17	15	2	64	36	1	0	13	11	0	0	21	15	27	145	82,2	88	11,4	23
Oct/17	16	10	30	47	26	0	5	11	6	0	20	15	28	178	301,8	90	12,3	26
Nov./17	26	14	17	10	61	0	0	0	9	0	21	16	26	219	256	81	13,1	26
Dic./17	22	29	44	2	21	0	0	0	14	0	25	21	29	180	101,4	85	13,6	20
En./18	14	0	20	30	23	0	0	0	0	0	25	22	28	122	381,4	89	13,7	24
Feb./18	12	25	75	13	63	0	0	0	0	0	24	18	26	94	150	93	13,3	20
Mar./18	17	14	31	32	54	2	0	0	0	0	22	15	27	110	322	96	12,6	26
Abr/18	13	8	5	20	78	7	0	0	0	0	23	18	27	65	31	94	11,8	22
May/18	12	6	19	2	83	19	0	0	0	0	18	10	24	50	116	96	11,0	23
Jun/18	4	1	3	4	98	17	0	0	0	0	13	5	23	44	98,8	95	10,4	23
Jul/18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	7	23	43	45	95	10,3	24

Tabla 2: Datos de observación fenológicos, frecuencia de intensidad quincenales, de plantas de *Ilex paraguariensis* y variables ambientales evaluadas. 2015-2018.

		v1	v2	v3	v4	v5	Snp	F1	F2	Fv	FM	T. Media	T. Mínima	T. Máxima	Radiación PAR	Precipitación	H.R. (%)	Fotoperíodo	Agua gr. (%)
02/09/2015	sep	78	42	1	0	0	0	26	0	0	0	17,4	12,3	24,4	134	0	78,5	11,43	21,85
15/09/2015	sep	7	76	25	0	0	0	33	2	0	0	16,7	10,8	26,49	210	38	57,3	11,84	24
02/10/2015	oct	1	25	53	31	0	0	30	23	0	0	21,51	16,97	28,83	197	36	86,4	12,26	21,7
22/10/2015	oct	2	0	9	65	36	0	8	6	27	1	21,18	15,17	29,17	190	57,8	85,2	12,67	25
09/11/2015	nov	0	0	8	56	53	0	0	0	9	0	21,96	18,26	26,94	200	47	80	13,07	22,83
20/11/2015	nov	25	3	7	33	69	0	0	0	20	0	22,01	16,06	28,43	185	201,2	90	13,34	24,73
09/12/2015	dic	8	1	20	17	93	0	0	0	23	0	22,66	19,74	25,69	172	152	85	13,61	20,38
21/12/2015	dic	0	0	28	5	93	0	0	0	5	9	24,42	19,81	28,1	224	228	90	13,66	24,73
11/01/2016	ene	1	0	60	19	48	0	0	0	20	1	26,23	21,48	29,48	166	184	91	13,71	23,48
28/01/2016	ene	0	0	66	28	38	0	0	0	13	8	27,15	20,41	29,46	252	3,8	76	13,49	21,93
16/02/2016	feb	5	2	43	44	31	0	0	0	17	14	25,81	21,13	28,,84	198	101	90	13,28	21,5
24/02/2016	feb	0	0	41	55	35	0	0	0	13	11	26,18	24,24	27,82	201	8	91	12,95	21
11/03/2016	mar	25	18	39	19	68	0	0	0	11	24	21,98	18,58	27,6	194	124	88	12,61	20,5
29/03/2016	mar	9	9	26	26	82	0	0	0	8	10	21,6	16,45	27,23	144	127	92	12,18	20,53
14/04/2016	abr	0	3	16	14	95	0	0	0	7	11	24,2	20,95	27,78	147	50	92	11,75	24,67
27/04/2016	abr	18	9	24	9	89	0	0	0	0	0	20,94	8,94	27,64	124	62	94	11,36	24,29
16/05/2016	may	0	0	15	19	99	4	0	0	5	1	15,13	10,09	18,76	114	20	95	10,97	23,9
31/05/2016	may	0	0	5	20	80	4	0	0	0	0	12,9	9,28	17,05	119	22	96	10,68	25
02/06/2016	jun	0	0	1	24	99	4	0	0	0	0	10,48	9,73	11,24	157	0	94	10,39	22,93
30/06/2016	jun	0	0	0	23	99	8	0	0	0	0	11,78	5,4	19,66	123	0	91	10,34	21,65
28/07/2016	jul	0	0	0	0	100	7	0	0	0	0	13,9	5,49	21,96	98	5	91	10,28	21

02/08/2016	ag	0	0	0	3	100	4	0	0	0	0	18,2	13,28	23,09	63	62	89	10,69	19,9
25/08/2016	ag	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	16,89	11,27	25,66	168	35	82	11,06	21,08
11/09/2016	sep	45	6	30	3	2	4	0	0	0	0	16,62	10,35	27,56	134	17,4	79	11,43	22,04
20/09/2016	sep	59	64	1	0	0	0	5	0	0	0	17,22	13,04	21,64	210	3	77	11,85	20,3
06/10/2016	oct	0	5	100	1	0	0	72	9	0	0	18,43	12,61	23,43	197	8,2	79	12,26	22,8
24/10/2016	oct	0	0	20	30	0	0	70	11	0	0	21,05	16,5	28,05	190	229	86	12,67	22,5
03/11/2016	nov	0	0	5	40	35	0	0	0	0	0	18,96	13,96	25,64	256	106	81	13,07	21,6
27/11/2016	nov	18	2	10	28	18	0	0	0	0	0	21,83	14,71	27,2	229	49,9	81	13,34	22,1
19/12/2016	dic	0	27	63	14	9	0	5	0	5	0	24,52	18,66	28,52	214	50	90	13,61	21,85
08/01/2017	ene	0	0	60	48	27	0	0	0	23	3	26,61	20,66	31,63	250	76	91	13,71	22,1
26/01/2017	ene	0	0	30	28	14	0	0	0	10	5	24	20,7	30,5	260	139	85	13,49	21,975
13/02/2017	feb	0	0	31	73	34	0	0	0	11	18	24,38	20,82	28,13	108	29,4	90	13,28	23,55
28/02/2017	feb	19	19	18	5	84	0	0	0	3	0	27,04	23,96	29,553	124	90	93	12,95	26,26
22/03/2017	mar	16	19	26	2	77	0	0	0	7	5	22,75	16,7	28,88	94	263	94	12,61	25
10/04/2017	abr	14	0	0	50	74	0	0	0	0	0	22,7	16,87	31,5	80	509	85	11,75	27,52
03/05/2017	may	14	0	0	45	78	12	0	0	0	0	16,52	12,06	22,59	141	0	45	10,97	25,04
27/05/2017	may	3	0	0	34	85	24	0	0	0	0	16,09	12,7	23,44	31	367	98	10,68	23,44
10/06/2017	jun	0	1	1	19	100	28	0	0	0	0	15,1	7,91	22,89	91	65	94	10,39	22,6
15/07/2017	jul	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	16,75	4,84	22,79	122	7,5	84	10,28	20,2
12/08/2017	ago	32	28	22	1	42	10	0	0	0	0	19,45	12,69	23,93	107	115	90	10,69	19,8
31/08/2017	ago	5	24	57	6	6	14	14	0	0	0	18,41	10,56	27,26	164	147	83	11,06	21,2
15/09/2017	sep	0	3	80	25	2	31	10	7	0	0	20,7	15,24	27,42	127	67,6	86	11,43	24,2
27/09/2017	sep	30	1	48	48	0	15	16	8	0	0	20,94	16,15	27,29	163	14,2	88	11,85	20,9
10/10/2017	oct	23	11	30	47	26	0	5	12	6	0	20,11	15,25	23,95	161	120	90	12,26	22,55
07/11/2017	nov	20	3	6	19	75	0	0	0	9	0	20,46	15,18	28,23	180	321	91	13,07	20,9
21/11/2017	nov	33	23	28	0	48	0	0	0	9	0	21,1	18,08	26,08	225	62,4	80	13,34	21,725
11/12/2017	dic	14	30	45	0	31	0	0	0	14	0	24,01	17,54	27,67	222	60	80	13,61	22,45

19/12/2017	dic	31	28	43	3	11	0	0	0	23	0	25,23	21,21	29,09	142	40	88	13,66	22
08/01/2018	ene	0	0	30	28	14	0	0	0	0	0	25,3	22,41	28,24	169	100	84	13,71	24
26/01/2018	ene	0	0	60	48	27	0	0	0	0	0	24,37	21,52	27,65	98	49	94	13,49	20
16/02/2018	feb	14	8	43	7	36	0	0	0	0	0	23,8	20,89	25,9	98	140	98	13,28	18
28/02/2018	feb	10	20	30	9	30	0	0	0	0	0	23,32	18,04	26,46	96	0	93	12,95	20
08/03/2018	mar	10	19	42	33	38	0	0	0	0	0	23,41	18,04	26,46	84	120	96	12,61	26
27/03/2018	mar	25	8	20	30	70	4	3	1	0	0	21,37	15,03	26,78	75	26	94	12,18	22
04/04/2018	abr	15	7	4	10	10	5	1	0	0	0	22,78	17,79	26,59	66	160	95	11,75	30
24/04/2018	abr	10	8	5	20	78	7	0	0	0	0	22	16	24	62	28	95	11,36	22
08/05/2018	may	18	12	28	1	71	14	1	0	0	0	23,23	20,38	24,76	52	70	96	10,97	24
29/05/2018	may	6	1	10	2	94	24	0	0	0	0	16,2	9,9	21,48	37	64	95	10,68	20
07/06/2018	jun	6	1	5	5	95	15	0	0	0	0	10,86	7,79	18,6	44	60	95	10,39	19,4
28/06/2018	jun	1	0	0	3	100	20	0	0	0	0	13,85	5,19	23,36	36	68	95	10,34	28
11/07/2018	jul	0	0	0	0	100	3	0	0	0	0	14,07	6,94	20,57	48	60	98	10,28	24
30/07/2018	jul	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	14,42	7,66	22,96	119	51	98	10,4	27



Tabla 4: Correlaciones de Spearman para las fenofases vegetativas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR, precipitación y agua gravimétrica. Evaluación 2015-2018.

	v1		v2		v3		v4		v5		Snp	
T. Media	0,22	0,1876	0,21	0,2119	0,61	0,0001	0,43	0,0087	-0,31	0,0659	-0,56	0,0004
T. Mínima	0,28	0,1014	0,26	0,1286	0,55	0,0005	0,48	0,0028	-0,34	0,0431	-0,48	0,0032
T. Máxima	0,25	0,1489	0,14	0,4163	0,31	0,0669	0,24	0,1617	-0,33	0,0471	-0,5	0,0018
Radiación PAR	0,21	0,2225	0,31	0,0615	0,42	0,0101	0,14	0,4012	-0,45	0,0061	-0,60	0,0001
Precipitación	0,37	0,0275	0,14	0,4226	0,32	0,0598	0,36	0,0292	-0,2	0,2331	-0,31	0,0646
H.R. (%)	-0,1	0,5577	-0,09	0,5916	0,06	0,7442	0,11	0,5332	0,22	0,1938	0,43	0,0094
Fotoperíodo	0,28	0,096	0,29	0,0872	0,65	<0,0001	0,4	0,0149	-0,36	0,0325	-0,56	0,0004
Agua gravimétrica (%)	0,08	0,6473	-0,08	0,637	-0,21	0,2191	0,12	0,4817	-0,02	0,8999	0,17	0,3279

Tabla 5: Correlaciones de Spearman para las fenofases reproductivas con las variables temperatura, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR, precipitación y agua gravimétrica. Evaluación 2015-2018.

	F1		F2		Fv		Fm	
	r	p	r	p	r	p	r	p
T. Media	-0,12	0,4787	-0,15	0,3719	0,57	0,0003	0,47	0,004
T. Min.	-0,09	0,6053	-0,13	0,4657	0,48	0,0034	0,36	0,029
T. Max	0,13	0,4647	0,19	0,2736	0,44	0,0074	0,4	0,017
Radiación	0,55	0,0005	0,33	0,0464	0,45	0,0056	0,19	0,2616
Precipitación	-0,02	0,8986	0,03	0,866	0,25	0,1415	0,17	0,3284
H.R. (%)	-0,43	0,0106	-0,22	0,2126	-0,01	0,9675	0,19	0,268
Fotoperíodo	-0,07	0,6955	-0,1	0,5755	0,66	<0,0001	0,48	0,003
Agua gravimétrica (%)	-0,02	0,9302	0,15	0,3779	0,03	0,8631	0,04	0,8079

Tabla 6: Correlaciones de Spearman para las fenofases vegetativas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR, precipitación y agua gravimétrica. Evaluación interanual 2015-2016.

año 1 (2015-2016)												
	v1		v2		v3		v4		v5		Snp	
	r	p	r	p	R	p	r	P	r	p	r	p
T. Media	0,4	0,2011	0,18	0,5786	0,69	0,0123	0,37	0,2384	-0,43	0,1653	-0,69	0,0125
T. Mínima	0,19	0,5573	0,05	0,87	0,78	0,0027	0,65	0,0232	-0,33	0,2888	-0,6	0,0398
T. Máxima	0,36	0,2487	0,28	0,373	0,19	0,5488	-0,09	0,7822	-0,51	0,0897	-0,4	0,1987
Radiación PAR	0,47	0,125	0,43	0,1617	0,75	0,0046	0,5	0,0951	-0,86	0,0003	-0,81	0,0012
Precipitación	0,51	0,093	0,35	0,272	0,41	0,19	0,13	0,6951	-0,2	0,5405	-0,6	0,0389
H.R. (%)	-0,27	0,3908	-0,29	0,356	-0,08	0,8021	0,03	0,9217	0,5	0,0992	0,29	0,3608
Fotoperíodo	0,47	0,1258	0,29	0,3658	0,82	0,0011	0,52	0,0854	-0,59	0,0437	-0,83	0,0009
Agua gravimétrica (%)	0,01	0,9817	0,1	0,7478	-0,58	0,0474	-0,37	0,2422	0,02	0,9416	0,19	0,5567

Tabla 7: Correlaciones de Spearman para las fenofases reproductivas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR, precipitación y agua gravimétrica. Evaluación interanual 2015-2016.

	F1		F2		Fv		Fm	
	r	p	R	p	r	p	r	p
T. Media	-0,23	0,4629	-0,22	0,4951	0,84	0,0006	0,75	0,0053
T. Mínima	-0,36	0,2542	-0,29	0,3565	0,92	<0,0001	0,92	<0,0001
T. Máxima	0,39	0,2085	0,33	0,2932	0,21	0,5218	0,01	0,982
Radiación PAR	0,41	0,1833	0,43	0,165	0,73	0,0066	0,52	0,0851
Precipitación	-0,15	0,6527	-0,11	0,7269	0,61	0,0362	0,63	0,029
H.R. (%)	-0,54	0,0725	-0,5	0,0952	-0,15	0,6312	0,06	0,8585
Fotoperíodo	-0,08	0,8162	-0,05	0,8682	0,92	<0,0001	0,85	0,0005
Agua gravimétrica (%)	0,49	0,1039	0,45	0,1445	-0,52	0,0827	-0,72	0,008

Tabla 8: Correlaciones de Spearman para las fenofases vegetativas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR, precipitación y agua gravimétrica. Evaluación interanual 2016-2017.

	año 2 (2016-2017)											
	v1		v2		v3		v4		v5		Snp	
	r	p	r	p	r	p	r	P	r	p	r	p
T.Media	0,08	0,7987	0,24	0,4585	0,58	0,0503	0,41	0,1853	-0,47	0,1265	-0,74	0,0061
T. Mínima	0,29	0,3545	0,36	0,2459	0,46	0,13	0,49	0,1048	-0,43	0,1656	-0,46	0,1326
T. Máxima	0,2	0,5316	-0,03	0,9194	0,3	0,3356	0,41	0,1895	-0,35	0,258	-0,55	0,0618
Radiación PAR	-0,07	0,8177	0,3	0,348	0,39	0,2164	-0,19	0,556	-0,58	0,0471	-0,46	0,1334
Precipitación	0,24	0,4474	-0,05	0,8755	0,2	0,5264	0,46	0,1302	-0,25	0,4257	-0,16	0,6282
H.R. (%)	0,06	0,867	0,14	0,6766	0,34	0,3009	0,24	0,482	0,07	0,84	0,39	0,2343
Fotoperíodo	0,14	0,6602	0,38	0,2174	0,76	0,0042	0,43	0,1583	-0,68	0,0155	-0,59	0,0446
Agua gravimétrica (%)	0,21	0,5145	0,11	0,7319	0,23	0,4639	0,19	0,5451	-0,02	0,9426	0,29	0,3611

Tabla 9: Correlaciones de Spearman para las fenofases reproductivas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR, precipitación y agua gravimétrica. Evaluación interanual 2016-2017.

	F1		F2		Fv		Fm	
	r	p	r	p	r	p	r	p
T. Media	0,02	0,9587	-0,04	0,8922	0,79	0,0021	0,67	0,0163
T. Mínima	0,15	0,6314	0,04	0,8926	0,51	0,092	0,45	0,1462
T. Máxima	-0,14	0,668	0,09	0,7861	0,55	0,0619	0,62	0,0321
Radiación PAR	0,81	0,0014	0,31	0,3339	-0,15	0,6414	-0,39	0,2159
Precipitación	0,05	0,8874	0,22	0,4954	0,19	0,5591	0,12	0,7118
H.R. (%)	-0,14	0,6808	0,1	0,7694	0,41	0,2104	0,51	0,1061
Fotoperíodo	0,29	0,3572	0,04	0,8928	0,76	0,0039	0,56	0,0583
Agua gravimétrica (%)	-0,19	0,5475	0,13	0,6795	0,33	0,293	0,56	0,0605

Tabla 10: Correlaciones de Spearman para las fenofases vegetativas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR, precipitación y agua gravimétrica. Evaluación interanual 2017-2018.

	año 3 (2017-2018)											
	v1		v2		v3		v4		v5		Snp	
	r	p	r	p	r	p	r	P	r	p	r	p
T. Media	0,39	0,2113	0,34	0,2763	0,52	0,0854	0,33	0,2879	-0,18	0,5772	-0,32	0,3174
T. Mínima	0,43	0,1598	0,32	0,3128	0,43	0,1664	0,34	0,2861	-0,17	0,5911	-0,4	0,1966
T. Máxima	<b>0,64</b>	<b>0,025</b>	0,38	0,2269	0,53	0,0789	0,47	0,1202	-0,41	0,188	-0,42	0,1795
Radiación PAR	<b>0,91</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,55	0,0614	0,52	0,0861	0,36	0,2444	-0,33	0,2757	-0,59	0,0413
Precipitación	0,47	0,1269	0,24	0,4484	0,32	0,286	0,38	0,2207	-0,02	0,9445	-0,25	0,4339
H.R. (%)	<b>-0,7</b>	<b>0,0116</b>	-0,42	0,1792	-0,37	0,2338	-0,08	0,8154	0,4	0,1933	<b>0,73</b>	<b>0,0067</b>
Fotoperíodo	0,5	0,0999	0,37	0,2338	<b>0,48</b>	<b>0,1095</b>	0,37	0,2395	-0,08	0,7808	-0,37	0,2418
Agua gravimétrica (%)	0,09	0,7787	-0,4	0,202	-0,39	0,2127	0,4	0,1919	-0,06	0,8518	-4,20E-03	0,9896

Tabla 11: Correlaciones de Spearman para las fenofases reproductivas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR, precipitación y agua gravimétrica. Evaluación interanual 2017-2018.

	F1		F2		Fv		Fm	
	r	p	r	p	r	p	r	p
T. Media	-0,24	0,4616	-0,23	0,4739	0,25	0,4261	0	>0,9999
T. Mínima	-0,19	0,5448	-0,18	0,5832	0,35	0,262	0	>0,9999
T. Máxima	0,31	0,3267	0,35	0,2598	0,44	0,1556	0	>0,9999
Radiación PAR	0,4	0,1929	0,43	0,165	<b>0,75</b>	<b>0,0047</b>	0	>0,9999
Precipitación	0,07	0,8206	0,12	0,7217	0,15	0,6488	0	>0,9999
H.R. (%)	-0,43	0,1598	-0,39	0,2126	-0,55	0,0624	0	>0,9999
Fotoperíodo	-0,3	0,3364	-0,27	0,3962	0,47	0,1249	0	>0,9999
Agua gravimétrica (%)	-0,13	0,6853	-0,01	0,9654	0,2	0,5313	0	>0,9999

Tabla 12: Autovectores correspondientes al análisis de componentes principales para las fenofases vegetativas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura mínima, máxima y media, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR y precipitación.

Autovectores- ACP: fenofases reproductivas y vegetativas		
Variabes	e1	e2
yema hinchada	0,16	0,42
hojas incipientes	0,17	0,45
hojas pegadas por el apice	0,32	-0,12
hojas desplegadas	0,20	-0,31
hojas maduras	-0,28	-0,28
Senescencia parcial natural	-0,33	-0,13
Temperatura media	0,35	-0,18
Temperatura mínima	0,32	-0,28
Temperatura máxima	0,33	0,18
Radiación PAR	0,31	0,14
Precipitación	0,22	-0,32
Humedad relativa	-0,14	-0,31
Fotoperíodo	0,34	-0,25

Tabla 13: Autovectores correspondientes al análisis de componentes principales para las fenofases reproductivas y vegetativas de plantas de *Ilex paraguariensis* con las variables temperatura mínima, máxima y media, fotoperíodo, humedad relativa, radiación PAR y precipitación.

Autovectores - ACP: fenofases reproductivas y vegetativas		
Variables	e1	e2
Yema hinchada	0,12	0,29
Hojas incipientes	0,14	0,33
Hojas pegadas por el ápice	0,32	-3,10E-03
Hojas desplegadas	0,21	-0,16
Hoja madura	-0,25	-0,31
Senescencia natural parcial	-0,30	-0,11
Botón floral	0,11	0,38
Flor abierta	0,09	0,35
Fruto verde	0,30	-0,22
Fruto maduro	0,16	-0,26
Temperatura media	0,33	-0,17
Temperatura mínima	0,31	-0,23
Temperatura máxima	0,29	0,15
Radiación PAR	0,28	0,18
Precipitación	0,21	-0,21
Humedad Relativa	-0,09	-0,25
Fotoperiodo	0,33	-0,21