



Universidad de la República

Facultad de Ciencias

Programa de Posgrado en Ciencias Ambientales



Gestión del riesgo de sequías en sistemas ganaderos pastoriles de Uruguay

Soledad Pérez Becoña (sperezbeco1@gmail.com)

Orientadora: Gabriela Cruz (gcruz@fagro.edu.uy)

Tribunal: José Paruelo (paruelo@agro.uba.ar); Rafael Terra (rterra@fing.edu.uy);

Felipe Lezama (flezama@fagro.edu.uy)

2024

Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales

Resumen

Las sequías constituyen el evento climático de mayor relevancia en el sector agropecuario de Uruguay en general y en el sector ganadero en particular, impactando en la tasa de crecimiento de las pasturas, con la consecuente disminución de determinados indicadores productivos. Los productores más vulnerables frente a condiciones de sequía son los familiares, los cuales forman parte del 57% de los establecimientos ganaderos del país. El objetivo de esta investigación es contribuir a una adecuada gestión del riesgo hidroclimático que habilite tomar decisiones mejor informadas, considerando que existen distintos niveles de decisión y decisores para reducir la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático en sistemas ganaderos pastoriles. Para lograr este objetivo se planteó una definición de sequía que incluyó una componente biofísica y otra social; para ello se realizó una caracterización detallada de las deficiencias hídricas en diferentes regiones del país, donde se combinó la información agroclimática (análisis biofísico) con entrevistas a productores que involucraron su visión acerca de las sequías y se identificaron las necesidades de información respecto a la toma de decisiones. A su vez, se analizó la asociación de elementos que configuran el “inicio” de una sequía y que pueden ser utilizados como indicadores para una alerta temprana de sequías. Como resultados más importantes, las deficiencias hídricas comienzan generalmente en el Suroeste y se van extendiendo con un gradiente temporal y espacial hacia el Noreste. Todo el país tiene una probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas mayor a 50% en verano, entre 20 y 30% en otoño y más heterogéneas en primavera, donde depende de la capacidad de almacenaje de agua del suelo, siendo menor a 2% en suelo profundo, pero entre 20 y 30% en suelo superficial. Se observaron tendencias positivas y significativas de las deficiencias hídricas en verano y otoño (mayormente en el Este y Noreste) y negativas en primavera en todo el país. Se concluyó que las regiones costeras no responden a las variaciones de El Niño/La Niña. El Norte responde en mayor medida a El Niño (con anomalías positivas de precipitación) representado por el índice Niño Oceánico, mientras que el resto del país responde mejor frente a predicciones de La Niña (con anomalías negativas de precipitación) representado mejor por el Índice de Oscilación Sur. La información satelital resulta relevante en la gestión del riesgo mediante el valor del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), concluyéndose que mayores precipitaciones se relacionaron con un mayor crecimiento de las pasturas, respuesta que se hace más acentuada hacia el Norte y Noroeste. Los productores destacaron la importancia de mejorar la confianza y credibilidad en la información agroclimática y los pronósticos. Según bibliografía y entrevistas, la sequía es la mayor amenaza de origen climático para la producción ganadera, y lo primero que atienden es cubrir la falta de pasto, cómo sacar adelante a los animales y disminuir las pérdidas económicas que esto conlleva. Por lo tanto, estos tres son los aspectos fundamentales que deben tenerse en cuenta al momento de implementar políticas públicas destinadas a una gestión del

riesgo de sequías, y para eso, se demostró en este trabajo que se necesita un estudio diferencial por región.

Palabras clave: alerta temprana; deficiencia hídrica; regionalización; toma de decisiones; variabilidad climática.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas, organismos e instituciones que contribuyeron significativamente a la realización de esta tesis. A lo largo de este camino recorrido, donde tantas cosas pasaron, algunas buenas y otras no tan buenas, estoy profundamente agradecida a quienes me impulsaron a seguir adelante, no rendirme y lograr este resultado tan importante, a nivel personal, académico y profesional.

Este trabajo está dedicado a mi madre, Silvia Becoña, que siempre me apoyó y ayudó con sus ideas y comentarios cuando esto solo era un proyecto, y estoy segura estaría muy orgullosa del esfuerzo y los resultados finales.

A mi directora de tesis, Gabriela Cruz, por su orientación, sus aportes y comentarios, su constante apoyo y su paciencia infinita durante todo este proceso.

A los productores que nos recibieron en sus casas para las entrevistas y a aquellos que colaboraron completando el formulario con las preguntas. Ellos son una parte muy importante de este proceso y espero profundamente que este trabajo les sea de utilidad.

A los miembros del tribunal José Paruelo, Rafael Terra y Felipe Lezama por sus aportes y sugerencias constructivas.

Agradezco sinceramente a mis compañeros del equipo de Agrometeorología que tanto me escucharon y me apoyaron, brindando sus ideas y aportes y acompañando durante todo el proceso. Un agradecimiento especial a Edu que nos llevó y acompañó en el trabajo de campo.

A Hugo Partucci por sus aportes para las entrevistas y a Sofía Alvariño por su investigación “Caracterización de la evapotranspiración de referencia en Uruguay”, impulsora de este trabajo. A Emi por su aporte y ayuda invaluable, y por su visión tan perfeccionista.

A mi hijo Ciro por aguantarme, escucharme y participar en algunas de las reuniones, jaja. Por interesarse y también querer aprender conmigo. Por intentar entender, siendo tan chico que en algunos momentos mamá no podía estar. A mi bebé Inés que llegó para hacer nuestras vidas más felices, y por brindarme la paz que necesité en tantos momentos al final de este trabajo. A ellos dos por ser el motor de mi vida, ¡los amo!

A mi compañero Cristian por su paciencia y apoyo, por ser un equipo. Por los mates y su compañía incondicional.

Agradecer a la vida, a mi sobrino Bruno, un ejemplo de lucha y resiliencia, que nos recuerda continuamente la importancia de valorar cada momento. Su valentía y fuerza de voluntad para salir adelante fueron una inspiración para mí.

A todo el resto de mi familia y a mis amigos y amigas, que de una forma u otra aportaron a que pudiera terminar este trabajo y me motivaron a seguir adelante.

A la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) por la beca de maestría (POS_NAC_2021_170729) y al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) por los fondos del proyecto “No te olvides del pago... clima en ambientes rurales y urbanos”. Esta investigación también fue posible gracias a ellos.

A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a esta investigación y a mi desarrollo académico.

¡Gracias!

Sole

3 de febrero de 2024

Índice de contenidos:

1.	Introducción	13
1.1.	Producción ganadera.....	15
1.2.	Sequías agronómicas, indicadores climáticos y percepción remota.....	18
1.3.	Riesgo y vulnerabilidad a las sequías.....	21
1.4.	Alerta temprana de sequías	23
1.5.	Gestión del riesgo de sequías	25
2.	Preguntas a ser respondidas	28
3.	Objetivos	28
3.1.	Objetivo general	28
3.2.	Objetivos específicos	28
4.	Métodos	29
4.1.	Elección de área de estudio.....	29
4.2.	Métodos para el objetivo 1	30
4.2.1.	Análisis de las deficiencias hídricas	30
4.2.2.	Análisis de las precipitaciones en el período 1950-2021	33
4.3.	Métodos para el objetivo 2	33
4.4.	Métodos para el objetivo 3	34
5.	Resultados y discusión	36
5.1.	Caracterización biofísica de las sequías.....	36
5.1.1.	Caracterización de las deficiencias hídricas	36
5.1.2.	Precipitaciones	43
5.1.3.	Asociación entre contenido de agua en el suelo e IBH	50
5.1.4.	Probabilidad de ocurrencia de eventos de deficiencias hídricas	51
5.1.5.	Evolución promedio del IBH a lo largo del año	56
5.1.6.	Análisis de tendencias	60
5.2.	Necesidades de información de los productores (con énfasis en la información agroclimática) respecto a la toma de decisiones en las sequías.....	66
5.2.1.	Bio- indicadores como alerta temprana.....	76
5.3.	Asociación de elementos que configuran el “inicio” de una sequía y que pueden ser utilizados como indicadores del comienzo de estos eventos contribuyendo a una alerta temprana de la sequía.....	78
5.3.1.	Asociación de las precipitaciones con la condición del Niño- Oscilación Sur (ENSO; Índice Niño Oceánico (ONI), Índice de Oscilación Sur (SOI))	78
5.3.2.	Asociación de las precipitaciones con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	82
6.	Conclusiones.....	84

7. Bibliografía	88
8. Anexos	96
8.1. Caracterización de las deficiencias hídricas	96
8.1.1. Asociación entre el contenido de agua en el suelo y el IBH.....	96
8.1.2. Probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas	100
8.1.3. Tendencias de las deficiencias hídricas: test de Mann- Kendall	103
8.2. Necesidades de información de los productores (con énfasis en la información agroclimática) respecto a la toma de decisiones en las sequías.....	105
8.2.1. Preguntas realizadas a los productores en entrevistas y formulario de Google. 105	
8.3. Asociación de las precipitaciones con el NDVI	107

Índice de figuras:

Figura 1: Curva promedio de evapotranspiración de referencia (ET ₀) y precipitaciones (RR) de Melo. Período 1960-2014 (Pérez Becoña, 2016).....	14
Figura 2: Coeficientes de regresión lineal de acumulados anuales, multiestacionales y estacionales de ET ₀ (0,01mm/año/día) (P: primavera, V: verano, O: otoño, I: invierno). Significancia estadística y tendencia (colores) según test de Mann Kendall. Período 1991- 2015 (Alvariño, 2023).	15
Figura 3: Cartografía de ecozonas de Uruguay (Panario et al., 2011).....	16
Figura 4: Mapa de tipos de cobertura de suelo y comunidades vegetales de pastizal natural de las principales áreas ganaderas de Uruguay (Altesor et al.; 2019).....	17
Figura 5: Conceptos importantes relacionados al riesgo (Lavell, 2012; IPCC, 2012).	22
Figura 6: Diagrama de bucles sobre ciclos de aprendizaje social y aplicaciones a la gestión de la sequía (Cruz et al, 2018. Adaptado de Pahl Wostl, 2009, y Lavell et al., 2012).....	25
Figura 7: Regiones agropecuarias en el año 2011 (MGAP, 2015. Regiones agropecuarias del Uruguay).	29
Figura 8: Localización y fuente de las estaciones meteorológicas donde se realizaron análisis para el objetivo específico 1. Puntos en azul indica donde se analizaron deficiencias hídricas, en verde donde se analizaron precipitaciones, en rojo donde se analizaron precipitaciones y deficiencias hídricas.....	31
Figura 9: Número de eventos de deficiencias hídricas por localidad y época del año en: suelo donde está ubicada la estación meteorológica (a), suelo superficial 31mm (b) y suelo profundo 171mm (c). En el eje horizontal se representa la época del año, siendo I: invierno; I-P: Invierno- primavera; P: Primavera; I-P-V: Invierno- primavera- verano; P-V: Primavera- verano; V: Verano; P-V-O: Primavera- verano- otoño; V-O: Verano- otoño; O: Otoño; V-O-I: Verano- otoño- invierno; O-I: Otoño- invierno; T: todo el año.	

En el eje vertical se representa el número de eventos registrados de deficiencias hídricas en el período 1991- 2015. LE: La Estanzuela, TYT: Treinta y Tres, LB: Las Brujas.	36
Figura 10: Número de eventos de deficiencias hídricas por localidad en primavera-verano (P-V) y verano- otoño (V-O) en: suelo donde está ubicada la estación meteorológica (a), suelo superficial 31mm (b) y suelo profundo 171mm (c).En el eje horizontal se representan las localidades, donde LE es La Estanzuela, TYT es Treinta y Tres y LB es Las Brujas. En el eje vertical se representa el número de eventos registrados de deficiencias hídricas en el período 1991- 2015.	38
Figura 11: Duración e intensidad de las deficiencias hídricas en suelo donde está ubicada la Estación Meteorológica. Eje horizontal: Número de décadas con deficiencias hídricas. Eje vertical primario: Número de casos de IBH crítico ($\leq 0,3$) y severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Eje vertical secundario: Número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas. Barras gris oscuro: IBH crítico ($\leq 0,3$). Barras gris claro: IBH severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Puntos negros: número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas.	39
Figura 12: Duración e intensidad de las deficiencias hídricas en suelo superficial (31mm). Eje horizontal: Número de décadas con deficiencias hídricas. Eje vertical primario: Número de casos de IBH crítico ($\leq 0,3$) y severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Eje vertical secundario: Número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas. Barras gris oscuro: IBH crítico ($\leq 0,3$). Barras gris claro: IBH severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Puntos negros: número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas.	40
Figura 13: Duración e intensidad de las deficiencias hídricas en suelo profundo (171 mm). Eje horizontal: Número de décadas con deficiencias hídricas. Eje vertical primario: Número de casos con deficiencias hídricas (críticas y severas). Eje vertical secundario: Número de casos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas. Barras rojas: IBH crítico ($\leq 0,3$). Barras verdes: IBH severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Puntos grises: número de casos en que se registraron deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas.	41
Figura 14: Gráfico de cajas con outliers según estación del año período 1950- 2021. .	43
Figura 15: Representación gráfica de las precipitaciones acumuladas mensuales en Uruguay en el período 1950- 2021, en las estaciones meteorológicas de Carrasco, Colonia, Mercedes, Paysandú, Salto, Artigas, Paso de los Toros, Rivera, Melo, Treinta y Tres y Rocha. Eje horizontal: meses; eje vertical: precipitaciones (mm).	45
Figura 16: Mapa de mediana de precipitaciones acumuladas en verano (período 1950- 2021).	46
Figura 17: Mapa de mediana de precipitaciones acumuladas en otoño (período 1950- 2021).	47
Figura 18: Mapa de mediana de precipitaciones acumuladas en invierno (período 1950- 2021).	47

Figura 19: Mapa de mediana de precipitaciones acumuladas en primavera (período 1950- 2021).....	48
Figura 20: Mapa de mediana de precipitaciones anuales acumuladas (período 1950- 2021).....	48
Figura 21: Partición del Uruguay en cuatro clusters según su ciclo anual de precipitaciones usando Nucleated Agglomerative clustering (Terra y Pisciotano, 1994).....	50
Figura 22: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo (décadas) en Las Brujas (suelo con CAAD 171 mm); período 1991- 2015. IBH: índice de bienestar hídrico. ALM: almacenaje de agua en el suelo.	51
Figura 23: Probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas según época del año, capacidad de almacenaje de agua en el suelo y localidad. En el eje horizontal se presentan las estaciones del año (verano, otoño y primavera) separadas por almacenaje de agua (superficial- 31mm, profundo- 171mm y almacenaje de agua del tipo de suelo donde se encuentra ubicada la estación meteorológica). En el eje vertical se presentan los valores de probabilidad de ocurrencia en %.....	52
Figura 24: Índice de Bienestar Hídrico (IBH) promedio a lo largo del año (barras naranjas) e IBH mínimo (puntos blancos) en suelo donde está ubicada la estación meteorológica. En el eje horizontal están representados los meses y en el eje vertical primario los valores de IBH.....	57
Figura 25: Índice de Bienestar Hídrico (IBH) promedio a lo largo del año (barras naranjas) e IBH mínimo (puntos blancos) en suelo superficial (31 mm). En el eje horizontal están representados los meses y en el eje vertical los valores de IBH.....	58
Figura 26: Índice de Bienestar Hídrico (IBH) promedio a lo largo del año (barras naranjas) e IBH mínimo (puntos blancos) en suelo profundo (171 mm). En el eje horizontal están representados los meses y en el eje vertical primario los valores de IBH.	59
Figura 27: Precipitaciones y líneas de tendencias de precipitaciones en verano en Melo. En azul: 1950-2021(sl). En rojo: 1991-2015(sc).....	65
Figura 28: Precipitaciones y líneas de tendencias de precipitaciones en invierno en Mercedes. En azul: 1950-2021(sl). En rojo: 1991-2015(sc).....	66
Figura 29: Precipitaciones y líneas de tendencias de precipitaciones en invierno en Treinta y Tres. En azul: 1950-2021(sl). En rojo: 1991-2015(sc).....	66
Figura 30: Ubicación de productores ganaderos entrevistados. En rojo: quienes contestaron por formulario de Google; en azul: productores entrevistados personalmente.	67
Figura 31: Esquematización de los principales aspectos relacionados a las sequías considerados por los productores entrevistados en las diferentes regiones del país. 1: época más relevante de ocurrencia de deficiencias hídricas (P-V o V-O) e información agroclimática a la que acceden y dan más relevancia; 2: limitantes de la información a la que acceden; 3: medidas preventivas y de adaptación frente a las sequías.	71

Figura 32: Precipitaciones mensuales (RR) (1991- 2015) e Índice de Oscilación Sur (SOI) en Melo. Las líneas en verde indican los umbrales de la señal de El Niño (+7) o La Niña (-7).	81
Figura 33: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y precipitaciones acumuladas en 15 días (RR). Las fechas corresponden a la estimación del NDVI (15 días después de las fechas de las precipitaciones). Localidad: Artigas. Período: 2000- 2015.	83
Figura 34: Mapa de síntesis de características de las sequías por región. Gris: cuesta basáltica; lila: cuenca sedimentaria del Oeste; verde: cuenca sedimentaria gondwánica; celeste: sierras del Este; amarillo: escudo cristalino y graven de Santa Lucía.....	87

Índice de tablas

Tabla I: Coeficientes de correlación (r) de la Correlación de Pearson entre IBH y almacenaje de agua en el suelo, período 1991- 2015.....	51
Tabla II: Probabilidad de ocurrencia (en %) de deficiencias hídricas en primavera, según la capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo. Período 1991- 2015.....	53
Tabla III: Coeficiente de correlación de Pearson (r) de las precipitaciones (RR) y ET0 con el almacenaje de agua en el suelo en primavera.	53
Tabla IV: Probabilidad de ocurrencia (en %) de deficiencias hídricas en verano, según la capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo. Período 1991- 2015.....	54
Tabla V: Coeficiente de correlación de Pearson (r) de las precipitaciones (RR) y ET0 con el almacenaje de agua en el suelo en verano en el suelo donde está ubicada la estación meteorológica.....	54
Tabla VI: Probabilidad de ocurrencia (en %) de deficiencias hídricas en otoño, según la capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo. Período 1991- 2015.....	55
Tabla VII: Coeficiente de correlación de Pearson (r) de las precipitaciones (RR) y ET0 con el almacenaje de agua en el suelo en otoño.	56
Tabla VIII: Análisis de tendencias de las deficiencias hídricas- Test de Mann- Kendall en el suelo donde está ubicada la estación meteorológica, suelo superficial y suelo profundo. Asteriscos indican grado de significancia o nivel de confianza (*: 90-95%; **:95,1- 98%; ***: >98%). Verano: diciembre, enero y febrero (D-E-F). Otoño: marzo, abril y mayo (M-A-M). Invierno: junio, julio, agosto (J-J-A). Primavera: setiembre, octubre, noviembre (S-O-N).	60
Tabla IX: Análisis de precipitaciones (período 1991-2015) y ET0- Test de Mann- Kendall. Asteriscos indican grado de significancia o nivel de confianza (*: 90-95%; **:95,1- 98%; ***: >98%). Verano: diciembre, enero y febrero (D-E-F). Otoño: marzo, abril y mayo (M-A-M). Invierno: junio, julio, agosto (J-J-A). Primavera: setiembre, octubre, noviembre (S-O-N).....	62
Tabla X: Análisis de tendencias de las precipitaciones (período 1950-2021)- Test de Mann- Kendall en el suelo donde está ubicada la estación meteorológica. Asteriscos	

indican grado de significancia o nivel de confianza (*: 90-95%; **:95,1- 98%; ***: >98%). Verano: diciembre, enero y febrero (D-E-F). Otoño: marzo, abril y mayo (M-A-M). Invierno: junio, julio, agosto (J-J-A). Primavera: setiembre, octubre, noviembre (S-O-N).	63
Tabla XI: Resumen de entrevistas realizadas a productores por región	70
Tabla XII: Correlación de Pearson entre categorías de precipitaciones (0-50, 51-100, 101-200 y más de 200 mm) con SOI y ONI en Artigas. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	79
Tabla XIII: Correlación de Pearson entre precipitaciones (RR) (categorías en mm: 0-50, 51-100, 101-200 y más de 200) e Índice de Oscilación Sur (SOI) o Índice de Niño Oceánico (ONI) en Las Brujas. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	79
Tabla XIV: Correlación de Pearson entre precipitaciones (RR) (categorías en mm: 0-50, 51-100, 101-200 y más de 200) e Índice de Oscilación Sur (SOI) o Índice de Niño Oceánico (ONI) en Melo. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	80
Tabla XV: Coeficiente de correlación (r) entre las precipitaciones y el NDVI. Corresponde a las precipitaciones acumuladas en 15 días, 15 días antes del valor del NDVI. Asterisco (*) indica que la correlación es significativa.....	82
Tabla XVI: Coeficiente de correlación (r) entre las precipitaciones y el NDVI. Corresponde a las precipitaciones acumuladas en 15 días, 1 mes antes del valor del NDVI. Asterisco (*) indica que la correlación es significativa.....	82
Tabla XVII: Coeficiente de correlación (r) entre las precipitaciones y el NDVI. Corresponde a las precipitaciones acumuladas en 15 días, 3 meses antes del valor del NDVI. Asterisco (*) indica que la correlación es significativa.....	82

Índice de figuras en anexo

Figura anexo 1: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Rocha.	96
Figura anexo 2: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Melo.....	96
Figura anexo 3: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en La Estanzuela. 97	
Figura anexo 4: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Mercedes.	97
Figura anexo 5: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Artigas.....	98
Figura anexo 6: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Paysandú.	98
Figura anexo 7: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Treinta y Tres. 99	
Figura anexo 11: Líneas de tendencias de precipitaciones en verano de Paysandú de serie larga (SL; 1950-2021) y serie corta (SC; 1991-2015).....	103

Figura anexo 15: Líneas de tendencias de precipitaciones en otoño de Rocha de serie larga (SL; 1950-2021) y serie corta (SC; 1991-2015).	103
Figura anexo 16: Líneas de tendencias de precipitaciones en otoño de Carrasco de serie larga (SL; 1950-2021) y Las Brujas serie corta (SC; 1991-2015).	104
Figura anexo 22: Tendencia de las deficiencias hídricas en primavera en un suelo profundo	104
Figura anexo 23: Líneas de tendencias de precipitaciones en primavera de Artigas de serie larga (SL; 1950-2021) y serie corta (SC; 1991-2015).....	104
Figura anexo 24: Líneas de tendencias de precipitaciones en primavera de Treinta y Tres de serie larga (SL; 1950-2021) y serie corta (SC; 1991-2015).....	105

Índice de tablas en anexo

Tabla anexo I: Correlación del IBH con el almacenaje de agua en el suelo en todas las localidades.	99
Tabla anexo II: Correlación de Pearson de las precipitaciones (RR) y ET0 con el almacenaje de agua en el suelo en verano. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	100
Tabla anexo III: Correlación de Pearson de las precipitaciones (RR) y ET0 con el almacenaje de agua en el suelo en otoño. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	100
Tabla anexo IV: Correlación de Pearson de las precipitaciones (RR) y ET0 con el almacenaje de agua en el suelo en primavera. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	102
Tabla anexo V: Correlación entre las precipitaciones acumuladas en 15 días, 15 días antes del valor del NDVI. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	107
Tabla anexo VI: Correlación entre las precipitaciones acumuladas en 15 días, 1 mes antes del valor del NDVI. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	108
Tabla anexo VII: Correlación entre las precipitaciones acumuladas en 15 días, 3 meses antes del valor del NDVI. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).	109

Listado de abreviaturas

RR: Precipitaciones

ET0: Evapotranspiración de referencia

IBH: Índice de bienestar hídrico

IDH: Índice de deficiencia hídrica

DH: Deficiencia hídrica

BH: Balance hídrico

N: Norte

S: Sur

E: Este

W: Oeste

NE: Noreste

NW: Noroeste

SE: Sureste

SW: Suroeste

ENSO: El Niño- Oscilación Sur

OMJ: Oscilación de Madden- Julian

ONI: Índice Niño Oceánico

SOI: Índice de Oscilación Sur

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada

CAAD: Capacidad de almacenaje de agua disponible

EM: Estación meteorológica

1. Introducción

El clima es un sistema complejo, integrado por procesos naturales y antropogénicos que operan en escalas temporales anuales, decadales y de largo plazo (Hellmuth et al., 2010). El clima de Uruguay es clasificado según Koeppen (Peel et al., 2007) como templado- subtropical sin una estación seca marcada (Cfa). Se caracteriza por una temperatura media en el mes más cálido superior a los 22°C y la de los meses más fríos menor a 18°C, pero superior a -3°C.

La sequía ocurre con frecuencia variable en todas las regiones del mundo y en todos los tipos de sistemas económicos, por lo que los enfoques adoptados para definir la sequía también reflejan diferencias regionales. Por lo tanto, la búsqueda de una definición de sequía universalmente aceptable parece un esfuerzo infructuoso (Wilhite y Glantz, 1985). Sin embargo y para fines de análisis, las definiciones de sequía se agrupan en cuatro tipos: meteorológica (período con tiempo anormalmente seco), agrícola (escasez de precipitaciones que afectan negativamente a la producción agrícola), hidrológica (período con contenidos de agua por debajo de la media en arroyos, embalses, acuíferos subterráneos, lagos) y socioeconómica (escasez de agua para consumo humano o relacionado a un bien económico) (Smakhtin y Schipper, 2008; Wilhite y Glantz, 1985). Este trabajo se enfoca en la sequía agrícola o agropecuaria.

Considerando el factor antropogénico, los seres humanos pueden ser responsables del exceso de extracción de agua, la degradación de la tierra y desertificación, todos factores que pueden contribuir a las sequías. A su vez, tierras que antes eran productivas y fueron degradadas, si no son restauradas se someten a un mayor deterioro, lo cual conduce a una mayor vulnerabilidad a las sequías y desertificación (Van Ginkel et al., 2021).

Respecto al factor biofísico y estrictamente atmosférico, son las precipitaciones (oferta de agua) y la demanda atmosférica o evapotranspiración de referencia (ET₀; Alvaríño, 2023) los que determinan o condicionan la ocurrencia de sequías. En Uruguay las precipitaciones son constantes a lo largo del año, por lo que no se considera ninguna estación del año como seca. Los valores medios de precipitación acumulada anual sobre el país se sitúan entre 1200 y 1600 milímetros (mm), con los menores valores situados al sur (S) y los máximos al noreste (NE). Los valores mensuales de precipitación registrados en años particulares pueden apartarse considerablemente de los promedios, debido a que existe una elevada variabilidad interanual (Castaño et al., 2011). La ET₀ es la cantidad de agua evaporada y transpirada en una unidad de tiempo por una cubierta vegetal en activo crecimiento, de gran extensión, que cubre completamente del suelo, que ocupa grandes superficies, libre de enfermedades y con condiciones óptimas de agua en el suelo (Allen et al., 1998). A diferencia de las precipitaciones, la ET₀ presenta una marcada variación estacional, siendo máxima en los

meses de verano y mínima en invierno en todo el país, ya que esta variación estacional está determinada principalmente por causas astronómicas como el balance de energía y la temperatura del aire (Pérez Becoña, 2016; Cruz et al, 2000). Esta situación implica que, a nivel climático, hay deficiencias hídricas en verano y excesos en invierno (Pérez Becoña, 2016; Bettolli et al., 2010; Cruz et al, 2000) (Figura 1).

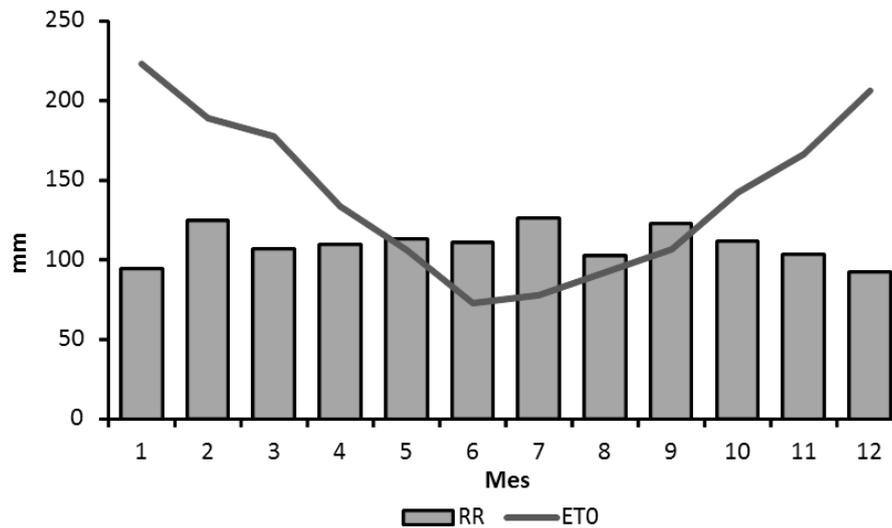


Figura 1: Curva promedio de evapotranspiración de referencia (ETO) y precipitaciones (RR) de Melo. Período 1960-2014 (Pérez Becoña, 2016).

Respecto a las tendencias de cambio climático, se ha observado un incremento de las precipitaciones, tendencias que han sido ampliamente reportadas para Uruguay y la región (Barreiro et al., 2021; Caorsi et al., 2018; Barros, 2006), sobre todo en la temporada cálida (Bidegain et al., 2012; Giménez et al., 2009). También, y aunque menos estudiada, la demanda atmosférica (ETO) presenta tendencias de aumento según un antecedente reciente (Alvariño, 2023). En la Figura 2 se observan las tendencias de aumento de ETO en la gran mayoría de las localidades estudiadas, tanto a paso anual, como multiestacional y estacional, mostrando valores significativos al 99% y 95 % (Figura 2).

	Anual	P-V-O	P-V	V-O	V	O	P	I
Paysandú	1,18**	1,50**	1,78**	1,45**	2,02*	0,96	1,53*	0,26
Las Brujas	0,74*	0,87	0,7	1,13	1,07	1,20**	0,33	0,4
La Estanzuela	0,71**	0,78*	0,91**	0,75**	0,98*	0,52	0,84*	0,52**
Melo	0,72	0,94	1,30*	0,87	1,52**	0,22	1,07**	0,11
Artigas	0,66	0,97	0,81	1,35	1,52*	1,28	0,11	-0,22
Treinta y Tres	0,43	0,44	0,38	0,48	0,41	0,56	0,35	0,41*
Rocha	0,35	0,39	0,52	0,42	0,69	0,15	0,35	0,22
Mercedes	0,06	0,19	0,33	0,23	0,55	-0,07	0,11	-0,32

Tendencia negativa  Tendencia positiva

Figura 2: Coeficientes de regresión lineal de acumulados anuales, multiestacionales y estacionales de ETO (0,01mm/año/día) (P: primavera, V: verano, O: otoño, I: invierno). Significancia estadística y tendencia (colores) según test de Mann Kendall. Período 1991-2015 (Alvariño, 2023).

1.1. Producción ganadera

La producción ganadera en Uruguay es una importante actividad económica y la principal fuente de ingresos de exportación (Banco Mundial, 2013), teniendo una influencia significativa en la generación de empleo y la radicación de la población en el medio rural (MVOTMA- SNRCC, 2016). La ganadería, como actividad a cielo abierto, es muy dependiente del clima. Según el MGAP (2011), la superficie dedicada a la ganadería ocupa una superficie de 13.4 millones de hectáreas, representando el 81.9% del área agropecuaria de Uruguay; según Baeza y Paruelo (2020) y Baeza et al. (2019), el área ganadera representa aproximadamente dos tercios de la superficie total del país.

El alimento principal del ganado en los sistemas ganaderos pastoriles de Uruguay es el campo natural. Por campo natural se entiende una superficie cuya cobertura consiste en vegetación espontánea, principalmente de tipo herbáceo y mayoritariamente autóctona, asociada a la presencia de montes nativos y vegetación arbustiva (Cruz et al., 2008). La riqueza de especies, así como la predominancia de algunas especies forrajeras sobre otras, responde no sólo a la región del país (interacciones clima – suelo) sino también al manejo que se realice del pastoreo (Altesor et al., 1998; Chebataroff, 1960).

El bioma pastizal ocupa más del 70% de la superficie del territorio uruguayo (Altesor et al., 2011) y constituye una de las áreas más extendidas de pastizales naturales en el mundo (Bartaburu et al., 2013; Altesor et al., 2011). La superficie ocupada por el bioma pastizal en Uruguay ha disminuido de 84% a 66% entre 2000 y 2012 (Baeza et al., 2014), debido a la expansión de la agricultura y las plantaciones de árboles (Jobbágy et al., 2006, Baeza et al., 2014).

El campo natural se concentra principalmente en cuatro regiones geomorfológicas, que debido a limitaciones de tipo geográfica y restricciones ambientales, han limitado la expansión de la agricultura y la forestación: Cuesta Basáltica, Escudo Cristalino, Cuenca Sedimentaria Gondwánica (Noreste) y Sierras del Este (Panario et al., 2011) (Figura 3).

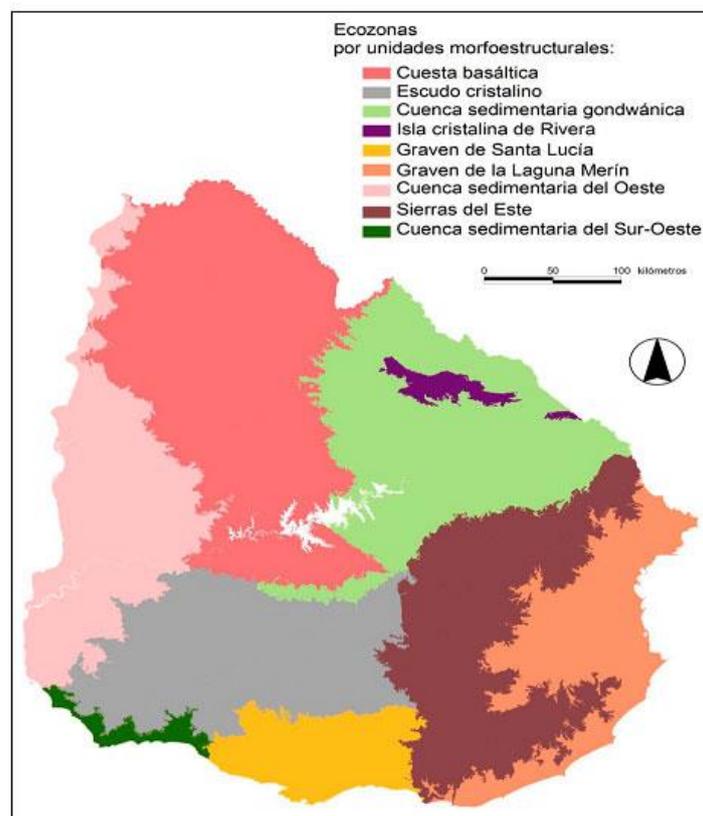


Figura 3: Cartografía de ecozonas de Uruguay (Panario et al., 2011).

Lezama et al. (2019) han hecho una clasificación de los pastizales en Uruguay, presentándose diferentes tipos de comunidades de pastizales. Por ejemplo, en la Cuesta Basáltica se presentan dos tipos de comunidades, una de ellas constituida por pastizales ralos y la otra por pastizales densos. Los pastizales de Sierras del Este y Sedimentaria del Noreste, están constituidos por tres comunidades (pastizales ralos, pastizales densos y

pastizal denso alto) (Figura 4). Esta clasificación sugiere que el factor principal que controla la heterogeneidad florística es la disponibilidad de agua relacionada a un conjunto de factores topográficos y edáficos que la determinan.

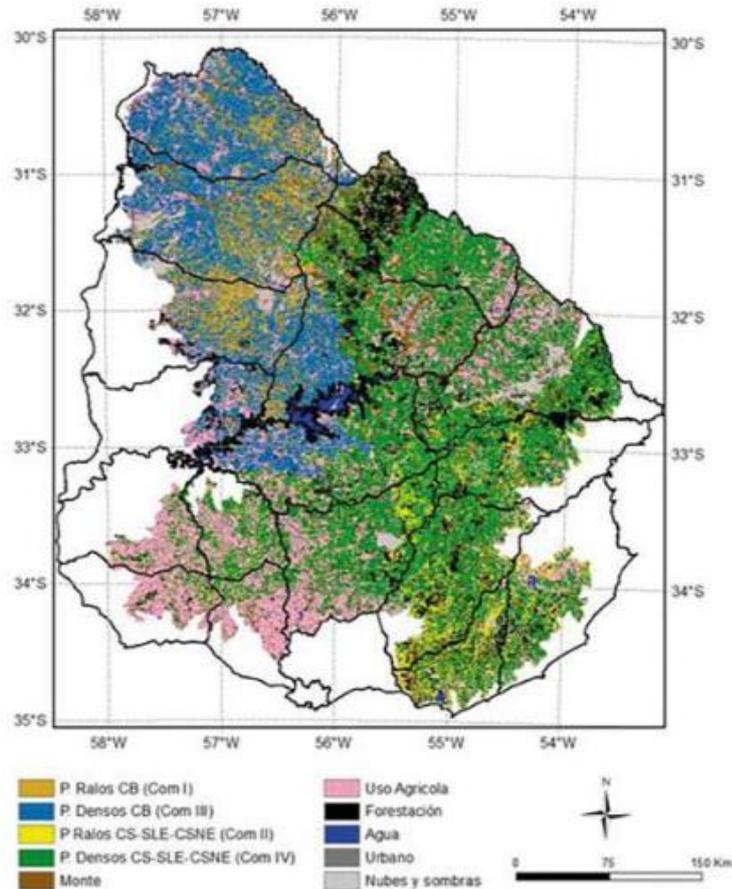


Figura 4: Mapa de tipos de cobertura de suelo y comunidades vegetales de pastizal natural de las principales áreas ganaderas de Uruguay (Altesor et al.; 2019).

En Uruguay la producción de forraje tiene un ciclo estacional asociado a factores astronómicos, en particular a la variación anual en la intensidad de la radiación solar y a las horas de luz, lo que se traduce también en la estacionalidad de la temperatura del aire y del suelo. A su vez, Texeira et al. (2019) han evaluado que la productividad primaria neta aérea (PPNA) o la tasa de crecimiento de la vegetación está correlacionada positiva y significativamente con la precipitación en el 47% del área que fue estudiada (Cuesta Basáltica y Sierras del Este). Por otra parte, los suelos más superficiales de la Cuesta Basáltica tienen una aún menor capacidad de retención de agua que los de Sierras del Este (Panario et al., 2011), lo que se traduciría en una menor cantidad de agua disponible en la región de Basalto. Por estos motivos es que, en las estaciones de mayor potencial de producción de forraje, como la primavera y el verano, las

precipitaciones y el balance hídrico en el suelo juegan un rol definitorio en determinar la producción real de forraje (Bartaburu, 2017).

Para la conservación del campo natural es importante conocer la capacidad de carga animal que puede soportar un determinado establecimiento ganadero en los diferentes momentos del año. Los sistemas de gestión de los establecimientos ganaderos que manejan una carga animal ajustada a la producción de forraje son menos sensibles y más resilientes a los eventos relacionados con la variabilidad climática, en particular a la variabilidad interanual de las precipitaciones (Bartaburu et al., 2013). La disponibilidad de reserva de pasto, por ejemplo, agrega flexibilidad (Bartaburu et al., 2013) y permite mantener la alimentación del ganado en épocas donde la deficiencia hídrica limita la producción de pasto.

1.2. Sequías agronómicas, indicadores climáticos y percepción remota

El evento de origen climático de mayor relevancia en el sector agropecuario de Uruguay es la sequía (MGAP y FAO, 2013; Bartaburu et al., 2013; Cruz et al., 2007). En la ganadería, la sequía impacta directamente sobre la tasa de crecimiento de las pasturas, lo que afecta su disponibilidad y calidad, incidiendo en la condición corporal del ganado y en la tasa de preñez, siendo esta última la variable de mayor relevancia productiva (Cobas, 2013). Estos impactos se han traducido en pérdidas equivalentes a 342 millones de dólares en la sequía 2008/2009 (Paolino et al., 2010).

Los pastizales con mayor biodiversidad experimentan menos estrés por sequía y mayor resiliencia a la sequía que los menos diversos (Tommasino et al., 2023; Wagg et al., 2017). Como las sequías pueden provocar pérdidas en la biodiversidad de estos ecosistemas, conservando la diversidad biológica los estamos protegiendo de los impactos negativos de la sequía (Wagg et al., 2017) y, por tanto, mejorando la disponibilidad de pasto a largo plazo, que como se mencionó anteriormente, incide fuertemente en la tasa de preñez.

Además de reducir la cantidad de agua disponible, las sequías también afectan la calidad de esa agua, lo cual impacta negativamente en los ecosistemas, la biodiversidad, la degradación de la tierra, la salinización de las masas de agua y floración de cianobacterias. También proporciona mayor turbidez al agua -y por lo tanto menor cantidad de oxígeno disuelto- (WMO, 2017). Por este motivo, las sequías afectan no solo al sector agropecuario, sino que también involucra aspectos ambientales, económicos y sociales (WMO, 2014), y según la OMM (2017) pueden generarse impactos como: interrupción de la producción de energía hidroeléctrica; reducción de la seguridad alimentaria (disponibilidad, calidad, acceso y estabilidad); aumento de las desigualdades

de género; salud comprometida; pobreza; hambruna; conflictos y disturbios civiles; emigración.

Las sequías se han caracterizado como un problema complejo, cuya manifestación, impactos y respuestas son resultado de la interacción de procesos biofísicos y sociales (Cruz et al., 2018). Éstas crean desafíos sincrónicos a distintas escalas espaciales y temporales, afectando procesos físicos y socio- económicos (Van Ginkel et al., 2021). Las razones por las cuales ocurre una sequía dependen de la interacción entre distintos componentes, como la distribución espacial y temporal de las precipitaciones, la geología o vegetación que determinan la capacidad de retención de agua en los suelos (infiltración, escorrentía, evapotranspiración) (Swain y Swain, 2011) y de la manera en que las sociedades se relacionan con el medio a través de los sistemas de gestión y explotación de los recursos hídricos (Van Ginkel et al., 2021; Vargas Molina, 2016).

En las últimas tres décadas, se ha verificado un proceso de adaptación a las sequías en la ganadería pastoril de Uruguay, evidenciado por una mayor integración inter-institucional, un acercamiento ciencia-política, la inclusión en la agenda política del gobierno del tema, y la creación de grupos de investigación específica (Cruz et al., 2018). La vulnerabilidad a la sequía se entiende como el conjunto de características, producto de las interacciones entre el sistema social y el sistema natural, que hacen a las poblaciones susceptibles de sufrir perjuicios debido a un descenso en el nivel de precipitaciones por debajo de los registros considerados normales en un área y período de tiempo determinados (Vargas Molina, 2016).

Los eventos de sequías severas en Uruguay se han asociado al fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENSO por sus siglas en inglés), cuando ocurren desvíos negativos de la temperatura del océano Pacífico ecuatorial y positivos del Índice de Oscilación Sur (Barreiro et al., 2019; Methol y Silveira, 2013). El ENSO es un patrón climático recurrente que implica cambios en las aguas superficiales del Océano Pacífico frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y el sur de Colombia, y con repercusiones a macroescala, causando cambios meteorológicos, oceanográficos y biológicos (Pinto, 1985).

En nuestra región, en los años de El Niño prevalecen anomalías de lluvia positivas, mientras que en los años de La Niña prevalecen las anomalías de lluvia negativas durante la primavera y/o en los meses de verano. Resultados de investigación sugieren también que los impactos de La Niña son más fuertes y/o menos variables en la lluvia y el rendimiento de los cultivos que los impactos de El Niño. Algunos de los índices utilizados son el índice Niño Oceánico (ONI) y el Índice de Oscilación Sur (SOI). El ONI es el promedio móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar en las aguas superficiales del Pacífico tropical centro-oriental (NOAA, 2018) y el SOI está determinado por las diferencias de presión atmosférica generadas por variaciones de temperatura entre Tahití y Darwin (Australia) (Wright, 1989).

Otro fenómeno que se ha estudiado, y tiene interacción con el ENSO es la Oscilación Madden-Julian (OMJ), la cual genera eventos extremos de precipitación y cambios en los patrones de los vientos en diferentes regiones del planeta (Sulca, 2023). Esta es una circulación atmosférica anómala que juega un rol importante a escalas intra estacionales (30- 60 días), que a diferencia del ENSO, está originada en el océano Índico y tiene una propagación hacia el este de anomalías convectivas tropicales desde el océano Índico hasta el Pacífico occidental y posteriormente hacia América del Sur y África (Sulca, 2023; en Mayta, 2019 y Madden y Julian, 1972). Comprender este fenómeno es relevante para estudiar las sequías y por lo tanto para gestionar su riesgo. Esta oscilación no será analizada en este trabajo, pero se advierte sobre su importancia para futuros estudios sobre sequías.

Los episodios de La Niña de 1988/1989, 1999/2000 tuvieron fuertes impactos negativos en la economía uruguaya. Ambos eventos se caracterizaron por períodos extensos con lluvias reducidas con gran efecto en el sector agropecuario (Baethgen y Giménez, 2002), situación que se repitió en los episodios de la Niña que dieron lugar a la reciente y prolongada sequía del 2020- 2023 (Barreiro y Renom, 2023).

En términos generales, el efecto más agudo de las sequías se verifica en los meses de mayor producción de pasto, es decir primavera y verano (Cobas, 2013). Sin embargo, en algunas regiones ganaderas como las Sierras del Este, los productores manifestaron que el mayor efecto en la producción determinado por las sequías se registra en verano- otoño (Cruz et al., 2021). Esto es relevante, ya que los seguros contra sequías para la ganadería de cría (desarrollados en forma piloto) consideran solamente las deficiencias hídricas que ocurren entre octubre y febrero (MGAP, s/a). Por este motivo se entiende importante caracterizar las sequías en las diferentes regiones ganaderas del país para contribuir a una gestión de riesgo que tome en cuenta las condiciones particulares de cada región, tanto desde el punto de vista agrometeorológico como del manejo adaptativo de los establecimientos.

Los sistemas de percepción remota son una alternativa eficiente en términos económicos y logísticos a la hora de relevar recursos naturales e identificar sus cambios en el tiempo y el espacio (Paruelo et al., 2012). A partir de sensores remotos, se ha estudiado cómo difiere la productividad primaria neta aérea (PPNA) del pastizal en algunas regiones de Uruguay, probando la utilidad de índices espectrales provistos por sensores remotos como herramienta para caracterizar la variabilidad temporal y espacial del pastizal y la conservación en la biodiversidad (Baeza et al. 2010). Sin embargo, en un contexto de variabilidad y cambio climático, donde es necesario el análisis de una amplia serie de años, tiene como inconveniente que los datos se encuentran disponible solamente a partir del año 2000.

Alrededor de 300 productores ganaderos en dos regiones del país (Basalto y Sierras del Este), experimentaron con un seguro en caso de ocurrencia de una sequía, mediante un plan piloto que activaron el Banco de Seguros del Estado (BSE) y el MGAP, con financiación del fondo de Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático-Banco Mundial (DACC) y el aporte técnico del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) (MVOTMA- SNRCC, 2016). Esos seguros de riesgos por sequía se realizaron en base al Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), utilizando imágenes satelitales con un tamaño de pixel de 5km x 5km (2500 há) (MVOTMA- SNRCC, 2016). Esta escala no puede ser manejada a nivel de productor y mucho menos a los del tipo familiar. Esto justifica que en esta investigación se indague también acerca de las diferentes prácticas de manejo implementadas por los productores y sus distintas estrategias de adaptación frente a condiciones de sequía según su escala de producción.

1.3. Riesgo y vulnerabilidad a las sequías

El riesgo se representa como la probabilidad de ocurrencia de sucesos o tendencias peligrosas, multiplicado por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias. El riesgo de desastres se deriva de una combinación de riesgos físicos y la vulnerabilidad de elementos expuestos y representan el potencial para la interrupción severa del funcionamiento normal de la sociedad afectada por el desastre (Lavell, 2012).

Siguiendo el esquema conceptual de vulnerabilidad planteado por el Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC; 2001), la vulnerabilidad a las sequías de los sistemas ganaderos pastoriles está en función de la exposición, la sensibilidad y su capacidad adaptativa frente a condiciones adversas (Bidegain et al., 2012; Cruz et al, 2007; Mc Carthy et al, 2001). La exposición representa el carácter, magnitud y tasa de variabilidad climática a la que el sistema está expuesto; la sensibilidad es el grado en que un sistema se modifica o es afectado por perturbaciones; y la capacidad adaptativa es la habilidad de un sistema de evolucionar para responder a riesgos ambientales o cambios en políticas (Astigarraga y Picasso, 2014; Mc Carthy et al, 2001).

Las sequías por sí mismas no configuran un desastre, que se convierta en ello depende de su impacto en la población, en la economía y en el medio ambiente, y por lo tanto estará en función de la vulnerabilidad del sistema (Cruz et al., 2007). El IPCC (2012) también reconoce que el clima y los eventos climáticos derivados del cambio climático que producen eventos extraordinarios, no conducen necesariamente a desastres, sino que éstos solo pueden ocurrir cuando los eventos extremos tienen la capacidad de afectar a poblaciones expuestas que son potencialmente vulnerables a dichos impactos (Figura 5). La vulnerabilidad es el resultado de diversas causas

históricas, sociales, económicas, políticas, culturales, institucionales, de recursos naturales, así como condiciones y procesos ambientales (Figura 5; Lavell, 2012).



Figura 5: Conceptos importantes relacionados al riesgo (Lavell, 2012; IPCC, 2012).

Según este punto de vista, la reducción de la vulnerabilidad supone un elemento clave en las estrategias de mitigación y adaptación a los riesgos derivados del cambio climático (IPCC, 2012).

La adaptación al cambio climático es un conjunto de iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos ya evidenciados o esperados de un cambio climático. Los caminos hacia la adaptación, las tecnologías y las formas institucionales de acciones colectivas son diversas, por lo que su sostenibilidad y resiliencia en el contexto de futuros inciertos representa un gran desafío a nivel global (Adger et al., 2004). La adaptación es específica del lugar y el contexto, no existe ningún método único para reducir los riesgos que resulte adecuado para todas las situaciones. Las estrategias eficaces de reducción del riesgo y adaptación consideran las relaciones con los procesos socioeconómicos, el desarrollo sostenible y el cambio y variabilidad climática. En este sentido, son particularmente vulnerables aquellas poblaciones con escasos recursos económicos que tienen una elevada dependencia de los recursos naturales y una limitada capacidad de adaptación a un clima cambiante (González et al., 2011). Se ha reportado que el efecto de la sequía sobre la producción ganadera y los ingresos de los productores es variable según la carga animal (unidades ganaderas por unidad de superficie; UG/ha) que haya en el establecimiento (Cruz et al., 2018; Bartaburu et al., 2013). Este indicador de riesgo afecta diferencialmente a los distintos tipos de productores, donde los más pequeños

presentan mayor sensibilidad a las sequías: establecimientos de menos de 50 hectáreas manejan en promedio 0,98 UG/ha, mientras que en establecimientos de más de 5000 hectáreas el valor es 0,56 UG/ha (Bartaburu et al., 2013; Bartaburu, 2017). Según Saravia et al. (2011) la carga “segura” está considerada para Basalto entre 0,50 UG/ha (suelos superficiales) y 0,85 UG/ha (suelos profundos), entre 0,65 y 0,70 UG/ha para Sierras del Este y entre 0,8 y 0,85 UG/ha para Noreste profundo. Si bien actualmente la mayoría del territorio se reporta dentro de los umbrales de carga “segura”, se reporta que ha sido históricamente sobre- pastoreado, (Rosengurtt, 1943; García Préchac et al., 2010).

Se considera que los productores familiares son los más vulnerables frente a las sequías. Esta categoría representa el 57% de los establecimientos ganaderos de Uruguay. Se entiende por productor familiar agropecuario a toda persona física que gestiona directamente o forma parte de una explotación agropecuaria (de no más de 500 hás) con la contratación de hasta dos asalariados no familiares permanentes o su equivalente en jornales zafrales, que reside en dicha explotación o vive a no más de 50 km de la misma (MGAP, 2016). Los productores familiares se dedican a la cría vacuna sobre pastizales naturales ubicados en suelos no aptos para cultivos por su baja capacidad de almacenaje de agua y por tanto muy sensibles al estrés hídrico, y sumado a esto, poseen baja capacidad financiera y de recursos para la compra de suplementos alimenticios para el ganado para amortiguar las pérdidas (Methol y Silveira, 2013).

1.4. Alerta temprana de sequías

A diferencia de otros riesgos naturales, los efectos de una sequía se pueden acumular durante largos periodos de tiempo, persistiendo durante meses e incluso años. Esto hace difícil determinar cuándo empieza y cuándo acaba una sequía (Wilhite et al., 2014), lo cual genera una controversia entre científicos, usuarios y gestores sobre el cómo actuar y qué tipo de medidas corresponde tomar para reducir el riesgo y la vulnerabilidad a las sequías. Las sequías suelen tener un inicio lento y progresivo, con impactos incrementales a largo plazo; esto puede retrasar la capacidad de respuesta frente a condiciones de sequía, lo que puede conducir a situaciones en las que se superan los umbrales de reversibilidad.

Disminuir el impacto de las sequías también implica tomar decisiones lo antes posible para implementar medidas, aspecto que, en los lugares estudiados para Uruguay, ha sido de consenso por los actores involucrados con las sequías agropecuarias (Cruz et al., 2021). Esto hace necesario desarrollar un sistema de alerta temprana. Uno de los objetivos del Marco de Sendai (UNISDR, 2015) está relacionado con el sistema de alerta temprana, donde se plantea “aumentar sustancialmente la disponibilidad y el acceso a sistemas de alerta temprana por multi- riesgos, sistemas de información y evaluaciones de riesgo de desastres para el año 2030”.

Nhamo et al. (2019) estudiaron la generación de resiliencia ante la sequía mediante alertas tempranas en el sur de África, y concluyeron que, a pesar de que en el continente africano existen varios sistemas de alerta temprana de sequías, ninguno contiene un verdadero sistema regional de predicción de las sequías. La mayoría monitorean y evalúan la sequía. Este es un aspecto importante a considerar sobre el sistema de alerta temprana de sequías, donde resulta de gran importancia poder conocer o registrar lo más tempranamente posible el inicio de la sequía.

En nuestra región existe el Sistema de Información sobre sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA), que es una institución que funciona en el marco del Centro Regional del Clima para el Sur (CRC- SAS). Esta institución provee herramientas e información sobre las sequías y sus impactos al gobierno y diferentes instituciones (públicas o privadas) e individuos, permitiendo monitorear y predecir la ocurrencia de sequías, anticipar los impactos y fomentar la planificación y la alerta temprana de sequías para mitigar los daños que se puedan ocasionar, aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad (www.sissa.crc-sas.org).

En las situaciones de vulnerabilidad que imponen las sequías, sentirse apoyado por una estructura social fuerte es relevante. En tal sentido, las instituciones sociales de diversa índole juegan un rol importante. Asimismo, el conocimiento adquirido en base a la experiencia acumulada o transmitida por otras generaciones o actores permite que se elaboren protocolos de acción frente a hechos previstos o posibles (Cruz et al, 2018; Cruz et al., 2014; Bartaburu et al., 2013). Por lo tanto, es importante considerar los conocimientos climáticos y agropecuarios de los productores y expertos locales (Hellmuth et al., 2010). Muchas veces los productores tienen determinados conocimientos que la ciencia no toma en cuenta para la toma de decisiones (Partucci et al, 2017). El conocimiento local sobre sequías está siendo identificado a través de enfoques más participativos y de ciencia ciudadana, y está comenzando a enriquecer algunos sistemas de alerta temprana de sequías (Van Ginkel et al., 2021). El conocimiento local e indígena también ha sido recientemente reconocido e incluido por el IPCC (2021).

Según Pahl-Wostl (2009), los vínculos entre la academia, el sector político y otros actores de la sociedad, habilita el desarrollo de aprendizajes colectivos que permiten afrontar mejor un próximo evento. Se considera el cambio como un fenómeno social, donde el aprendizaje colectivo evoluciona de una manera gradual. Pahl-Wostl (2009), plantea que el aprendizaje social o colectivo se desarrolla en ciclos de aprendizaje en bucle (Figura 6). El aprendizaje de bucle único se refiere a una mejora de las estrategias de acción sin cuestionar los supuestos subyacentes. El aprendizaje de doble circuito se refiere a la revisión de esos supuestos (por ejemplo, sobre las relaciones causa-efecto) dentro de un marco normativo de valores. En el aprendizaje de triple ciclo, se replantean los valores y creencias subyacentes, diferentes formas de ver el mundo y si las

suposiciones dentro de un tipo de visión ya no se mantienen. Cruz et al (2018) sostienen que actualmente el aprendizaje social respecto a las sequías agronómicas, que involucra a instituciones de gobierno, academia y productores agropecuarios, se encuentra en el triple ciclo de aprendizaje (Figura 6).

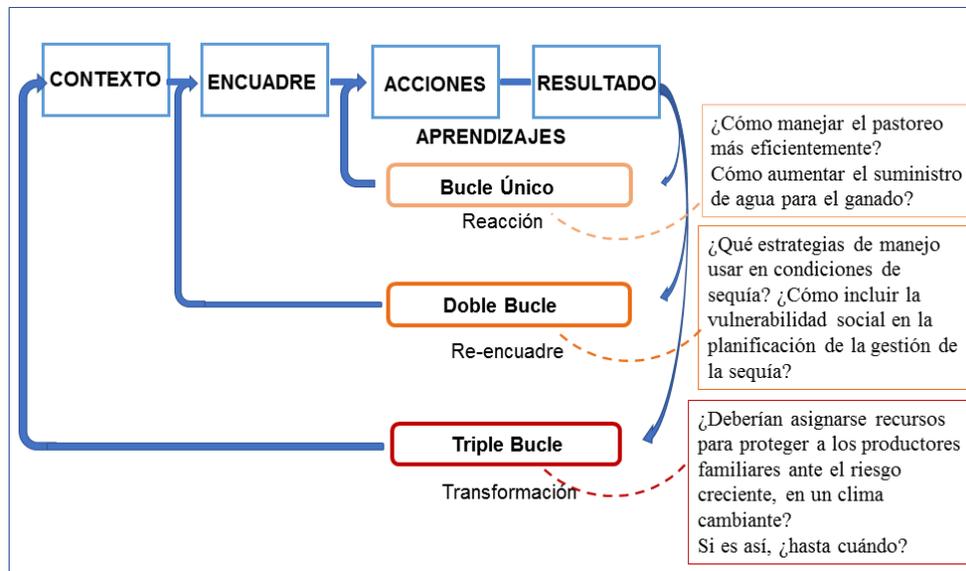


Figura 6: Diagrama de bucles sobre ciclos de aprendizaje social y aplicaciones a la gestión de la sequía (Cruz et al, 2018. Adaptado de Pahl Wostl, 2009, y Lavell et al., 2012).

1.5. Gestión del riesgo de sequías

Para disminuir el impacto de las sequías se requieren medidas de gestión del riesgo climático, lo cual depende, en gran parte, de la disponibilidad y eficacia de la información climática. Incorporar conocimiento climático a la toma de decisiones implica disponer de información climática que pueda ser integrada a saberes específicos y ayude, según distintos ámbitos, a definir acciones (Cruz, 2017). La capacitación de productores y técnicos en los procesos de toma de decisión, así como el uso de información satelital y georeferenciada permite monitorear situaciones de déficit, crecimiento de pasturas y desajustes de carga animal para tomar decisiones a tiempo, desencadenar procesos y aplicar herramientas de políticas públicas (Bartaburu et al., 2013).

Las prioridades para abordar las sequías que se actualizaron y acordaron en el Marco de Sendai para la reducción de desastres (2015- 2030) y adoptadas por SISSA a nivel regional, fueron las siguientes (UNISDR, 2015):

- Comprender el riesgo de desastres.
- Fortalecer la gobernanza para gestionar el riesgo de desastres.

- Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.
- Mejorar la respuesta y adaptación frente a desastres (recuperación, rehabilitación y reconstrucción).

El programa de manejo integrado de la sequía, amparado por la OMM, SISSA y la Asociación Global para el Agua (2019) incluye tres pilares para lograr una política exitosa para sequías, que se centra en la reducción del riesgo. Estos son: contar con un sistema integral de monitoreo y alerta temprana; realizar evaluaciones de vulnerabilidad e impacto; atenuar impactos, adaptación y respuesta.

Este programa identifica cuatro elementos clave interrelacionados que son necesarios en los sistemas de alerta temprana:

- Conocimiento del riesgo de desastres basado en la recopilación sistemática de datos y evaluaciones de riesgo de desastres.
- Detección, seguimiento, análisis y previsión de los peligros, así como posibles consecuencias.
- Difusión y comunicación de información autorizada, oportuna y precisa, así como información asociada a la probabilidad e impacto a partir de una fuente oficial.
- Preparación a todos los niveles para responder a las advertencias recibidas.

Como responder a la sequía es uno de los desafíos más críticos de los responsables de la toma de decisiones en todo el mundo (Cruz et al., 2018), en las políticas públicas se destaca el fuerte incentivo a fortalecer y empoderar a las organizaciones rurales en el entendido que los actores locales juegan un rol principal a la hora de gestionar la adaptación a los cambios presentes y futuros, entre ellos los generados por el clima y sus amenazas. En el caso de Uruguay, la presencia de la institucionalidad pública en el terreno, articulándose con las organizaciones locales, a través de las Mesas de Desarrollo y los Consejos Agropecuarios (creados por ley), son un instrumento de alta utilidad para desarrollar redes de información y así estimular la circulación de información en doble sentido (Pahl Wostl, 2009).

A nivel nacional, existen diversas instituciones tanto gubernamentales como privadas que se dedican a la atención del cambio climático, tales como: el Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático (SNRCC), que tiene como objetivo coordinar y planificar las acciones públicas y privadas necesarias para la prevención de los riesgos, la mitigación y la adaptación al cambio climático (por ejemplo articulación para la elaboración del Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático, PNRCC, siendo su principal instrumento (MVOTMA- SNRCC, 2016); el Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y a la Variabilidad Climática (CIRCVC), en el ámbito del Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la República, el cual busca abordar la problemática asociada al cambio y variabilidad climática desde el aporte de varias disciplinas (Cruz, 2017); el Sistema Nacional de Información Agropecuaria (SNIA) a través

del MGAP, el cual apunta a la integración de los sistemas de información para acciones de monitoreo, seguimiento, evaluación y definición de políticas públicas de las cadenas productivas junto a brindar servicios para políticas de gestión del riesgo con capacidad de acción y toma de decisión en tiempo real (MVOTMA- SNRCC, 2016); la Unidad GRAS del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), que a través de su sitio web, permite el acceso de los usuarios a información de interés, entre las que se destacan los pronósticos meteorológicos, informes agroclimáticos, perspectivas climáticas para períodos de 3 meses, monitoreo del estado de la vegetación, balance hídrico de los suelos, precipitación nacional, etc. En el año 2009 se publica la ley Nº 18621, que crea el Sistema Nacional de Emergencia (SINAE), estableciendo un marco de responsabilidades para la gestión del Riesgo de Desastres, abordando aspectos de prevención, mitigación, atención, preparación, respuesta, rehabilitación y recuperación en situaciones de emergencias y desastres para los niveles nacional y departamental de gobierno (SINAE, 2020).

En síntesis, si bien existen instituciones que se dedican a la atención del clima y procesos derivados del cambio climático, los niveles de incertidumbre y las dificultades de escala (espacial y temporal) para interpretar los pronósticos y posibles impactos que plantea el cambio y la variabilidad climática, hacen necesario la implementación de un plan integral de gestión de riesgo de sequía, que apunte a informar y a asistir en los procesos de toma de decisiones, planificación y elaboración de políticas.

La implementación de políticas públicas puede estar basada en análisis “top-down” (de arriba hacia abajo), es decir, que la institución de mayor nivel jerárquico (la Presidencia, los ministerios) establece las políticas públicas que finalmente llegarán (o no) a ser implementadas por los productores ganaderos. Este enfoque es el que generalmente se aplica para la implementación de políticas públicas en Uruguay. Otro análisis en que las políticas públicas pueden basarse es el denominado bottom-up (de abajo hacia arriba), donde los productores y los demás actores con menores niveles jerárquicos para tomar decisiones sean los que propongan cambios en las políticas públicas (o nuevas) que se adapten o adecúen más a sus circunstancias. En otras palabras, se refiere como top-down a las problemáticas que provengan de las políticas públicas, y bottom-up a las provenientes de la sociedad civil (Aliste et al., 2016).

Enfoques más modernos buscan combinar ambos tipos de análisis; las nociones de jerarquías escalares no deben leerse en términos de extensión territorial, de modo que el "nacional" siempre esté por encima en la jerarquía que “lo local” (Bulkeley, 2005). Se requiere un enfoque que considere más allá de los límites de la ciudad, región, nación, global, local, individual, hogar, etc. (Bulkeley, 2005).

2. Preguntas a ser respondidas

¿Existen diferencias en la duración, intensidad, y época en que ocurren las sequías en las regiones de Basalto, Sierras del Este, Noreste y Suroeste de Uruguay?

¿Qué información climática/agrometeorológica utilizan (y necesitan) los tomadores de decisiones y de donde proviene?

¿Cuáles son las sequías que provocan efectos más adversos en la producción, primavera- verano o verano- otoño?

¿Cuáles son los elementos que permitirían saber de manera temprana si se está configurando una sequía?

¿Es la información satelital útil para complementar con otras metodologías e indicadores y contribuir a una alerta temprana de la sequía?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Contribuir a una adecuada gestión del riesgo de sequías que habilite tomar decisiones mejor informadas, considerando que existen distintos niveles de decisión y decisores para reducir la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático en sistemas ganaderos pastoriles de Uruguay.

3.2. Objetivos específicos

1.- Caracterizar desde el punto de vista agrometeorológico los eventos de deficiencia hídrica (época del año, intensidad y duración) en campo natural en diferentes regiones: Basalto, Sierras del Este, Noreste y Suroeste.

2.- Identificar las necesidades de información de los productores (con énfasis en la información agroclimática) respecto a la toma de decisiones en las sequías.

3.- Analizar la asociación de elementos que configuran el “inicio” de una sequía y que pueden ser utilizados como indicadores del comienzo de estos eventos (elementos físicos, biológicos, bio- sociales que involucran los resultados de los objetivos específicos 1 y 2), contribuyendo a una alerta temprana de la sequía.

4. Métodos

4.1. Elección de área de estudio

Como fue mencionado en la introducción, Panario et al. (2011) definieron diferentes ecozonas o regiones geomorfológicas (Figura 3), de las cuales en este trabajo se analizan las regiones de Cuesta Basáltica, Sierras del Este, Cuenca Sedimentaria Gondwánica (Noreste), Cuenca Sedimentaria del Oeste y Sur- Oeste, siendo que todas presentan algún grado de producción ganadera sobre campo natural.

Por otra parte, existen zonas ganaderas en prácticamente todas las regiones del país, con diferente grado de intensificación y diversificación (Figura 7). La elección de las regiones de estudio se basa en que son zonas donde se realiza ganadería principalmente extensiva, donde la base de alimentación del ganado es el campo natural, pudiendo llegar a tener cierto grado de mejoramiento y/o pasturas artificiales.

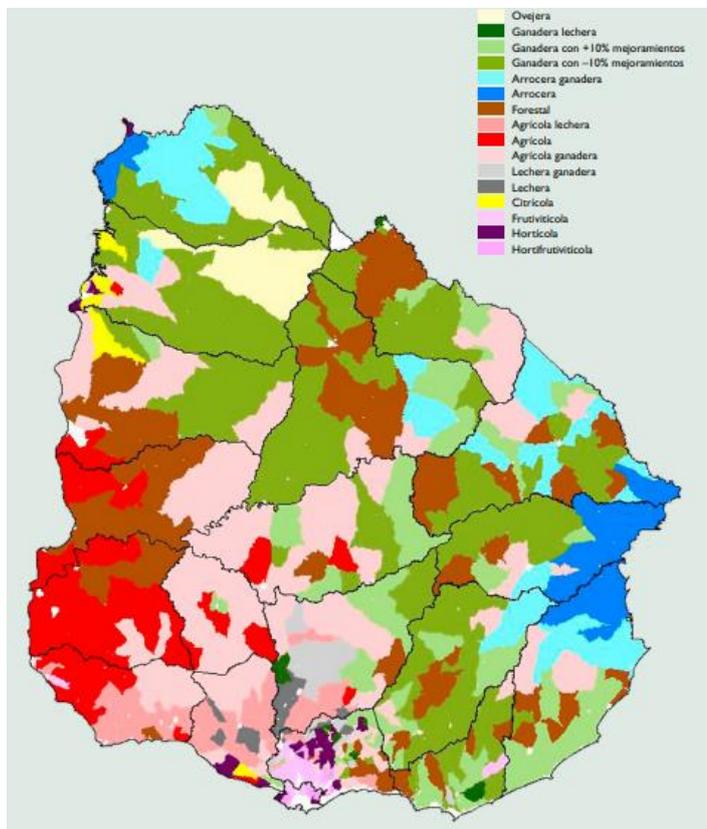


Figura 7: Regiones agropecuarias en el año 2011 (MGAP, 2015. Regiones agropecuarias del Uruguay).

Además de lo ya mencionado, se definieron estas regiones por ser zonas donde existe disponibilidad de información meteorológica de calidad que permite la realización de este estudio.

4.2. Métodos para el objetivo 1

4.2.1. *Análisis de las deficiencias hídricas*

Para la realización de este objetivo, y como la relevancia está dada desde el punto de vista hídrico, se realizaron balances hídricos a paso decádico en las distintas localidades y tipos de suelo para el período 1991- 2015, según la metodología propuesta por Thornthwaite y Mather (1967), bajo los siguientes supuestos:

- toda la precipitación es igualmente efectiva. Es decir, que toda la precipitación va a infiltrar, no existiendo ni escurrimiento superficial ni drenaje profundo en tanto no se haya colmado la Capacidad de almacenaje de agua disponible (CAAD).
- la precipitación está disponible en primera instancia para ser evapotranspirada.
- los excesos, que comprenderían el drenaje profundo y el escurrimiento superficial, no se acumulan en el periodo que se generan hacia el siguiente. Se considera que estos se disipan y no se cuentan para el siguiente período (lo cual es válido si se trabaja a nivel mensual o decádico para Uruguay).

Este estudio se realizó para ocho estaciones meteorológicas del país: Artigas (30,4ºS; 56,5ºO), Paysandú (32,2ºS; 58,1ºO), Melo (32,4ºS; 54,2ºO), Mercedes (33,3ºS; 58,1ºO), Treinta y Tres (33,3ºS; 54,4ºO), La Estanzuela (34,3ºS; 57,7ºO), Las Brujas (34,7ºS; 56,3ºO) y Rocha (34,5ºS; 54,3ºO) (puntos en rojo y azul en Figura 8).

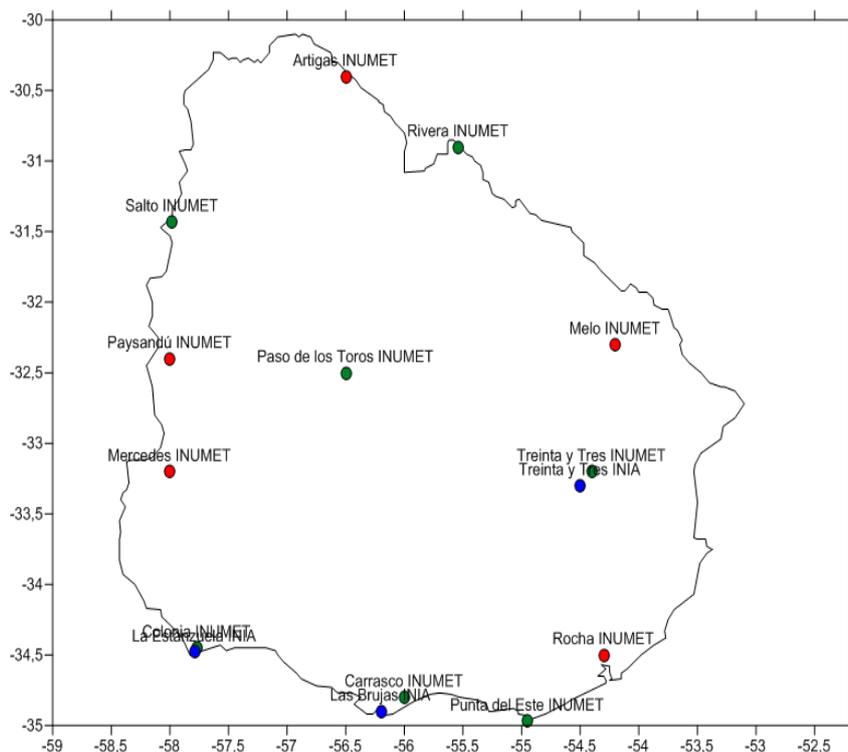


Figura 8: Localización y fuente de las estaciones meteorológicas donde se realizaron análisis para el objetivo específico 1. Puntos en azul indica donde se analizaron deficiencias hídricas, en verde donde se analizaron precipitaciones, en rojo donde se analizaron precipitaciones y deficiencias hídricas.

Se utilizaron datos diarios de precipitaciones y evapotranspiración de referencia (ET₀) de acuerdo a la información disponible. Los datos diarios de ET₀ fueron estimados por Alvaríño (2023) a partir del método Penman- Montieith (Allen, 1998) para el período 1991-2015 con datos meteorológicos provenientes de INUMET e INIA. Los datos de precipitaciones de Las Brujas, La Estanzuela y Teinta y Tres provienen de INIA (2022), en el resto de las localidades provienen de INUMET (2022).

Se adjudicó la capacidad de almacenaje de agua disponible (CAAD) al tipo de suelo identificado en la ubicación de cada estación meteorológica (Figura 8, puntos en rojo y azul), utilizando la carta de reconocimiento de Suelos de Uruguay 1:1.000.000 (MAP. DSF, 1976). La CAAD se corresponde con la capacidad de almacenaje de agua disponible según Molfino y Califra (2001) como sigue: Rocha unidad Álferez (131mm); Melo unidad Lechiguana (113mm); La Estanzuela y Las Brujas unidad Ecilda Paullier- Las Brujas (171mm); Mercedes unidad Cuchilla de Corralito (133mm); Artigas unidad Cuchilla de Haedo- Paso de los Toros (31mm); Paysandú unidad Young (153mm); Treinta y Tres unidad Vergara (117mm).

Para que los resultados sean comparables entre las localidades también se realizaron balances hídricos considerando igual CAAD. Se consideraron los extremos de CAAD obtenidos para los suelos correspondientes al lugar donde está emplazada la

estación meteorológica. Para ejemplificar un suelo superficial se utilizó una CAAD de 31mm y para un suelo profundo de 171mm.

De la realización de los balances hídricos de los suelos se obtuvieron los siguientes resultados: contenido de agua en el suelo o agua disponible, evapotranspiración real, deficiencias hídricas e índice de bienestar hídrico (IBH).

El IBH (Petrasovits, 1990) es la relación de la evapotranspiración real sobre la evapotranspiración de referencia (ETR/ET₀). Su complementario (1-IDH) es el índice de deficiencia hídrica (IDH; Cruz et al., 2014). El IBH se incluyó como otra columna en las salidas del balance hídrico porque es útil para hacer comparaciones sobre el efecto de las sequías en la vegetación, así como para estimar el grado de susceptibilidad a la sequía a partir de su frecuencia de ocurrencia. El IBH toma valores entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 1 determinan que el agua no es limitante y por lo tanto no existen restricciones debidas a la falta de agua para el crecimiento de la vegetación (Petrasovits, 1990). Para Uruguay, Cruz et al. (2014) realizaron una adaptación del IBH, donde se reporta que a partir de valores de IBH menores o iguales a 0,5 la escasez de agua provocaría pérdidas de biomasa. A su vez, valores de IBH menores a 0,3 indican mayor disminución de biomasa y pérdida total en caso de que persista el estrés. En este trabajo serán tomados en cuenta ambos umbrales (0,5 y 0,3). A partir de esto se estudiaron las deficiencias hídricas en cuanto a su época de ocurrencia, su duración y su intensidad.

Para definir los períodos de deficiencia hídrica se tomó en cuenta el siguiente criterio: se inicia el conteo cuando hay períodos con al menos tres décadas consecutivas con $IBH \leq 0,5$. Si continúan valores de $IBH \leq 0,5$ aunque existan como máximo dos décadas con valores $>0,5$ entre medio, se incluyen al período de deficiencia. Se llegó a este criterio porque se observaba que, al inicio de una racha seca de por lo menos tres décadas consecutivas, seguida de valores de $IBH >0,5$ pero que luego se continuaba con deficiencias, el almacenaje del suelo permanecía bajo o sin llegar a recuperar su CAAD.

Para definir la época o de ocurrencia se consideró: las estaciones del año como invierno (I), primavera (P), verano (V) y Otoño(O); períodos multiestacionales de estaciones consecutivas: invierno- primavera (I-P), invierno- primavera- verano (I-P-V), primavera- verano (P-V), primavera- verano- otoño (P-V-O), verano- otoño (V-O), verano- otoño- invierno (V-O-I) y otoño- invierno (O-I); el período total anual (T).

Para analizar la intensidad de las deficiencias hídricas se computaron las décadas consecutivas con $IBH \leq 0,3$ (considerado como IBH crítico) e $0,31 \leq IBH \leq 0,5$ (considerado como IBH severo) durante todo el período 1991- 2015.

Para caracterizar la duración de las deficiencias hídricas se contabilizó el número de casos consecutivos de IBH crítico ($IBH \leq 0,3$) o IBH severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$).

Para el análisis de tendencias se utilizó el test no paramétrico de Mann- Kendall (Kendall, 1975) con el programa estadístico Past (versión 4.05). El cálculo de tendencia se realizó para las 8 localidades donde se realizaron los balances hídricos (Figura 8, puntos en rojo y azul) en verano, otoño, invierno y primavera.

Para el cálculo de probabilidades de ocurrencia de deficiencias severas se consideró el máximo almacenaje de agua que puede tener cada suelo con IBH \geq 0,5. Esto se basa en que el almacenaje presentó una correlación mayor al 75% con el IBH en todas las localidades, lo que habilita el cálculo de probabilidades a partir de una variable continua como el almacenaje de agua del suelo. Las probabilidades se calcularon utilizando el método de frecuencias acumuladas.

4.2.2. Análisis de las precipitaciones en el período 1950-2021

Se complementó el análisis anterior estudiando el comportamiento de las precipitaciones para un período de años más extenso (72 años), ya que la alta variabilidad interanual de las precipitaciones (coeficiente de variación mayor al 60%; Pérez Becoña, 2016) condiciona la ocurrencia de deficiencias hídricas, sobre todo en los meses cálidos.

Se calculó la mediana de la precipitación utilizando datos diarios provenientes de INUMET para las siguientes localidades: Melo (32,4 $^{\circ}$ S; 54,2 $^{\circ}$ O), Treinta y Tres (33,3 $^{\circ}$ S; 54,4 $^{\circ}$ O), Mercedes (33,3 $^{\circ}$ S; 58,1 $^{\circ}$ O), Colonia (33,45 $^{\circ}$ S; 57,77 $^{\circ}$ O), Salto (31,43 $^{\circ}$ S; 57,98 $^{\circ}$ O), Rocha (34,5 $^{\circ}$ S; 54,3 $^{\circ}$ O), Rivera (30,9 $^{\circ}$ S; 55,54 $^{\circ}$ O), Paysandú (32,2 $^{\circ}$ S; 58,1 $^{\circ}$ O) y Carrasco (34,8 $^{\circ}$ S; 56 $^{\circ}$ O). Se agregó la información de Paso de los Toros (32,5 $^{\circ}$ S; 56,5 $^{\circ}$ O), aunque el período comprendido fue 1950- 2010 (61 años) por falta de datos desde 2012 en adelante (Figura 8, puntos en rojo y verde). Se justifica el cálculo de la mediana como medida central de la precipitación, ya que la mediana representa el orden donde se encuentra el 50% de los datos analizados y es insensible a valores extremos, siendo por lo tanto un indicador más adecuado.

Se realizaron mapas para representar espacialmente el régimen estacional y anual de precipitaciones con el programa Surfer (versión 13.3.493), utilizando la interpolación espacial “kriging”.

4.3. Métodos para el objetivo 2

Se realizaron entrevistas en profundidad e in situ a productores de la región Noreste, evaluando su manejo productivo, percepción hacia las sequías, qué

información meteorológica o climática utilizan, a qué actores recurren para tomar decisiones, entre otros (ver preguntas en el anexo 8.2).

Por otra parte, se realizaron las mismas preguntas en formato de formulario de google https://docs.google.com/forms/d/1G-ijeE3pwnVOj8VdDdZ8NkcJVcxOPXT2G_2XYQYUlpq/edit, a productores ganaderos de todas las regiones definidas para este estudio. Un total de 49 productores de diferentes zonas del país respondieron las preguntas.

A partir de las entrevistas en profundidad y del relevamiento a por internet, se agruparon las respuestas similares en cada región y las respuestas que diferenciaban entre regiones, a modo de identificar patrones de acción y/o percepción.

4.4. Métodos para el objetivo 3

Para encontrar indicadores que contribuyan a establecer una alerta temprana de sequías, se analizaron los años de La Niña que históricamente hayan provocado pérdidas en el sector agropecuario en general, y en el sector ganadero en particular. Este punto toma gran importancia para encontrar señales sobre el inicio de una sequía, ya que si comienza una sequía con un año Niña probablemente siga, y la identificación de un año Niña es algo que se sabe con anticipación.

Para ello se ordenaron las precipitaciones mensuales del período 1991-2015 de menor a mayor y se agruparon por categorías como sigue: 0-50 mm, 51-100 mm, 101-200 mm y más de 200mm y se ordenaron los valores del índice de Oscilación Sur (SOI) y el Índice Niño Oceánico (ONI) correspondientes al mes anterior (de Vera y Terra, 2018). Se realizó la correlación de Pearson entre las precipitaciones y los índices (ONI ySOI), con el fin de visualizar en qué zonas del país existe mayor correlación con los índices y cuál de ellos representa mejor la cantidad de precipitación ocurrida en cada zona.

Por otro lado, se relacionaron valores del índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés), obtenidos de la página del Sistema Nacional de Información Agropecuaria (SNIA) del MGAP, con valores de precipitaciones del período 2000- 2015. Se analizó a partir del año 2000 debido a que es el período de tiempo a partir del cual hay datos de NDVI disponibles. Para ello, se estudiaron los valores del NDVI en un tiempo determinado con las precipitaciones ocurridas 15 días, 1 mes y 3 meses antes, y se determinó mediante un análisis de correlación cuál es el tiempo al que mejor responde el crecimiento de las pasturas frente a deficiencias hídricas y si esta respuesta es significativa. Como el satélite toma la información con la que se desarrolla el índice cada 15 días, se utilizaron las precipitaciones acumuladas por quincena para analizar este comportamiento. La información que se utiliza para calcular el NDVI forma parte del producto MOD13Q1 generado por la NASA a partir del sensor

MODIS montado en la plataforma Terra. Éste tiene una resolución temporal de 16 días y una resolución espacial de 250 metros, con un tamaño de pixel de 6,25 há (SNIA, 2024).

Por último, en las entrevistas y encuestas que se realizaron a productores de las diferentes regiones, una de las preguntas estuvo relacionada a bio- indicadores que consideraran indicativos de estar ingresando en una sequía, como forma complementaria de información (IPCC, 2021).

5. Resultados y discusión

5.1. Caracterización biofísica de las sequías

5.1.1. *Caracterización de las deficiencias hídricas*

5.1.1.1. Época de ocurrencia

En los siguientes gráficos se presenta el número de eventos de deficiencias hídricas para los períodos estacionales, multiestacionales y anuales, para cada localidad. Con eventos se refiere a deficiencias hídricas ocurridas según el criterio detallado en los métodos. Cada gráfico corresponde a un tipo de suelo de acuerdo a lo detallado en el ítem 4.2.1.

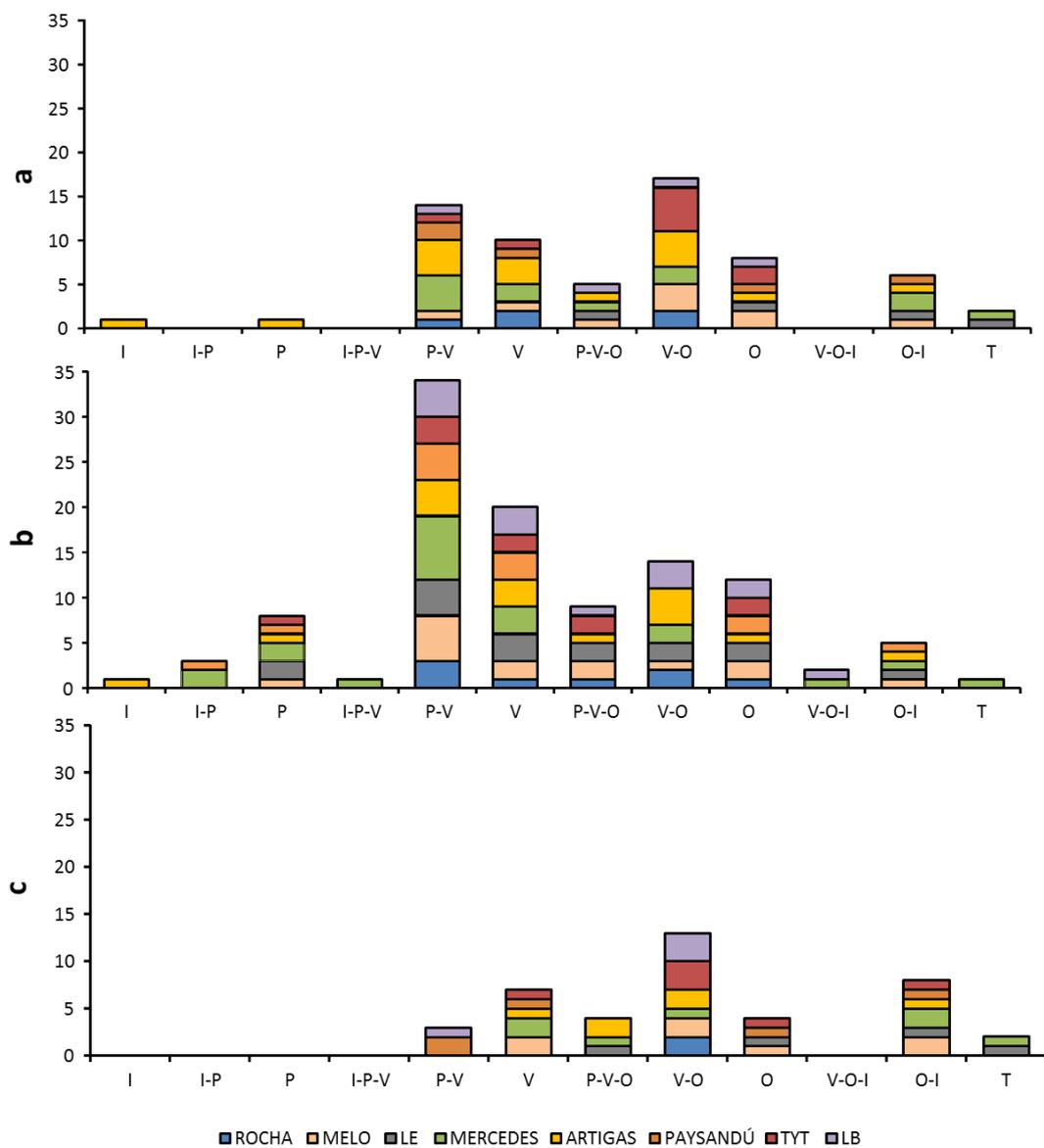


Figura 9: Número de eventos de deficiencias hídricas por localidad y época del año en: suelo donde está ubicada la estación meteorológica (a), suelo superficial 31mm (b) y

suelo profundo 171mm (c). En el eje horizontal se representa la época del año, siendo I: invierno; I-P: Invierno- primavera; P: Primavera; I-P-V: Invierno- primavera- verano; P-V: Primavera- verano; V: Verano; P-V-O: Primavera- verano- otoño; V-O: Verano- otoño; O: Otoño; V-O-I: Verano- otoño- invierno; O-I: Otoño- invierno; T: todo el año. En el eje vertical se representa el número de eventos registrados de deficiencias hídricas en el período 1991- 2015. LE: La Estanzuela, TYT: Treinta y Tres, LB: Las Brujas.

En términos generales (Figura 9), la región SW (Mercedes y La Estanzuela) es la que presenta mayor cantidad de deficiencias que involucran las estaciones de primavera- verano. Se estima que las deficiencias hídricas en esta época están relacionadas a que la ETO se hace mayor y el régimen de precipitaciones de esta región no consigue cubrir la demanda (Figura 1 y Figura 15); y mientras el agua disponible en el suelo no sea suficiente para cubrir esa demanda, habrá deficiencias. Según lo reportado por Alvaríño (2023; Figura 2) la región W y SW (más que nada Paysandú y La Estanzuela) es la que tiene mayores tendencias de aumento de la ETO, tanto a nivel anual como P, P- V, V y V-O. Por otra parte, en V, O y P en el SW es una de las regiones con menores precipitaciones (Figura 15).

Hacia el SE (Rocha), y observado en mayor magnitud cuando se considera un suelo profundo (Figura 9c) se observa que es una región que manifiesta muy pocos eventos de deficiencias hídricas. En las regiones hacia el E y NE (Treinta y Tres y Melo) las deficiencias hídricas están más desfasadas hacia el V, V-O y O (Figura 9). Esto podría ser un dato interesante como alerta temprana al definir que las deficiencias se manifiestan primero hacia el litoral W- SW y continúan más adelante hacia el E- NE.

En un suelo superficial (Figura 9b) aparecen todas las categorías, en cambio, cuando se pasa a un suelo profundo (Figura 9c), además de disminuir el número de casos de deficiencias hídricas, desaparecen varias categorías (O-I, I-P, I-P-V, P y V-O-I). A medida que se aumenta la capacidad de almacenaje de agua de los suelos, además de ir desapareciendo categorías, la época de ocurrencia se mueve más hacia las categorías subsiguientes. Se pierden las categorías de los extremos, es decir aquellas que incluyen y comienzan en primavera y las más cercanas al comienzo del invierno.

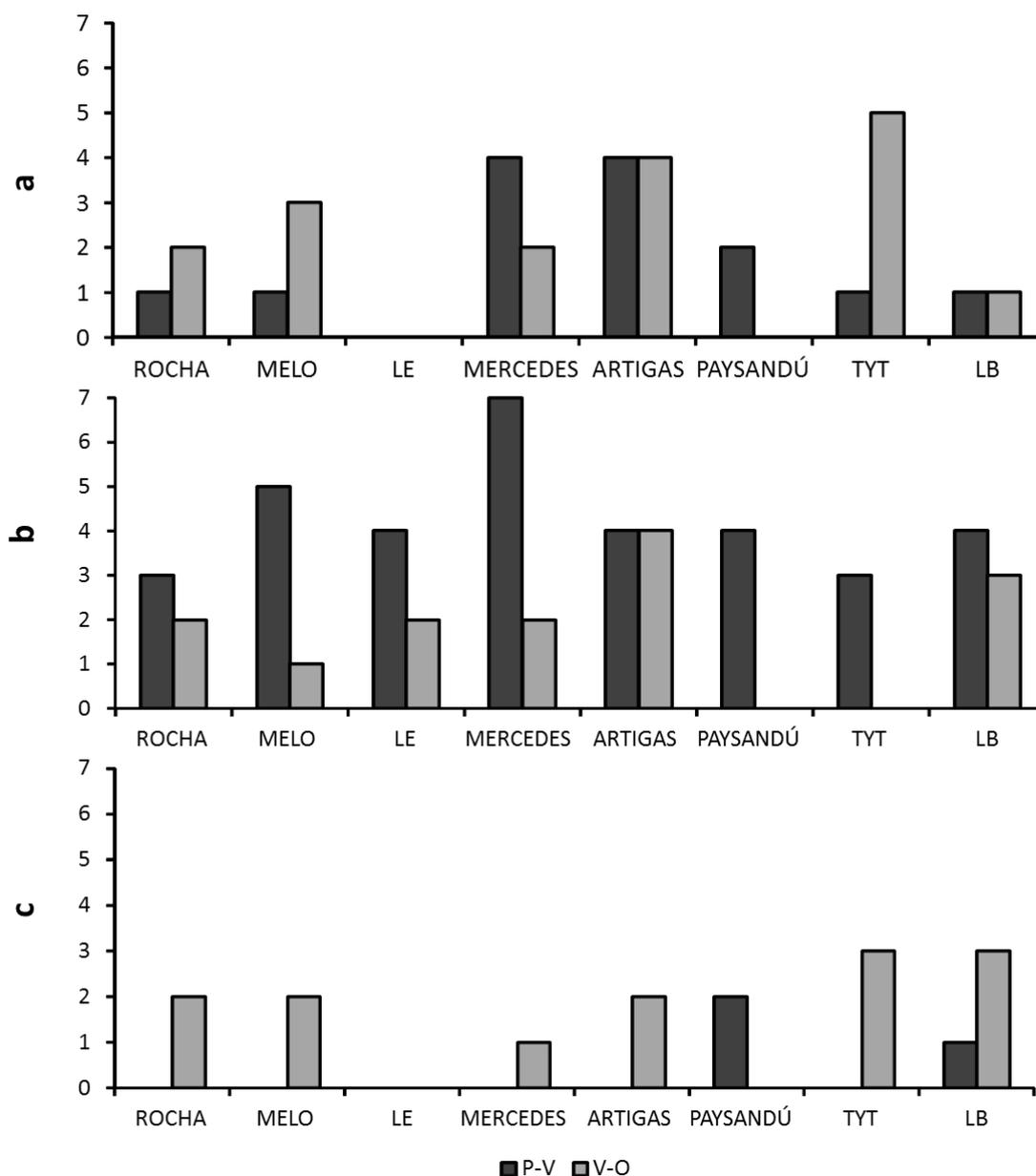


Figura 10: Número de eventos de deficiencias hídricas por localidad en primavera-verano (P-V) y verano- otoño (V-O) en: suelo donde está ubicada la estación meteorológica (a), suelo superficial 31mm (b) y suelo profundo 171mm (c). En el eje horizontal se representan las localidades, donde LE es La Estanzuela, TYT es Treinta y Tres y LB es Las Brujas. En el eje vertical se representa el número de eventos registrados de deficiencias hídricas en el período 1991- 2015.

A medida que los suelos son más profundos se presentan menores cantidades de eventos de deficiencias hídricas en P-V (Figura 10b), ya que el uso de agua de los suelos juega un rol fundamental para amortiguar los impactos en los períodos en que las precipitaciones son menores a la ET0. En este caso, las deficiencias se corren hacia el V-O (Figura 10b). Por lo contrario, a medida que el suelo es más superficial, las

deficiencias aparecen antes en el tiempo, y en este caso las deficiencias hídricas de P-V comienzan a tener una mayor importancia (Figura 10c).

5.1.1.2. Duración e intensidad

Se identificaron eventos de deficiencias hídricas de diferente duración e intensidad según la localidad. Para analizar la intensidad de las deficiencias hídricas se computaron las décadas en que el IBH tomó valores entre 0 y 0,3 (IBH crítico) y entre 0,31 y 0,5 (IBH severo) para el período 1991- 2015. La duración está definida por décadas; tal como se explicó en los métodos, para considerar un evento de deficiencia hídrica deben existir por lo menos tres décadas seguidas con $IBH \leq 0,5$, existiendo en alguna circunstancia deficiencias hídricas de más de 20 décadas (Figura 11, Figura 12 y Figura 13).

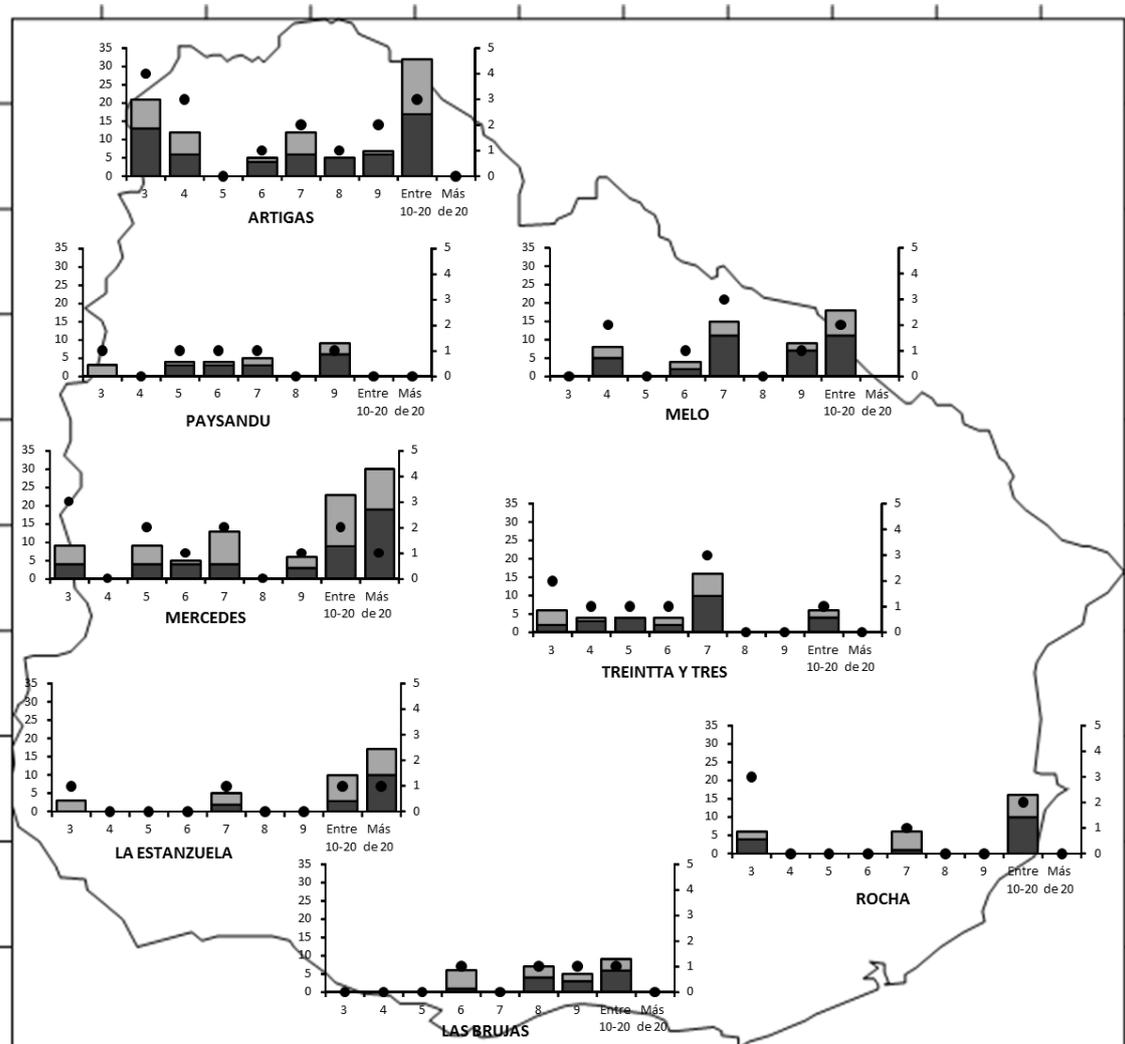


Figura 11: Duración e intensidad de las deficiencias hídricas en suelo donde está ubicada la Estación Meteorológica. Eje horizontal: Número de décadas con deficiencias

hídricas. Eje vertical primario: Número de casos de IBH crítico ($\leq 0,3$) y severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Eje vertical secundario: Número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas. Barras grises oscuro: IBH crítico ($\leq 0,3$). Barras grises claro: IBH severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Puntos negros: número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas.

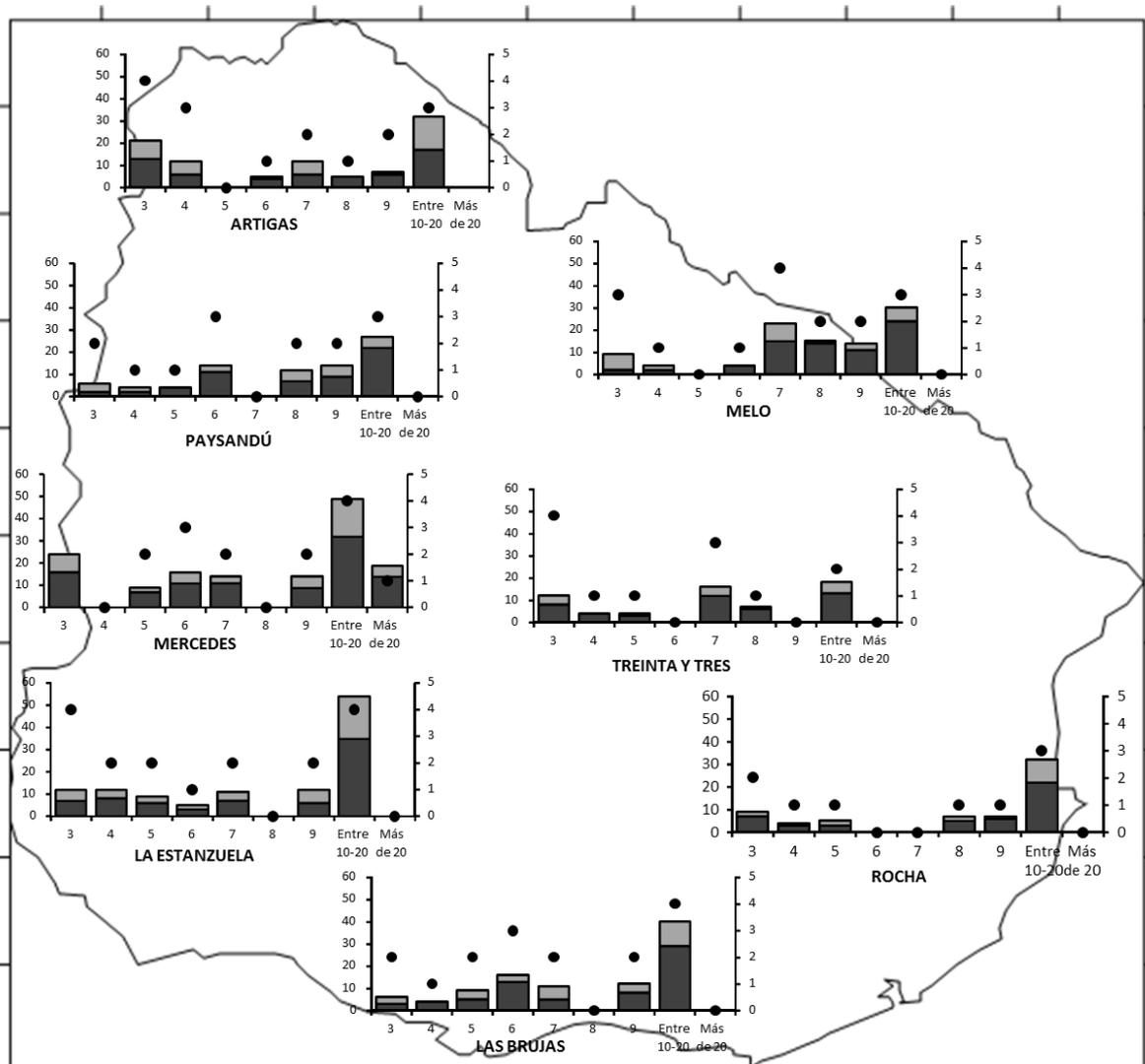


Figura 12: Duración e intensidad de las deficiencias hídricas en suelo superficial (31mm). Eje horizontal: Número de décadas con deficiencias hídricas. Eje vertical primario: Número de casos de IBH crítico ($\leq 0,3$) y severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Eje vertical secundario: Número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas. Barras grises oscuro: IBH crítico ($\leq 0,3$). Barras grises claro: IBH severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Puntos negros: número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas.

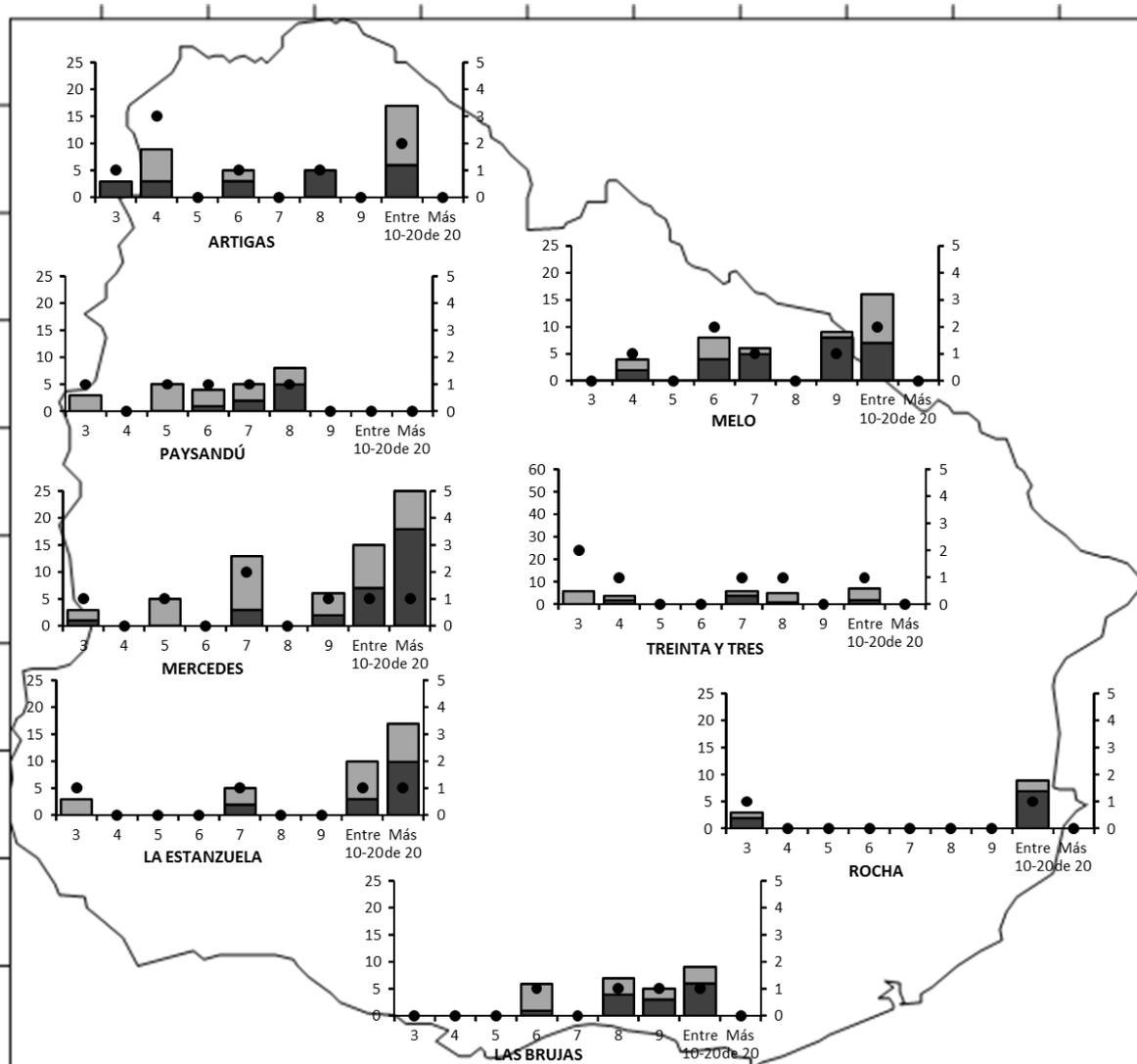


Figura 13: Duración e intensidad de las deficiencias hídricas en suelo profundo (171mm). Eje horizontal: Número de décadas con deficiencias hídricas. Eje vertical primario: Número de casos de IBH crítico ($\leq 0,3$) y severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Eje vertical secundario: Número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas. Barras grises oscuro: IBH crítico ($\leq 0,3$). Barras grises claro: IBH severo ($0,31 \leq IBH \leq 0,5$). Puntos negros: número de eventos de deficiencias hídricas según cantidad de décadas involucradas.

Se observaron eventos de deficiencias hídricas con diferente cantidad de décadas involucradas, desde pocas (3 o 4 décadas) hasta de más de 20 décadas, independientemente del tipo de suelo (Figura 11, Figura 12 y Figura 13).

Cuando se toma en cuenta un suelo superficial (Figura 12), si bien aumentan las deficiencias de todas las duraciones, las que más aumentan con respecto a un suelo profundo son las de 3 décadas. Esto está relacionado principalmente a que aparecen

nuevas deficiencias que antes con un suelo de mayor profundidad no habían sido manifestadas, y son menos duraderas porque con poca lluvia un suelo superficial se va a recargar más con respecto a su CAAD que uno profundo. Sin embargo, si la variable que se estudiara fueran las deficiencias hídricas totales (en mm), y no la relación ET_0/ETR estas serían mayores en un suelo superficial.

A medida que la lámina de agua en el suelo es más superficial (31mm) aumenta la proporción de eventos con IBH crítico en comparación con eventos severos (Figura 12). Sin embargo, en un suelo profundo, además de disminuir casi a la mitad el número de casos de deficiencias hídricas, también se revierte la situación que se da en un suelo superficial, es decir que son mayores los casos de deficiencias severas con respecto a las deficiencias críticas (Figura 13).

En un suelo profundo el número de casos de deficiencias hídricas es menor y el porcentaje de IBH severo es mayor. Este es el patrón observado en la mayoría de los casos, sin embargo, en el caso de Melo la cantidad de IBH crítico fue muy similar que los IBH severos y es la localidad con mayor cantidad de IBH críticos/ IBH totales. Este comportamiento podría explicarse porque Melo presentó mayor tendencia y mayor significancia de aumento de la ET_0 en verano (Alvariño, 2023) (Figura 2).

En cuanto a la duración e intensidad de las deficiencias hídricas resulta más difícil encontrar patrones que definan similares características según región del país, pero a grandes rasgos, Melo (NE) y Mercedes (SW) son las que presenta mayor cantidad de eventos de deficiencias hídricas de pocas y de muchas décadas, siendo también las regiones con mayor cantidad de IBH críticos (con valores menores o iguales a 0,3). Los suelos con las que se analizaron los BH en estas localidades poseen una capacidad media de almacenaje de agua, por lo que el suelo no es el que estaría representando este patrón. Para el caso de Mercedes, parte de la explicación estaría dada por un aumento en la ET_0 en esta localidad (Figura 2), que se ve acompañado con precipitaciones más bajas que en el resto del país (Figura 15). Este mismo comportamiento se observa en La Estanzuela; sin embargo, una CAAD tan profunda amortigua este efecto, viéndose reflejado en una menor intensidad de las deficiencias hídricas.

En el otro extremo, toda la región S y Paysandú han registrado menor cantidad de eventos de deficiencias hídricas. Específicamente Rocha, tiene pocos eventos registrados, y la mayoría son de períodos cortos (3 décadas). Sin embargo, La Estanzuela presenta pocos eventos, pero 2 de los 4 eventos comprenden muchas décadas seguidas (una entre 10 y 20 y otra de más de 20; Figura 11, Figura 12 y Figura 13). Seguramente esto está dado por lo que fue mencionado en el análisis de la época de ocurrencia (ítem 5.1.1.1.), las mayores deficiencias se registran hacia la P-V, momento en que la ET_0 es alta y las precipitaciones en comparación a otras regiones del país son menores.

5.1.2. Precipitaciones

A la hora de analizar las precipitaciones, la mediana representa mejor que la media debido a que se trata de una variable con una alta variabilidad (Figura 14). Por este motivo, en el análisis de las precipitaciones se utilizará la mediana como medida de tendencia central.

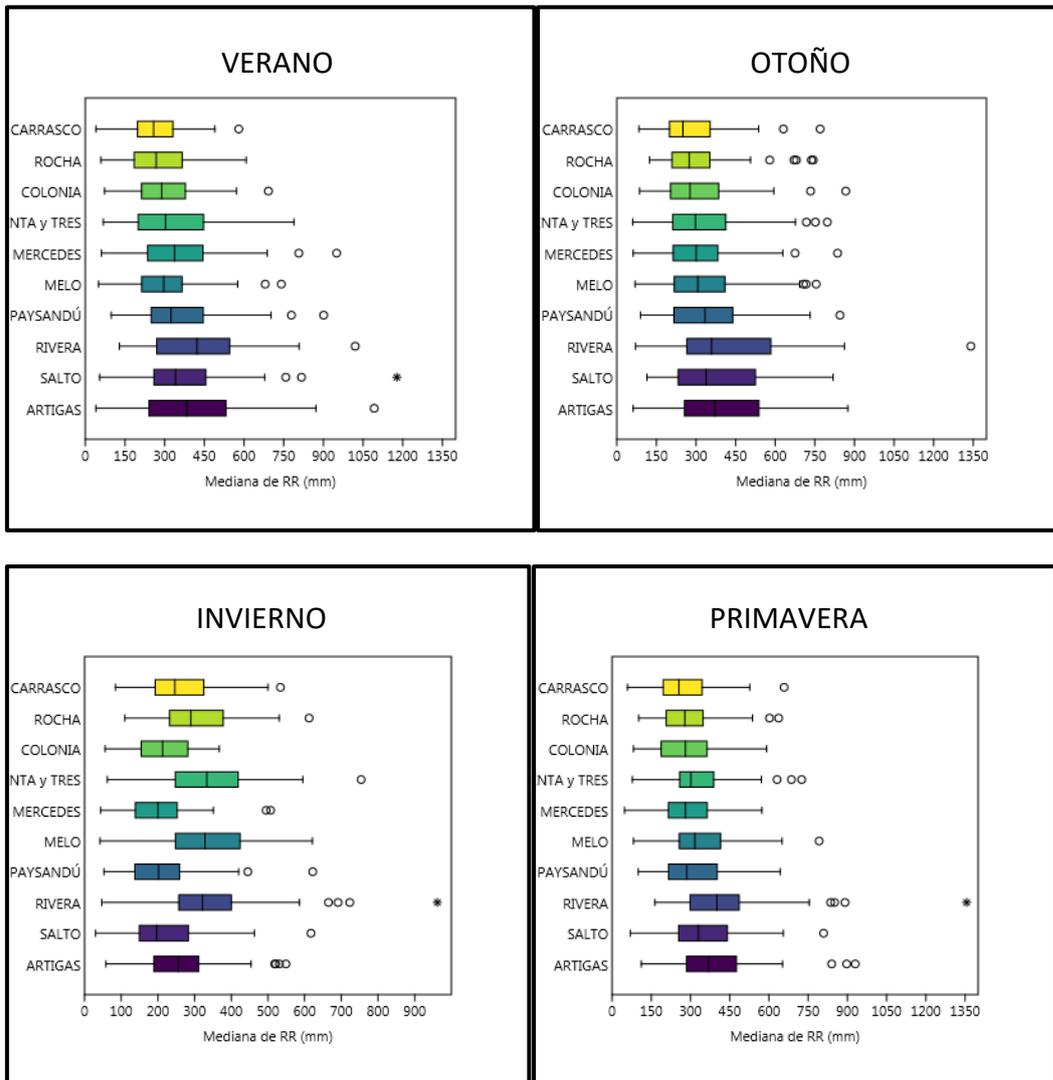


Figura 14: Gráfico de cajas con outliers según estación del año período 1950- 2021.

Los gráficos de caja o box- plot (Figura 14) representan la distribución de los datos de precipitaciones acumuladas en las diferentes estaciones del año. La línea central de la caja representa la mediana y los extremos de la caja indican los percentiles (percentil 25 izquierda, y percentil 75 derecha). Las líneas por fuera de las cajas, representan la varianza esperada de los datos, y por último se representan los outliers o valores atípicos, que son aquellos que superan la varianza esperada. Cuanto más cerca del centro de la caja está la mediana, estaría indicando que los datos son más o menos simétricos.

En verano, en todos los casos los datos son más o menos simétricos, ya que la mediana se ubica prácticamente en la mitad de la caja. A su vez, los valores de la mediana se encuentran en un rango de aproximadamente 250 mm hacia el S y cercanos a los 400 mm hacia el N- NE (Figura 16). Por otra parte, cuanto más al N, aparecen mayores valores atípicos.

En otoño, la línea central de la caja (o mediana) se corresponde en todas las localidades con valores relativamente similares, a pesar de mostrar un gradiente marcado S- N (Figura 17). Asimismo, cuanto más hacia el N, los valores de la mediana están más sesgados hacia el percentil 25, mientras que en el resto del país la distribución es bastante simétrica, y a su vez, cuanto más al S, mayor es la cantidad de valores que superan la varianza esperada.

En invierno el gradiente de precipitaciones se hace muy marcado en dirección E- W (Figura 18), y a su vez, estas precipitaciones hacia el E superan casi el doble en magnitud a las precipitaciones en el W (aproximadamente 200- 340 mm).

En primavera es cuando los datos de precipitaciones acumuladas se encuentran más simétricos, ya que las medianas en todas las regiones están representadas casi en el centro de la caja, siendo mayor hacia el N- NE y menor hacia el S (Figura 19).

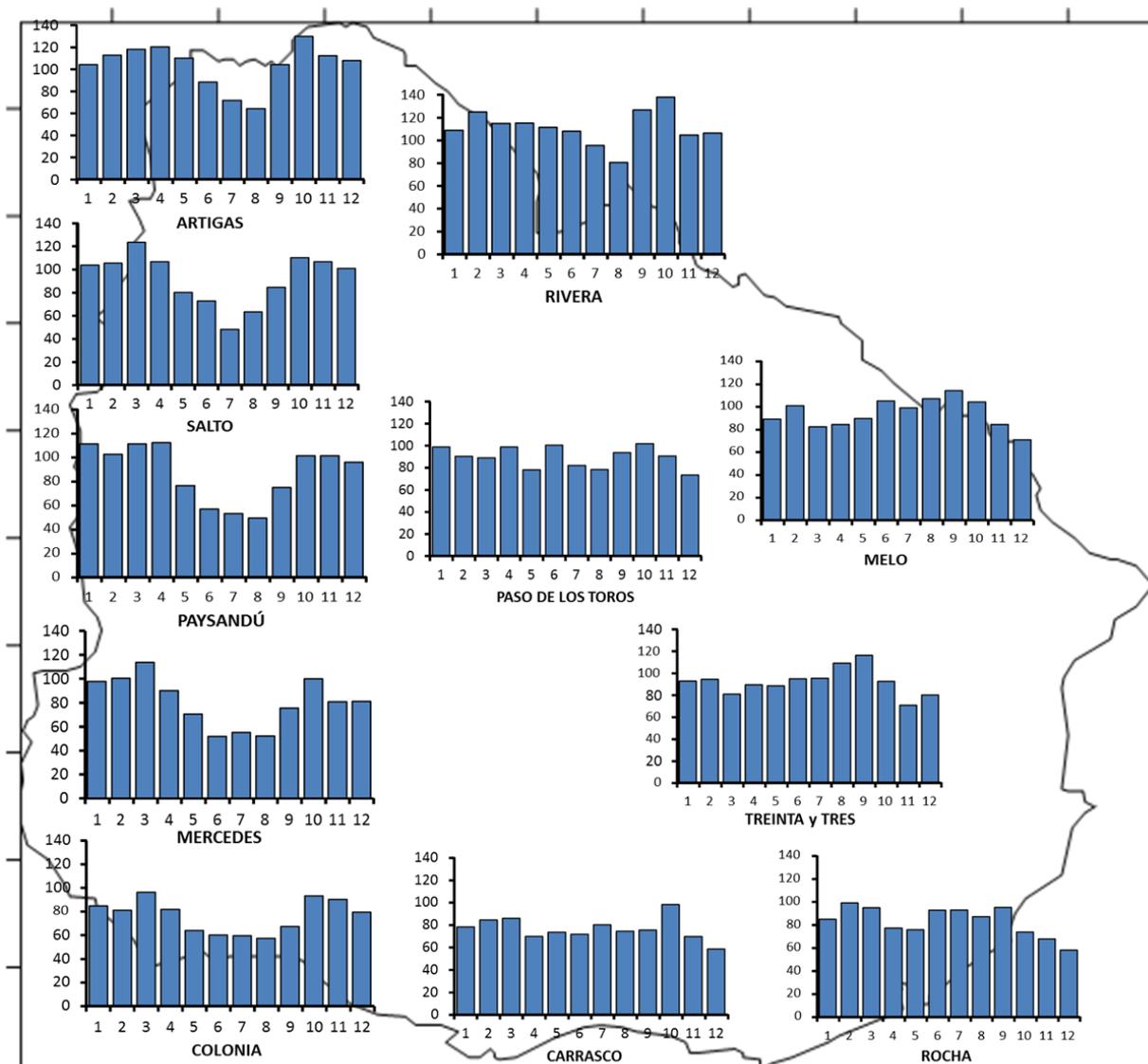


Figura 15: Representación gráfica de las precipitaciones acumuladas mensuales en Uruguay en el período 1950- 2021, en las estaciones meteorológicas de Carrasco, Colonia, Mercedes, Paysandú, Salto, Artigas, Paso de los Toros, Rivera, Melo, Treinta y Tres y Rocha. Eje horizontal: meses; eje vertical: precipitaciones (mm).

Se puede observar que existen regiones del país, como el N y litoral W (Artigas, Salto y Paysandú), donde se verifica mayor cantidad de precipitaciones en la temporada cálida y las precipitaciones hacia el invierno disminuyen (aunque siempre dentro de un patrón climático isohigro). Cuanto más al N, esta diferencia se hace más notoria, debido a que las precipitaciones aumentan en magnitud en el verano en esta región (Figura 15).

En la región S (Carrasco y Rocha) del país es donde las precipitaciones son más uniformes a lo largo del año, siendo relativamente similares en magnitud todos los meses (Figura 15).

Por último, en la región E y NE (principalmente Melo y Treinta y Tres), se observa un aumento en las precipitaciones hacia el otoño- invierno que persiste hasta comienzos de la primavera. Hacia fines de primavera y comienzos de verano se observa una disminución en el régimen de precipitaciones (Figura 15).

Estas diferencias se pueden observar más claramente en la Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20. Estos mapas representan la mediana de las precipitaciones en las diferentes estaciones del año y la mediana de las precipitaciones acumuladas anual.

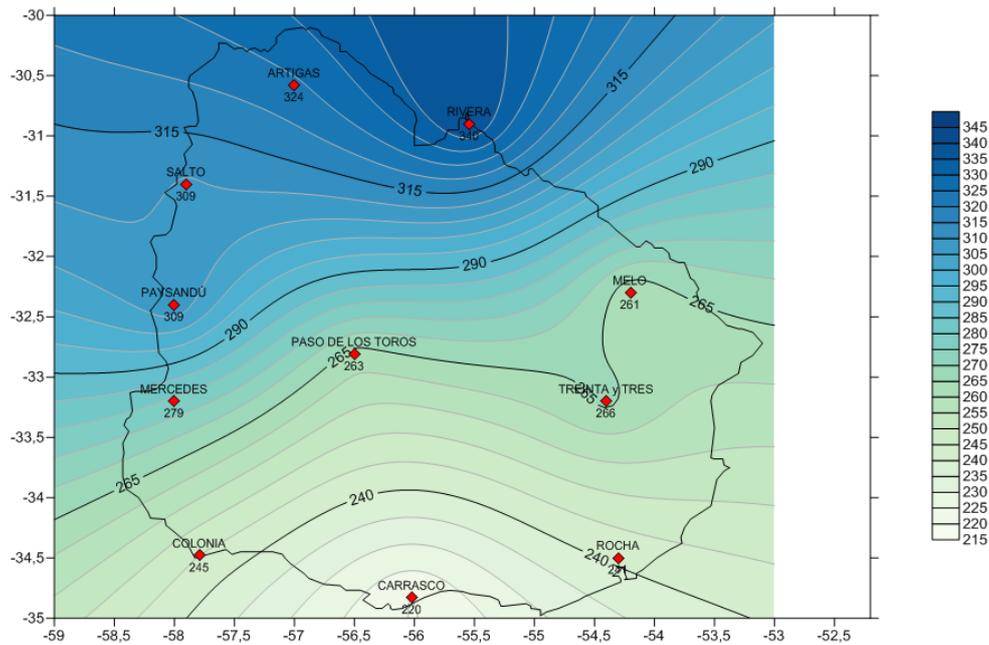


Figura 16: Mapa de mediana de precipitaciones acumuladas en verano (período 1950-2021).

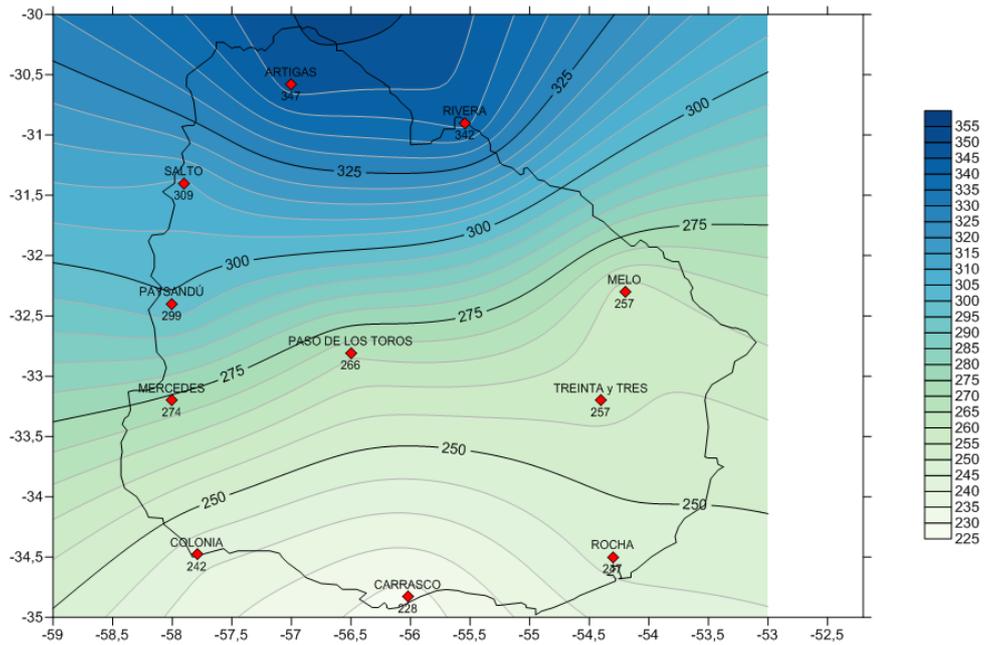


Figura 17: Mapa de mediana de precipitaciones acumuladas en otoño (período 1950-2021).

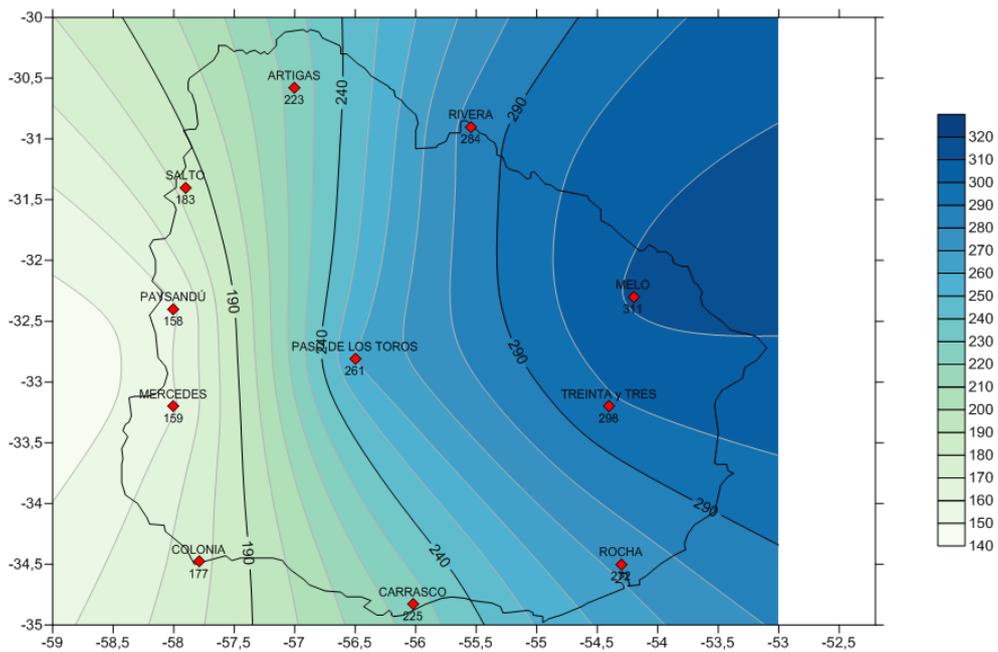


Figura 18: Mapa de mediana de precipitaciones acumuladas en invierno (período 1950-2021).

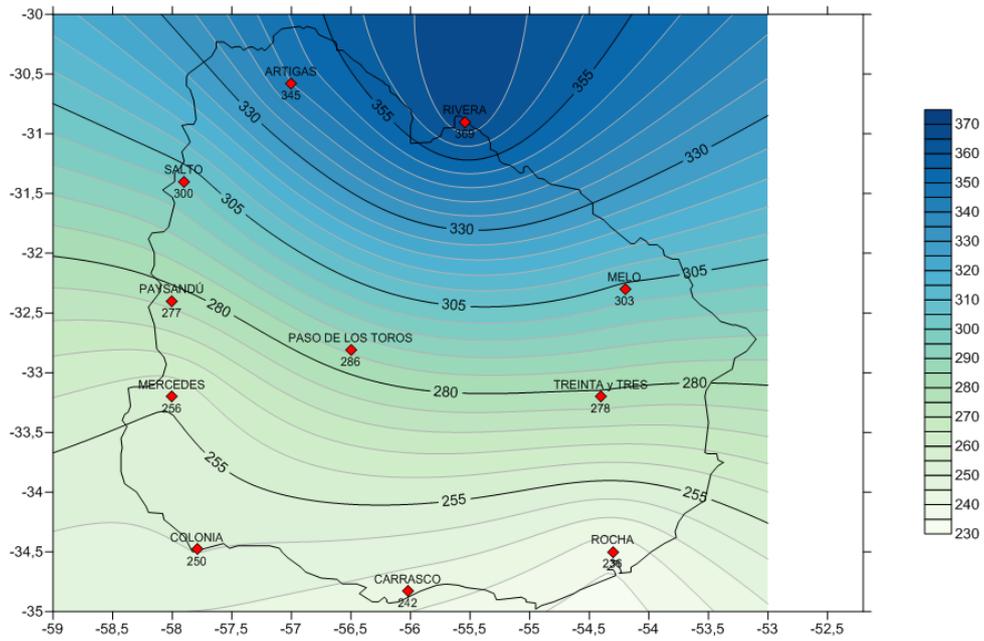


Figura 19: Mapa de mediana de precipitaciones acumuladas en primavera (período 1950-2021).

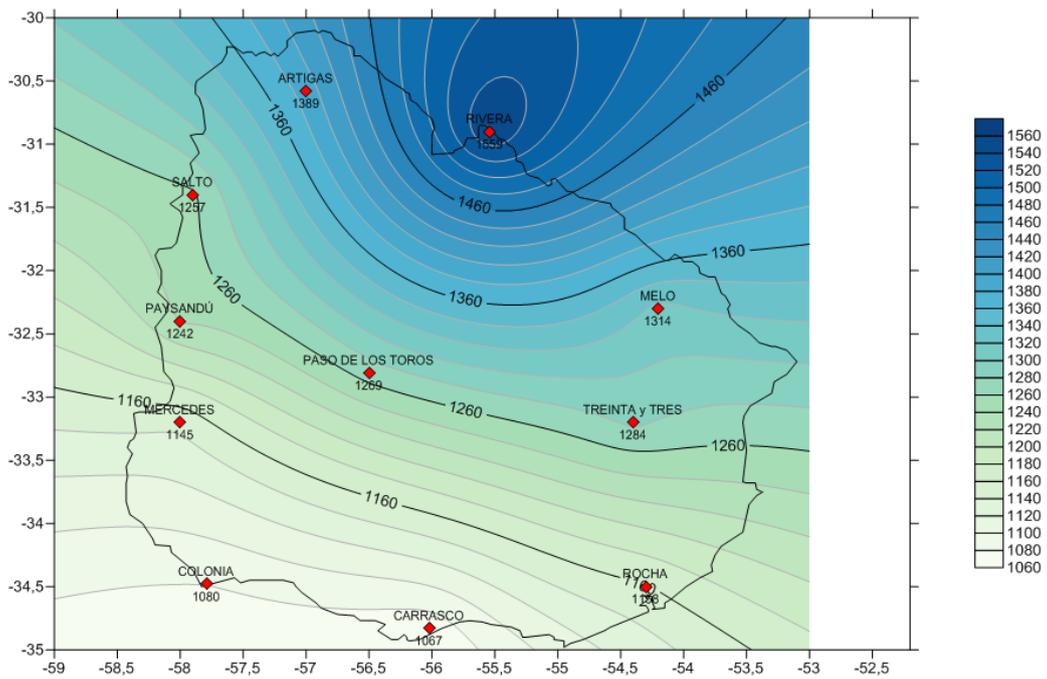


Figura 20: Mapa de mediana de precipitaciones anuales acumuladas (período 1950-2021).

Existe un gradiente de precipitaciones SE- NW en verano (Figura 16), en otoño, primavera y en el total anual S- N NE (Figura 17, Figura 19 y Figura 20), y en invierno W- E (Figura 18). Conocer estos gradientes en las espaciales y temporales, y sus tendencias,

así como las de ETO permitirán explicar en gran medida los patrones observados en las deficiencias hídricas.

Tal como se representó en la Figura 20, el gradiente anual de las precipitaciones (S- N NE), este es similar al reportado por Castaño et al. (2011), a pesar de que los puntos utilizados en este trabajo son pocos considerando la alta variabilidad espacial de la lluvia. Los autores realizaron una caracterización agroclimática para el período 1980-2009, utilizando para las precipitaciones información de 53 estaciones pluviométricas. En cuanto a los mm acumulados anuales, Castaño et al. (2011) reportaron un gradiente de 1200 mm en el S y 1600 en el N- NE. En este caso, este es de 1050 a 1500 mm, seguramente algo menores debido al período de tiempo analizado, ya que se ha observado un incremento de las precipitaciones (Caorsi et al., 2018; Barros, 2006), por lo que las primeras décadas analizadas estarían bajando la mediana. Otro aspecto importante, que puede estar representando estas diferencias, es que en este caso se trabajó con la mediana de las precipitaciones, mientras que Castaño et al. (2011) utilizó la media.

Terra y Pisciotano (1994) realizaron una regionalización de Uruguay según el ciclo anual de precipitaciones, donde utilizaron datos mensuales de 100 estaciones pluviométricas, comprendiendo el período 1933- 1978, mediante Cluster Analysis (Figura 21). En una primera aproximación los autores determinaron 4 regiones: NW- N-CE y S, coincidiendo en gran parte con la regionalización realizada en este trabajo (Figura 15 y Figura 21).

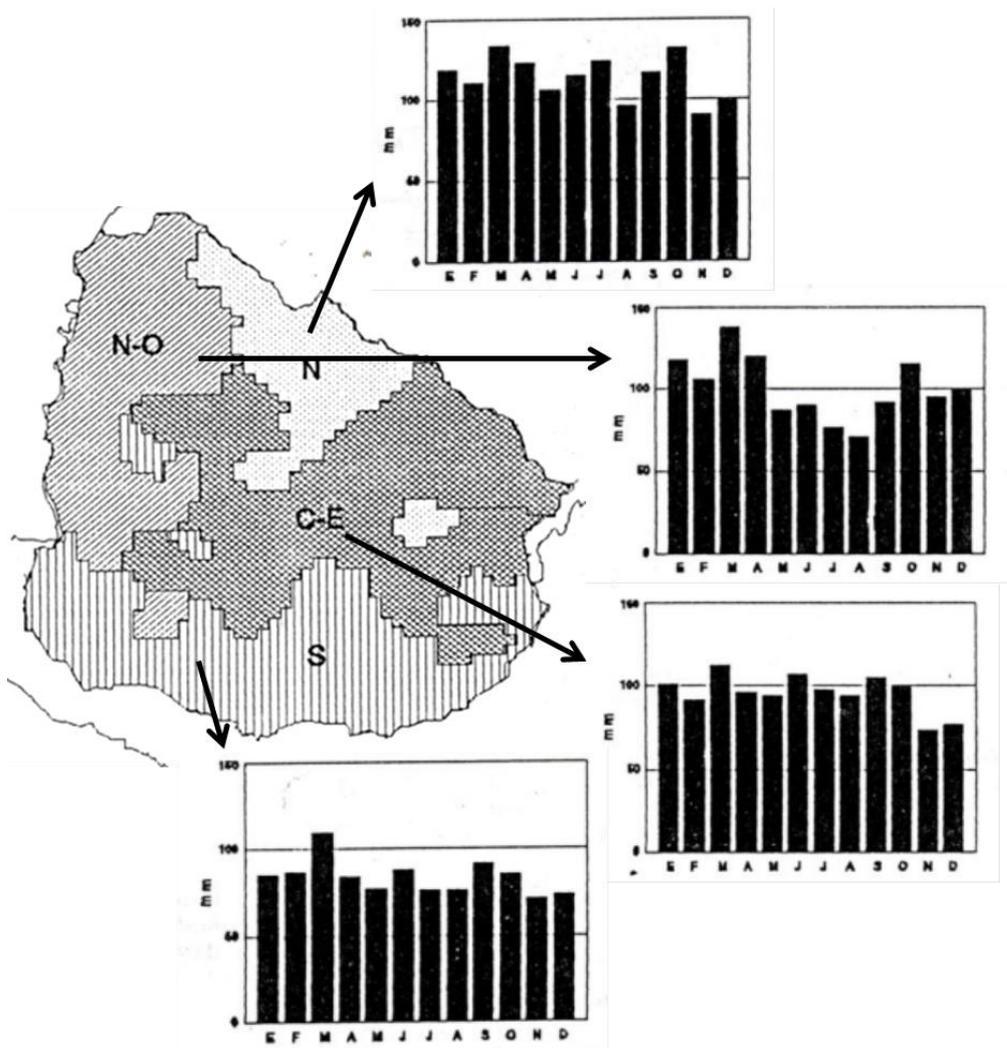


Figura 21: Partición del Uruguay en cuatro clusters según su ciclo anual de precipitaciones usando Nucleated Agglomerative clustering (Terra y Pisciotano, 1994).

5.1.3. Asociación entre contenido de agua en el suelo e IBH

La asociación entre el contenido de agua en el suelo y el IBH resulta importante ya que permite estudiar una variable discontinua como el IBH, a partir de una variable continua como el almacenamiento de agua en el suelo. El uso de agua del suelo está directamente relacionado con el cálculo de ETR en el balance hídrico, por lo que se asume la misma relación con el IBH.

La correlación de Pearson entre las variables resultó significativa y mayor al 75% en todos los casos (Tabla I). La correlación también resultó significativa para el suelo superficial (31 mm) y el profundo (171 mm) (Anexo 8.1.2.). Esto habilita posteriormente a realizar el cálculo de probabilidades de ocurrencia de distintos niveles de deficiencias hídricas.

Tabla I: Coeficientes de correlación (r) de la Correlación de Pearson entre IBH y almacenaje de agua en el suelo, período 1991- 2015.

LOCALIDAD	Rocha	Artigas	Melo	Pdú	LE	TYT	Mercedes	LB
R	0,78	0,84	0,81	0,78	0,77	0,77	0,78	0,75

Pdú: Paysandú; LE: La Estanzuela; TYT: Treinta y Tres; LB: Las Brujas.

Complementariamente, se corroboró que la evolución del IBH presentara un comportamiento similar al del almacenaje (Figura 22). El comportamiento fue similar en todas las localidades (anexo 8.1.1).

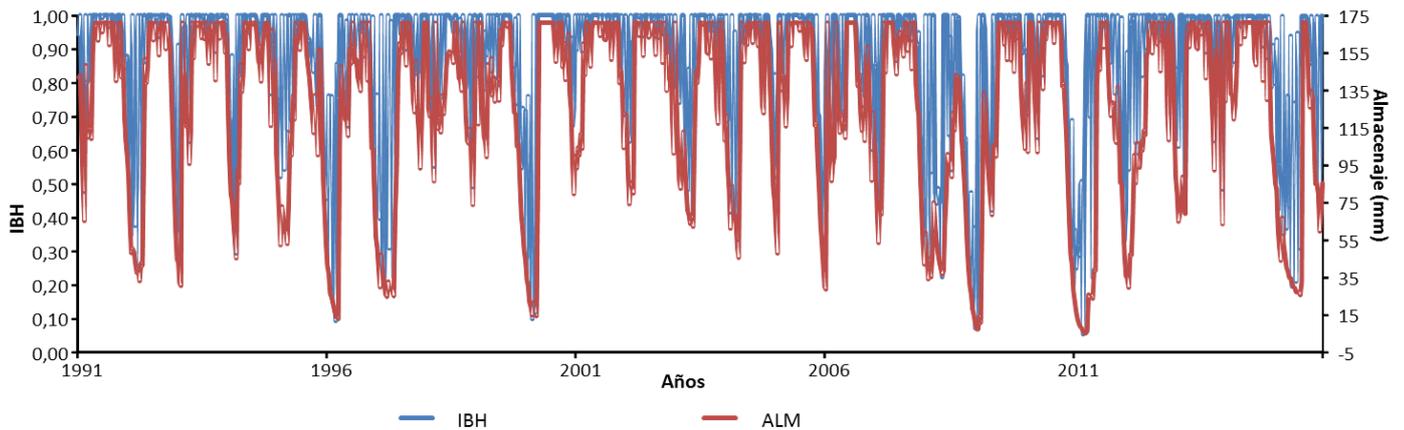


Figura 22: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo (décadas) en Las Brujas (suelo con CAAD 171 mm); período 1991- 2015. IBH: índice de bienestar hídrico. ALM: almacenaje de agua en el suelo.

5.1.4. Probabilidad de ocurrencia de eventos de deficiencias hídricas

En general las mayores probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas ocurren en verano, independientemente del tipo de suelo. Le sigue la primavera cuando se trata de un suelo superficial o el otoño en caso de un suelo profundo (Figura 23).

Las probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas en otoño son similares en ambos suelos, mientras que se visualiza un aumento en verano con un suelo superficial, pero más acentuado en primavera (Figura 23).

En el S (Las Brujas) SW (LE) es donde se manifiestan mayores cambios en las deficiencias hídricas en P-V al pasar del suelo profundo a uno superficial (Figura 23). Si bien este comportamiento ocurre en todas las localidades, se percibe mejor en estas regiones; existen otras localidades, como por ejemplo Mercedes que en primavera con un suelo profundo las probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas igualmente son relativamente altas comparado con el resto de las localidades.

Las mayores probabilidades de ocurrencia en primavera, ya sea en suelo superficial o profundo se dan en Mercedes, siendo también relativamente altas en verano y otoño (Figura 23).

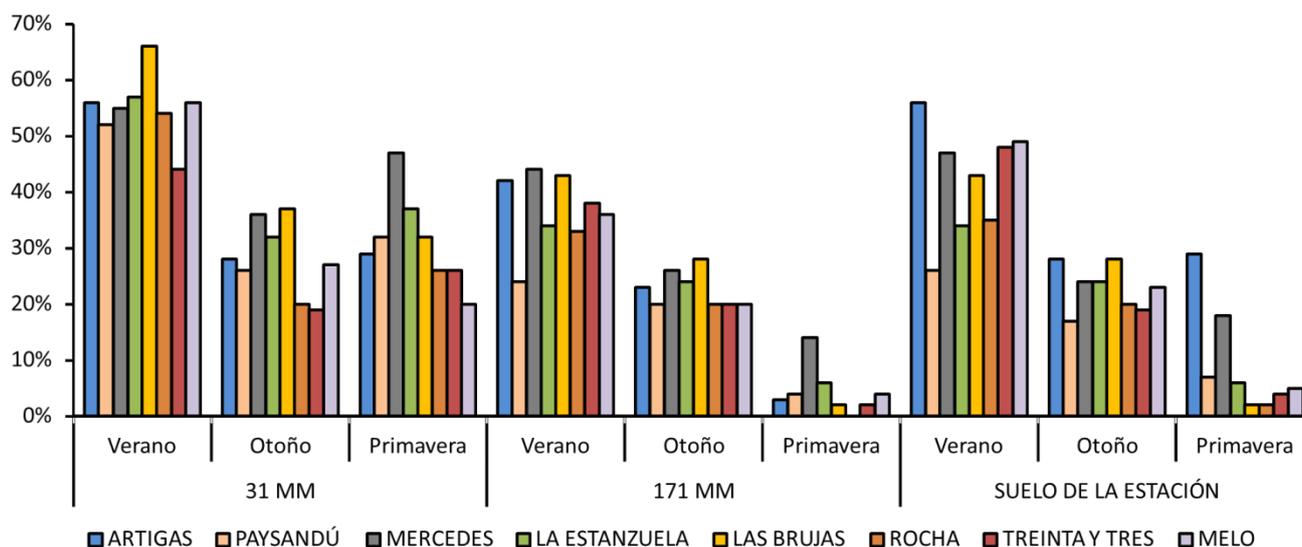


Figura 23: Probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas según época del año, capacidad de almacenaje de agua en el suelo y localidad. En el eje horizontal se presentan las estaciones del año (verano, otoño y primavera) separadas por almacenaje de agua (superficial- 31mm, profundo- 171mm y almacenaje de agua del tipo de suelo donde se encuentra ubicada la estación meteorológica). En el eje vertical se presentan los valores de probabilidad de ocurrencia en %.

5.1.4.1. Primavera

En primavera existe un gradiente E- W de probabilidad de eventos de deficiencias hídricas (Tabla II). El caso de Mercedes vuelve a llamar la atención al momento de analizar las deficiencias hídricas (como ha sido con la duración e intensidad también), ya que siempre está dentro de las regiones con mayores deficiencias hídricas; en este caso, la probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas cuando se trata de un suelo superficial es muy cercana al 50%, lo cual quiere decir que se esperaría que uno de cada dos años existiese eventos de deficiencias hídricas.

En este momento del año se visualizan notorias diferencias en las probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas según la capacidad de almacenaje de agua en los suelos (Tabla II), siendo muy bajas en suelos con alta y media capacidad de almacenaje de agua. Esta menor probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas en primavera es esperable a nivel climatológico, debido a que el almacenaje del suelo generalmente está recargado del invierno, y por lo tanto la primavera es el momento donde se genera

uso de agua del suelo, que dependiendo de la CAAD alcanzaría (o no) para cubrir el déficit que se podría generar si las precipitaciones no cubren la ET0 (Figura 1).

Tabla II: Probabilidad de ocurrencia (en %) de deficiencias hídricas en primavera, según la capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo. Período 1991- 2015.

	31 mm	171 mm	Suelo de la estación
ARTIGAS	29%	3%	29%
PAYSANDÚ	32%	4%	7%
MERCEDES	47%	14%	18%
LA			
ESTANZUELA	37%	6%	6%
LAS BRUJAS	32%	2%	2%
ROCHA	26%	0%	2%
TREINTA Y			
TRES	26%	2%	4%
MELO	20%	4%	5%

En la Tabla III se observa que cuanto mayor sean las precipitaciones, mayor es el contenido de agua en el suelo. Por otra parte, la ET0 afecta de manera negativa sobre el almacenaje (representando parte del uso de agua del suelo).

Observando la correlación de Pearson entre las precipitaciones y la ET0 con el almacenaje (Tabla III), en primavera en la región NE y E del país (Melo, Treinta y Tres y Rocha), la ET0 tiene gran correlación con el almacenaje, superando incluso la de la lluvia, lo cual explica el bajo porcentaje de probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas.

Las altas probabilidades de ocurrencia en las regiones cercanas a Mercedes están principalmente correlacionadas con una disminución de las precipitaciones en esta época del año (Tabla III).

Tabla III: Coeficiente de correlación de Pearson (r) de las precipitaciones (RR) y ET0 con el almacenaje de agua en el suelo en primavera.

LOCALIDAD	Melo	Treinta y tres	Rocha	Artigas	Mercedes
r (RR y Alm)	0,58	0,55	0,53	0,64	0,56
r (ET0 y Alm)	-0,64	-0,69	-0,58	-0,37	-0,41

En Melo (región NE) comienzan a disminuir las precipitaciones hacia fines de primavera- verano (ítem 5.1.4.), por lo que el valor relativamente bajo de probabilidad de deficiencias hídricas en Melo está más correlacionado con valores más bajos de la ET0 (Tabla III). En cambio, las altas probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas en las regiones cercanas a Mercedes (región SW) en primavera están principalmente

correlacionadas con una disminución de las precipitaciones en esta época del año (Tabla III).

5.1.4.2. Verano

Las deficiencias hídricas en verano son climáticamente esperables (Figura 1); como algo general para todo el país, se observa que en verano las probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas (IBH menor o igual a 0,5) superan en casi todos los casos el 50% cuando se considera un suelo superficial (31 mm), es decir que uno de cada dos veranos ocurrirá décadas con deficiencias hídricas que comprometan el bienestar hídrico (Tabla IV). No existe un gradiente notorio, aunque a grandes rasgos existen mayores probabilidades de deficiencias hídricas en verano en la región S- SW y por otro lado N- NE.

Cuando se trata de un suelo profundo, con una mayor capacidad de almacenaje de agua disponible, la probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas disminuye, aunque en algunas regiones este cambio se visualiza más que en otros: por ejemplo, en Treinta y Tres no existe demasiada diferencia en las probabilidades sobre un suelo superficial con respecto a uno profundo (Tabla IV), en Mercedes y Artigas la diferencia no es tan notoria, pero en el resto de las localidades sí es visualiza un cambio importante en los valores de probabilidades en un suelo profundo con respecto a uno superficial (Tabla IV).

Tabla IV: Probabilidad de ocurrencia (en %) de deficiencias hídricas en verano, según la capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo. Período 1991- 2015.

	31 mm	171 mm	Suelo de la estación
ARTIGAS	56%	42%	56%
PAYSANDÚ	52%	24%	26%
MERCEDES	55%	44%	47%
LA ESTANZUELA	57%	34%	34%
LAS BRUJAS	66%	43%	43%
ROCHA	54%	33%	35%
TREINTA Y TRES	44%	38%	48%
MELO	56%	36%	49%

Cuanto más al N, el almacenaje tiene una correlación más significativa y de mayor magnitud con las precipitaciones y con la ET0. Al contrario, cuanto más al sur la correlación del almacenaje con la ET0 es cada vez menos significativa y de menor magnitud (Tabla V).

Tabla V: Coeficiente de correlación de Pearson (r) de las precipitaciones (RR) y ET0 con el almacenaje de agua en el suelo en verano en el suelo donde está ubicada la estación meteorológica.

LOCALIDAD	Melo	Artigas	Mercedes	Las Brujas	Treinta y Tres
r (RR y Alm)	0,57	0,78	0,58	0,52	0,51
r (ETO y Alm)	-0,42	-0,54	-0,36	-0,18	-0,35

5.1.4.3. Otoño

En otoño las probabilidades de ocurrencia de eventos de deficiencias hídricas disminuyen en comparación al verano (Tabla VI), sin embargo rondan en el 20% en un suelo profundo y en algunos casos más cercanos al 30% en un suelo superficial, lo cual sigue siendo un valor importante, ya que significa que uno de cada cinco otoños (en caso de suelo profundo) o uno de cada tres otoños (en el caso de suelo superficial) ocurren deficiencias hídricas en casi todas las localidades estudiadas.

Otoño es la estación del año en que no se visualizan tantas diferencias en las probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas según el tipo de suelo; en el E- SE (Treinta y Tres y Rocha), por ejemplo, no existen diferencias en las probabilidades entre un suelo superficial y uno profundo (Tabla VI). Este aspecto va en sintonía con lo analizado en el ítem 5.1.1.1., donde se concluyó que el almacenaje de agua en el suelo tiene un rol preponderante en la época de ocurrencia de deficiencias hídricas, siendo que cuanto menor es el almacenaje de agua en los suelos, las deficiencias hídricas comienzan antes, y por ese motivo los cambios más grandes entre las deficiencias en un suelo superficial y uno profundo se visualizan en primavera en primer lugar y verano.

Tabla VI: Probabilidad de ocurrencia (en %) de deficiencias hídricas en otoño, según la capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo. Período 1991- 2015.

	31 mm	171 mm	Suelo de la estación
ARTIGAS	28%	23%	28%
PAYSANDÚ	26%	20%	17%
MERCEDES	36%	26%	24%
LA ESTANZUELA	32%	24%	24%
LAS BRUJAS	37%	28%	28%
ROCHA	20%	20%	20%
TREINTA Y TRES	19%	20%	19%
MELO	27%	20%	23%

Esta probabilidad de ocurrencia en otoño, que parece no depender del almacenaje de agua en los suelos, y es un valor bastante alto (20%), no concuerda con la decisión política sobre la época del año en que los seguros por sequía realizan su cobertura. Los seguros agropecuarios piloto que se implementaron solo consideran las deficiencias hídricas entre los meses de noviembre a febrero (MGAP, s/a).

En todas las regiones donde hay mayores probabilidades de deficiencias hídricas la ETO presenta una mayor correlación significativa con el almacenaje que las

precipitaciones en otoño. La magnitud de la correlación con el almacenaje se hace mayor cuanto más al N- NE del país (Tabla VII).

Tabla VII: Coeficiente de correlación de Pearson (r) de las precipitaciones (RR) y ETO con el almacenaje de agua en el suelo en otoño.

LOCALIDAD	Melo	Artigas	Mercedes	La Estanzuela	Las Brujas
r (RR y Alm)	0,44	0,59	0,42	0,38	0,37
r (ETO y Alm)	-0,47	-0,54	-0,45	-0,39	-0,43

Bettolli et al. (2010) concluyeron en su trabajo que existe una elevada sensibilidad de las pasturas a la oferta hídrica durante el otoño, siendo este un aspecto relevante al momento de analizar la importancia de las sequías primavera- verano y verano- otoño, considerando que en otoño se registran deficiencias hídricas una vez cada cinco años en todo el país. Las sequías de otoño afectan la producción de forraje en esta época, llegando al invierno con muy baja producción, y baja condición corporal de los animales, sumado al estrés por frío, característico del invierno. Mientras que en la primavera un aumento en las precipitaciones no se vería reflejado en un aumento en la producción de forraje (Bettolli et al.; 2010), un otoño con buenas precipitaciones estaría garantizando una mejor gestión del riesgo de una región con respecto a otra, lo que implicaría además mejores condiciones durante el resto del año.

5.1.5. Evolución promedio del IBH a lo largo del año

En las siguientes figuras (Figura 24, Figura 25 y Figura 26) se representan los valores promedio de IBH a lo largo del año según localidad del país. Cada Figura corresponde a un tipo de suelo de acuerdo a lo detallado en el ítem 4.2.1. La Figura 9 refiere al suelo donde se ubica la estación meteorológica, la 10 corresponde a un suelo superficial (CAAD de 31 mm) y la 11 a un suelo profundo (CAAD de 171).

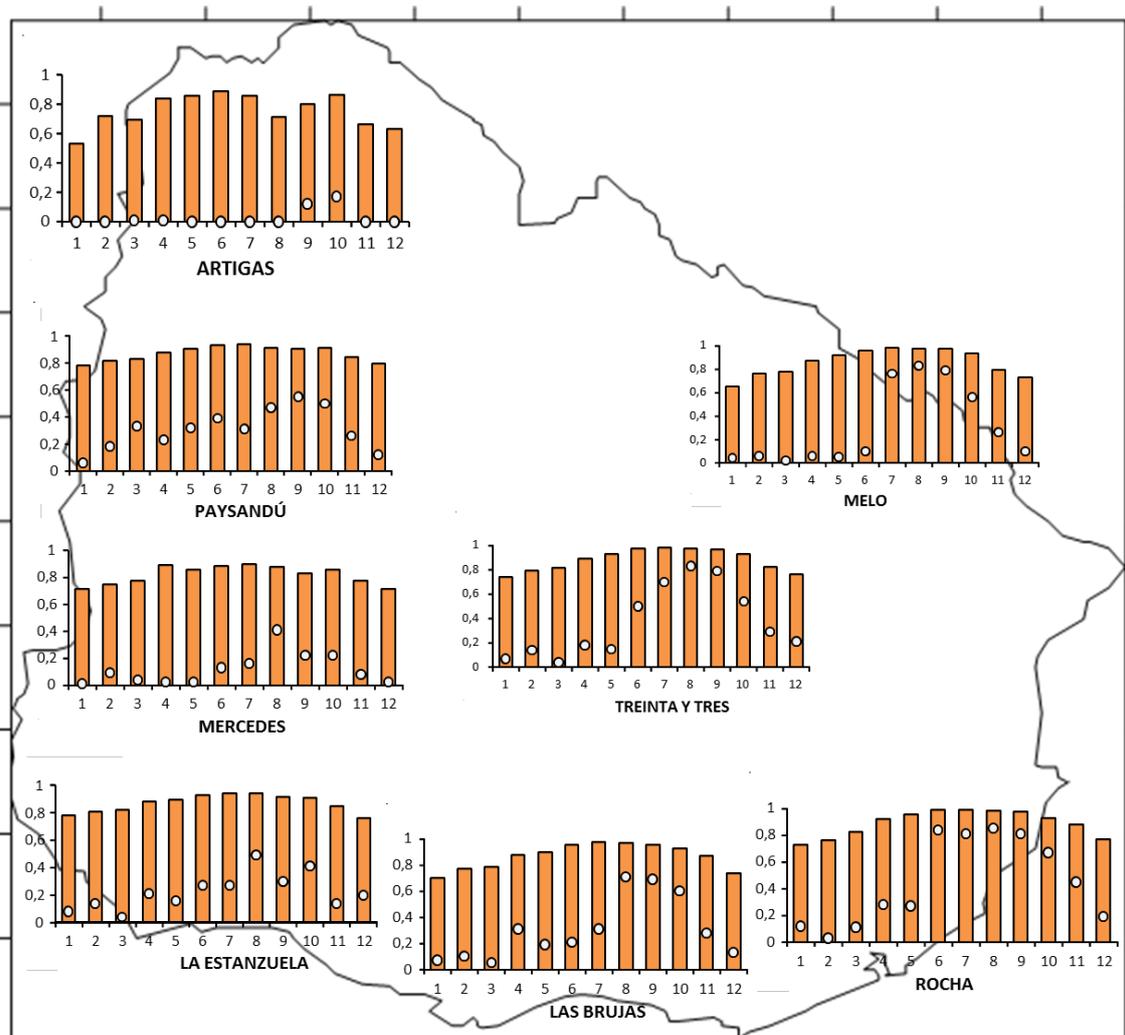


Figura 24: Índice de Bienestar Hídrico (IBH) promedio a lo largo del año (barras naranjas) e IBH mínimo (puntos blancos) en suelo donde está ubicada la estación meteorológica. En el eje horizontal están representados los meses y en el eje vertical primario los valores de IBH.

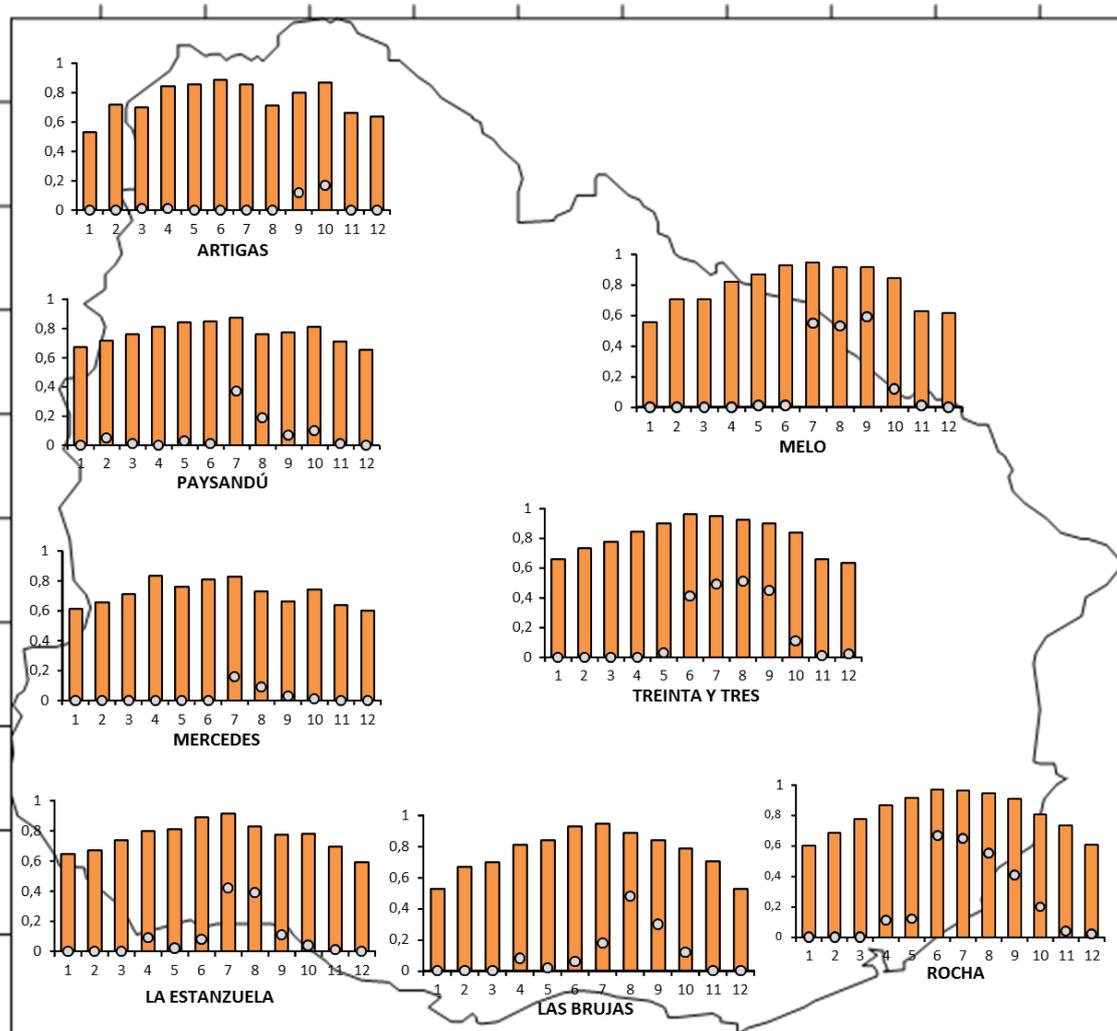


Figura 25: Índice de Bienestar Hídrico (IBH) promedio a lo largo del año (barras naranjas) e IBH mínimo (puntos blancos) en suelo superficial (31 mm). En el eje horizontal están representados los meses y en el eje vertical los valores de IBH.

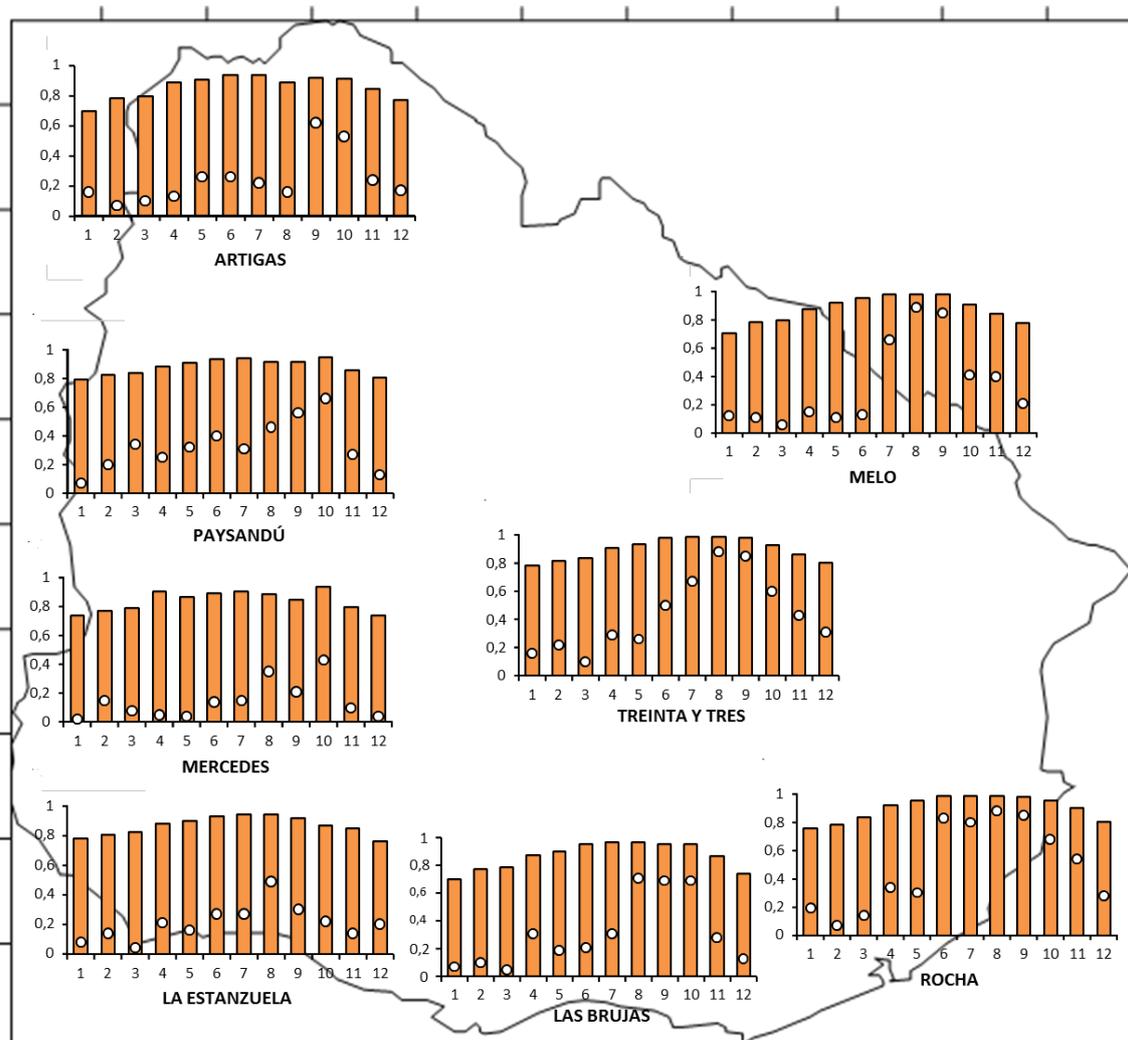


Figura 26: Índice de Bienestar Hídrico (IBH) promedio a lo largo del año (barras naranjas) e IBH mínimo (puntos blancos) en suelo profundo (171 mm). En el eje horizontal están representados los meses y en el eje vertical primario los valores de IBH.

Los IBH mínimos se dan en otoño- verano, y se corren también a la primavera cuando el suelo es superficial. Estos valores mínimos son más bajos en el SW (Mercedes y La Estanzuela), y por un período más largo de tiempo (incluso en un suelo profundo, todos los meses el IBH mínimo está por debajo de 0,5). En el E (Rocha y Treinta y Tres) y NE (Melo), existen al menos dos meses con IBH mínimo cercano a 1. A grandes rasgos, el gradiente es SW- W a NE- E (Figura 24, Figura 25 y Figura 26).

Cuando es considerado un suelo profundo la curva de IBH a lo largo del año es más estable, es decir que los valores de IBH promedio se presentan cercanos al valor óptimo (1) durante todo o gran parte del año (Figura 26). Por otra parte, en suelos profundos los valores mínimos de IBH son mayores que en un suelo superficial (Figura 25), donde los mínimos en algunas regiones y momento del año alcanzan valores muy

cercanos a 0, mientras que en un suelo profundo es bastante más difícil alcanzar este mínimo.

En un suelo superficial, se observa que prácticamente en todo el litoral W- NW del país se alcanzan valores mínimos cercanos a 0 durante todo el año, mientras que cuanto más al S- SE- E existe por lo general un margen de 3 meses donde el valor mínimo de IBH está por encima de 0,5.

Cuando se considera un suelo profundo, los resultados aparecen más moderados respecto al suelo superficial. Sin embargo, se observa que en la región SW se presentan valores mínimos más bajos en el correr de todo el año (Figura 26).

5.1.6. Análisis de tendencias

5.1.6.1. Tendencias de las deficiencias hídricas

Tabla VIII: Análisis de tendencias de las deficiencias hídricas- Test de Mann- Kendall en el suelo donde está ubicada la estación meteorológica, suelo superficial y suelo profundo. Asteriscos indican grado de significancia o nivel de confianza (*: 90-95%; **:95,1- 98%; ***: >98%). Verano: diciembre, enero y febrero (D-E-F). Otoño: marzo, abril y mayo (M-A-M). Invierno: junio, julio, agosto (J-J-A). Primavera: setiembre, octubre, noviembre (S-O-N).

	Suelo donde está ubicada la Estación Meteorológica			
	D-E-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
Rocha	0,76	*1,64	-0,08	*-1,32
Melo	*1,93	1,43	0,03	-1,4
La Estanzuela	*1,85	0,79	-0,37	*-1,71
Mercedes	***2,32	-0,26	-0,61	-1,48
Artigas	0,68	1,13	-0,58	-1,05
Paysandú	0,95	0,13	-1	-1,58
Treinta y Tres	**2,12	1,06	0,29	-1,32
Las Brujas	1,29	1,08	-0,29	-1,55
	Suelo superficial: 31 mm			
	D-E-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
Rocha	0,79	1,56	-0,18	*-1,79
Melo	*1,77	1,16	-0,21	-1,58
La Estanzuela	**1,98	0,79	-0,6	-1,5
Mercedes	*1,8	-0,1	-0,39	-1,37
Artigas	0,68	1,13	-0,58	-1,05
Paysandú	0,68	0,29	-1,29	*-1,7

Treinta y Tres	**2	*1,69	-0,31	*-1,8
Las Brujas	1,03	1,32	-0,52	-1,21
Suelo profundo: 171 mm				
	D-E-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
Rocha	0,79	1,61	0	-1,37
Melo	*1,95	1,35	0,026	-1
La Estanzuela	*1,85	0,79	-0,37	*-1,71
Mercedes	***2,32	-0,34	-0,63	-1,34
Artigas	0	1,18	-0,42	-0,92
Paysandú	1,03	0,16	-0,97	-1,5
Treinta y Tres	**2,16	1,03	0,1	-1,34
Las Brujas	1,29	1,08	-0,29	-1,55

Se registraron tendencias positivas de deficiencias hídricas en el verano, siendo significativas en toda la región NE y SW (Treinta y Tres, Melo, La Estanzuela y Mercedes) (Tabla VIII). El valor del coeficiente de Mann- Kendall y el nivel de significancia aumenta en un suelo profundo con respecto a uno superficial.

En otoño, las tendencias de aumento de deficiencias hídricas con valores significativos se registran hacia el E, en el caso del suelo donde está ubicada la estación meteorológica en Rocha y suelo superficial en Treinta y Tres (Tabla VIII). Esto coincide con lo ya manifestado en los ítems 5.1.1.1 y 5.1.1.2., donde se observó que, hacia el E, y principalmente NE las deficiencias hídricas están desfasadas hacia el otoño. En el caso de Melo no figura significativo, pero de igual manera la tendencia es positiva para las deficiencias hídricas.

En invierno no hay valores significativos, y en primavera hay una tendencia negativa de las deficiencias, siendo en el caso del suelo donde está ubicada la estación meteorológica y suelo profundo significativa hacia el SW (La Estanzuela) y en el caso del suelo superficial significativa hacia el E y W (Rocha, Treinta y Tres y Paysandú).

Estos resultados difieren a los reportados por Cruz et al. (2014), trabajo realizado para Salto y Treinta y Tres, donde no se habían detectado tendencias en las deficiencias hídricas. Esta diferencia se puede explicar porque en el trabajo de Cruz et al. (2014) se utilizaron datos de ETO climáticos (promedio), mientras que en este trabajo se utilizaron datos diarios de ETO (agrupados a paso decádico). Esto muestra la existencia de tendencia de deficiencias hídricas al incluir la variabilidad interanual de la ETO.

5.1.6.2. Tendencia de precipitaciones y Evapotranspiración de referencia

Las precipitaciones y la ET₀ son las principales variables que determinan la ocurrencia de deficiencias hídricas (son la oferta y la demanda de agua); por este motivo se realizó un análisis de las tendencias de precipitaciones y ET₀ (Tabla IX), con el fin de explicar el comportamiento en las tendencias de las deficiencias hídricas.

Tabla IX: Análisis de precipitaciones (período 1991-2015) y ET₀- Test de Mann- Kendall. Asteriscos indican grado de significancia o nivel de confianza (*: 90-95%; **:95,1- 98%; ***: >98%). Verano: diciembre, enero y febrero (D-E-F). Otoño: marzo, abril y mayo (M-A-M). Invierno: junio, julio, agosto (J-J-A). Primavera: setiembre, octubre, noviembre (S-O-N).

PRECIPITACIONES SERIE 1991-2015				
	D-E-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
Rocha	1,02	*-1,96	0,35	-0,42
Melo	-0,57	-1,14	-0,45	0,72
La Estanzuela	0,67	-1,49	-0,32	0,37
Mercedes	0,20	-0,99	0,87	0,82
Artigas	-0,57	-1,64	-0,82	1,39
Paysandú	1,56	-0,74	1,22	0,89
Treinta y Tres	0,12	-1,22	-1,17	1,17
Las Brujas	0,52	*-1,84	1,36	0,00
ET₀				
	D-E-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
Rocha	0,02	-0,27	0,42	0,07
Melo	***2,60	1,07	1,59	*1,91
La Estanzuela	1,22	0,92	*1,71	1,41
Mercedes	1,02	0,17	0,57	-0,12
Artigas	*1,66	1,46	-0,27	0,27
Paysandú	0,92	1,22	1,46	0,47
Treinta y Tres	0,42	1,36	1,36	0,02
Las Brujas	-0,62	-1,02	*1,66	1,31

En el S- SE (significativo en Las Brujas y Rocha), el aumento de las deficiencias en otoño está relacionado a una disminución en las precipitaciones en esta época (Tabla IX). Mientras que en el NE (Melo), el aumento de las deficiencias en verano está mayormente dado por un aumento en la ET₀. En primavera se registra un aumento de la ET₀ también pero no se ve reflejado en la tendencia de las deficiencias (Tabla VIII y Tabla IX). Estos aspectos coinciden con las correlaciones de Pearson que se realizaron para el análisis de probabilidades de ocurrencia de las deficiencias hídricas (ítem 5.1.3.).

En el SW- W (La Estanzuela y Mercedes), el aumento de las deficiencias en verano no está acompañado de una tendencia significativa en las precipitaciones y/o ET0 (Tabla VIII y IX); sin embargo, se observa una mayor tendencia (que no es significativa) de aumento en la ET0, con respecto a una disminución de las precipitaciones. Por otra parte, la tendencia de disminución de las deficiencias en primavera tampoco está acompañada de una tendencia significativa en las RR y/o ET0; a pesar de eso se observa un aumento en la ET0 (no significativo), y las RR permanecen prácticamente sin tendencia. También se refleja un aumento significativo de la ET0 en invierno, pero no lleva reflejado una tendencia en las deficiencias.

En el N (Artigas) no se registra un aumento o disminución de las deficiencias en ninguna estación del año (Tabla VIII). Pero se observa un aumento significativo de la ET0 en verano, lo cual coincide con lo reportado por Alvarino (2023) y Alvariño et al. (2018), y una disminución de las precipitaciones (no significativo; Tabla IX). Bidegain et al. (2012) y Giménez et al. (2009) observaron un aumento de las precipitaciones en la temporada cálida, sin embargo, en este análisis este aumento no es significativo, habiendo regiones como el N y NE con leves tendencias negativas.

En el S (Las Brujas) no se registran tendencias significativas en las deficiencias en ninguna época del año; sin embargo, en otoño hay una disminución significativa de las RR, pero también una disminución (aunque no significativa) en la ET0, por lo cual no se estaría reflejando un aumento significativo en las deficiencias (Tabla VIII y Tabla IX). Por otra parte, se observa un aumento significativo en la tendencia de ET0 en invierno, al igual que en el SW, que está acompañado de un aumento en las RR (no significativo), lo cual no repercute en las deficiencias hídricas (Tabla IX).

También se analizaron estas tendencias con la serie de años más larga en que se analizaron las RR (1950-2021), representando mejor la gran variabilidad propia de las RR (Tabla X).

Tabla X: Análisis de tendencias de las precipitaciones (período 1950-2021)- Test de Mann- Kendall en el suelo donde está ubicada la estación meteorológica. Asteriscos indican grado de significancia o nivel de confianza (*: 90-95%; **:95,1- 98%; ***: >98%). Verano: diciembre, enero y febrero (D-E-F). Otoño: marzo, abril y mayo (M-A-M). Invierno: junio, julio, agosto (J-J-A). Primavera: setiembre, octubre, noviembre (S-O-N).

	PRECIPITACIONES SERIE 1950-2021			
	D-E-F	M-A-M	J-J-A	S-O-N
Artigas	0,28	0,36	*-1,74	*1,76
Salto	1,50	0,51	-1,08	1,12
Rivera	-0,03	0,29	***-2,5	0,18
Paysandú	**1,99	1,50	-0,79	0,69

Melo	***2,26	0,87	-0,07	*1,95
Mercedes	0,96	0,28	-0,19	0,76
Treinta y Tres	0,96	0,83	0,65	*1,64
Colonia	0,64	0,1	-0,49	1
Rocha	1,4	***2,8	***2,43	1,3
Carrasco	-0,3	1,59	***2,1	1,42

Cuando se realiza el análisis de tendencia de Mann- Kendall con la serie larga de precipitaciones algunos resultados difieren del análisis anterior. En primera instancia, figuran muchas más tendencias significativas que en la serie utilizada para los balances hídricos.

En verano, donde anteriormente se había planteado que el aumento en las deficiencias en el NE se debía a un aumento significativo en la ET0 (Tabla IX), ahora un aumento de las precipitaciones dejaría pensando en estos resultados. Asimismo, el coeficiente de Mann- Kendall es mayor para la tendencia de la ET0 que de las RR (tabla 6). Otro aspecto que llama la atención es la tendencia positiva y significativa en Melo, que no está acompañada con el mismo patrón en Rivera (Tabla X).

En otoño, los resultados en las tendencias de las RR son muy diferentes; en el caso de la serie 1991-2015 todas las regiones tienen una tendencia negativa (aunque solo significativa en la región S- SE (Tabla IX), mientras que en la serie extendida son todas tendencias positivas (solo significativa en Rocha; Tabla X). Esto vuelve a hacer dudar de la explicación de que el aumento en las tendencias de deficiencias está dado por una disminución en las RR (Tabla VIII, Tabla IX y Tabla X).

El invierno es la época del año en que menos se esperan deficiencias hídricas a nivel climatológico (Figura 1), y donde no se observa una tendencia significativa de las deficiencias hídricas en ninguna de las regiones (Tabla VIII). Asimismo, un aspecto importante que se observa con la serie larga de RR es que se registra una tendencia negativa y significativa hacia el N- NE (Artigas y Rivera), y una tendencia positiva y significativa hacia el S- SE (Rocha y Carrasco) (Tabla X).

Esta serie larga de RR explica mejor la disminución en la tendencia de las deficiencias en primavera, ya que se observa un aumento significativo en las RR, a pesar de observarse un aumento de la ET0. Esta tendencia aplica a parte del N y NE (Treinta y Tres y Artigas; Tabla X).

Por otra parte se graficaron las precipitaciones de la serie 1950-2021 y 1991-2015 y se realizó una línea de tendencia para cada serie, de manera de corroborar las diferencias registradas en el test de Mann- Kendall (Figura 27, Figura 28 y Figura 29).

En verano, cuando se toma en cuenta la serie larga de RR en Melo, se observa una tendencia positiva, sin embargo, cuando se toma la serie corta, la tendencia se torna levemente negativa; esto explicaría las diferencias observadas en los test de Mann-Kendal (Figura 27).

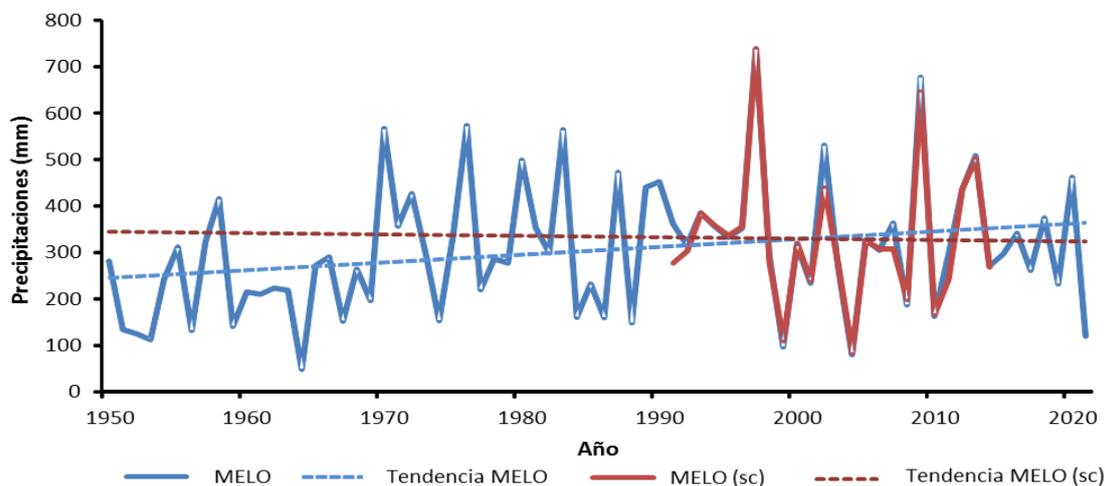


Figura 27: Precipitaciones y líneas de tendencias de precipitaciones en verano en Melo. En azul: 1950-2021(sl). En rojo: 1991-2015(sc).

En el caso de Paysandú, se mantiene la tendencia positiva de las precipitaciones en verano, pero la pendiente de la línea de tendencia se hace mayor en la serie corta (Figura anexo 8)

En Rocha y Las Brujas en otoño ocurre un caso similar al de Melo, donde hay una tendencia positiva de las precipitaciones cuando se considera la serie larga, y una tendencia negativa cuando se considera la serie corta (Figura anexo 9 y Figura anexo 10).

En invierno en la serie larga se observaron tendencias negativas de precipitaciones hacia el N y tendencias positivas hacia el S, mientras que, si bien los valores no fueron significativos en la serie corta, la tendencia fue similar.

Las mayores diferencias entre las series se registraron en el centro- E- NE (Melo y Treinta y Tres) y centro- W (Mercedes), donde si bien los coeficientes de Mann- Kendall no fueron significativos, se observó cierta tendencia (positiva en Mercedes y negativa en Treinta y Tres) en la serie corta, mientras que en la serie larga no hubo tendencia (Figura 28 y Figura 29). Lo mismo ocurre en primavera en la región NE (Figura anexo 12 y Figura anexo 13).

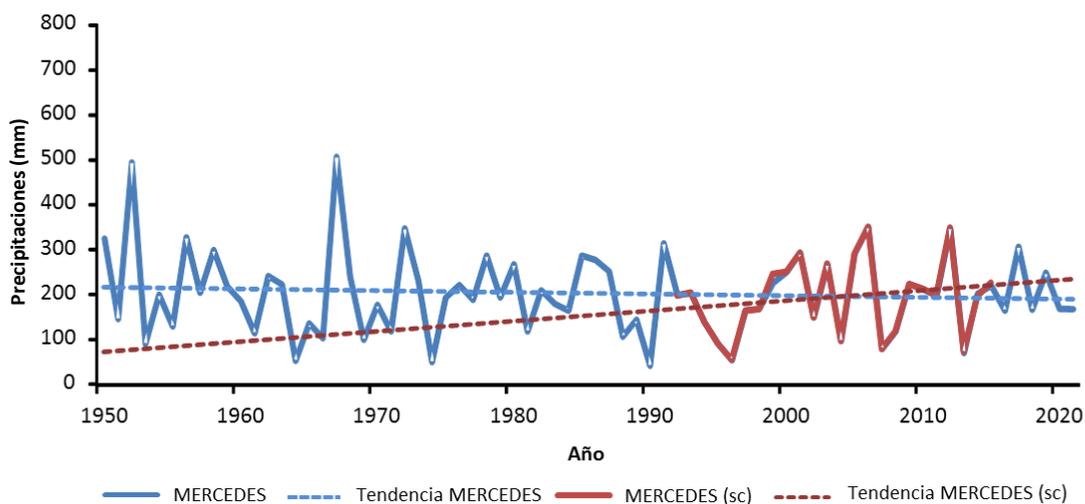


Figura 28: Precipitaciones y líneas de tendencias de precipitaciones en invierno en Mercedes. En azul: 1950-2021(sl). En rojo: 1991-2015(sc).

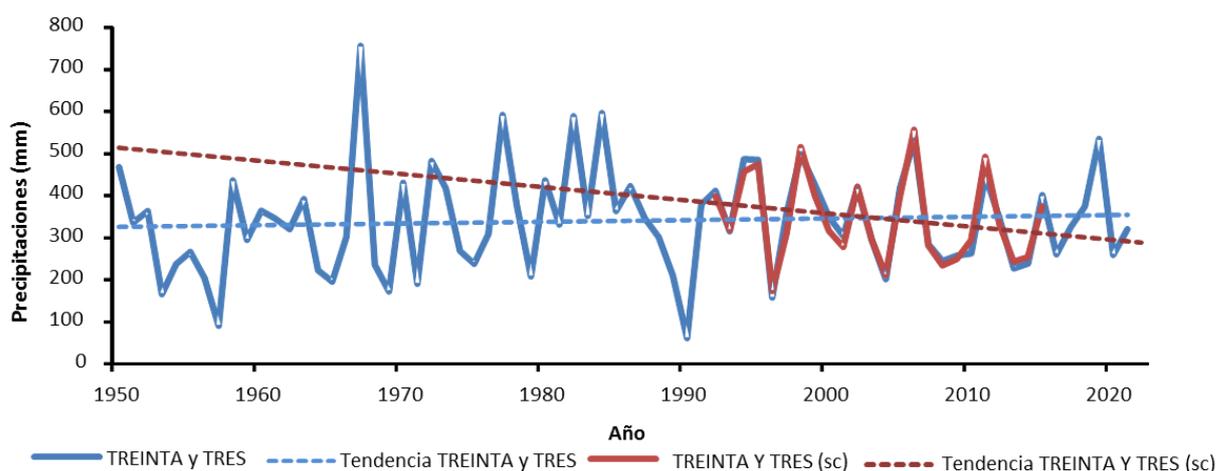


Figura 29: Precipitaciones y líneas de tendencias de precipitaciones en invierno en Treinta y Tres. En azul: 1950-2021(sl). En rojo: 1991-2015(sc).

5.2. Necesidades de información de los productores (con énfasis en la información agroclimática) respecto a la toma de decisiones en las sequías

Tal como se mencionó en los métodos, se realizaron entrevistas semi estructuradas (anexo 8.2) in situ a productores a productores en la región NE, y se realizaron las mismas preguntas en formato de formulario de Google (https://docs.google.com/forms/d/1G-ijyeE3pwnVOj8VdDdZ8NkcJvcxOPXT2G_2XYQYUlp/edit), las cuales fueron respondidas por productores ganaderos de todas las regiones definidas para este estudio. Se

agruparon los productores entrevistados según las ecozonas definidas por Panario (Figura 3 y Figura 30).

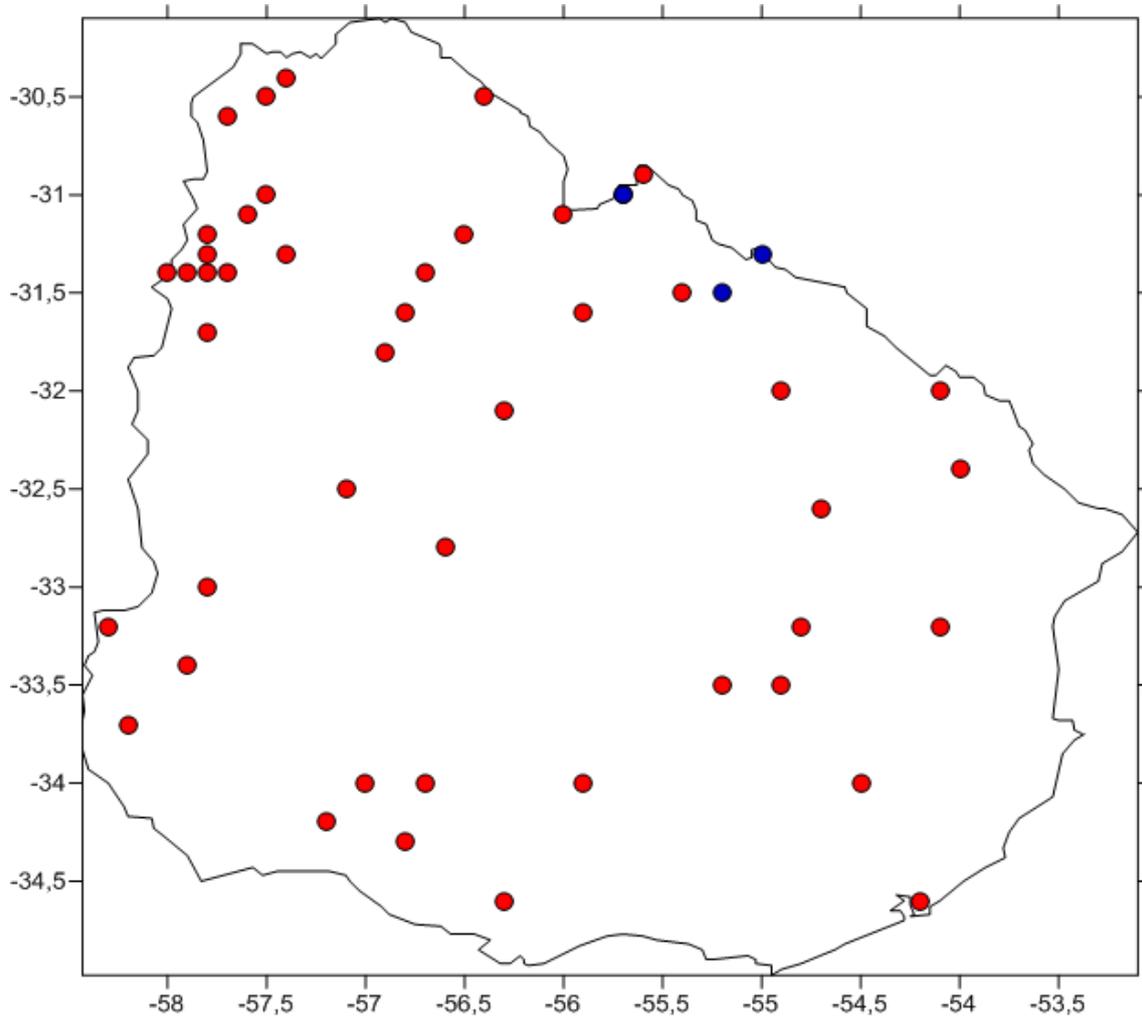


Figura 30: Ubicación de productores ganaderos entrevistados. En rojo: quienes contestaron por formulario de Google; en azul: productores entrevistados personalmente.

A nivel general, y en coincidencia con Cruz et al. (2021), Partucci et al. (2019) y Cruz et al. (2017), casi todos los productores concuerdan en que la sequía es la mayor amenaza de origen climático para la producción ganadera. Las más importantes que han experimentado fueron las del 88-89 y la del 2020- 2021, y en cuanto a su percepción, lo más importante es la falta de pasto, cómo salvar a los animales y la pérdida económica que esto conlleva.

La gran mayoría expresó no tener carencia de agua en el predio, al menos en los momentos donde no están en una fuerte sequía. Muchos manifestaron que luego de sequías importantes han invertido o usado planes para hacer tajamares, bebederos, pozos, etc.

Por otra parte, también manifiestan a las sequías como algo cotidiano, con lo que tienen que estar preparados siempre para lidiar. Esto coincide con lo reportado por Cruz et al. (2021).

En cuanto a la afectación según la época de ocurrencia (primavera- verano o verano- otoño), existieron diferentes respuestas. Si bien la mayoría concuerda en que las más importantes son las de primavera- verano, porque la primavera es el momento de mayor producción de pasto y cuando generalmente hacen reservas, algunos opinan que las de verano- otoño son las que producen mayor impacto negativo porque llegan al invierno con muy poco pasto y con animales con una baja condición corporal. Las regiones donde los productores manifestaron mayor preocupación por las sequías de verano- otoño fueron Sierras del Este, reafirmando lo realizado por Cruz et al. (2021) y productores de la cuenca Sedimentaria Gondwánica del NE (Tabla XI y Figura 31). Principalmente esta última afirmación por parte de los productores concuerda con lo observado dentro de la caracterización biofísica de las deficiencias hídricas, en cuanto a la época de ocurrencia (ítem 5.1.1.1.) duración e intensidad (ítem 5.1.1.2.) y probabilidad de ocurrencia (ítem 5.1.3.2.).

La mayoría de los productores toman como medidas frente a sequías (incluidas las preventivas) el ajuste de la carga animal a partir de la producción de pasturas, utilización de los excedentes forrajeros para producir reservas, asegurarse de tener agua de calidad en todos los potreros, mantener el estado corporal de los animales, destete precoz, etc (Tabla XI). Estas estrategias están asociadas a las recomendaciones y planes impulsados por la política pública (MGAP, IPA) y la academia (INIA, FAgro- UdelaR, CIRCVC). Otra medida que surge en alguna de las entrevistas es el uso de campos mejorados, principalmente con alguna leguminosa. Existen estudios recientes donde se ha verificado que las leguminosas, por medio de las bacterias del género *rhizobium* que poseen en las raíces, tienen mayor tolerancia al estrés hídrico (Lebrazi et al., 2020; Ojuederie et al., 2019). Cuando perciben que están frente a una sequía se aseguran de tener bebederos en todos los potreros, suministrar las reservas o ración para mantener el estado corporal de los animales y bajar la carga animal de los campos.

Las precipitaciones, los pronósticos semanales y los pronósticos a largo plazo fueron los aspectos que la mayoría de los productores consideran como información agroclimática más importante (Tabla XI y Figura 31). Un aspecto en común entre la mayoría de los productores entrevistados que está más en falta en cuanto a la información agroclimática a la que acceden, es la legitimidad de esa información, es decir la confianza que les genera esa información. Cash y Buizer (2005) argumentan que para que la información climática pueda aplicarse a situaciones de la vida real, debe cumplir tres aspectos: relevancia (que cubra una necesidad), credibilidad (información percibida de calidad) y legitimidad (no atribuible a “otros intereses”). Sería importante que se trabajara para mejorar la comunicación en las decisiones políticas en el marco de

las sequías para aumentar la confianza. Es decir, que la información, asociada muchas veces a la declaración de emergencia agropecuaria por sequía, sea mejor comunicada y fundamentada. A su vez, la eficacia de la información climática para informar la toma de decisiones está fuertemente asociada a la capacidad de implementar medidas de gestión de riesgo climático. En menor medida también resulta importante el lenguaje o la forma en que se presenta la información y los medios de acceso a la información, en coincidencia con lo reportado por Partucci et al. (2019).

En cuanto a los medios por los cuales se informan sobre las sequías, surge por algunos productores el uso de la aplicación Booster Agro. Ésta resulta muy interesante, ya que todos los usuarios pueden acceder a la información del resto cerca de su predio (o donde quieran monitorear), así como ir registrando su propia información (ya sea lluvia, crecimiento de las pasturas, etc). Además de esto, la aplicación da pronósticos de temperatura, lluvia y viento, con un determinado nivel de confianza. Es una herramienta que permite monitorear a nivel región, con información brindada por los propios productores, que podrían chequear con información oficial, y además es información libre a la que todos podrían acceder.

Tabla XI: Resumen de entrevistas realizadas a productores por región

	GRAVEN DE SANTA LUCÍA	ESCUDO CRISTALINO	SIERRAS DEL ESTE	CUENCA SEDIMENTARIA GONDWÁNICA (NE)	CUESTA BASÁLTICA	CUENCA SEDIMENTARIA DEL OESTE
SEQUIÁS MÁS IMPORTANTES	Actual; 1988-1989; 2008-2009	Actual; 1988-1989; 2008-2009 (y 2010)	Actual; 2008-2009; 1988-1989	Actual; 1988-1989; 2005-2006; 2007-2008-2009; 2011-2012; 2018	Actual; 1988-1989; 2008-2009; 2005-2006	1988-1989; sequía actual; 2008-2009; 2017-2018
TIENEN CARENCIA DE AGUA EN EL PREDIO	No	cuando hay sequía	La mayoría no tienen carencia de agua en el	Hoy en día no, lo fueron solucionando luego de las grandes sequías	Algunas	Poco; en algunos casos fueron mejorando la infraestructura de
INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA A LA QUE LE DAN MÁS RELEVANCIA	Precipitaciones; pronósticos semanales; temperatura	Precipitaciones; pronósticos a largo plazo y pronósticos semanales; presión atmosférica; temperatura; viento	Precipitaciones; pronósticos a largo plazo; viento	Precipitaciones; temperatura; pronósticos semanales y a largo plazo	Precipitaciones; pronósticos semanales y a largo plazo; temperatura; viento; humedad	Temperatura; precipitaciones; humedad; viento; pronósticos a largo plazo y pronósticos semanales
MEDIOS DE INFORMACIÓN A LA QUE ACCEDEN	Radio y redes	Internet; Redes sociales	Internet; redes sociales; INIA gras; Prensa; BoosterAgro	Radio; INIA gras; Plan Agropecuario; Redes sociales; BoosterAgro; MetSul; INUMET	Prensa oral y escrita; INIA; internet; publicaciones; informes de meteorólogos	Informe de perspectivas climáticas; sitios web de referencia; Redes sociales; radio; programa informativo rural; INIA; Plan Agropecuario; MGAP; Internet.
LIMITANTES DE LA INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA A LA QUE ACCEDEN	confianza de la información	confianza y credibilidad de la información	confianza de la información	confianza y credibilidad de la información; Medios de acceso; otros están conformes con la información que reciben	Legitimidad de la información (confianza); Fuente de información (credibilidad); lenguaje o forma en que se presenta la información; medios de acceso	El lenguaje o la forma en que se presenta la información, confianza en la información (legitimidad de la información); Fuente de información (credibilidad)
DE QUÉ ÁMBITO ESPERAN ADVERTENCIAS	Científicos	Científicos; técnicos asesores; organizaciones especializadas en la temática	Técnicos asesores; Científicos; Gobierno	Científicos; técnicos asesores; Gobierno; Sociedades de Fomento Rural y cooperativas agrarias; Plan Agropecuario; INIA; otros productores	Técnicos asesores; gobierno; científicos; sociedades de fomento rural y cooperativas agrarias; plan agropecuario; información periodística seria	Técnicos asesores; científicos; productores; Cooperativas agrarias; gobierno
SEQUIÁS V-O o P- V	principalmente P- V	P- V. Otoño solo si se extiende desde la P-V	P-V: afecta el periodo en que se produce el 60-70% de pasto anual. V- O: importante por mayores requerimientos metabólicos, mucho frío y poco alimento	V-O. Porque los animales llegan al invierno con poca comida, mucho frío y una muy baja condición corporal; se agrava más aún si la primavera no fue buena.	P-V. Porque es el momento de mayor producción de forraje, y donde realizan resevas forrajeras. Algunos también manifiestan que son importantes las de V-O.	P-V. Por ser el momento de mayor producción de forraje y por aspectos reproductivos. Un productor manifiesta la importancia por las sequías de V-O porque anteceden al invierno frío y con baja producción.
MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE ADAPTACIÓN FRENTE A SEQUIÁS	Pastoreo racional; Ajuste de carga animal	Siempre estar preparados para una sequía; stock de reservas forrajeras; asegurar acceso al agua; ajuste de carga animal; Campos mejorados con leguminosas	Ajuste de carga animal; Suplementación; Destete precoz; Disponibilidad de agua en bebederos; Recolectar agua de lluvia; Pastoreo rotativo; Manejar siempre una alta disponibilidad de pasto.	Manejo del pastoreo; ajuste de carga animal; mejoramiento del campo (con lotus y raigrás); destete precoz; manejo con ganado ovino.	Acceso a agua de calidad; bebederos y tajamares limpios; manejo de la carga animal; Suplementación con ración; reservas forrajeras; destete precoz; venta de animales antes de presentar mala condición corporal; elección de cultivares de mejoramiento de pastizales y uso de variedades resistentes; alfalfa.	Regulación de stock y reservas forrajeras; bajar la carga animal; adaptar el sistema de producción a las vulnerabilidades que posee el predio y la empresa; invertir en agua y sombra para el ganado; más verdes.

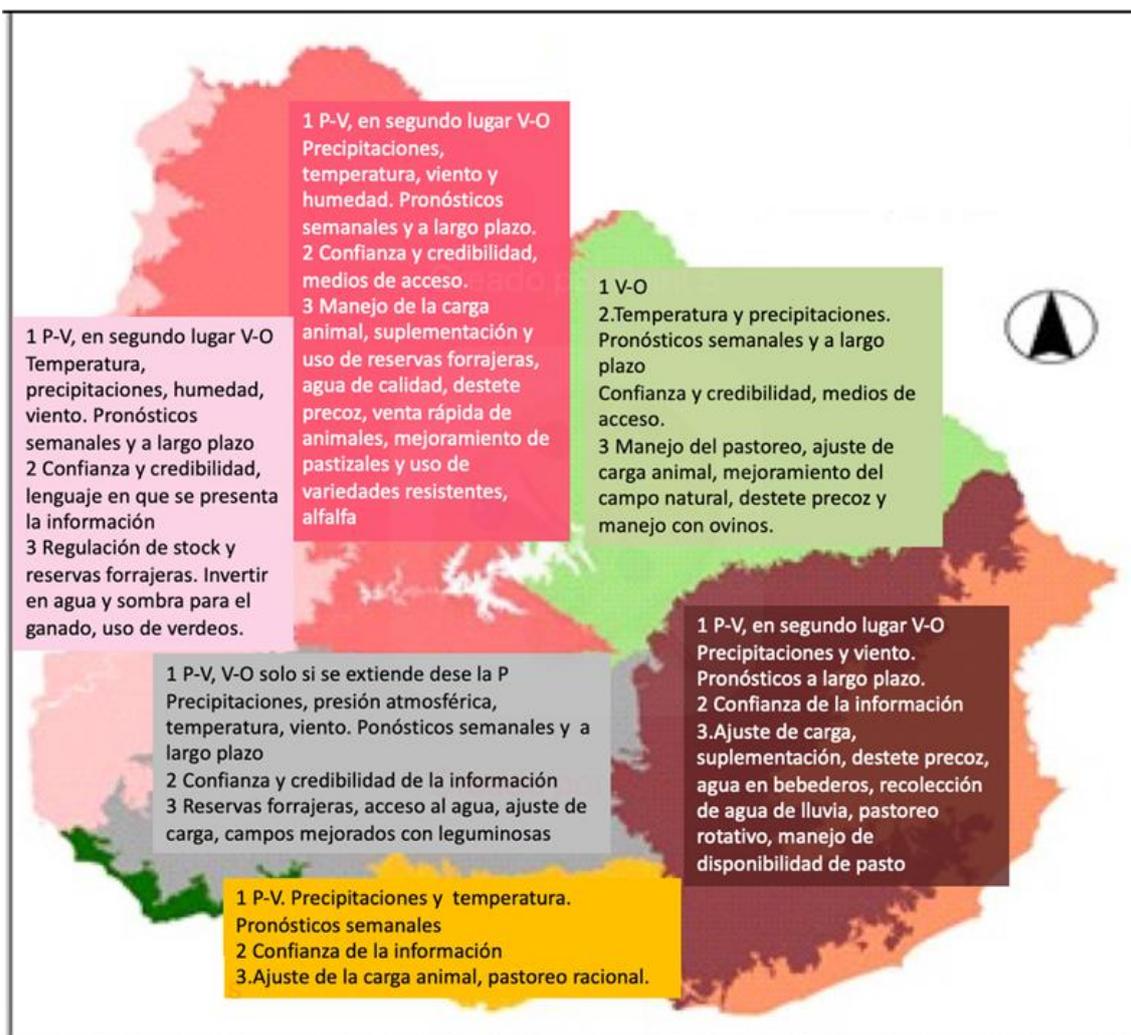


Figura 31: Esquematación de los principales aspectos relacionados a las sequías considerados por los productores entrevistados en las diferentes regiones del país. 1: época más relevante de ocurrencia de deficiencias hídricas (P-V o V-O) e información agroclimática a la que acceden y dan más relevancia; 2: limitantes de la información a la que acceden; 3: medidas preventivas y de adaptación frente a las sequías.

A continuación, se describen las características según las respuestas obtenidas por los productores ganaderos por regiones.

Graven de Santa Lucía

Como aspectos en común entre los productores, lo que consideran que está más en falta en cuanto a la información agroclimática a la que acceden es la legitimidad de esa información, es decir la confianza que les genera esa información.

Los productores de esta región esperan advertencias desde el ambiente científico para realizar acciones frente a una sequía.

No hay algo en común con respecto a cuáles consideran que son más importantes, si las sequías de primavera- verano o verano- otoño; queda claro que las de primavera- verano son muy importantes debido a que es la época en la que se realizan reservas, pero no quitan importancia a las de verano- otoño.

Como principales medidas realizan, o intentan, un pastoreo racional y un ajuste de la carga en base a la producción de forraje y pronósticos de sequías.

En cuanto a cuáles han sido las sequías más importantes, están de acuerdo en que la actual sequía (2020- 2021) ha sido la peor que les ha tocado experimentar, a pesar de estar más preparados que para instancias anteriores, como la del 88-89, la cual también manifiesta un productor que fue importante, junto a la del 2008-2009.

Escudo Cristalino

Para los productores de esta región también la sequía 202- 2021 ha sido la más importante, y vuelven a aparecer las sequías ya conocidas de 1988-1989 y 2008-2009. Un productor menciona también como importante una sequía en el 2010.

La mayoría manifiestan alguna carencia de agua, especialmente en los momentos de sequías, así como la instalación de pozos semi surgentes en el 2010 luego de haber tenido carencia de agua durante la sequía.

Aparece mucho en esta región el uso de las redes sociales y el internet para informarse acerca de cómo viene el año y si se esperan sequías.

Nuevamente la confianza en la información aparece como uno de los aspectos más importantes en cuanto a la información agroclimática a la que acceden, así como la fuente de información (credibilidad de la misma). Un productor manifiesta que no hay pronósticos bien definidos, que realmente se cumplan.

Los ámbitos a partir de los cuales esperan advertencias para su accionar frente a una sequía son: científicos, técnicos asesores y organizaciones especializadas en el tema.

Surge en esta región el "estar siempre preparados para una sequía", y en caso de existir un pronóstico certero, ahí si una de las principales medidas es aumentar el stock de reservas para mantener el peso de los animales. También surge la importancia de los bebederos y el uso de planes para asegurar el acceso al agua en todos los potreros, así como las reservas forrajeras necesarias para mantener las condiciones corporales de los animales. Otra medida que se repite, como en otras regiones es ajustar la carga animal a la disponibilidad de pasturas.

Las sequías más importantes para esta región son las de primavera- verano, siendo el argumento de que en primavera es la época donde se realizan las reservas forrajeras para hacer frente durante el verano. Surge una problemática hacia el otoño

cuando la sequía comenzada en primavera se extiende hasta esta época del año, agravando así la situación.

Un productor dejó una reflexión muy interesante a partir de esta última sequía, en la que manifiesta que "la lección aprendida más importante en el periodo 2022-2023 fue la subestimación del impacto en la producción de las pasturas y la no previsión en tiempo de la compra de reservas/subproductos". Estas son medidas de adaptación frente a condiciones adversas, en este caso de una fuerte deficiencias hídricas, que tienen un rol imprescindible en la gestión del riesgo de sequías. El mismo productor manifestó que valora y es muy importante el bienestar animal, por lo que la disponibilidad de agua y de sombra es fundamental. Otra medida que surge en esta región es el uso de campos mejorados, principalmente con alguna leguminosa.

Sierras del Este

En esta región surge como muy importante la sequía de 2008-2009, la del 88-89 también está presente, pero por una menor cantidad de productores. Asimismo, la actual sequía que transitamos es la única que se repite por todos los productores de esta región.

Los medios por los que se informan acerca de cómo va el año y qué se espera para los siguientes meses son muy variados: internet, redes, INIA gras, BoosterAgro y prensa.

Las precipitaciones y los pronósticos semanales y a largo plazo vuelven a ser unas de las variables más relevantes para los productores, pero surge por algunos productores la importancia del viento también.

La principal limitante que manifiestan con respecto a la información agroclimática a la que acceden es la confianza en esa información, es decir la legitimidad de la misma, y esperan las advertencias de técnicos asesores, científicos y gobierno para tomar medidas frente a condiciones de sequía.

Algunos productores esperan información acerca de otras regiones del mundo (hemisferio norte, Brasil) como indicadores de que se pueda entrar en una sequía en Uruguay: otros observan la cantidad de precipitaciones acumuladas en los últimos 30-60 días, así como la presencia de heladas tardías.

Como medidas frente a condiciones de sequías aparece el ajuste de la carga animal, suplementación, destete precoz, disponibilidad de agua en los bebederos, el pastoreo rotativo y manejar siempre una alta disponibilidad de pasto. Hay un caso de una productora que recolecta el agua de lluvia para momentos de mayor escasez. Surge la importancia de agua de calidad para los animales y el cuidado del agua.

Cuenca sedimentaria Gondwánica (Noreste)

Siempre surge, al igual que las otras localidades, que lo primero en lo que piensan cuando hablan de sequías es en la falta de agua, falta de pasto y pérdida económica; un productor manifiesta que es la peor amenaza desde el punto de vista económico. Por otra parte, hay una productora que ya las sequías las ve como algo cotidiano, con lo que tienen que estar preparados siempre para lidiar.

En esta región los productores manifiestan como peores sequías algunas de ellas: sequía actual 2020- 2021, 88-89, 2005-2006, 2007-2008-2009, 2011-2012 y 2018. A su vez, más de un productor menciona que desde su punto de vista, cada vez hay más sequías.

La mayoría no tiene carencias de agua en el predio, o la han tenido en otro momento, pero lo fueron solucionando a lo largo de los años con tajamares, bebederos y pozos para consumo personal que han logrado con planes del MGAP.

Los medios a partir de los cuales se informan sobre la situación actual y futura desde el punto de vista agrometeorológico son: radio, INIA gras, Plan Agropecuario, redes sociales (incluida la aplicación Booster Agro), tendencias MetSul e Inumet. Por la región, varios productores han manifestado que los pronósticos brasileros son bastante más precisos que los nacionales, por lo que, si bien miran ambos, le dan más relevancia a los brasileros. Por otra parte, una productora se basa mucho también en sus propios registros pluviométricos.

La información climática de mayor relevancia para los productores de la región son las precipitaciones, la temperatura del aire, los pronósticos semanales y los pronósticos a largo plazo.

La mayoría considera que las principales limitantes que tiene la información agroclimática a la que acceden son la fuente de esa información (credibilidad) y la confianza en la información (legitimidad). Algunos productores manifiestan que los medios de acceso a la información son la principal limitante, y otros que están conformes con la información que reciben.

Esperan advertencias desde los siguientes ámbitos: científicos, técnicos asesores, gobierno, sociedades de fomento rural y cooperativas agropecuarias, Instituto Plan Agropecuario, INIA, y productores. También hay un productor que manifiesta que no espera advertencias frente a las sequías de ningún ámbito.

Esta es la región en que los productores manifestaron mayor preocupación frente a las sequías de verano- otoño; esto no quiere decir que no consideren importantes las de primavera- verano, que sí lo son, e incluso para muchos de ellos son las más importantes, pero es la región en que mayor proporción de productores

manifestaron su preocupación frente a las sequías de verano- otoño, relacionado principalmente a que las vacas preñadas llegan al invierno con una muy baja condición corporal, muy poco alimento y mucho frío (en un estado realmente crítico). Obviamente, mayor es aún la preocupación de una sequía de verano- otoño con una primavera que no fue muy buena; en caso que haya habido una buena primavera, y se genere una buena oferta de forraje, entonces el impacto de una sequía de verano- otoño será menor. La justificación de las sequías de primavera- verano es la misma que el resto de las regiones, dado por ser el momento donde se realizan reservas forrajeras para poder llevar los siguientes meses, donde hay poca producción.

Como principales medidas preventivas y de adaptación frente a las sequías, todos los productores hacen manejo de pastoreo y ajuste de la carga animal a partir de la producción de forraje, también mejoramientos con lotus y raigrás, uso de verdeos (que tienen una alta producción en poco tiempo), destete precoz, y también un productor tiene el uso de ganado ovino como manejo productivo. Las principales medidas que toman frente a una sequía son: aliviar la carga animal, la suplementación y el destete precoz.

Cuesta basáltica

En la región de basalto, siendo una de las principales regiones ganaderas del país, los productores consideran a las sequías como un evento importante para su producción. Cuando se consulta con respecto a qué es lo primero el que piensan cuando hablan de sequías nombran las pérdidas, tanto económicas como productivas, la escasez de agua y alimentos, y el estado de los animales. Surgen respuestas muy interesantes también en esta región, como por ejemplo la pregunta que varios se hacen: ¿serán realmente ciertas las predicciones? ¿cuánto durará? ¿cuándo va a terminar? Aparece el término riesgo, que hasta ahora no había surgido, y el "hay que aguantar". También para un productor las sequías son sinónimos de desafíos.

Casi todos están de acuerdo en que la sequía actual fue la peor de todos los tiempos, junto con la sequía de 1988-1989. Hay un productor que menciona la del 2005-2006, así como algunos tienen presente como una de las peores sequías la del 2008-2009.

Una baja proporción de los productores manifiestan que tienen carencia de agua en su predio, otros que tuvieron en algún momento, pero lo han resuelto en el correr de los años, pero la mayoría no presentan carencias de agua en sus predios.

Se informan sobre cómo viene el año a través de prensa oral y escrita, pronósticos de INIA, internet, publicaciones e informes de meteorólogos, y la información agrometeorológica a la que le dan más relevancia son las precipitaciones,

los pronósticos semanales y a largo plazo, y en menor proporción la temperatura del aire, viento y humedad.

Las mayores limitantes que tiene la información agroclimática a la que acceden son la credibilidad y legitimidad de la información; en menor medida también resulta importante el lenguaje o la forma en que se presenta la información y los medios de acceso a la información. Tienen como punto de vista de que existe mucho margen de error en los pronósticos a los que acceden los productores.

Esperan advertencias para tomar acciones frente a las sequías desde técnicos asesores, gobierno, científicos, sociedades de fomento rural y cooperativas agropecuarias, plan agropecuario e información periodística seria. Por otra parte, algunos no esperan advertencias de ningún ámbito, sino de su propio establecimiento.

Como medidas preventivas, así como de accionar frente a condiciones de sequías, los productores manifiestan tener acceso a agua de calidad, así como mantener los bebederos y tajamares limpios, manejo de la carga animal, procurar ración o reservas forrajeras, destete precoz, venta de animales antes de tiempo, a pesar de valer menos (surge aquí la importancia de no esperar a ver a los animales en malas condiciones corporales). Una medida interesante preventiva es la elección de cultivares en caso de mejoramiento de los pastizales, que permitan mejorar el rendimiento total, así como variedades que sean más resistentes frente a condiciones de sequías. Hay un productor que manifiesta que, al tener una producción de forraje en base a la alfalfa, éste tiene una ventaja importante frente a las sequías con respecto a otros productores vecinos. Un productor menciona que intenta mantener una carga animal estable, cosa que no ha logrado desde el 2020.

Las sequías de primavera- verano continúan siendo las más importantes en proporción, debido a que es el momento de mayor producción de forraje, y además de realizar reservas forrajeras, esto condiciona directamente al próximo verano- otoño, no así a la inversa. Algunos productores consideran de mayor relevancia las de verano-otoño, por el hecho de que entran en el invierno, donde hay muy poca producción de pasto, y muy frío, y con altos requerimientos metabólicos, con una baja condición corporal.

5.2.1. Bio- indicadores como alerta temprana

En cuanto se les preguntó libremente a los productores sobre la observación de algún bio- indicador que pudiera darles un indicio de que se estaría entrando en una sequía y que ellos utilicen para tomar decisiones surgieron varias respuestas:

Graven de Santa Lucía

En esta región los productores visualizan que se está entrando en una sequía a partir de la disponibilidad de agua luego del invierno y retirada de las vertientes.

Escudo Cristalino

Trébol blanco florecido muy temprano y menos problemas con la mosca de la bichera. Estos aspectos, sumado a pronósticos a largo plazo (a pesar de tener cierto grado de incertidumbre en cuanto a la credibilidad de los mismos) son fundamentos importantes para una alerta temprana de sequías. Por ejemplo, si los pronósticos indican que se vendrán semanas o meses con altas temperaturas, baja humedad y pocas RR, y en su establecimiento observan la floración del trébol antes de lo normal, o pocos problemas producidos por la mosca de la bichera en momentos donde normalmente los hay, entonces de esta manera se está aumentando la confiabilidad y credibilidad de la información a la que accedieron y podrán tomar medidas que apunten a disminuir el riesgo por las sequías.

Cuenca Sedimentaria Gondwánica (NE)

Esta fue la región en la que surgieron mayor cantidad de indicadores que los productores consideran de que están por entrar en una sequía. Algunos se guían por los pronósticos que reciben, otros por sus propios registros, mayormente miran lo que llovió en primavera, y en cómo está el pasto y las aguadas en su predio. También se habla del viento seco y la formación de remolinos como pronóstico de sequía, así como frío de noche y calor de día. Si llueve en luna nueva en agosto, entonces va a haber buena lluvia lo que resta del año, las hormigas coloradas en invierno son señal de mucha humedad, y en el color de los macachines: rosado y amarillo indican humedad y sol, blanco en primavera es señal de sequía, blanco en otoño es frío y seco, y el color rojo de las flores indica lluvia. También manifiestan que cuando ya están entrando en sequía las hojas de los árboles se caen más.

Cuesta basáltica

La mayoría de los productores que respondieron las preguntas de la región no identifican señales que les puedan estar indicando que se encuentran frente al comienzo de una sequía. Sin embargo, algunos manifiestan el crecimiento de las pasturas como indicador, ya que realizan como manejo un pastoreo rotativo; es decir que si cuando vuelven al potrero las pasturas no alcanzan la altura esperada en condiciones “normales”, entonces se estaría frente a una situación de sequía. Mencionan en menor medida las altas temperaturas o precipitaciones en primavera por debajo de lo normal, así como sol rojo al atardecer como señales de sequía.

Resulta importante remarcar la importancia de estos bio- indicadores, así como el conocimiento local, siendo recientemente reconocido e incluido por el IPCC (IPCC, 2021). Muchas veces estos conocimientos se pasan de generación en generación, y son generados a partir de sus experiencias, trabajo y constancia durante mucho tiempo.

Que varios de los productores hayan puesto en relevancia como bio- indicadores de alerta temprana la disponibilidad de agua luego del invierno y retirada de vertientes, así como precipitaciones por debajo de lo “normal” en primavera pone de manifiesto la importancia de conocer los gradientes y montos de las precipitaciones de cada región, su variabilidad y probabilidad de ocurrencia, siendo este un aspecto importante y de poca complejidad para implementar en cada predio. Para eso, además de contar con los datos históricos de RR (información a la que deberían poder tener acceso), es recomendable que los productores lleven su propio registro para poder monitorear. Como aspecto relevante, varios de los productores entrevistados indicaron que llevan su propio registro de RR. El uso de aplicaciones como BoosterAgro (también utilizada por algunos de los productores que fueron entrevistados) jugaría un rol fundamental en este punto.

5.3. Asociación de elementos que configuran el “inicio” de una sequía y que pueden ser utilizados como indicadores del comienzo de estos eventos contribuyendo a una alerta temprana de la sequía.

5.3.1. *Asociación de las precipitaciones con la condición del Niño- Oscilación Sur (ENSO; Índice Niño Oceánico (ONI), Índice de Oscilación Sur (SOI))*

Las categorías definidas para agrupar las precipitaciones están justificadas de la siguiente manera: precipitaciones (RR) muy por debajo del promedio (0- 50 mm), precipitaciones por debajo del promedio pero que representan el desvío estándar inferior de las RR (51- 100 mm), RR mensuales promedio dentro del rango de todo el país, representando también parte del desvío estándar superior (101- 200 mm) y RR muy por encima de los valores mensuales promedio (más de 200 mm).

Cuando se analizan las precipitaciones según categorías y el índice del Niño Oceánico (ONI) y el índice de Oscilación Sur (SOI) se observan algunos comportamientos interesantes. Uno de ellos es que cuanto más al S, menor es la respuesta de las precipitaciones a los índices, es decir que las regiones más al S- SE no responden a la señal de ENSO (Tabla XIII).

Por contraparte, en regiones más al N, en este caso limitadas a Artigas (tabla IX), las RR sí muestran una respuesta frente a la señal de ENSO, y parecería que ésta es mayor frente a anomalías positivas de precipitaciones, donde puntualmente los mayores valores de significancia se dan frente a precipitaciones mayores a 200 mm por mes, siendo mayor el ajuste con el ONI que con el SOI (Tabla XII).

En el NE (Melo) se observa una correlación significativa de las precipitaciones con el SOI, únicamente frente a anomalías muy negativas (0- 50 mm; Tabla XIV). Por lo tanto, se podría decir a grandes rasgos que frente a pronósticos anticipados de años Niña, que es la que trae aparejada en el país períodos de importantes deficiencias hídricas, esta región sería la que más estaría respondiendo frente a dicho fenómeno o se vería más afectada, siendo la región donde se podrían tomar decisiones con mayor seguridad frente a las predicciones.

La utilidad de conocer esta información sería para una alerta temprana de sequías, sin embargo, sería importante también analizar el nivel de confiabilidad, ya que no siempre la relación es directa. Asimismo, resulta relevante la asociación según región del país y tipo de índice, así como la respuesta diferencial según región a años Niño/Niña. De igual manera, así como lo han manifestado casi todos los productores entrevistados (ítem 5.2.), las predicciones de años Niña es una de las herramientas que más utilizan frente a la gestión del riesgo de sequías en sus establecimientos ganaderos.

Tabla XII: Correlación de Pearson entre categorías de precipitaciones (0-50, 51-100, 101-200 y más de 200 mm) con SOI y ONI en Artigas. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

ARTIGAS	RR Artigas 0-50	ONI	SOI
0-50 mm	-	0,44	0,68
ONI	0,1	-	2,73E-12
SOI	-0,05	-0,75	-
RR Artigas 51-100		ONI	SOI
51-100 mm	-	0,01	0,04
ONI	-0,27	-	1,59E-14
SOI	0,22	-0,71	-
RR Artigas 101-200		ONI	SOI
101-200 mm	-	0,03	0,17
ONI	0,22	-	2,78E-20
SOI	-0,14	-0,77	-
RR Artigas + 201		ONI	SOI
+ 201 mm	-	0,03	0,25
ONI	0,30	-	8,51E-08
SOI	-0,16	-0,66	-

Tabla XIII: Correlación de Pearson entre precipitaciones (RR) (categorías en mm: 0-50, 51-100, 101-200 y más de 200) e Índice de Oscilación Sur (SOI) o Índice de Niño Oceánico (ONI) en Las Brujas. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

LAS BRUJAS	RR Las Brujas 0-50	ONI	SOI
0-50 mm	-	0,8	0,89

ONI	0,03	-	2,53E-19
SOI	-0,016	-0,83	-
RR Las Brujas 51-100		ONI	SOI
51-100 mm	-	0,20	0,21
ONI	0,12	-	5,32E-19
SOI	-0,12	-0,72	-
RR Las Brujas 101-200		ONI	SOI
101-200 mm	-	0,76	0,42
ONI	-0,03	-	7,88E-13
SOI	-0,08	-0,65	-
RR Las Brujas +201		ONI	SOI
+ 201 mm	-	0,85	0,41
ONI	0,04	-	9,23E-06
SOI	0,19	-0,81	-

Tabla XIV: Correlación de Pearson entre precipitaciones (RR) (categorías en mm: 0-50, 51-100, 101-200 y más de 200) e Índice de Oscilación Sur (SOI) o Índice de Niño Oceánico (ONI) en Melo. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

MELO	RR Melo 0- 50 mm	ONI	SOI
0- 50 mm	-	0,27	0,05
ONI	0,14	-	1,87E-12
SOI	-0,25	-0,75	-

De acuerdo a lo mencionado, se graficaron las precipitaciones ocurridas en el período 1991- 2015 con los SOI correspondientes a cada mes; específicamente, como hablamos de deficiencias hídricas, se muestran en la Figura 32 las precipitaciones en Melo con el SOI (que es la región que presentó una correlación significativa de las RR muy por debajo del promedio con el SOI). Valores por encima de 7 indicarían Niño, por debajo de -7 Niña, y entre medio de ambos están los valores normales. Se graficaron los momentos en que se reconoció un ajuste de las RR con el SOI en meses Niña (sequías 2000 y 2008- 2009 y 2010).

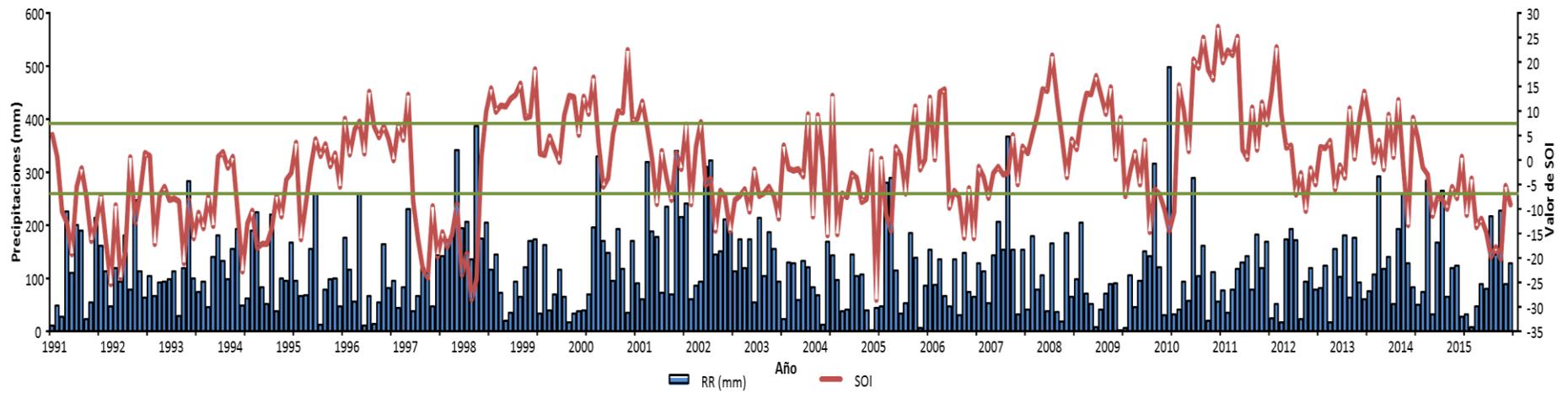


Figura 32: Precipitaciones mensuales (RR) (1991- 2015) e Índice de Oscilación Sur (SOI) en Melo. Las líneas en verde indican los umbrales de la señal de El Niño (+7) o La Niña (-7).

5.3.2. Asociación de las precipitaciones con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Al analizar la respuesta de la vegetación frente a las precipitaciones, se observó que la mayor correlación se dio cuando se relacionan las precipitaciones acumuladas durante un período de 15 días, 15 días antes del valor de NDVI tomado de la página del SNIA (Tabla XV). Cuando se analizan las precipitaciones de un mes antes, en la mayoría de las regiones la correlación es significativa, menos en la Estanzuela, pero con un coeficiente de correlación menor (Tabla XVI). Cuando se toman en cuenta las precipitaciones 3 meses antes de cuando se tomó el valor del NDVI, no se observó correlación entre las precipitaciones y el índice (

Tabla XVII).

Específicamente, cuanto mayores son las precipitaciones, mayor es el valor del NDVI, lo que estaría representando una mayor producción de pasturas (Texeira et al., 2019). En este análisis se observa que esta respuesta se hace más acentuada cuanto más al N, principalmente por el litoral W (Artigas y Paysandú). Si bien es esperable una respuesta positiva en la producción de pasto cuando mayores son las precipitaciones (Texeira, 2019), no se conocía esta respuesta diferencial según región del país.

Lo importante de conocer este tipo de comportamiento es que pueden realizarse probabilidades de ocurrencia de precipitaciones para que el NDVI se encuentre dentro de los rangos deseados, principalmente en los períodos donde climatológicamente se esperan las deficiencias hídricas.

Tabla XV: Coeficiente de correlación (r) entre las precipitaciones y el NDVI. Corresponde a las precipitaciones acumuladas en 15 días, 15 días antes del valor del NDVI. Asterisco (*) indica que la correlación es significativa

Localidad	Rocha	Melo	LE	Mercedes	Artigas	Pdú	TYT	LB
R	0,25*	0,29*	0,10	0,32*	0,38*	0,37*	0,29*	0,24*

LE: La Estanzuela; Pdú: Paysandú; TYT: Treinta y Tres; LB: Las Brujas.

Tabla XVI: Coeficiente de correlación (r) entre las precipitaciones y el NDVI. Corresponde a las precipitaciones acumuladas en 15 días, 1 mes antes del valor del NDVI. Asterisco (*) indica que la correlación es significativa

Localidad	Rocha	Melo	LE	Mercedes	Artigas	Pdú	TYT	LB
R	0,22*	0,26*	0,01	0,29*	0,31*	0,34*	0,26*	0,27*

LE: La Estanzuela; Pdú: Paysandú; TYT: Treinta y Tres; LB: Las Brujas.

Tabla XVII: Coeficiente de correlación (r) entre las precipitaciones y el NDVI. Corresponde a las precipitaciones acumuladas en 15 días, 3 meses antes del valor del NDVI. Asterisco (*) indica que la correlación es significativa

Localidad	Rocha	Melo	LE	Mercedes	Artigas	Pdú	TYT	LB
R	0,01	-0,04	-0,03	0,01	0,08	0,00	-0,02	0,01

LE: La Estanzuela; Pdú: Paysandú; TYT: Treinta y Tres; LB: Las Brujas.

En la Figura 33 están representadas las RR acumuladas en 15 días, 15 días antes del valor del NDVI. El ejemplo corresponde a la localidad de Artigas. El NDVI tiene un comportamiento que responde en gran medida a las precipitaciones, con caídas bastante importantes cuando las precipitaciones fueron por debajo de las esperadas, y subidas notorias luego de registrarse quincenas con buenas precipitaciones. También se observan casos, como por ejemplo en mayo de 2014, donde el NDVI presentó el mayor valor, no por registrarse un evento de muchas precipitaciones, sino por venir de un período sostenido donde las precipitaciones no fueron limitantes (aunque no se están considerando otros factores que puedan estar influyendo).

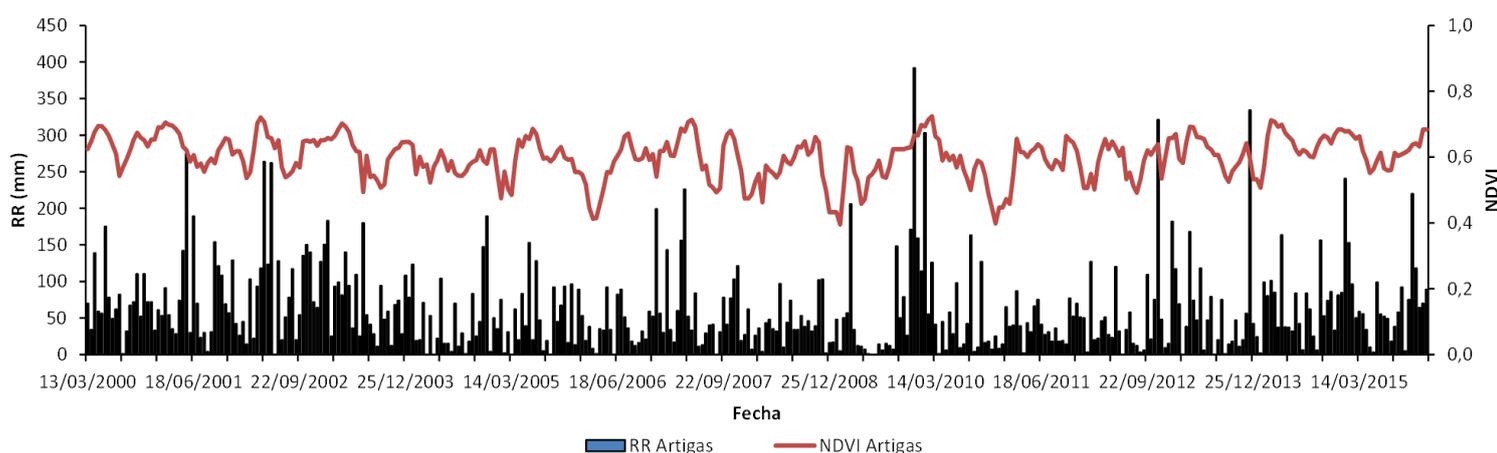


Figura 33: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y precipitaciones acumuladas en 15 días (RR). Las fechas corresponden a la estimación del NDVI (15 días después de las fechas de las precipitaciones). Localidad: Artigas. Período: 2000- 2015.

Además de la información satelital para una alerta temprana de sequías, que ya se ha verificado parcialmente en este estudio, pero fue estudio en diversas investigaciones (Gallego, 2019; Wu et al., 2016; Paruelo et al.; 2012), los productores entrevistados que manejan la pastura de acuerdo a su crecimiento y capacidad de carga, hacen este trabajo visualmente en sus establecimientos; conociendo el crecimiento de sus pasturas si observan menos crecimiento de lo habitual para la época, ya consideran que están entrando en sequía y comienzan a tomar medidas para la gestión del riesgo de sequías.

Resulta importante destacar que ésta sería apenas una aproximación para poder relacionar directamente la oferta de agua con el crecimiento de las pasturas; no es el foco principal de esta tesis, sino un producto de la investigación, para poder tomar el crecimiento diferencial de las pasturas como parte de una alerta temprana, en conjunto con otras variables e indicadores que fueron obtenidos. Solo la relación entre la lluvia y el NDVI considero sería estudio de una nueva investigación completa.

6. Conclusiones

En este trabajo se realizó una caracterización detallada de las deficiencias hídricas, donde se combinó el análisis biofísico con entrevistas a productores para involucrar su visión acerca de las sequías. También se exploraron índices físicos y biofísicos en la búsqueda de alertas tempranas de sequía, y se relevaron observaciones de los productores que podrían complementar/contribuir como alerta temprana a nivel local.

La base de la caracterización biofísica fue el balance hídrico de suelos a paso decádico, utilizando datos diarios de ETO (período 1990-2015) por primera vez en Uruguay.

Se demostró que existen diferencias en las regiones estudiadas, las que se señalan a continuación:

En el NE se registran mayores deficiencias hacia el verano- otoño según el análisis biofísico y también lo reportado por los productores entrevistados. Las deficiencias hídricas en el país, en general, comenzarían en primavera desde el SW y se irían extendiendo con un gradiente temporal y espacial hacia el NE.

Resulta de suma importancia destacar el rol fundamental de la capacidad de almacenaje de agua en los suelos para el comienzo de las deficiencias hídricas (época de ocurrencia), ya que en regiones con suelos más superficiales las deficiencias hídricas se hacen más notorias a comienzo de primavera- verano; por lo contrario, suelos más profundos amortiguan la ocurrencia de deficiencias en esta época, haciéndose más notorias hacia fines de verano- otoño.

En cuanto a la duración e intensidad de las deficiencias hídricas, las zonas costeras y la región N son las que presentan menor cantidad de eventos de deficiencias, ya sea de corta como de larga duración y de menor intensidad.

Se registraron tendencias positivas y significativas de deficiencias hídricas en el verano en la región NE y SW. En el otoño se registraron tendencias de aumento de deficiencias hídricas con valores significativos hacia el E, y una tendencia negativa de las

deficiencias en primavera, significativa hacia el W- SW y SE según la capacidad de almacenaje de agua en el suelo.

La asociación de las tendencias de las deficiencias hídricas con las tendencias de precipitaciones y ETO reveló un comportamiento diferencial según región del país. En el E- SE, la tendencia en aumento de las deficiencias en otoño está relacionada a una disminución en las precipitaciones. Más hacia el NE, el aumento de las deficiencias en verano está mayormente dado por un aumento en la ETO, coincidiendo con las correlaciones de Pearson que se realizaron para el análisis de probabilidades de ocurrencia de las deficiencias hídricas. En el SW- W el aumento de las deficiencias hídricas en verano no está claramente relacionado con una disminución de las RR y/o un aumento de la ETO (al menos no significativo estadísticamente).

A pesar de que toda la región S de Uruguay es la que presenta, a nivel climático, un régimen de lluvias más uniforme, con precipitaciones relativamente homogéneas a lo largo del año, el efecto de las deficiencias hídricas hacia el S y SW está más acentuado. Esto está explicado por un aumento de menor magnitud de la ETO hacia la temporada cálida en el SE con respecto al SW.

A nivel estacional se encontraron los siguientes patrones:

En verano, en todo el país existe una probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas cercana al 50%, es decir que se espera que uno de cada dos veranos ocurra deficiencias que comprometan el bienestar hídrico del campo natural. La tendencia en la ocurrencia de deficiencias hídricas resultó positiva también en todo el país con valores significativos en varias localidades.

En otoño la probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas es cercana al 20% en todo el país (uno de cada cinco otoños se esperan deficiencias hídricas), encontrándose también una tendencia positiva, aunque solo significativa en algunas localidades y tipos de suelo. En esta época del año, la tendencia de deficiencias hídricas es mayor hacia el E y NE, lo que coincide con la percepción de los productores entrevistados.

En primavera la probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas es muy baja y también más heterogénea (menor al 5% en gran parte del país), exceptuando Mercedes (18%) y la tendencia de las deficiencias hídricas resultó negativa en todas las regiones del país y significativa en varias localidades.

El análisis de precipitaciones, realizado en forma complementaria para abarcar períodos de tiempo más extensos, reveló diferencias en las tendencias según el período considerado (25 años y 72 años). Esto advierte sobre la representatividad temporal de las deficiencias hídricas encontradas en el período de 25 años, lo cual puede ser una limitante de este trabajo.

En cuanto a las alertas tempranas de sequía, los resultados mostraron que:

El S de Uruguay no responde a las variaciones del ENSO. El N responde en mayor medida a El Niño (con anomalías de RR positivas) mejor representado por el ONI. Exceptuando el N del país y el S como ya se mencionó, el resto del territorio posee respuestas a las predicciones de La Niña (con anomalías negativas de la lluvia) y está mejor representado por el SOI.

La información satelital resulta relevante en la gestión del riesgo mediante el valor del NDVI, representando el crecimiento de las pasturas. El NDVI tiene mayor correlación con las precipitaciones acumuladas durante 15 días, 15 días antes de valor de NDVI tomado del SNIA. Mayores precipitaciones se relacionan con un mayor NDVI, respuesta que se hace más acentuada hacia el N y NW.

Respecto a las señales que los productores observan sobre el posible inicio de una sequía, se entiende necesario realizar estudios agroclimáticos de menor escala espacial para poder asociar y poder capitalizar estas observaciones de tipo local. Por otra parte, han surgido aspectos preventivos que se constatan beneficiosos, como la diversidad de especies del tapiz para afrontar una sequía, pastoreo rotativo, manejo de la carga animal de acuerdo a la oferta de forraje, entre otros.

En la siguiente imagen se resumen las características más relevantes según región:

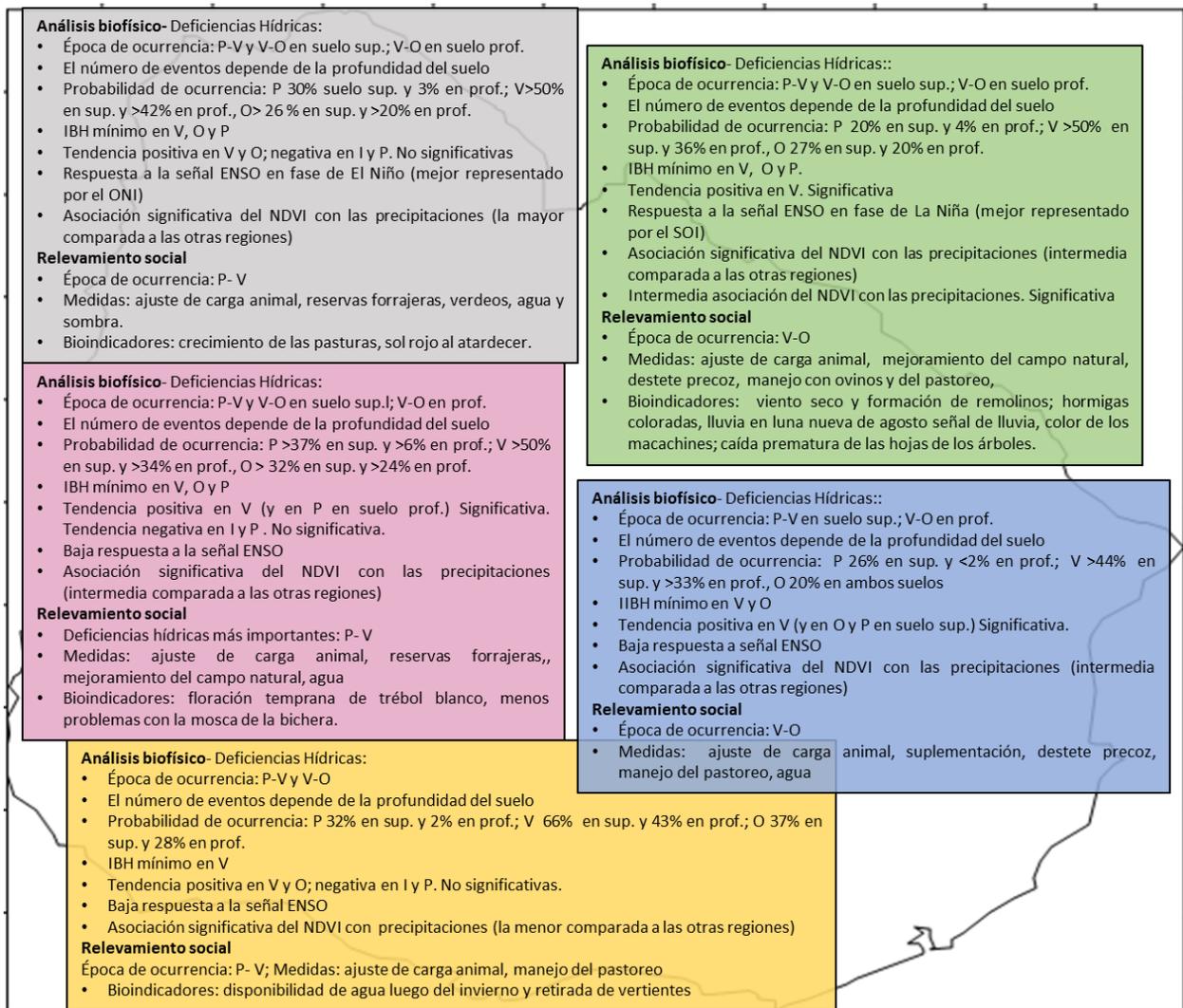


Figura 34: Mapa de síntesis de características de las sequías por región. Gris: cuesta basáltica; lila: cuenca sedimentaria del Oeste; verde: cuenca sedimentaria gondwánica; celeste: sierras del Este; amarillo: escudo cristalino y graven de Santa Lucía.

Referencias: P-V primavera- verano; V- O verano- otoño; ETO Evapotranspiración de referencia; IBH Índice de Bienestar Hídrico; SOI Índice de Oscilación Sur; ONI Índice de El Niño oceánico; NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada; sup.: superficial; prof.: profundo.

7. Bibliografía

- Adger, W.N.; Arnell, N.W.; Tompkins, E.L. 2004. Successful adaptation to climate change across scales.
- Aliste, E. y otros, 2016. [Cambio Climático: Lecciones De Y Para Ciudades De América Latina](#). Universidad Externado de Colombia, Facultad de Finanzas, Gobierno y Relaciones Internacionales. No. 99.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration; guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO. 173 p. (FAO Irrigation and Drainage no. 56).
- Altesor, A.; Di Landro, E.; May, H.; Escurra, E. 1998. Long term species change in a Uruguayan grassland. *Journal of Vegetation Science*, v. 9, p. 173-180.
- Altesor, A.; Ayala, W.; Paruelo, J. M. 2011. Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de patizales. Serie: FPTA N° 26.
- Altesor, A., López Mársico, L. y Paruelo, J. M. 2019. Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II, Serie FPTA 69, INIA, Montevideo, pp. 27-50.
- Alvariño, S. 2023. Caracterización de la Evapotranspiración de Referencia en Uruguay. Tesis de maestría en Ciencias Agrarias, Facultad de Agronomía, UdelaR.
- Alvariño, S.; Bocco, A.; Terra, R.; Bidegain, M.; Cruz, G. 2018. Caracterización de la variabilidad espacial y temporal de la evapotranspiración de referencia en Uruguay. En: Alternativas tecnológicas para el sector arrocero en un escenario desafiante. INIA serie técnica N° 246, p. 6-8.
- Astigarraga, L.; Picasso, V. 2014. La investigación para aportar a la elaboración de políticas: un estudio de caso. En: “Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y a la Variabilidad Climática: vínculos ciencia-política y ciencia-sociedad”. Espacio Interdisciplinario, Montevideo, p. 37- 50.
- Baethgen, W.; Giménez, A. 2002. Aplicación de pronósticos climáticos estacionales e información satelital para mejorar la toma de decisiones en el sector agropecuario: ejemplos de la sequía 1999-2000 en Uruguay y otros. *Actividades de dif.* N° 26. INIA, 14p.
- Baeza, S., Lezama, F., Piñeiro, G., Altesor, A. y Paruelo, J.M. (2010). Spatial variability of above-ground net primary production in Uruguayan grasslands: a remote sensing approach. *Applied Vegetation Science* 13: pp. 72-85.
- Baeza, S., Baldassini, P., Bagnato, C., Pinto, P. y Paruelo, J. M. (2014), “Caracterización del uso/cobertura del suelo en Uruguay a partir de series temporales de imágenes Modis”, en *Agrociencia*, 18, pp. 95-105.
- Baeza, S.; Rama, G. y Lezama, F. (2019). Cartografía de los pastizales en las regiones geomorfológicas de Uruguay predominantemente ganaderas. Ampliación y actualización. En: Altesor A, López-Mársico L y Paruelo JM. Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II. Serie FPTA N° 69, INIA, Montevideo. pp. 27-50.

- Baeza, S.; Paruelo, J.M. (2020). Land use/land cover change (2000–2014) in the Rio de la Plata grasslands: an analysis based on MODIS NDVI time series. *Remote Sensing*, 12(3), 381p.
- Barreiro, M., Arizmendi, F., & Trinchin, R. (2019). Variabilidad observada del clima en Uruguay. Proyecto: “Fortalecer las capacidades de Uruguay para la adaptación al cambio climático en la zona costera”- Producto 2. 52p.
- Barreiro, M.; Arizmendi, F.; Díaz, N.; Trinchin, R. (2021). Análisis del clima y escenarios del cambio y variabilidad climática en Uruguay. CONVENIO PNUD-UDELAR Proyecto URU/18/002 “Integración del enfoque de adaptación en ciudades, infraestructura y ordenamiento territorial en Uruguay”. 15p.
- Barreiro, M.; Renom, M. 2023. Sequía 2020- 2023: Análisis y perspectivas para el Suroeste de Uruguay. Instituto de Física, Facultad de Ciencias, UdelaR. 4p.
- Bartaburu, D.; Morales, H.; Dieguez, F.; Lizarralde, C.; Quinones, A.; Pereira, M.; Molina, C.; Montes, E.; Modernel, P.; Taks, J.; de Torres, F.; Terra, R.; Cruz, G.; Astigarraga, L.; Picasso, V. 2013. Sensibilidad y capacidad adaptativa de los agroecosistemas frente a los efectos del cambio climático. En *Clima de Cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay (Vol. III)*. Montevideo, MGAP- FAO. pp. 99- 221.
- Bartaburu, D. 2017. Desarrollo participativo de una herramienta de evaluación de vulnerabilidad predial a la sequía en el basalto uruguayo. Tesis para obtener el título de Magíster en Agronomía opción Producción Animal y Agronegocios. Facultad de Agronomía, Montevideo, 100 p.
- Banco Mundial. 2013. Seguro de pasturas basado en el índice NDVI para productores ganaderos en el Uruguay. Estudio de factibilidad: informe final. 170 p.
- Bettolli ML, Altamitano MA, Cruz G, Rudorff F, Martínez A, Arroyo J, Armoa J. 2010. Pastura natural de Salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2): 248 – 259.
- Bidegain, M.; Crisci, C.; Del Puerto, L.; Inda, H.; Mazzeo, N.; Taks, J.; Terra, R. 2012. Variabilidad climática de importancia para el sector productivo. En *Clima de Cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay (Vol. 1)*. Montevideo, MGAP- FAO. pp. 43- 99.
- Borgatti, S., Everett, M. y Freeman L. 2002. *The NetDraw: Graph Visualization Software*. Harvard: Analytic Technologies.
- Bulkeley, H. 2005. Reconfiguring environmental governance: Towards a politics of scales and networks. 28 p. *Political Geography* 24.
- Caorsi, M. L.; Cruz, G.; Terra, R.; Astigarraga, L. 2018. Variación de la precipitación y la ocurrencia de sequías en la cuenca lechera del SW del Uruguay en el período 1939- 2011. 2018. *Agrociencia Uruguay- Volumen 22 1:116- 123*.

- Cash, D; Buizer, J. 2005. Knowledge-action systems for seasonal to interannual climate forecasting: summary of a Workshop. Acceso 26/04/2023. <https://www.nap.edu/catalog/11204/knowledge-action-systems-for-seasonal-to-interannual-climate-forecasting-summary>
- Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980- 2009. Montevideo, INIA. 34 p. (Serie Técnica no. 193).
- Chebataroff, J. 1960. Algunos aspectos evolutivos de la vegetación de la Provincia Fitogeográfica Uruguayense. Apartado de Revista Nacional. Montevideo, n. 201, pp. 3-18.
- Chia, E. 2019. Módulo 1, segunda parte. In: Curso Posgrado: Gobernanza e Innovaciones Territoriales. Montevideo, UY. Facultad de Agronomía.
- Cobas, P. 2013. Impacto macroeconómico de las sequías y del fenómeno El Niño-Oscilación Sur. En: clima de cambios. Montevideo, MGAP- FAO. pp. 223- 237.
- Cruz, G.; Bettolli, M. L.; Altamirano, M. A.; Rudorff, F.; Martínez, A.; Arroyo, J.; Armoa, J.; de Torres, M. F.; Tito, P. 2007. Evaluación de la vulnerabilidad actual y futura de los sistemas pastoriles frente a la variabilidad y al cambio climático: caso Uruguay. In Semana de Reflexión sobre Cambio y Variabilidad Climática. Facultad de Agronomía, 23 p.
- CRUZ, G.; BRESCIANO, D.; GAZZANO, I.; RIVAS, M. 2008. Natural grasslands of Uruguay: alternatives for its conservation. In Applying ecological knowledge to land use decisions. Pág. 151-155. Ed. Tiessen, H. Stewart, J. W. SCOPE - IAI - IICA. ISSN/ISBN: 9788599875049.
- Cruz, G.; Baethgen, W.; Picasso, V. y Terra, R. 2014. Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. Vol.18, n.1, pp.126-132. ISSN 2301-1548.
- Cruz, G. 2017. Incorporación de conocimiento climático en la toma de decisiones en el sector agropecuario de Uruguay. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias. Montevideo, Facultad de Agronomía. 157 p.
- Cruz, G.; Baethgen, W.; Bartaburu, D.; Bidegain, M.; Giménez, A.; Methol, M.; Morales, H.; Picasso, V.; Podestá, G.; Taddei, R.; Terra, R.; Tiscornia, G.; Vinocur, M. 2018. Thirty Years of Multilevel Processes for Adaptation of Livestock Production to droughts in Uruguay. *Weather, Climate al Society*, v.: 10 1, p: 59-74.
- Cruz, G.; Gravina, V; Baethgen, W. E.; Taddei, R. 2021. A typology of climate information users for adaptation to agricultural droughts in Uruguay. *Climate Services*, volume 22. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880721000029>.
- De Vera, A., y R. Terra. 2018. “Un generador de precipitación estocástica condicionado por un índice climático”. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 57 (11): 2585–2603. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0307.1> .

- Fagúndez, C. 2009. Las precipitaciones en Uruguay; una propuesta de regionalización. Montevideo, Uruguay, Facultad de Ciencias. 27 p. (sin publicar).
- Ferreira, A.; Coelho, C.; Walsh, R.; Shakesby, R.; Ceballos, A.; Doerr, S. Hydrological implications of soil water-repellency in Eucalyptus globulus forests, north-central Portugal. 2000. Journal of Hydrology, v.: 231–232, p: 165-177.
- García Préchac, F; Ernst, O; Arbeletche, P; Pérez Bidegain, M; Pritsch, C; Ferenczi, A y Rivas, M. 2010. Intensificación agrícola: oportunidades y amenazas para un país productivo y natural. Colección Art. 2. Udelar, CSIC, Montevideo, 126p.
- Giménez, A., Baethgen, W., Castaño, J. P. y Lanfranco, B. (2009). Cambio Climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario. Montevideo: INIA. (Serie Técnica 178). Recuperado de <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429071209133815.pdf>.
- Global Water Partnership; World Meteorological Organization. Integrated Drought Management Programme for Central and Eastern Europe. 2019. En: How to Communicate Drought; WMO: Geneva, Switzerland; GWP: Stockholm, Sweden; 21 p.
- González, M. P.; Di Pietro, L; González M. F.; Argerich, M.; Castillo Marín, N.; Acosta, M.; Moscardini, O.; Lacona, J.; Respighi, E.; González, S.; Torchia, N.; Fernández Bussy, J. 2011. Vulnerabilidad y adaptación al Cambio Climático para la gestión y planificación local. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. 56 p.
- Hellmuth, M.; Osgood, D.; Hesuelo superficial, U.; Moorhead, A.; Bhojwani, H. 2010. Clima y Sociedad Nº 2. Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad, Nueva York. 123 p.
- Hepp, C.; Reyes, C.; Muñoz, S. 2018. Análisis de datos históricos de cinco estaciones meteorológicas de la región de Aysén (Patagonia) Boletín INIA / Nº 365. 200p. (www.inia.cl acceso 20/01/2024).
- Hernández Sánchez, J. C.; Zempoaltecatl Ramírez, E.; Jiménez Escalona, J. C.; Monsiváis Huertero, A.; Mosqueda Sánchez, A. 2016. Monitoreo de la humedad de suelo superficial a partir de observaciones satelitales de microondas activas y pasivas. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Ciencia UANL), No. 81, septiembre-octubre de 2016.
- Huber, A.; Iroume, A.; Mohr, C.; Frene, C. Efecto de plantaciones de Pinus radiata y Eucalyptus globulus sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. *Bosque (Valdivia)*. 2010, vol.31, n.3, pp.219-230. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002010000300006&lng=es&nrm=iso>.
- Instituto Uruguayo de Investigación Agropecuaria (INIA). 2022. Banco de datos agroclimáticos. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>. Acceso 04/04/2022.

- Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET). 2022. Información obtenida mediante trámite gubernamental. <https://www.inumet.gub.uy/>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., Barros, V. Stocker, T.F., Qin, D. Dokken, D.J., Ebi, K.L., M.D. Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M. y Midgley
- Jobbágy, E., Vasallo, M., Farley, K., Pineiro, G., Garbulsky, M., Noretto, M., Jackson, R., Paruelo, J.M., 2006. Forestación en Pastizales: hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos. *Agrociencia* 10, pp. 109- 124.
- Kendall M.G. 1975. Rank correlation methods. Griffin, Londres, Reino Unido.
- Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hesuelo superficial, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, and S. Myeong, 2012: Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.
- Lebrazi, S., Fadil, M., Chraibi, M. y Fikri-Benbrahim, K. 2020. Screening and optimization of indole-3-acetic acid production by *Rhizobium* sp. strain using response surface methodology. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18(1). DOI: 10.1186/s43141-020-00035-9
- Lezama, F., Pereira, M., Altesor, A., Paruelo, J. M. 2019. ¿Cuán heterogéneos son los pastizales naturales en Uruguay?. En: Serie nº 69 FPTA, Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II. INIA. Montevideo, pp. 16- 26.
- Madden, R. A. & Julian, P. R. (1972). Description of global scale circulation cells in the tropics with a 40–50-day period. *Journal of Atmospheric Sciences*, 29, pp. 1109–1123.
- MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. Escala 1:1.000.000.
- Mayta, V. C. (2019). Impactos de la oscilación de Madden–Julian en la variabilidad de la lluvia intraestacional del Amazonas. *Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, 6 (10), pp. 5-8.
- McCarthy, J. J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; Dokken, D. J.; White, K. S.. 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1032 p.

- Methol, M.; Silveira, D. 2013. Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Uruguay. Iniciativa de ONU-Agua para el "Desarrollo de Capacidades en apoyo a las Políticas Nacionales de Gestión de Sequías" (OMM, CNULD, FAO y UNW-DPC). http://www.droughtmanagement.info/literature/UNW-DPC_NDMP_Country_Report_Uruguay_2013.pdf. Acceso 20/08/2019.
- MGAP. 2016. Resolución N° 1013/2016: definición de productor familiar agropecuario y/o pesquero.
- MGAP. Estadísticas agropecuarias DIEA. 2015. Regiones agropecuarias del Uruguay. Montevideo. 42 p.
- [MGAP, FAO. 2013](#). Adaptación a la variabilidad climática. Informe en el marco del proyecto TCP–FAO 3302. Montevideo. [En prensa].
- MGAP. 2011. Censo General Agropecuario.
- MGAP. S/a. Seguro índice ganadería para sequía en pasturas naturales. Bases del plan piloto del PPIR. Montevideo, 7 p. mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-de-desarrollo-rural/descarga/seguero-indice-ganaderia-para-sequia. Acceso 23/08/2019.
- MVOTMA- SNRCC. 2016. Informe de evaluación de necesidades tecnológicas para la adaptación al Cambio Climático. Montevideo. 134 p.
- Nhamo, L.; Mabhaudhi, T.; Modi, A.T. Preparedness or repeated short-term relief aid? Building drought resilience through early warning in southern Africa. *Water SA* 2019, 45, pp. 75–85.
- [Ncdc.noaa.gov](https://www.ncdc.noaa.gov). 2018. El Niño/Southern Oscillation (ENSO) –Teleconnections- National Centers for Environmental Information (NCEI). Online. Disponible en: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/>. Acceso 20/11/2023.
- Ojuederie, O. B., Olanrewaju, O. S. y Babalola, O. O. 2019. Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: Implications for sustainable agriculture. *Agronomy*, 9(11). DOI: 10.3390/agronomy9110712
- Organización Meteorológica Mundial. 1992. La Conferencia Mundial sobre el Clima. En Boletín de la OMM, XXVIII. N° 3. Ginebra, Suiza.
- Pahl-Wostl, C. 2009. A conceptual framework for analyzing adaptive capacity and multi-level learning processes in resources governance regimes. *Global Environmental Change*, 19, 354-365.
- Panario, D.; Gutiérrez, O; Achkar, M; Bartesaghi, L; Ceroni, M. 2011. Clasificación y mapeo de ambientes de Uruguay. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/ Vida Silvestre/ Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR. 149p.
- Paolino, C.; Methol, M.; Quintans, D. 2010. Estimación del impacto de una eventual sequía en la ganadería nacional y bases para el diseño de políticas de seguros. En: Anuario OPYPA 2010. Montevideo: MGAP. pp. 277 – 291.

- Partucci, H.; Alvaríño, S.; Cruz, G. 2019. Parece, pero no es lo mismo. El uso de categorías socialmente compartidas en la comunicación y construcción de conocimiento sobre sequías en el Sureste de Uruguay. *Revista Tekoporá*, vol 1: 1, 99- 112.
- Paruelo, J. M.; Di Bella, C.; Milkovic, M. 2012. Percepción remota y sistemas de información geográfica. Sus aplicaciones en Agronomía y Ciencias Ambientales. Ed. Hemisferio Sur S.A. 398 p.
- Paleontological Statistics software package for education and data analysis- Past (versión 4.05; https://www.uv.es/pardomv/pe/2001_1/past/pastprog/past.pdf)
- Peel, M.; Finlayson, B; McMahon, T. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633–1644, <https://doi.org/10.5194/hesuelo superficial-11-1633>.
- Pérez Becoña, S. 2016. Caracterización agroclimática de la región Noreste de Uruguay y su influencia en la producción ganadera. Tesis para obtener el título de Ingeniera Agrónoma. Facultad de Agronomía, Montevideo, 86 p.
- Petrasovits, I. 1990. General review on drought strategies. En: Transactions 14th International Congressuelo superficial on Irrigation and Drainage; 30 abril- 04 mayo, 1990; Rio de Janeiro, Brazil. Río de Janeiro: ICID. pp. 1-11.
- Rosengurtt, B. 1943. Estudios sobre praderas naturales del Uruguay: tercera contribución. 283 p.
- Saravia, A.; César, D.; Montes, E.; Taranto, V.; Pereira, M. 2011. Manejo del rodeo de cría sobre campo natural. Montevideo, Instituto Plan Agropecuario. 76 p.
- Sistema de información sobre sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA). Página web: www.sisuelo superfiaciala.crc-sas.org. Acceso 08/08/2023.
- Sistema Nacional de Información Agropecuaria (SNIA). www.snia.gub.uy.
- Surfer- version 13.3.493 (<https://www.goldensoftware.com/products/surfer>)
- Sulca, J. (2023). Influencia de la oscilación Madden-Julian en la lluvia intraestacional de los Andes del Perú. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 no 05, pp. 11-16
- Swain, M. y Swain, M. 2011. Vulnerability to Agricultural Drought in Western Orissa: A Case Study of Representative Blocks. *Agricultural Economics Research Review*, 24: 47-56.
- Terra, R., y G. J. Pisciotano, 1994: Regionalización del Uruguay según el ciclo anual de precipitaciones mediante Cluster Analysis. XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Noviembre, Santiago de Chile, v. 4, p. 227-236.
- Texeira, M.; Oyarzábal, M.; Paruelo, J. M. 2019. Relación entre la productividad primaria anual y las precipitaciones en pastizales de la cuesta Basáltica y de las Sierras del Este (1981- 2015). En: Serie nº 69 FPTA, Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II. INIA. Montevideo, pp. 155- 167.

- Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. 1967. Instrucciones y tablas para el cómputo de la ETP y el balance hídrico. Buenos Aires, INTA. 55 p.
- Tommasino, A.; Lezama, F.; Gallego, F.; Camba Sans, G.; Paruelo, J.M. 2023. Rangeland resilience to droughts: changes across an intensification gradient. *Applied Vegetation Science*. Volume 26.
- UNISDR. 2015 Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030; UNISDR: Geneva, Switzerland, 2015; p. 35.
- Van Ginkel, M.; Biradar, C. 2021. Drought Early Warning in Agri-Food Systems. *Climate*, 9, 134.
- Vargas Molina, J. 2016. Propuesta metodológica para la evaluación y el análisis de la vulnerabilidad a las sequías a escala de demarcación hidrográfica. Aplicación al caso del Guadalete-Barbate. Tesis realizada para la obtención del Grado de Doctor. Sevilla, España. 419 p.
- Wagg, C.; O'Brien, M.J.; Vogel, A.; Scherer-Lorenzen, M.; Eisenhauer, N.; Schmid, B.; Weigelt, A. Plant diversity maintains long-term ecosystem productivity under frequent drought by increasing short-term variation. *Ecology* 2017, 98, 2952–2961.
- Wilhite, D. A.; Glantz, M. H. 1985. Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), 111–120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Wilhite, D.A.; Sivakumarb, M.; Pulwarty, R. 2014. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes*, 3: 4-13.
- World Meteorological Organization (WMO); Global Water Partnership (GWP). National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action; Wilhite, D.A., Ed.; Integrated Drought Management Programme (IDMP) Tools and Guidelines Series 1; WMO: Geneva, Switzerland; GWP: Stockholm, Sweden, 2014; p. 39.
- World Meteorological Organization (WMO); Global Water Partnership (GWP). Benefits of action and costs of inaction: Drought mitigation and preparedness—A literature review; Integrated Drought Management Programme (IDMP) Working Paper 1; Gerber, N., Mirzabaev, A., Eds.; WMO: Geneva, Switzerland; GWP: Stockholm, Sweden, 2017; p. 24.
- Wu, D., Zhao, W., Li, C., & Zhou, T. (2016). Using MODIS-NDVI for the monitoring of soil moisture under different land uses. *Remote Sensing*, 8(4), 289.

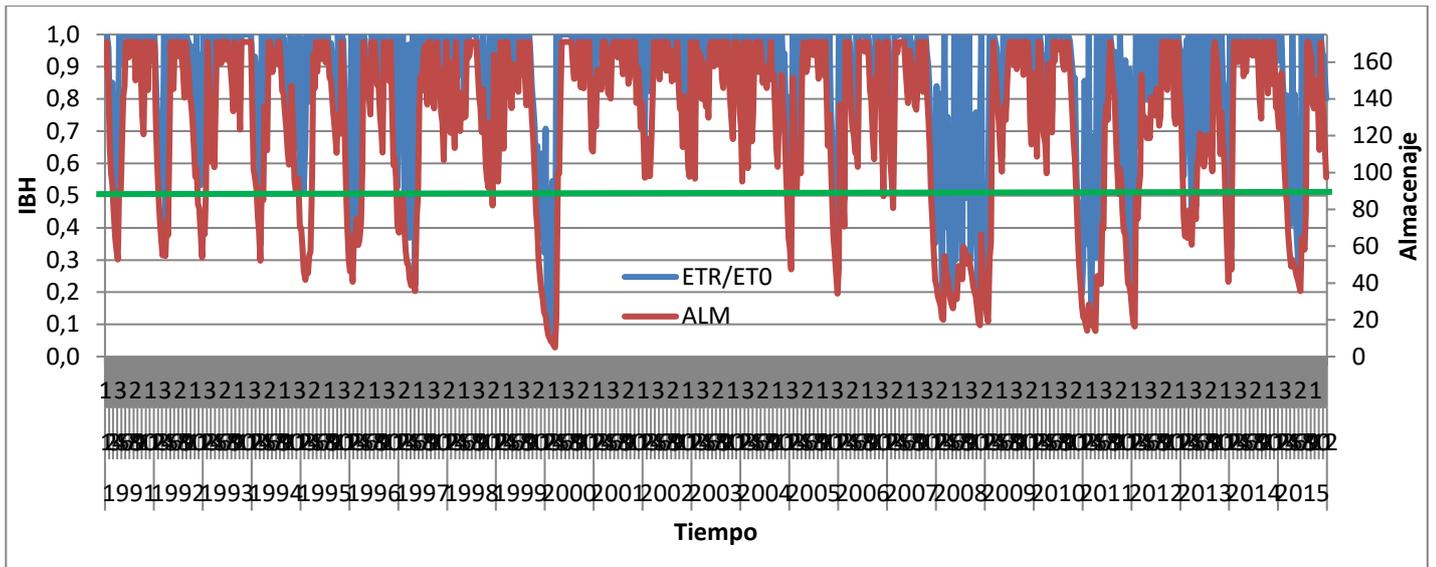


Figura anexo 3: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en La Estanzuela.

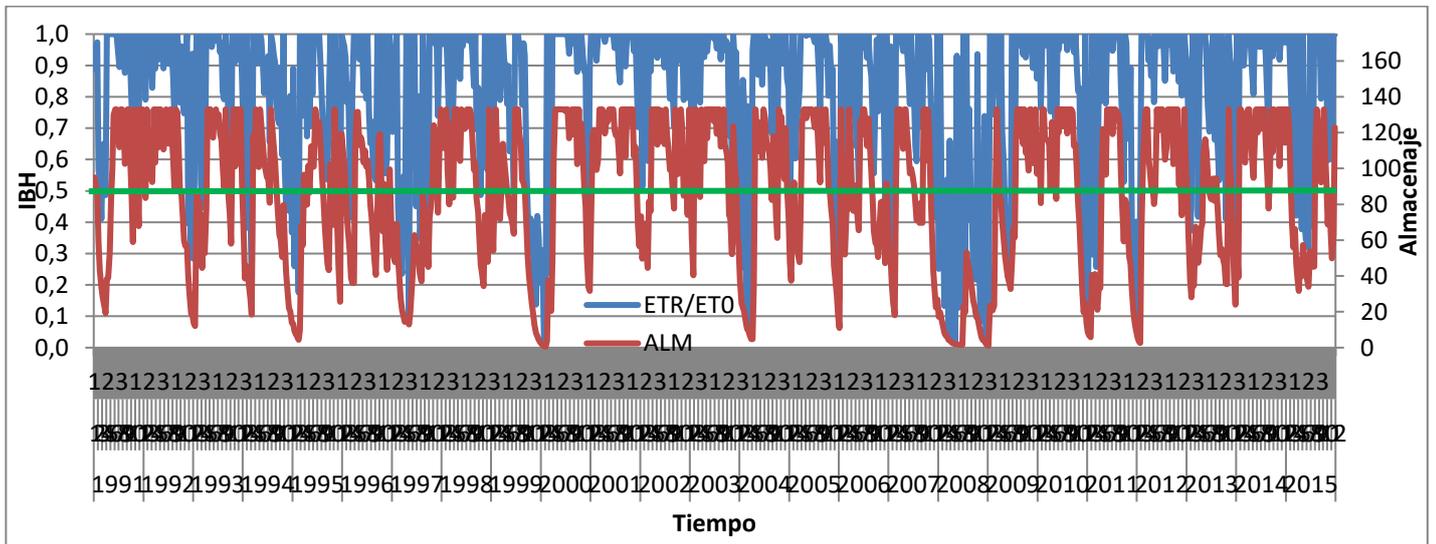


Figura anexo 4: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Mercedes.

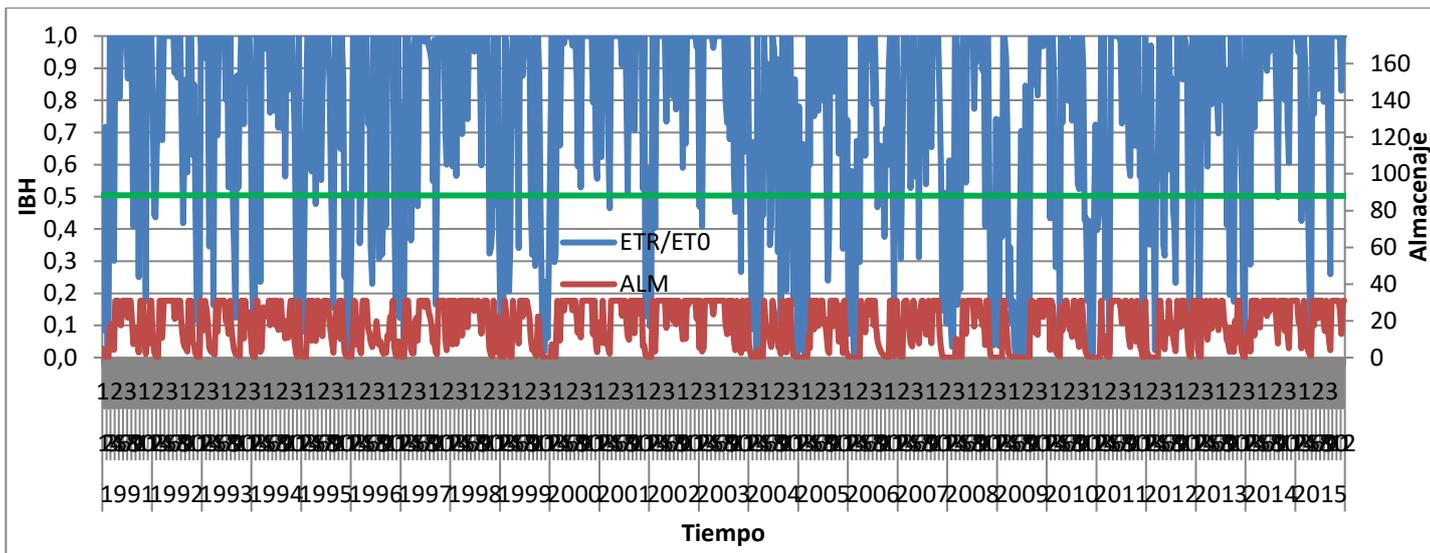


Figura anexo 5: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Artigas.

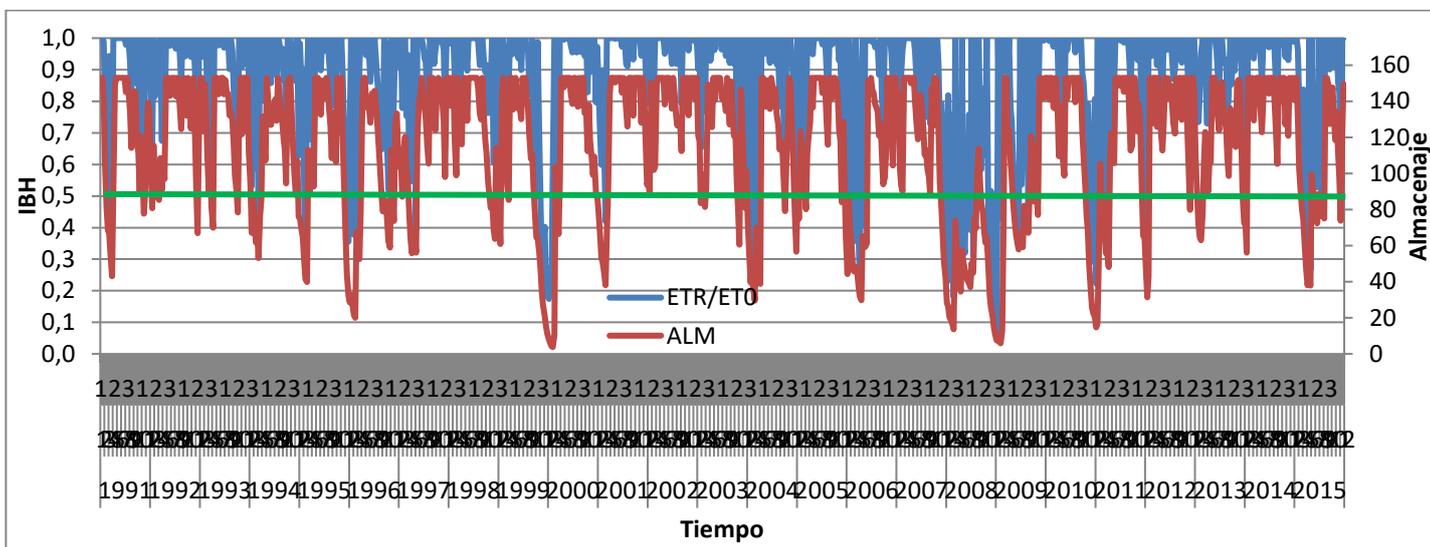


Figura anexo 6: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Paysandú.

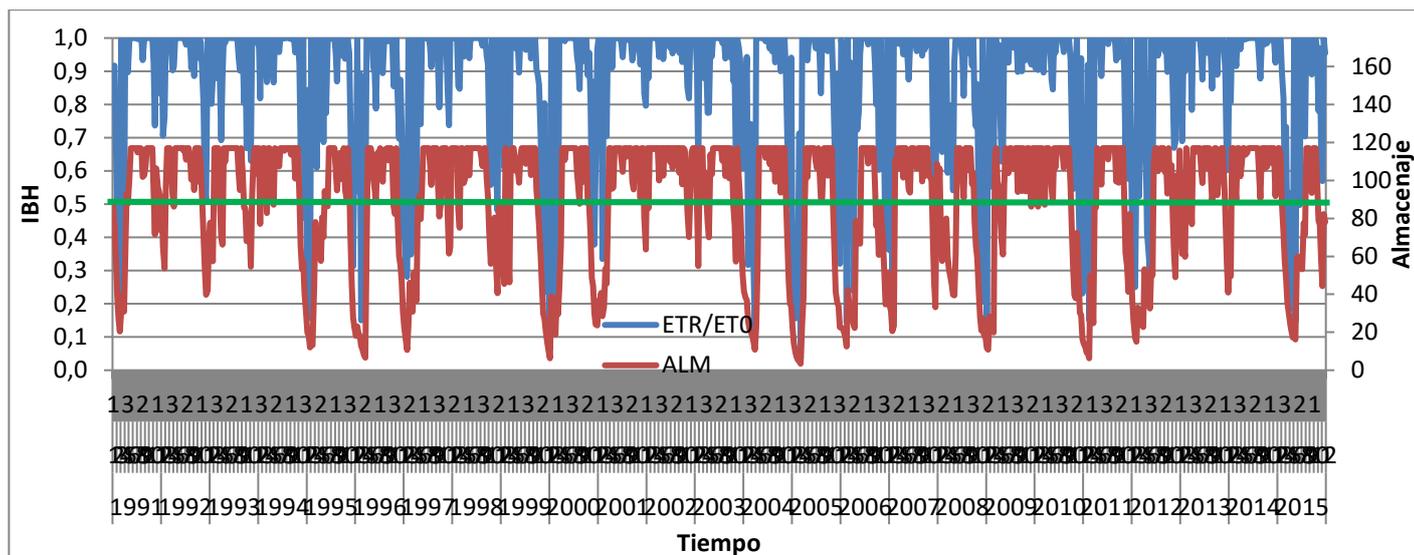


Figura anexo 7: Evolución del IBH y almacenaje de agua en el suelo en Treinta y Tres.

Tabla anexo I: Correlación del IBH con el almacenaje de agua en el suelo en todas las localidades.

ROCHA			ARTIGAS		
	Almacenaje	IBH		Almacenaje	IBH
Almacenaje		1,53E-191	Almacenaje		9,07E-242
IBH	0,78822		IBH	0,84098	
MELO			PAYSANDÚ		
	Almacenaje	IBH		Almacenaje	IBH
Almacenaje		8,81E-215	Almacenaje		2,74E-184
IBH	0,81475		IBH	0,77907	
LA ESTANZUELA			TREINTA Y TRES		
	Almacenaje	IBH		Almacenaje	IBH
Almacenaje		6,58E-180	Almacenaje		2,02E-177
IBH	0,77333		IBH	0,76999	
MERCEDES			LAS BRUJAS		
	Almacenaje	IBH		Almacenaje	IBH
Almacenaje		1,00E-183	Almacenaje		6,82E-166
IBH	0,77834		IBH	0,75373	

8.1.2. Probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas

Tabla anexo II: Correlación de Pearson de las precipitaciones (RR) y ETO con el almacenaje de agua en el suelo en verano. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

MELO	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	5,93E-07	8,96E-21
ETO	-0,32559	-	7,39E-11
Almacenaje	0,56987	-0,41659	-
ARTIGAS	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	6,43E-08	1,45E-47
ETO	-0,35087	-	8,71E-19
Almacenaje	0,78141	-0,54474	-
MERCEDES	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	0,00061892	1,07E-21
ETO	-0,2265	-	2,22E-08
Almacenaje	0,58088	-0,36219	-
LAS BRUJAS	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	0,16497	3,99E-17
ETO	-0,092888	-	0,0082555
Almacenaje	0,52199	-0,1757	-
TREINTA Y TRES	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	0,0040131	1,97E-16
ETO	-0,1911	-	4,48E-08
Almacenaje	0,51194	-0,35476	-

Tabla anexo III: Correlación de Pearson de las precipitaciones (RR) y ETO con el almacenaje de agua en el suelo en otoño. Valores por encima de la matriz

corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

MELO	RR	ET0	Almacenaje
RR	-	0,011212	4,16E-12
ET0	-0,16879	-	1,36E-13
Almacenaje	0,4407	-0,4671	-
ARTIGAS	RR	ET0	Almacenaje
RR	-	0,0049013	8,36E-23
ET0	-0,18695	-	1,70E-18
Almacenaje	0,59351	-0,54089	-
MERCEDES	RR	ET0	Almacenaje
RR	-	0,43888	3,15E-11
ET0	-0,051859	-	1,28E-12
Almacenaje	0,42393	-0,45007	-
LA ESTANZUELA	RR	ET0	Almacenaje
RR	-	0,79477	4,12E-09
ET0	0,017437	-	1,00E-09
Almacenaje	0,37932	-0,39294	-
LAS BRUJAS	RR	ET0	Almacenaje
RR	-	0,92589	7,83E-09
ET0	0,0062355	-	1,80E-11
Almacenaje	0,37291	-0,42868	-

Tabla anexo IV: Correlación de Pearson de las precipitaciones (RR) y ETO con el almacenaje de agua en el suelo en primavera. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

MELO	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	1,07E-06	1,57E-21
ETO	-0,31854	-	4,20E-27
Almacenaje	0,57892	-0,63789	-
TREINTA Y TRES	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	4,38E-05	2,58E-19
ETO	-0,26888	-	1,25E-32
Almacenaje	0,55162	-0,68595	-
ROCHA	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	0,07116	5,29E-18
ETO	-0,12053	-	3,24E-21
Almacenaje	0,53422	-0,57519	-
ARTIGAS	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	0,013665	1,68E-27
ETO	-0,16419	-	1,49E-08
Almacenaje	0,64166	-0,36635	-
MERCEDES	RR	ETO	Almacenaje
RR	-	0,075941	3,26E-20
ETO	-0,11856	-	8,87E-11
Almacenaje	0,563	-0,41499	-

8.1.3. Tendencias de las deficiencias hídricas: test de Mann- Kendall

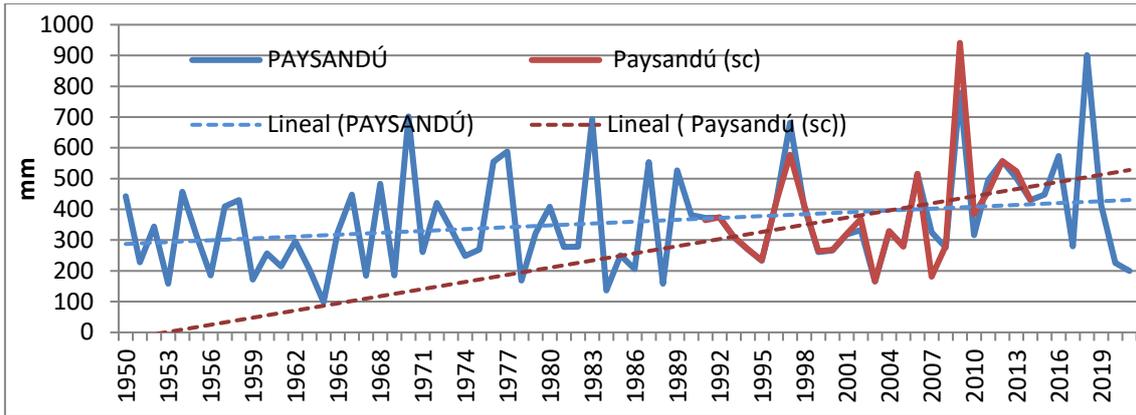


Figura anexo 8: Líneas de tendencias de precipitaciones en verano de Paysandú de serie larga (SL; 1950-2021) y serie corta (SC; 1991-2015).

8.1.3.1. Otoño

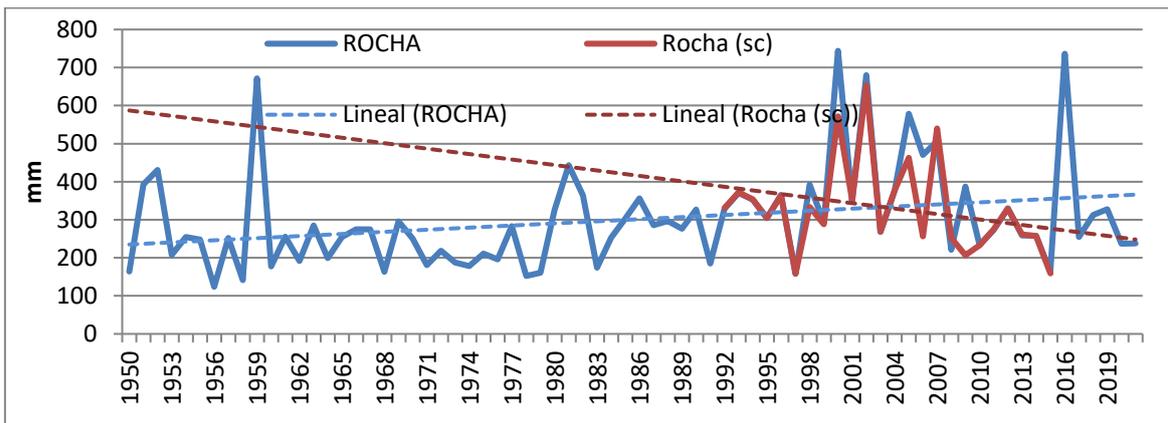


Figura anexo 9: Líneas de tendencias de precipitaciones en otoño de Rocha de serie larga (SL; 1950-2021) y serie corta (SC; 1991-2015).

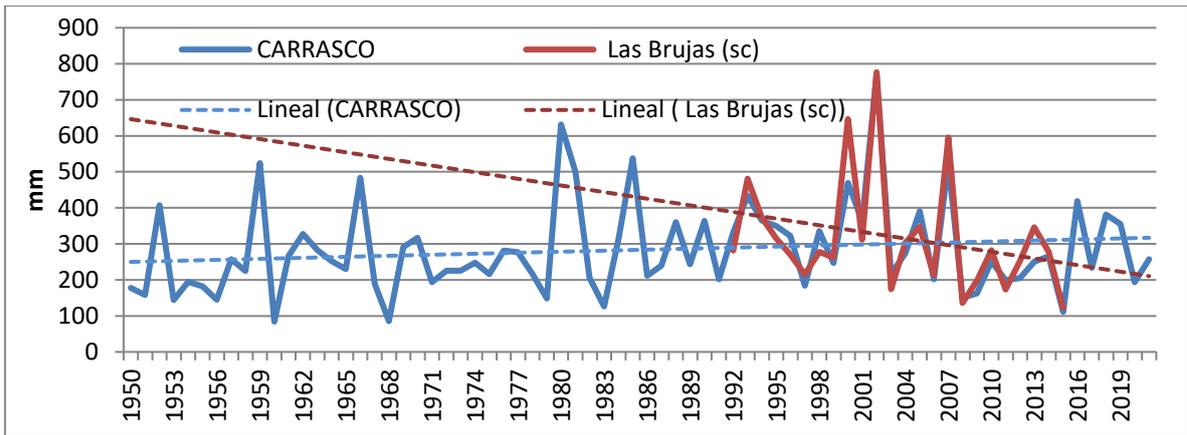


Figura anexo 10: Líneas de tendencias de precipitaciones en otoño de Carrasco de serie larga (SL; 1950-2021) y Las Brujas serie corta (SC; 1991-2015).

8.1.3.2. Invierno

Figura anexo 11: Tendencia de las deficiencias hídricas en primavera en un suelo profundo

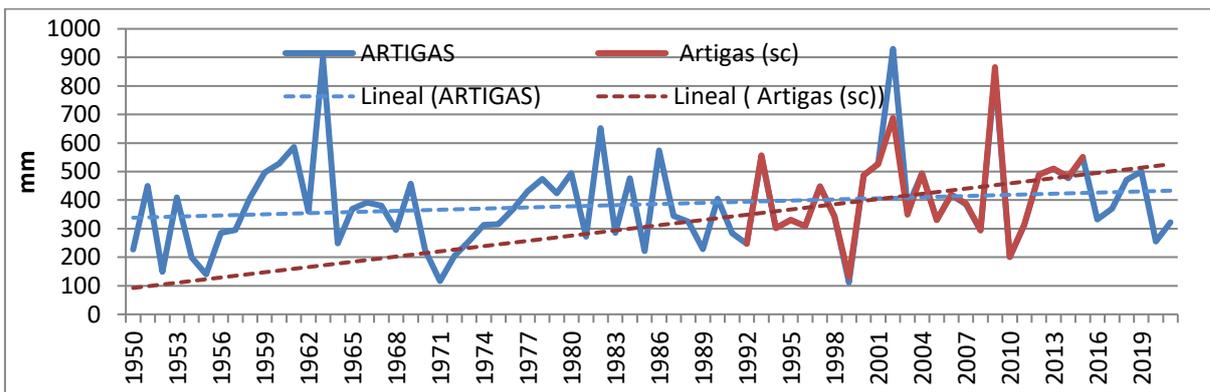


Figura anexo 12: Líneas de tendencias de precipitaciones en primavera de Artigas de serie larga (SL; 1950-2021) y serie corta (SC; 1991-2015).

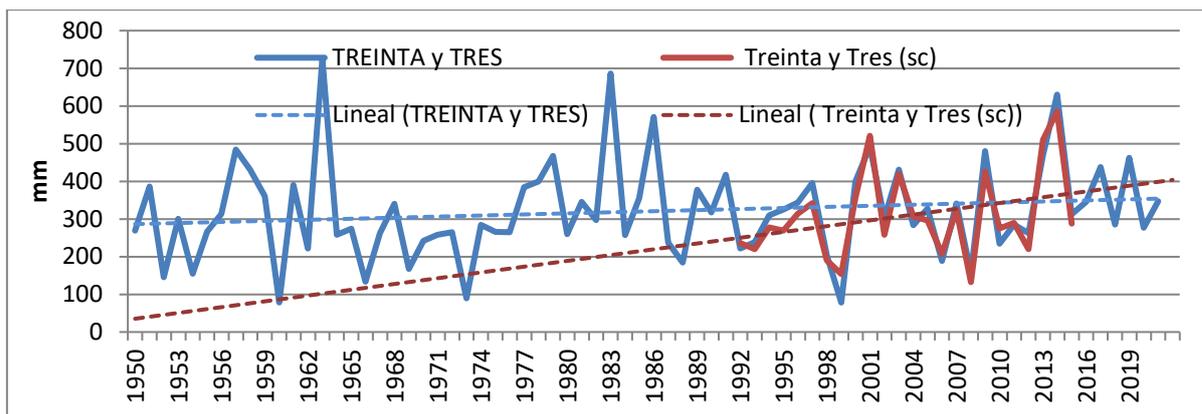


Figura anexo 13: Líneas de tendencias de precipitaciones en primavera de Treinta y Tres de serie larga (SL; 1950-2021) y serie corta (SC; 1991-2015).

8.2. Necesidades de información de los productores (con énfasis en la información agroclimática) respecto a la toma de decisiones en las sequías

8.2.1. Preguntas realizadas a los productores en entrevistas y formulario de Google.

Fecha: Entrevista N°: Entrevistador/es:

Nombre:

Lugar: Coordenadas:

Género: Edad: Núcleo familiar:

Ocupación principal: Lugar de residencia permanente:

Nivel de formación: Superficie del establecimiento:

Coneat:

1. ¿Qué es lo primero que piensa cuando se habla de sequía?
2. ¿Cuál o cuáles han sido las peores sequías que recuerda?
3. ¿Tiene carencias de agua en su predio?
4. ¿Pertenece o forma parte de alguna Sociedad de Fomento o Cooperativa Agraria?

5. ¿Considera a las sequías un problema para su producción?
6. ¿Cómo se informa, y a través de qué medio sobre cómo viene el año sobre el clima?
7. ¿Cuál es la información climática de mayor importancia para usted?
 - a. Temperatura
 - b. Precipitaciones
 - c. Viento
 - d. Humedad
 - e. Presión atmosférica
 - f. Pronósticos a largo plazo
 - g. Pronósticos suelo donde está ubicada la estación meteorológicaanales.
8. ¿Qué aspectos mejoraría sobre la información climática a la que usted accede?
 - a. Los medios de acceso (radio, internet, televisión)
 - b. El lenguaje o la forma en que se presenta la información.
 - c. La fuente de información (credibilidad de la información)
 - d. Confianza en la información (legitimidad de la información)
9. ¿Usted identifica alguna o algunas señales que indiquen que se pueda estar entrando en una sequía? ¿Cuáles?
10. ¿De qué ámbitos espera usted advertencias para realizar acciones frente a una sequía?
 - a. Técnicos asesores
 - b. Gobierno
 - c. Científicos
 - d. Productores
 - e. Sociedades de fomento rural
 - f. Cooperativas agropecuarias.
 - g. Otros
11. ¿Qué tipo de acciones realiza usted en su predio frente a una sequía? ¿En qué momento comienza a realizarlas?
- 12.Cuál considera que es más problemática, ¿una sequía de primavera- verano o una de verano- otoño? ¿Por qué?

13. ¿Realiza algún tipo de medida preventiva que considere sea útil frente a condiciones de sequía y/o le permita disminuir el impacto en su predio con respecto a otros predios?
14. ¿Qué manejo productivo realizan? ¿Hacen un pastoreo racional? ¿Manejan la carga animal según la producción de forraje?
15. ¿Le gustaría recibir información sobre estas investigaciones en marcha?

8.3. Asociación de las precipitaciones con el NDVI

Tabla anexo V: Correlación entre las precipitaciones acumuladas en 15 días, 15 días antes del valor del NDVI. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

TREINTA Y TRES	RR	NDVI
RR	-	6,12E-09
NDVI	0,29264	-
ARTIGAS	RR	NDVI
RR	-	1,09E-14
NDVI	0,38255	-
LA ESTANZUELA	RR	NDVI
RR	-	0,048646
NDVI	0,10122	-
LAS BRUJAS	RR	NDVI
RR	-	2,46E-06
NDVI	0,23895	-
MELO	RR	NDVI
RR	-	1,25E-08

NDVI	0,28682	-
MERCEDES	RR	NDVI
RR	-	1,00E-10
NDVI	0,32381	-
PAYSANDÚ	RR	NDVI
RR	-	1,81E-14
NDVI	0,37958	-
ROCHA	RR	NDVI
RR	-	1,10E-06
NDVI	0,24688	-

Tabla anexo VI: Correlación entre las precipitaciones acumuladas en 15 días, 1 mes antes del valor del NDVI. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

TREINTA Y TRES	RR	NDVI
RR	-	4,68E-07
NDVI	0,25538	-
ARTIGAS	RR	NDVI
RR	-	7,42E-10
NDVI	0,30949	-
LA ESTANZUELA	RR	NDVI
RR	-	0,84207
NDVI	0,010268	-
LAS BRUJAS	RR	NDVI
RR	-	1,45E-07
NDVI	0,26613	-

MELO	RR	NDVI
RR	-	2,65E-07
NDVI	0,26064	-
MERCEDES	RR	NDVI
RR	-	1,46E-08
NDVI	0,28588	-
PAYSANDÚ	RR	NDVI
RR	-	8,87E-12
NDVI	0,34108	-
ROCHA	RR	NDVI
RR	-	1,46E-05
NDVI	0,22061	-

Tabla anexo VII: Correlación entre las precipitaciones acumuladas en 15 días, 3 meses antes del valor del NDVI. Valores por encima de la matriz corresponden al p valor (significativos $\leq 0,05$), y valores por debajo de la matriz al coeficiente de correlación (r).

TREINTA Y TRES	RR	NDVI
RR	-	0,66609
NDVI	-0,022355	-
ARTIGAS	RR	NDVI
RR	-	0,11039
NDVI	0,082575	-
LA ESTANZUELA	RR	NDVI
RR	-	0,56625
NDVI	-0,029713	-
LAS BRUJAS	RR	NDVI

RR	-	0,82756
NDVI	0,011286	-
MELO	RR	NDVI
RR	-	0,47688
NDVI	-0,036843	-
MERCEDES	RR	NDVI
RR	-	0,77525
NDVI	0,014792	-
PAYSANDÚ	RR	NDVI
RR	-	0,96736
NDVI	-0,0021201	-
ROCHA	RR	NDVI
RR	-	0,81816
NDVI	0,011912	-