



**IMPACTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LA DINÁMICA DEL AGUA  
Y NITRÓGENO EN LA REGIÓN SUBHÚMEDA PAMPEANA.**

**Ing. Agr. Alvaro Pereyro**

Trabajo de Tesis para obtener el Título de

**MAGISTER EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN REGIONES SEMIÁRIDAS**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA**

**Santa Rosa, La Pampa, Argentina**

**Julio 2020**



**IMPACTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LA DINÁMICA DEL  
AGUA Y NITRÓGENO EN LA REGIÓN SUBHÚMEDA PAMPEANA.**

**IMPACT OF COVER CROPS ON WATER AND NITROGEN DYNAMICS IN THE  
SUBHUMID PAMPEANA REGION.**

**Ing. Agr. Alvaro Pereyro**

Alumno

**Ing. Agr. Dr. Alberto Raúl Quiroga**

Director de Tesis

**Ing. Agr. Ms. Sc. Miriam Raquel Barraco**

Codirectora de Tesis

**Integrantes de la Comisión de Seguimiento:**

**Ing. Agr. Dr. Romina Fernández**



**IMPACTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LA DINÁMICA DEL  
AGUA Y NITRÓGENO EN LA REGIÓN SUBHÚMEDA PAMPEANA.**

**IMPACT OF COVER CROPS ON WATER AND NITROGEN DYNAMICS IN THE  
SUBHUMID PAMPEAN REGION.**

Aprobado por:

**Ing. Agr. Dr. Cristian O. Álvarez.**

**Ing. Agr. Dr. Eduardo Sá Pereira.**

**Ing. Agr. Ms. Sc. Cristian Cazorla.**

*A Belén y José*

*A Héctor, Piky, Mimi, Justi y Mario*

*A Negra, Alba y con ellas al resto de mi familia*

*Al Grillo*

## **Agradecimientos**

*Beto por la generosidad.*

*Cristian, Miriam, Nancy y Romina por el apoyo.*

*A Mariana, Lolo, Karina, César, Julián y Eduardo por estar siempre.*

*A Alicia y Luis por permitirme crecer.*

*A Malena, Alejandra y Graciela por la ayuda.*

*A todo el personal de la EEA INTA Gral. Villegas por el apoyo.*

*Al INTA*

*A la Educación Pública porque estuvo, está y seguirá estando.*

*“Cuando vayas á los campos,  
no te apartes del camino,  
que puedes pisar el sueño  
de los abuelos dormidos.*

*Unos, son tierra menuda.  
Otras, la raíz del trigo.  
Otros son piedras dispersas  
en la orillita del río.*

*Cuántas veces,  
más allá del sembradío,  
en la fragua de las tardes  
fueron á templar sus gritos*

*Sagrada misión del hombre  
nieve, sol y sacrificio  
Morir sembrando la vida  
Vivir, templando su grito.*

*Cuando vayas á los campos,  
no te apartes del camino,  
que puedes pisar el sueño  
de los abuelos dormidos.*

*Nunca muertos, ¡sí dormidos ¡  
Nunca muertos, ¡si dormidos!  
Campesino, Campesino”*

*Atahualpa Yupanqui*

## **ÍNDICE**

**ÍNDICE DE FIGURAS. Pág. 11.**

**ÍNDICE DE TABLAS. Pág. 15.**

**ABREVIATURAS. Pág. 21.**

**RESUMEN. Pág. 23.**

**ABSTRACT. Pág. 24.**

**CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN. Pág. 25.**

**CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS. HIDROLÓGICAS Y ECOLÓGICAS DE INTERÉS AGRONÓMICO DE LA ZONA DE ESTUDIO. Pág. 25.**

**CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. Pág. 29.**

**CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. Pág. 31.**

**FUNDAMENTOS PARA LA INCLUSIÓN DE LOS CC EN EL MARCO PRODUCTIVO ACTUAL EN LA ZONA DE ESTUDIO. Pág. 34.**

**HIPÓTESIS. Pág. 41.**

**OBJETIVO GENERAL. Pág. 41.**

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS. Pág. 41.**

**MATERIALES Y MÉTODOS. Pág. 42.**

**UBICACIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES. Pág. 42.**

**TRATAMIENTOS. Pág. 44.**

**DISEÑO EXPERIMENTAL. Pág. 44.**

**CARACTERIZACION CLIMATICA DE LOS SITIOS. Pág. 44.**

**CARACTERIZACION PRODUCTIVA DE LOS SITIOS. Pág. 45.**

**CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DE LOS SITIOS. Pág. 46.**

**LABORES CULTURALES. Pág. 46.**

**MUESTREO Y ANÁLISIS DE LABORATORIO. Pág. 47.**

<b>CÁLCULOS Y ECUACIONES.</b>	<b>Pág. 48.</b>
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO.</b>	<b>Pág. 50.</b>
<b>CAPÍTULO II SITIO LINCOLN.</b>	<b>Pág. 52.</b>
<b>RESULTADO Y DISCUSIÓN.</b>	<b>Pág. 52.</b>
<b>MARCO PRODUCTIVO ZONAL.</b>	<b>Pág. 52.</b>
<b>CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SITIO.</b>	<b>Pág. 53.</b>
<b>CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.</b>	<b>Pág. 56.</b>
<b>PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONSUMO DE AGUA.</b>	<b>Pág. 58.</b>
<b>DINÁMICA DEL NITRÓGENO.</b>	<b>Pág. 60.</b>
<b>IMPACTO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL AGUA Y NITROGENO EN EL CULTIVO DE COSECHA.</b>	<b>Pág. 63.</b>
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>Pág. 64.</b>
<b>CAPITULO III SITIO TRENQUE LAUQUEN.</b>	<b>Pág. 65.</b>
<b>RESULTADO Y DISCUSIÓN.</b>	<b>Pág. 65.</b>
<b>MARCO PRODUCTIVO ZONAL.</b>	<b>Pág. 65.</b>
<b>CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SITIO.</b>	<b>Pág. 66.</b>
<b>CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL SITIO.</b>	<b>Pág. 69.</b>
<b>PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONSUMO DE AGUA</b>	<b>Pág. 69.</b>
<b>DINÁMICA DEL NITRÓGENO.</b>	<b>Pág. 73.</b>
<b>IMPACTO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL AGUA Y NITROGENO EN EL CULTIVO DE COSECHA.</b>	<b>Pág. 75.</b>
<b>DIFERENCIA ENTRE AMBIENTES.</b>	<b>Pág. 76.</b>
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>Pág. 77.</b>



**CAPITULO IV SITIO PEHUAJÓ. Pág. 78.**

**RESULTADO Y DISCUSIÓN. Pág. 78.**

**MARCO PRODUCTIVO ZONAL. Pág. 78.**

**CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SITIO. Pág. 79.**

**CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS. Pág. 82.**

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONSUMO DE AGUA. Pág. 83.**

**DINÁMICA DE NITRÓGENO. Pág. 85.**

**IMPACTO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL AGUA Y NITROGENO  
EN EL CULTIVO DE COSECHA. Pág. 87.**

**DIFERENCIA ENTRE MICROAMBIENTES. Pág. 88.**

**CONCLUSIONES. Pág. 89.**

**CAPÍTULO V SITIO GRAL. VILLEGAS. Pág. 90.**

**RESULTADO Y DISCUSIÓN. Pág. 90.**

**MARCO PRODUCTIVO ZONAL. Pág. 90.**

**CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SITIO. Pág. 91.**

**CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS. Pág. 93.**

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONSUMO DE AGUA. Pág. 94.**

**DINÁMICA DEL NITRÓGENO. Pág. 97.**

**IMPACTO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL AGUA Y NITROGENO  
EN EL CULTIVO DE COSECHA. Pág. 99.**

**CONCLUSIONES. Pág. 100.**

**CAPÍTULO VI SITIO INTENDENTE ALVEAR. Pág. 101.**

**RESULTADO Y CONCLUSIONES. Pág. 101.**

**MARCO PRODUCTIVO ZONAL. Pág. 101.**

**CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SITIO. Pág. 102.**

**CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL SITIO. Pág. 103.**

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONSUMO DE AGUA. Pág. 104.**

**DINÁMICA DE NITRÓGENO. Pág. 108.**

**IMPACTO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL AGUA Y NITROGENO EN EL CULTIVO DE COSECHA. Pág. 110.**

**CONCLUSIONES. Pág. 111.**

**CAPITULO VII INTEGRADOR. Pág. 112.**

**EFFECTO DEL SITIO Y LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BA DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA. Pág. 112.**

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA, CALIDAD DE RESIDUO Y DISPONIBILIDAD DE NITROGENO. Pág. 118.**

**DINÁMICA DEL AGUA DURANTE EL BARBECHO. Pág. 122.**

**EFFECTOS DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL CULTIVO DE COSECHA. Pág. 125.**

**CONCLUSIONES. Pág. 127.**

**BIBLIOGRAFIA. Pág. 128.**

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. “Las Cuatro Pampas” (Adaptado Morello y Solbrig 1997). Pág. 26

Figura 2. Principales flujos de Agua en la PA en periodos de alternancia sequia-inundaciones. (Aragón et al 2011). Pág. 27.

Figura 3. Esquema de la Unidad Fisiográfica de los Médanos Longitudinales (Adaptado de Zamolinsky 2001). Pág. 28.

Figura 4. Precipitación Media Anual (adaptado de Atlas climático digital de la República Argentina Bianchi et al 2010). Pág. 30.

Figura 5. Balance Hídrico Directo (adaptado de Atlas climático digital de la República Argentina Bianchi et al 2010). Pág. 31.

Figura 6. Superficie Sembrada con Cultivos Agrícolas y Verdeos en la Pampa Arenosa desde 1970 hasta 2017 (Fuente: Datos.gob.ar, 2020). Pág. 33.

Figura 7. Ubicación de los sitios experimentales. Pág. 43.

Figura 8. Secuencia de Actividades Culturales en los sitios experimentales. Pág. 47.

Figura 9. Evolución de la Superficie Sembrada por Cultivos y Área Agrícola en el partido de Lincoln (fuente Datos.gob.ar, 2020). Pág. 52.

Figura 10. Mapa extraído Carta de Suelos de INTA escala 1:50.000. Pág. 53.

Figura 11. Perfil de la Calicata Sitio Ln. Pág. 54.

Figura 12. Ocupación del lote en la campaña 2015-2016, Precipitaciones campaña 2015-2016 y Precipitaciones Históricas periodo 1985-2015. Pág. 56.

Figura 13. Secuencia Temporal de Agua Edáfica Total en el Sitio Ln. Prof.: Profundidad. CC: Capacidad de Campo. PMP: Punto de Marchitez Permanente. ATE: Agua Total Edáfica. AET CC: Agua Edáfica Total correspondiente al promedio de todos los tratamientos Cultivo de Cobertura. AET Bch: Agua Edáfica Total correspondiente al tratamiento Barbecho. Siembra CC: Agua Edáfica Total al momento de la siembra del Cultivo de Cobertura. Secado CC: Agua Edáfica Total al momento del secado del Cultivo de Cobertura. Siembra Soja: Agua Edáfica Total al momento de la siembra del Cultivo de Cosecha. PC CCh: Agua Edáfica Total en el Periodo Crítico del Cultivo de Cosecha. Pág. 57.

Figura 14. Porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea en función del nitrógeno inicial (S+F). Sitio Ln. Pág. 61.

Figura 15. Evolución de la superficie sembrada por cultivos y área agrícola en el partido de Trenque Lauquen (fuente Datos.gob.ar, 2020). Pág. 65.

Figura 16. Sitio TL mapa de carta de suelos de INTA escala 1:50.000. Pág.66.

Figura 17. Foto calicata sitio TL. Pág. 68.

Figura 18. Ocupación del lote durante el periodo de estudio. PP (2015-2016) y PP histórico (1985-2016) Sitio TL. Pág. 69.

Figura 19. Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio TL. CC: capacidad de campo. PMP: Punto de marchitez permanente. ATE: agua total edáfica. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra y llenado del cultivo de cosecha. Pág. 70.

Figura 20. Uso Consuntivo del cultivo de cobertura (mm) en función de la biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Sitio TL. Pág. 71.

Figura 21. Porcentaje (%) de Nitrógeno de la biomasa aérea de CC en función del N Inicial (suelo + fertilización). Sitio TL. Pág. 74.

Figura 22. Rendimiento en grano de maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en función del  $\text{N-NO}_3$  al momento del secado del cultivo de cobertura. Sitio TL. Pág. 76.

Figura 23. Evolución de la Superficie Sembrada por Cultivos en el partido de Pehuajó (fuente Datos.gob.ar, 2020). Pág. 78.

Figura 24. Sitio Pehuajó mapa carta de suelo INTA 1:50.000. Pág. 79.

Figura 25. Foto calicata sitio Phj. Pág. 80.

Figura 26. Ocupación del lote durante el Periodo de Estudio. PP (2015-2016) y PP Histórico (1985-2016) sitio Phj. Pág. 82.

Figura 27. Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio Pehuajó. CC: capacidad de campo. PMP: Punto de marchitez permanente. ATE: agua total

edáfica. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra del cultivo de cosecha y llenado de grano. Pág. 83.

Figura 28. Evolución de la superficie sembrada por cultivos y área agrícola en el parido de General Villegas (fuente Datos.gob.ar, 2020). Pág. 90.

Figura 29. Sitio General Villegas Mapa Carta de Suelo INTA 1:50.000. Pág. 91.

Figura 30. Foto Calicata sitio GV. Pág. 92.

Figura 31. Ocupación del lote durante el periodo de estudio, PP (2015-2016) y PP histórico (1985-2016) sitio GV. Pág. 94.

Figura 32. Biomasa aérea del cultivo de cobertura en función del nitrógeno inicial (suelo más fertilizante) sitio GV. Pág. 95.

Figura 33. Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio GV. Prof.: profundidad. CC: capacidad de campo. PMP: Punto de marchitez permanente. ATE: agua total edáfica. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra del cultivo de cosecha y llenado. Pág. 97.

Figura 34. Evolución de la superficie sembrada por cultivos y área agrícola en el departamento Chapaleufú (Datos.gob.ar, 2020). Pág. 101.

Figura 35. Ocupación del lote durante el periodo de estudio, PP (2015-2016) y PP serie histórica (1985-2016) sitio IA. Pág. 104.

Figura 36. Biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) en función del nitrógeno inicial (suelo más fertilización) ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) sitio IA. Pág. 107.

Figura 37. Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio IA. Prof.: profundidad. CC: capacidad de campo. PMP: Punto de marchitez permanente. ATE: agua total edáfica. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al

tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra del cultivo de cosecha y Pág. 106.

Figura 38. Relación C:N de la biomasa aérea en función de la dosis de nitrógeno sitio IA. Pág. 109

Figura 39. Análisis de componentes principales con las variables RpN: respuesta a la fertilización nitrogenada (%), P: fósforo (ppm), N Inicial (S+F): nitrógeno disponible a la siembra del cultivo de cobertura suelo más fertilización ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), BA CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ), AET Inicio: agua edáfica total a la siembra del cultivo de cobertura (mm), MO: materia orgánica del suelo (%), CRA: capacidad de retención de agua (mm), N-NO<sub>3</sub>: nitrógeno de nitratos hasta 1 metro de profundidad ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), ATE Inicial + PP siembra secado: suma de agua edáfica total a la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de cobertura (mm), PP siembra secado: precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de cobertura (mm). Pág. 115.

Figura 40. PP: precipitaciones del mes de octubre y noviembre del promedio histórico (1985-2015), CRA: capacidad de retención de agua para el sitio y CH: costo hídrico de los cultivos de cobertura vs el barbecho en la campaña 2015. Pág. 123.

Figura 41. Costo hídrico del cultivo de cobertura para los tratamientos 120N, 80N; 40N y 0N. Letras distintas muestran diferencias significativas al 5%. Pág. 125.

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos analíticos de la calicata sitio Ln. Profundidad (cm). MO (%), arcilla (%), limo (%), arena (%), P: (ppm), P.M.P (%), C.C. (%), D.A.P (gr cm<sup>-3</sup>). Pág.55.

Tabla 2. Resumen 1 Sitio Ln. BA-CC: biomasa aérea cultivo de cobertura (kg MS ha<sup>-1</sup>). RTO: rendimiento en grano del cultivo de cosecha (soja) (kg ha<sup>-1</sup>); AET Sec: agua edáfica total al momento del secado del cultivo de cobertura (mm). AET Sie: agua edáfica total al momento de la siembra del cultivo de cosecha (mm); AET PC agua edáfica total en el periodo crítico del cultivo de cosecha (mm). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p≤0,05). Pág. 58.

Tabla 3: Resumen 2 sitio Ln. UC-CC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). UC-CCh: uso consuntivo de los cultivos de cosecha (CCh) (mm). EUACC: eficiencia uso de agua del CC (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). EUAG: eficiencia uso de agua para la producción de grano del cultivo de cosecha (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>); CH: costo hídrico del cultivo de cobertura (mm). EB: eficiencia de barbecho. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p≤0,05). Pág. 60.

Tabla 4. Resumen 3 Sitio Ln. N-NO<sub>3</sub> Sec: nitrógeno de nitratos al momento del secado del cultivo de cobertura hasta 1 m de profundidad (kg N ha<sup>-1</sup>). N % CC: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura; N-CC: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg N ha<sup>-1</sup>) N % CCh: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cosecha. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p≤0,05). Pág. 62.

Tabla 5. Resumen 4 sitio Ln. EUN-CC: eficiencia de uso nitrógeno del cultivo de cobertura (kg BA kg<sup>-1</sup> N); C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C-CC: contenido de carbono de la biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). ERN: eficiencia de recupero de nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p>0,05). Pág. 63.

Tabla 6. Datos analíticos de la calicata sitio TL. Profundidad (cm). MO (%), arcilla (%), limo (%), arena (%), P: (ppm), P.M.P (%), C.C. (%), D.A.P (gr cm<sup>-3</sup>). Pág. 67.

Tabla 7: Resumen 1 sitio TL 1. BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg MS ha<sup>-1</sup>). BA-CCh: biomasa aérea del cultivo de cosecha en madurez fisiológica del maíz (kg MS ha<sup>-1</sup>). Rto: rendimiento en grano del maíz (kg ha<sup>-1</sup>); AET Sec: agua

edáfica total al secado del cultivo de cobertura (mm). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). Pág. 72.

Tabla 8 Resumen 2 Sitio TL. UCC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). UC-CCh uso consuntivo del cultivo de cosecha Maíz (mm). EUA-CC: Eficiencia uso de agua cultivo de cobertura ( $\text{kg MS-BA mm}^{-1}$ ). EUA-G: eficiencia uso de agua en la producción de granos del maíz ( $\text{kg grano mm}^{-1}$ ); CH: costo hídrico del cultivo de cobertura respecto del barbecho químico (mm). EB: eficiencia de barbecho. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). Pág. 73.

Tabla 9 Resumen 3 Sitio TL. N-NO<sub>3</sub>-CC: nitrógeno de NO<sub>3</sub> al momento del secado del CC hasta 1 m de profundidad ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). N-%-CC: Porcentaje de Nitrógeno en Biomasa Aérea del Cultivo de Cobertura; NCC: Nitrógeno en Biomasa Aérea del Cultivo de Cobertura ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) N-NO<sub>3</sub>-PC: Nitrógeno de NO<sub>3</sub> en el Periodo Crítico del Cultivo de Cosecha Maíz ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). Pág. 75.

Tabla 10: Resumen 4 Sitio TL. EUN: eficiencia de uso nitrógeno del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS-BA kg}^{-1} \text{ N}$ ); C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C: carbono en biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). ERN: eficiencia de recuperación de nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). Pág. 75.

Tabla 11: Datos Analíticos de la calicata sitio Phj, profundidad (cm). Materia Orgánica (%). Textura (%); Fósforo: (ppm). Punto de Marchitez Permanente: Capacidad de Campo (%): DAP ( $\text{gr cm}^{-3}$ ). Pág. 81.

Tabla 12 Resumen 1 sitio Pehuajó. BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ). BA-CCh: biomasa aérea del cultivo de cosecha maíz ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ). Rto: rendimiento en grano maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); AET Sec: agua edáfica total al momento del secado del cultivo de cobertura (mm). Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 84.

Tabla 13 Resumen 2 sitio Phj. UCC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). EUA-CC: eficiencia uso de agua del cultivo de cobertura en la producción de biomasa aérea ( $\text{kg MS-BA mm}^{-1}$ ). EUA-G: eficiencia uso de agua del cultivo de cosecha para la producción de grano ( $\text{kg mm}^{-1}$ ); CH: costo hídrico del cultivo de cosecha (mm). EB: eficiencia de barbecho del cultivo de cobertura respecto del



barbecho químico. Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 85.

Tabla 14 Resumen 3 sitio Phj. N-NO<sub>3</sub>: nitrógeno de nitratos al momento del secado del cultivo de cobertura (kg N ha<sup>-1</sup>). N%: porcentaje de nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; N: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg N ha<sup>-1</sup>); N-NO<sub>3</sub> PC: nitrógeno de nitratos momento del periodo crítico del cultivo de cosecha (kg N ha<sup>-1</sup>); N PC: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cosecha en el periodo crítico del maíz (kg N ha<sup>-1</sup>). Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 86.

Tabla 15: Resumen 4 sitio Phj. EUN: eficiencia de uso de nitrógeno del cultivo de cobertura (kg MS-BA kg<sup>-1</sup> N); %C: porcentaje de carbono de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C: carbono en la biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg C ha<sup>-1</sup>) Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 87.

Tabla 16: Datos analíticos de la calicata sitio GV, profundidad (cm). MO: materia orgánica (%), arcilla (%), limo(%), arena (%), P: fosforo ppm, P.M.P: punto de marchitez permanente. C.C. (%): capacidad de campo (%). D.A.P: densidad aparente (gr cm<sup>-3</sup>). Pág. 93.

T Tabla 17: Resumen 1 sitio GV. BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg MS-BA ha<sup>-1</sup>). Rend: rendimiento en grano del maíz (kg ha<sup>-1</sup>); AET Sec: agua edáfica total al secado del cultivo de cobertura (mm). ATE Sie: agua edáfica total a la siembra del cultivo de cosecha (mm); AET PC agua edáfica total en el periodo crítico del cultivo de cosecha (mm). Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 95.

Tabla 18: Resumen 2 Sitio GV 2. UC-CC: Uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm).UC-CCh: Uso consuntivo del cultivo de cosecha maíz (mm). EUA-CC: eficiencia uso de agua del cultivo de cobertura (kg MS-Ba ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). EUAG: eficiencia uso de agua en la producción de grano de maíz (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>); CH: costo hídrico del cultivo de cobertura (mm). EB: eficiencia de barbecho (%). Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 96.

Tabla 19: Resumen 3 sitio GV. N-NO<sub>3</sub>CC: nitrógeno de nitratos al momento del secado del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). N% BA-CC: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura; N BA-CC: nitrógeno en la biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>); N-NO<sub>3</sub> CC: nitrógeno de nitratos en el periodo crítico del

cultivo de cosecha soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 98.

Tabla 20 Resumen 4 sitio GV. EUN-CC: eficiencia de uso nitrógeno del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS-BA kg}^{-1} \text{ N}$ ); C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C-CC: carbono fijado por el cultivo de cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 99.

Tabla 21: Datos analíticos de la calicata sitio IA. Profundidad (cm). MO: materia orgánica (%), arcilla (%), limo (%), arena (%), P: fosforo (ppm), P.M.P (%): punto de marchitez permanente, C.C (%): capacidad de campo (%), D.A.p densidad aparente ( $\text{gr cm}^{-3}$ ). Pág. 102.

Tabla 22: Resumen 1 sitio IA. BACC: biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS-BA ha}^{-1}$ ). Rto: rendimiento en grano del maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); AET Sec: agua edáfica total al secado del cultivo de cobertura (mm). ATE Sie: agua edáfica total a la siembra del cultivo de cosecha (mm); AET PC agua edáfica total en el llenado del cultivo de cosecha (mm). Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 105.

Tabla 23: Resumen 2 sitio IA 2. UC-CC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). UC-CCh: uso consuntivo del cultivo de cosecha (mm). EUA-CC: eficiencia uso de agua del cultivo de cosecha ( $\text{kg MS-BA ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ). EUA-G: eficiencia uso de agua grano ( $\text{kg mm}^{-1}$ ); CH: costo hídrico del cultivo de cosecha (mm). EB: eficiencia de barbecho. Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 107.

Tabla 24: Resumen 3 sitio IA. N-NO<sub>3</sub> CC: nitrógeno de nitratos al momento del secado del cultivo de cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). N% BA-CC: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura; N-BA-CC: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ); N-NO<sub>3</sub> CCh: nitrógeno de nitratos en el periodo crítico del cultivo de cosecha maíz ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ). Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 108.

Tabla 25: Resumen 4 sitio IA. EUN-CC: eficiencia de uso nitrógeno del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS-BA kg}^{-1} \text{ N}$ ); C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura. C: carbono de la biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). Pág. 110.

Tabla 26 Resumen por sitio del UC-CC. Uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS-BA ha}^{-1}$ ) y RpN respuesta a la fertilización nitrogenada (%) y ERN: eficiencia de recuperación de nitrógeno (%) EUN: eficiencia de uso de nitrógeno ( $\text{kg MS BA kg}^{-1}\text{N}$ ) para los sitios Genera Villegas. Phj, Ln, IA y TL. Letras distintas significan diferencias ( $p < 0,05$ ). Pág. 112.

Tabla 27: Correlación de Pearson de BA-CC biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) con N Inicial: suma del nitrógeno aportado por el suelo más el fertilizante al momento de la siembra del cultivo de cobertura ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), P: fósforo (ppm), MO: % de materia orgánica. Arena: % de arena, pH. IMO: índice de materia orgánica sobre limo más arcilla (%) CRA: capacidad de retención de agua hasta los 2 metros de profundidad; AET Inicial +PP: agua útil en el suelo a la siembra del cultivo de cobertura más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo (mm) ( $p \leq 0,05$ ). Pág. 113.

Tabla 28: Correlación de Pearson RpN: respuesta a la fertilización (%), con N Inicial: suma del nitrógeno aportado por el suelo más el fertilizante al momento de la siembra del cultivo de cobertura ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ). P: fósforo (ppm). MO: porcentaje de materia orgánica. Arena. Porcentaje de arena, pH. IMO: índice de materia orgánica sobre limo más arcilla (%) CRA: capacidad de retención de agua hasta los 2 metros de profundidad; PP Siem-Sec: precipitaciones ocurridas entre la siembra y el secado del cultivo de cobertura (mm); AET I + PP: agua útil en el suelo a la siembra del cultivo de cobertura más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo (mm) ( $p \leq 0,05$ ). Pág. 114.

Tabla 29: Resumen por sitios de UC-CC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS-BA ha}^{-1}$ ) y RpN: respuesta a la fertilización N (%) N. ERN: Eficiencia de recuperación de N (%), EUN: eficiencia de uso de nitrógeno ( $\text{kg MS BA kg}^{-1}\text{N}$ ). Letras distintas significan diferencias ( $p < 0,05$ ). Pág. 118.

Tabla 30: Resumen de calidad de residuos por sitios. C:N : relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado. N BA-CC: nitrógeno retenido en la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ). C BA-CC: carbono retenido en la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).  $\text{N-NO}_3$ : nitrógeno de nitratos en el suelo al momento del secado del cultivo de cobertura ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ). Pág. 119.

Tabla 31 Resumen de calidad de residuos y nitratos remanente por tratamientos. C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado (%), N BA-CC: nitrógeno retenido en la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) N %: concentración de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado (%). C BA-CC: carbono retenido en la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). N-NO<sub>3</sub>: nitrógeno de nitratos en el suelo al momento del secado del cultivo de cobertura ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ). Pág. 121.

## **ABREVIATURAS**

Agua Edáfica Total (AET).  
Agua Subterránea (GW).  
Agua Superficial (SW).  
Azufre (S).  
Barbecho (Bch).  
Biomasa Aérea (BA).  
Capacidad de Retención de Agua (CRA).  
Capacidad de Campo (C.C.).  
Carbono (C).  
Carbono orgánico del suelo (COS).  
Costo Hídrico (CH).  
Cultivo de Cobertura (CC).  
Cultivo de Cosecha (CCh)  
Densidad Aparente (DAP).  
Eficiencia de Barbecho (EB).  
Eficiencia de Uso de Agua (EUA).  
Eficiencia de Uso de Nitrógeno (EUN).  
Eficiencia de Recuperación de N (ERN)  
El Niño-Oscilación Sur (ENOS).  
Evapotranspiración (ET)  
Evapotranspiración Potencial (ETP).  
Hectarea/s (ha/s).  
Humedad gravimétrica (HGv).  
Índice de MO sobre Limo + Arcilla (IMO).  
Madurez Fisiológica (MF).  
Materia Orgánica (MO).  
Nitrógeno (N).  
Pampa Arenosa (PA).  
Periodo Crítico (PC).  
Precipitaciones (PP).  
Punto de Marchitez Permanente (PMP).  
Respuesta a la Fertilización N (RpN).

Siembra Directa (SD).  
Sitio Gral. Villegas (GV).  
Sitio Intendente Alvear (IA).  
Sitio Lincoln (Ln).  
Sitio Pehuajó (Phj).  
Sitio Trenque Lauquen (TL).  
Sobre Nivel del Mar (snm).  
Uso Consuntivo (UC).

## RESUMEN

Desde la década de 1970 la actividad agrícola en la Pampa Arenosa ha experimentado profundas transformaciones. El proceso de agriculturización que se ha producido en las últimas décadas se ha caracterizado por un marcado incremento en el área sembrada con cultivos anuales, el corrimiento de la frontera agropecuaria y el predominio del cultivo de soja y barbechos invernales prolongados. Los cultivos de cobertura no se destinan a la cosecha y se siembran entre dos cultivos de cosecha. En 5 sitios de la Pampa Arenosa se evaluó la eficiencia de uso de agua y de nitrógeno del centeno fertilizado en dosis crecientes de nitrógeno utilizado como cultivo de cobertura versus el barbecho tradicional químico. Sobre el cultivo de cosecha posterior se evaluó el impacto de la fertilización nitrogenada de los cultivos de cobertura sobre la producción de biomasa aérea en el periodo crítico y el rendimiento en grano. Los cultivos de cobertura mejoraron la eficiencia de uso de agua general del sistema, en promedio se produjeron 5500 kg MS ha<sup>-1</sup> de biomasa aérea más respecto del barbecho y esto permitió secuestrar, en dicha biomasa aérea, 36 kg ha<sup>-1</sup> N más que barbecho. La fertilización nitrogenada en el cultivo de cobertura generó más biomasa aérea ( $p < 0,01$ ), mejoró la eficiencia de agua con el incremento de la dosis de nitrógeno ( $p < 0,01$ ), pero a una menor eficiencia de uso de nitrógeno ( $p < 0,01$ ) y menor eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado. La respuesta a la fertilización nitrogenada estuvo condicionada por el ambiente y se correlacionó en forma negativa con los contenidos de arena ( $p = 0,04$ ) e índice materia orgánica sobre limo más arcilla ( $p < 0,01$ ). Durante el barbecho corto la eficiencia de barbecho del cultivo de cobertura fue del 42% y del barbecho químico de 3,5% las cuales se diferenciaron estadísticamente ( $p > 0,01$ ). En las condiciones en las que se realizaron las experiencias, los cultivos de cobertura no impactaron sobre la producción de biomasa aérea en el periodo crítico ( $p = 0,38$ ) y ni en el rendimiento en grano ( $p = 0,12$ ) del cultivo de cosecha.

Palabras Clave: agriculturización, eficiencia de uso de agua, eficiencia de uso de nitrógeno, pampa arenosa; suelo.

## **ABSTRACT**

Since the 1970s, the agricultural activity in the Sandy Pampas has undergone profound transformations. The process of agriculturalization that has taken place in the last decades has been characterized by a marked increase in the area planted with annual crops, the shifting of the agricultural frontier and the predominance of soybean cultivation and prolonged winter fallow. Cover crops are not destined for harvest and are sown between two harvest crops. The water and nitrogen use efficiency of fertilized rye in increasing doses of nitrogen used as cover crop versus traditional chemical fallow was evaluated in 5 sites in the Sandy Pampas. The impact of nitrogen fertilization of cover crops on aerial biomass production in the critical period and on grain yield was evaluated on the subsequent crop. The cover crops improved the overall water use efficiency of the system, on average 5500 kg DM ha<sup>-1</sup> of aerial biomass was produced more than the fallow and this allowed to sequester, in that aerial biomass, 36 kg ha<sup>-1</sup> N more than fallow. Nitrogen fertilization in the cover crop generated more aerial biomass ( $p < 0,01$ ), improved water efficiency with an increase in nitrogen dosage ( $p < 0,01$ ), but at a lower nitrogen use efficiency ( $p < 0,01$ ) and lower recovery efficiency of the applied nitrogen. The response to nitrogen fertilization was conditioned by the environment and was negatively correlated with sand content ( $p = 0,04$ ) and organic matter index on silt plus clay ( $p < 0,01$ ). During the short fallow period, the fallow efficiency of the cover crop was 42% and the chemical fallow was 3.5%, which differed statistically ( $p > 0,01$ ). Under the conditions in which the experiments were conducted, cover crops did not impact the production of aerial biomass in the critical period ( $p = 0,38$ ) and neither did they impact the grain yield ( $p = 0,12$ ) of the harvest crop.

Keywords: agriculturalization, water use efficiency, nitrogen use efficiency, sandy pampas; soil.



## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.**

### **CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, HIDROLÓGICAS Y ECOLÓGICAS.**

El área de estudio corresponde a la zona ecológica denominada Pampa Arenosa (PA), la cual es una extensa área de 6.000.000 has. Presenta una homogeneidad geomorfológica dominada por dunas longitudinales y parabólicas, con gran cantidad de lagunas interdunares, entre las que se destacan el sistema Hinojo-Las Tunas. En general el relieve es positivo, dominado por praderas de mesófitas (Gabellone *et al.*, 2003).

La PA integra la llanura Pampeana Argentina (Fig. 1). La región limita al N-NE con el río Salado, el cual la separa de la Pampa Ondulada, al S con el sistema de lagunas Encadenadas, la cual la separa de la Pampa Deprimida y al O con la Planicie con Tosca. El estudio se centra en el sector de Médanos Longitudinales del Noroeste Bonaerense y Este de La Pampa.

Geológicamente presenta un basamento de rocas cristalinas Precámbricas que afloran al S en el sistema de Tandilia y Ventania (500 y 1.100 m snm), el cual es progresivamente enterrado hacia el N por sedimentos más jóvenes, con un espesor entre 2 y 6 km. La Formación de dunas de arena, se encuentra por encima de otras Formaciones (Araucana, Puelche y Pampeana), los cuales en conjunto constituyen el sistema acuífero con continuidad hidráulica regional, no confinado (Alconada-Magliano & Damiano, 2017).

Esta vasta región se caracteriza por la escasa pendiente ( $0.35 \text{ m km}^{-1}$ ), que redundaría en un bajo potencial hidráulico para la evacuación de los excedentes que se generan, fundamentalmente en su propio seno, con el agravante de recibir aportes de zonas ubicadas aguas arriba, (Paoli & Giacosa, 2003). La Región Noroeste de Buenos Aires y Este de La Pampa no cuenta con una red natural de drenaje de agua superficial, formando naturalmente una Región Arreica. Las antiguas dunas constituyen la principal característica topográfica y morfológica del paisaje. Las mismas impiden el drenaje del agua, que se almacena en la superficie durante eventos prolongados de lluvias, o emergen a superficie debido a altos niveles freáticos que alcanzan la superficie (MOSPBA, 2019).

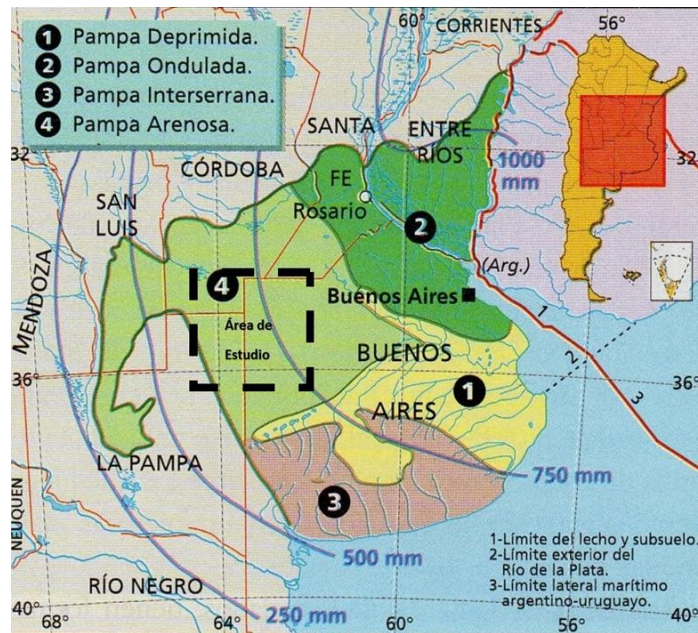
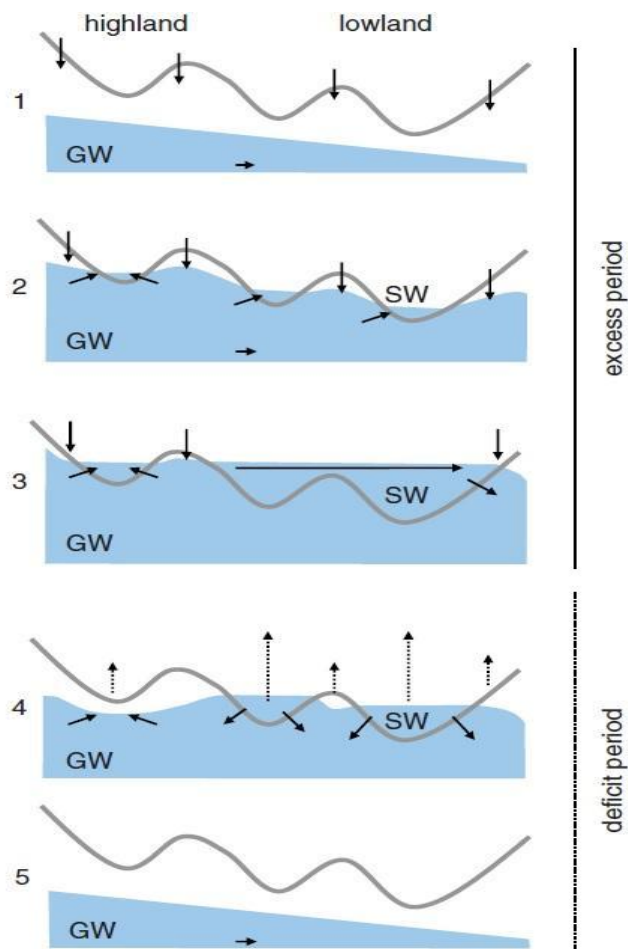


Fig. 1: “Las Cuatro Pampas” (Adaptado Morello y Solbrig, 1997)

Los paisajes de llanura se caracterizan por su baja energía y la inexistencia de una red de drenaje organizado y jerarquizado, predominando los términos de almacenamiento sobre los de escorrentía. Esto da lugar a que en el balance hídrico predominen los términos verticales de precipitación, infiltración y evapotranspiración por sobre los términos horizontales de flujo superficial y subterráneo (Paoli & Giacosa, 2003).

En la Fig. 2 se presenta la descripción esquemática de los principales flujos de agua durante un ciclo de inundación-sequía en la PA según lo descrito por Aragon *et al.*, 2011. El inicio de un período húmedo, caracterizado por altas precipitaciones, genera exceso de agua (Fig. 2, Situación 1), esta se acumula localmente, provocando el aumento del nivel de la napa freática (Fig. 2, Situación 2). En esta etapa, los flujos de agua subterránea (GW) a agua superficial (SW) predominan en las secciones de tierras altas y bajas. A medida que el período de altas precipitaciones (PP) continúa, los cuerpos de agua superficial crecen y se fusionan, lo que favorece el transporte de agua a larga distancia y la transferencia de excesos de agua desde las tierras altas a las tierras bajas (Fig. 2, Situación 3). En esta etapa, el intercambio entre la superficie y el agua subterránea se invierte, como resultado de los aportes de agua de superficial proveniente de aguas arriba. Una vez que finaliza el período de altas PP y en condición de déficit hídrico, la descarga

neta de evaporación alcanza un nuevo equilibrio, donde se restablecen los niveles de agua. La evaporación (agua superficial) es mayor que la evapotranspiración (ETP) en la tierra, generando un flujo inverso, desde SW a GW por algún tiempo (Fig. 2, Situación 4). Después de algunos años de déficit hídrico, los niveles de agua subterránea vuelven a la etapa inicial, lo que inhibe la descarga adicional de agua subterránea por ETP directa (Fig. 2, Situación 5).



*Fig. 2: Principales flujos de Agua en la Pampa Arenosa en periodos de alternancia sequia-inundaciones. 1-5 Periodos de PP Normal. 2-3 Periodos de excesos PP y. 4 Periodo de déficit PP (adaptado de Aragón et al., 2011).*

Los ambientes acuáticos y terrestres de la PA evolucionaron hasta el presente bajo las actuales condiciones de drenaje, por lo que sus características estructurales y funcionales responden a la recurrencia de dichos períodos, (Paoli & Giacosa, 2003).

Los suelos de la PA corresponden al Orden de los Molisoles. En el área de estudio, debido al régimen de humedad del suelo, se distinguen hacia el Este el régimen Údico y hacia el Oeste el régimen Ústico. Los suelos de aptitud agrícola son Hapludoles/ustoles Típicos y Énticos. Suelos con menor aptitud agrícola son los Hapludoles Thapto Abrupticos y Nátricos. En las lomas medanosas se encuentran Usti/Udipsaments típicos sin aptitud agrícola, susceptibles a la erosión. En las zonas bajas se encuentran los suelos de aptitud ganadera, en general con limitantes debidas a la salinidad, alcalinidad y drenaje deficiente, donde predominan los Natracualfes, Natralboles y Duracuoles (Fig. 3).

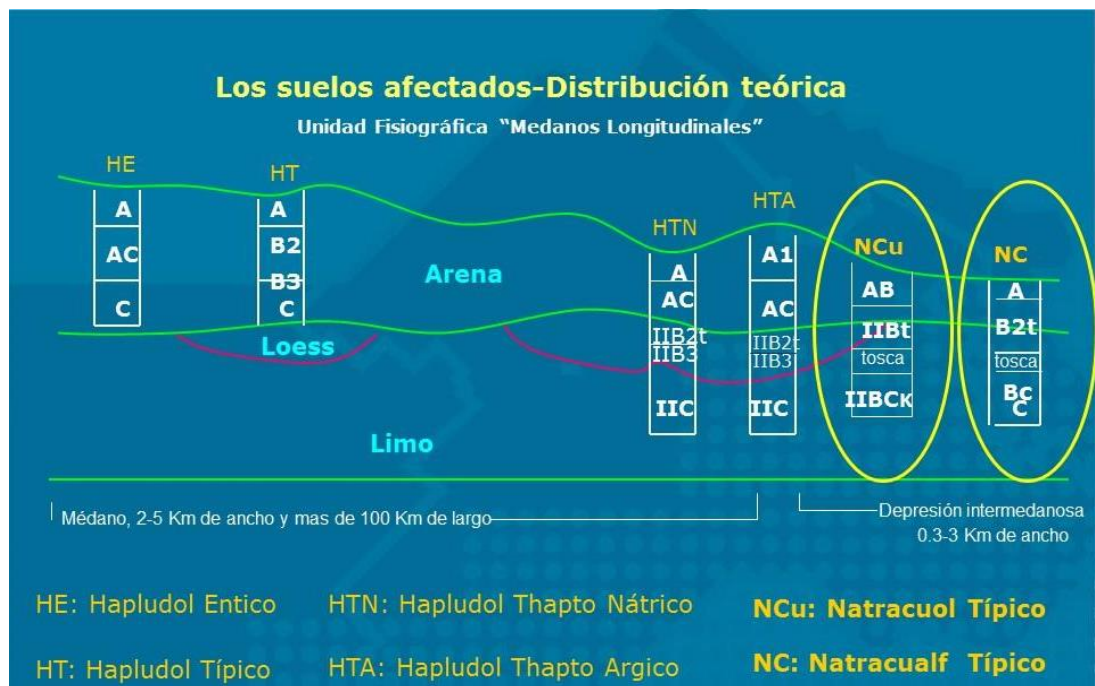


Fig. 3: Esquema de la Unidad Fisiográfica de los Médanos Longitudinales de la Pampa Arenosa (adaptado de Zamolinsky, 2001).

Los suelos de la región permiten el desarrollo de actividades agrícolas sustentables en sistemas de rotaciones de pasturas perennes y cultivos anuales de cosecha, alternando períodos de igual duración (Díaz Zorita, 1995). La intensificación productiva con cultivos anuales registrada en los últimos años en la PA, sin los niveles de reposición de nutrientes necesaria y escaso aporte de residuos determinó la disminución paulatina de la calidad de los suelos (Casas, 2007). La erosión eólica afectó en forma y magnitud diferente los distintos suelos, lo

que se puso de manifiesto a través de cambios en los horizontes superficiales en indicadores como textura, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes de intercambio, especialmente Mg (Buschiazzo & Taylor, 1993).

### **CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.**

El clima es templado, con moderadas condiciones continentales hacia el oeste, sin grandes amplitudes térmicas diarias ni anuales. La temperatura media anual varía entre los 13°C y 16 °C de sur a norte, con medias durante el mes más cálido (enero), de entre 22 °C y 24 °C, y medias durante el mes más frío (julio) de entre 7 y 9 °C. Estas características permiten el desarrollo adecuado de especies forrajeras y de cosecha propias de regiones templadas (Díaz Zorita, 1995).

Las PP en términos generales decrecen de NE a SO, (Fig. 4), registrándose en el sector litoral más de 1000 mm año<sup>-1</sup> y en la zona más occidental menos de 500 mm año<sup>-1</sup> (Carta, 2016).

Las PP del centro oeste bonaerense en el período 1918-2000, tienen un comportamiento cíclico (Perez *et al.*, 2003), en la cual se distinguen fases húmedas y secas separadas por fases de transición. La fase seca tuvo lugar desde mediados de la década de 1920 a fines de la década del 1940. La fase de transición seca/húmeda va desde comienzos de la década de 1950 a mediados de la década del 1970. Por último una fase húmeda que se inicia en 1970 y continúa hasta la actualidad.

Las PP presentan una distribución primavera-estivo-otoñal con un marcado descenso invernal. El trimestre estival Enero, Febrero y Marzo, concentra la mayor proporción de lluvias, mientras que los menores valores se registran en el trimestre invernal Julio, Agosto y Septiembre. Estas características inciden significativamente en el patrón productivo regional, pues los meses de primavera-verano constituyen los de mayor actividad biológica y productiva de la zona para el ámbito agropecuario, (Pérez *et al.*, 2003).

El fenómeno de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) es un patrón climático recurrente que implica cambios en la temperatura de las aguas en la parte central y oriental del Pacífico tropical. Bajo este modelo los años clasifican climáticamente como Niño, Niña y Neutro. Carta (2016) observa que la principal diferencia entre un año Niño y uno

Niña radica en la cantidad de agua precipitada en primavera e inicio del verano, siendo importantes y mayores que la media en los años Niño, mientras que en los años Niña las PP son deficitarias en esta época, lo cual condiciona la productividad de los cultivos. Las inundaciones ocurren habitualmente en años Niño y se dan con las PP de otoño.

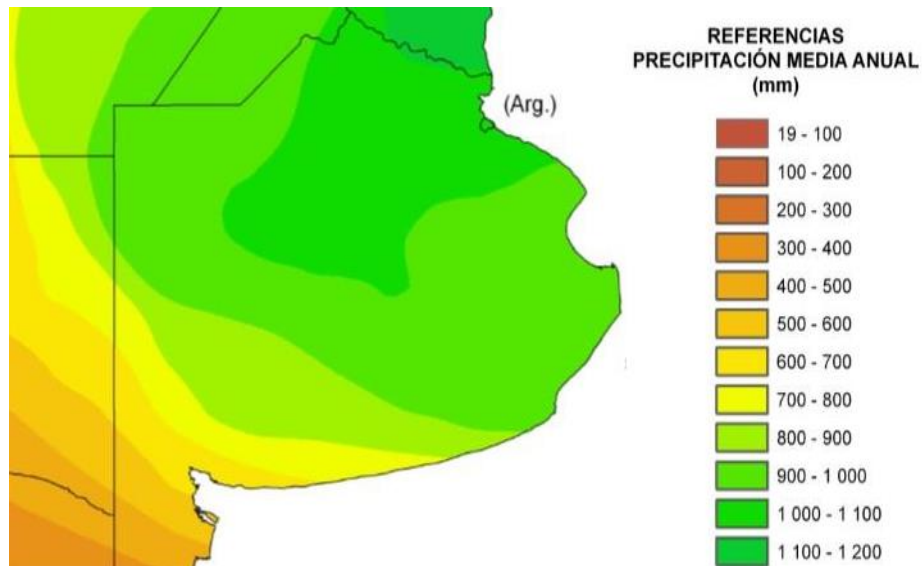


Fig. 4: Precipitación Media Anual (adaptado de Atlas climático digital de la República Argentina, Bianchi & Cravero, 2010).

La ETP anual oscila en la región entre 750 y 850 mm según el método de Thornthwaite (Bianchi & Cravero, 2010). En el semestre cálido se observa una mayor frecuencia e intensidad de vientos que junto a las mayores temperaturas inducen a altas tasas de ETP y afectan negativamente el balance hídrico (Díaz Zorita, 1995). En los meses de primavera y otoño las PP suelen superar la ETP, correspondiendo a épocas de recarga del acuífero y momentos donde los suelos permanecen saturados de humedad.

El Balance Hídrico (Fig. 5) muestra una tendencia a la neutralidad, siendo más positivos hacia el Este y decreciendo hacia el Oeste. Los meses estivales presentan una alta demanda ETP generando, fundamentalmente en los años secos, marcado déficit hídrico estival, condicionando la eficiencia productiva de los cultivos estivales.

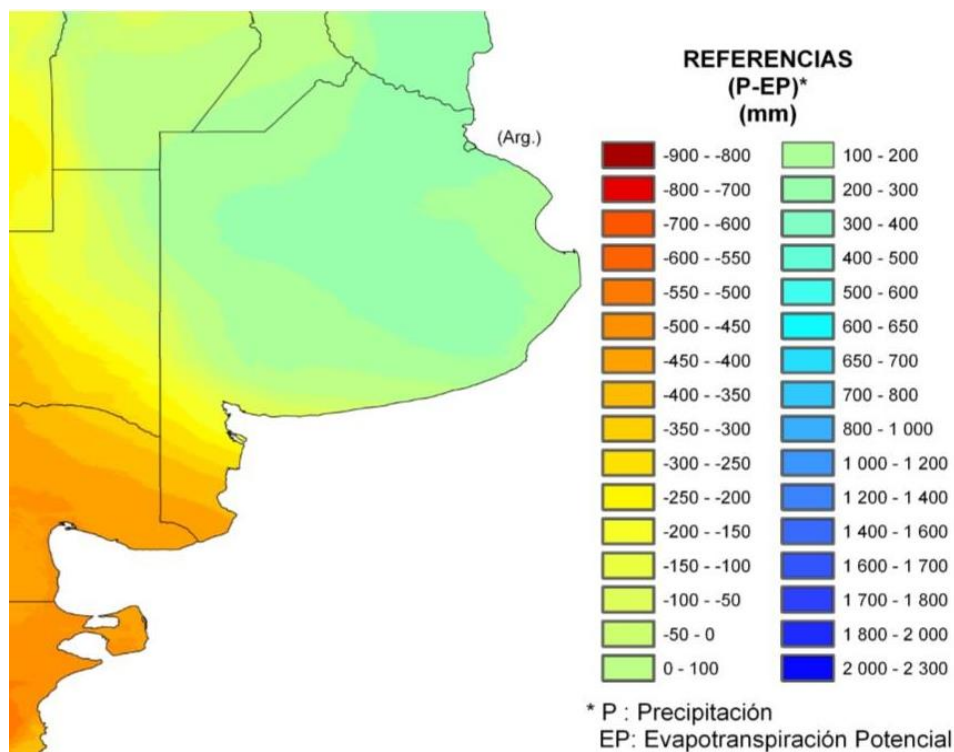


Fig. 5: Balance Hídrico Directo (adaptado de Atlas climático digital de la República Argentina, Bianchi & Cravero, 2010).

### CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS.

El área de estudio comprende los Partidos de la Provincia de Buenos Aires de Bolívar, Carlos Casares, Daireaux, Carlos Tejedor, Florentino Ameghino, General Pinto, General Villegas, Hipólito Yrigoyen, Lincoln, Pehuajó, Rivadavia, Salliqueló, Trenque Lauquen, Tres Lomas y los Departamentos de la Provincia de La Pampa de Chapaleufú, Maracó, Quemú Quemú y Catrilo, abarcando una superficie aproximada de 6.060.000 ha.

La actividad agrícola en la PA, orientada fundamentalmente a la producción de soja (*Glycine Max. L.*), maíz (*Zea mays L.*), trigo (*Triticum aestivum L.*) y girasol (*Helianthus annuus. L.*), ha experimentado profundas transformaciones a partir de la década del noventa, no solo en cuanto a su expansión superficial, en detrimento de la superficie praderizada, sino también en el aumento de la producción debido a un mayor uso de tecnologías (Satorre, 2005). Los cambios positivos observados en el régimen de las PP en el área (Vergara *et al.*, 2005), corroboran que la difusión de los cultivos de

cosecha gruesa en la zona fue facilitada considerablemente por el aumento de estas (Pérez *et al.*, 2003).

Hasta la década de 1970 el modelo productivo dominante era la ganadería extensiva en alternancia con agricultura, (Fig. 6). Entre los cultivos agrícolas predominaban las gramíneas invernales, tanto para verdeo como para cosecha. A partir de esta década se inicia un proceso de transformación de la actividad agrícola. El proceso de agriculturización que se ha producido en el país en las últimas décadas se ha caracterizado por un marcado incremento en el área sembrada de cultivos, el corrimiento de la frontera agropecuaria, el dominio del cultivo de soja y de las tecnologías de insumos, y la no contemplación de externalidades en cuanto a aspectos ambientales y sociales (Andrade, 2017).

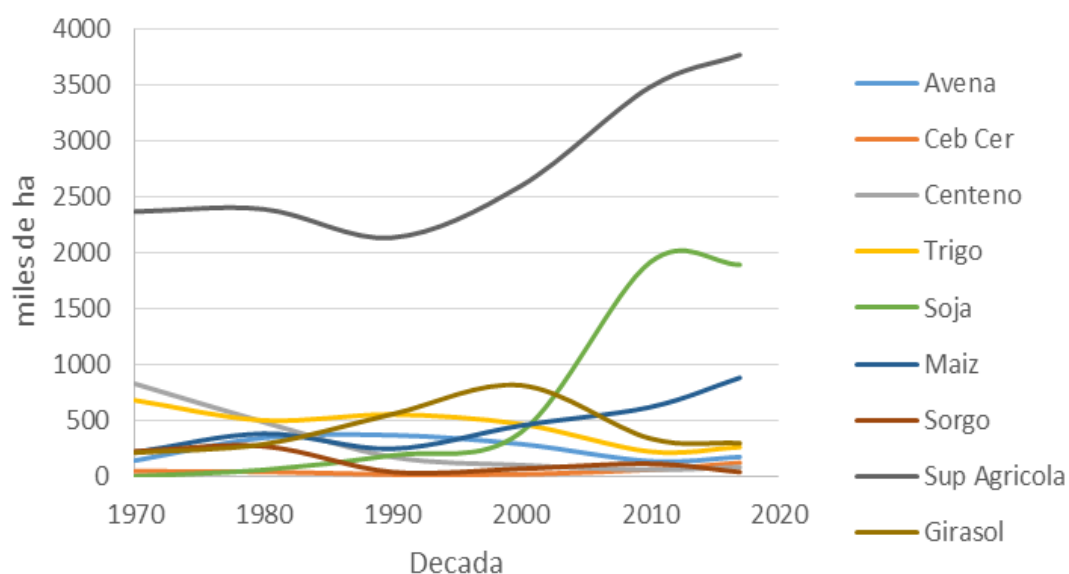


Fig. 6: Superficie Sembrada con Cultivos Agrícolas y Verdeos en la Pampa Arenosa desde 1970 hasta 2017 (Fuente: Datos.org.ar, 2020).

En la década de 1970 el trigo era el principal cultivo de cosecha en el área y el centeno (*Secale cereale* L. M Bieb) el principal verdeo de invierno, en tanto que sorgo (*Sorghum spp.* L. Moench) y maíz los principales cultivos estivales. Desde finales de la década de 1970 las inundaciones recurrentes hicieron disminuir sensiblemente el área agrícola (Fig. 6). En este marco, el girasol y trigo ocupan una mayor superficie, el centeno pierde superficie y es reemplazado por la avena (*Avena sativa* L) como verdeo de invierno.



En la década de 1990 y con mayor fuerza en la década del 2000, los cultivos estivales desplazan a los cultivos invernales y a las pasturas perennes en los ambientes agrícolas, (Paruelo *et al.*, 2005), la soja es el cultivo más difundido, seguido por el maíz, desplazando al girasol. La superficie agrícola comienza nuevamente a expandirse, coincidiendo este proceso con la liberación del cultivo de soja Roundup Ready, la adopción masiva de la siembra directa (SD), el aumento en el precio internacional de los commodities (Pengue, 2001) y la normalización paulatina de las precipitaciones (Pérez *et al.*, 2003).

El proceso de agriculturización, a partir de una mayor participación de cultivos de verano, con predominio del cultivo de soja, ha significado una importante reducción en el aporte de residuos (Kruger & Quiroga, 2012) y en los contenidos de MO (Andriulo *et al.*, 2008b; Galantini *et al.*, 2008; Quiroga *et al.*, 2008), acentuándose los procesos de degradación física y las pérdidas de suelo por erosión (Quiroga, 2002). El impacto acumulado de más de un siglo de cultivo en condiciones de bajos insumos externos afectó la estructura y la dotación de nutrientes de los suelos, especialmente en las tierras más productivas (Viglizzo *et al.*, 2001).

En este contexto la rotación se simplificó, el ciclo de los cultivos se desplazó hacia los meses estivales, permaneciendo durante el invierno la mayor parte de la superficie agrícola en barbecho (Bch). Los cambios en el uso de la tierra, hacia secuencias de cultivos con menores consumos de agua, han dado lugar a mayores excedentes de agua, que provocan ascenso de napas, encharcamiento, anoxia y/o pérdida de transitabilidad, (Quiroga ,2018).

## **FUNDAMENTOS PARA LA INCLUSIÓN DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN EL MARCO PRODUCTIVO ACTUAL.**

Los cultivos de cobertura (CC) son sembrados entre dos cultivos de cosecha (CCh) (SSSA, 2008) y no son incorporados al suelo (a diferencia de los abonos verdes), pastoreados (a diferencia de los verdeos) o cosechados. Los residuos de los CC quedan en superficie, liberando los nutrientes contenidos en la biomasa al descomponerse. Los CC han sido utilizados tradicionalmente para controlar la erosión, pero pueden cumplir múltiples funciones en los sistemas de producción (Ruffo & Parsons, 2004).

Estos brindan numerosos servicios ecosistémicos, aunque la magnitud de los beneficios es altamente sitio específica (Blanco-Canqui *et al.*, 2015; Delgado & Gantzer, 2015) y son una herramienta para mitigar algunos efectos que el cambio climático puede tener sobre los sistemas (Delgado *et al.*, 2011).

Mejorar los cultivos a través de la fertilización y el manejo, incluida la SD, la rotación de cultivos, la inclusión de CC (Álvarez *et al.*, 2013) y mejoras en el pastoreo de los forrajes son prácticas agronómicas importantes para mantener y lograr suelos saludables (Mánale *et al.*, 2018). En este sentido los CC son una herramienta agronómica ideal porque cumplen el doble rol de aportar C, e incrementar el potencial de rendimiento (Ruffo & Parsons, 2004).

La adopción de la SD puede contribuir significativamente a una mayor eficiencia del uso del agua (EUA), ya que el nivel de residuos es suficiente para optimizar la relación transpiración/evaporación, (Kruguer *et al.*, 2013). Siempre y cuando se cumpla que el perfil de suelo posee una adecuada capacidad de retención de agua (CRA), los nutrientes no condicionen la productividad, no existan limitantes físicas y la profundidad efectiva de raíces sea la adecuada. Si la secuencia de cultivos posibilita la realización de Bch adecuados, la cobertura del suelo aumenta la EUA (Fernández *et al.*, 2012a).

El sistema productivo pampeano, en especial el del área de estudio, ha evolucionado hacia ciclos agrícolas cada vez más largos e incluso en algunas zonas, hacia la agricultura continua (Paruelo *et al.*, 2005), desplazando a la ganadería de invernada hacia los feedlot (Zaniboni & Landa, 2008).

La ausencia de cultivos durante el invierno provoca una pérdida de recursos como nutrientes, agua y radiación solar (Portela *et al.*, 2016; Van Opstal *et al.*, 2011; Caviglia *et al.*, 2010), que no son aprovechados para producir granos y/o biomasa. Estos pueden ser utilizados para mejorar el balance de C en el suelo y el resultado productivo de la empresa, (Barraco *et al.*, 2012).

La intensificación de la secuencia de cultivos por la inclusión de cultivos invernales mejoraría aspectos tales como la captura, conservación y aprovechamiento del agua de lluvia (Caviglia *et al.*, 2007), el ciclado de nutrientes móviles como el nitrógeno (N), (Fernández *et al.*, 2012a) y el impacto sobre las malezas anuales (Fernández *et al.*, 2012b).

Existen antecedentes respecto a la introducción de los CC en la PA (Girón *et al.*, 2014; Álvarez *et al.*, 2013 ab; Lardone *et al.*, 2013 ab; Fernández *et al.*, 2012abc; Scianca, 2010). Estos trabajos estuvieron orientados principalmente al estudio de distintas especies y ajustes de estrategias de manejo de los CC para las condiciones agroecológicas de la región, evaluando producción de biomasa aérea (BA), secuestro de carbono, dinámica de nutrientes, control de malezas y dinámica del agua en el suelo (Scianca *et al.*, 2010; Carfagno *et al.*, 2013; Barraco *et al.*, 2012, Lardone *et al.*, 2012).

En zonas templadas las especies más utilizadas son fundamentalmente gramíneas y leguminosas (Scianca 2010). Aunque en el último tiempo han comenzado a incluirse a especies de la familia de las crucíferas (Restovich *et al.*, 2012). Entre las gramíneas más utilizadas se encuentran: Centeno, Trigo, Avena, Cebada (*Hordeum vulgare*), Triticale (*Triticum aestivum x Secale cereale*) y Raygrass (*Lolium multiflorum* L.) y entre las leguminosas: trébol (*Trifolium spp.*) y vicia (*Vicia sativa* y *Vicia villosa* spp.), (Scianca, 2010, Barraco *et al.*, 2009).

Un inadecuado manejo del CC puede afectar el rendimiento del cultivo posterior. En este sentido se ha informado que el impacto del CC en el cultivo posterior varía según la región, suelo y práctica de manejo, (Marcillo & Miguez, 2017). Una inadecuada elección de la especie o variedad (Kaspar & Bakker, 2015), o método o momento de control del CC (Westage *et al.*, 2005, Quiroga *et al.*, 2005) pueden afectar el rendimiento del cultivo posterior. En centeno, como CC, cuanto mayor es la BA mayor es el potencial para alterar la dinámica del agua, el ciclo del N y temperatura del suelo, lo que aumenta el potencial de afectar el rendimiento (Martínez-Feria *et al.*, 2016).

Los CC aportan cobertura (Rillo *et al.*, 2013) y fijan C (Blanco-Canqui *et al.*, 2015), capturan nutrientes móviles como N y S (Pórtela *et al.*, 2016), mejoran la EUA del sistema (Fernández *et al.*, 2012b), fijan N (Sá Pereyra *et al.*, 2014), consumen agua (Quiroga 2018), mejoran el control de malezas (Scianca *et al.* 2010), mejoran la infiltración (Rillo *et al.*, 2018) y reducen la compactación (Álvarez *et al.*, 2013).

El objetivo y el ambiente definen el manejo del CC. Entre las variables de manejo más importantes a considerar, en función del objetivo del CC, se encuentran la especie a sembrar, estrategia de fertilización y momento de secado (Scianca *et al.*, 2010). Del objetivo buscado al decidir la incorporación de CC dependerá la elección de la especie a sembrar (Ruffo & Parsons, 2004).

El secuestro de C es uno de los objetivos más importantes por lo que se hacen CC (Blanco Canqui *et al.*, 2015; Delgado *et al.*, 2015). El C orgánico del suelo (COS) es el principal componente de la MO, representa entre el 40-60% de la misma (Galantini *et al.*, 2008). Las practicas agronómicas modifican la dinámica de la MO del suelo, a través de la cantidad y calidad de los aportes orgánicos que ingresan al suelo (Galantini *et al.*, 2008). Desde el punto de vista productivo y conservacionista es fundamental conocer el estado orgánico del suelo, es decir cantidad y calidad de las diferentes fracciones orgánicas y la dinámica, en particular el balance de C en el tiempo (Galantini *et al.*, 2008).

El C orgánico del suelo juega un papel clave en la funcionalidad del suelo, ya que afecta numerosos componentes y procesos, entre ellos la retención de agua, porosidad, pH, capacidad buffer, CIC, adsorción de plaguicidas, color, infiltración, aireación, y la actividad de los organismos del suelo (Seybold *et al.*, 1998 citado por Caviglia *et al.*, (2007). A través de sus propiedades le brinda al suelo agregación y en consecuencia mejora la estructura y la estabilidad de los agregados (Jastrow & Miller *et al.*, 1998; Kay *et al.*, 1998 citados por Caviglia *et al.*, 2007), permitiendo un mejor movimiento de fluidos (agua y gases) y una mayor resistencia a los procesos de degradación (Kay *et al.*, 1998; Monreal *et al.*, 1998, citados por Caviglia *et al.*, 2007).

En el largo plazo los CC generalmente incrementan la concentración de CO en el suelo, pero su impacto no es detectable en los primeros años de su implementación (Blanco-Canqui *et al.*, 2015). Las gramíneas son más efectivas para incrementar los niveles de CO del suelo que las leguminosas, debido a su menor tasa de descomposición (Sainju *et al.*, 2002). En 9 de Julio, después de 10 años de secuencia CC/Soja versus Bch/Soja, el contenido de C total y particulado fue mayor en los tratamientos con CC vs Bch (Rillo *et al.*, 2018). De manera similar en General Villegas con 8 años de efectos acumulados, la inclusión de CC aumentó el contenido de CO (Lardone *et al.*, 2012).

La captura de nutrientes, y particularmente los nitratos durante el largo periodo de barbecho que tiene lugar entre cultivos de verano es otro de los objetivos perseguidos al establecer CC, con el fin de minimizar la pérdida por lixiviación durante el otoño, principalmente en suelos arenoso francos y franco arenosos (Portela *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2005). Ya en la década del 90 Quiroga *et al.*,

(1999) sobre un suelo Haplustol Entico determinaron entre 70 y 83 % menos de  $\text{NO}_3$  bajo verdeo de invierno que el Bch largo.

La captura de nutrientes móviles por parte de los CC, no solo depende de la habilidad del cultivo para capturar el nutriente, sino también que esté disponible para el cultivo siguiente. El secuestro y/o fijación biológica y posterior aporte de nutrientes por descomposición de los residuos durante el periodo de Bch contribuye en la nutrición del cultivo sucesor (Frasier *et al.*, 2017, Martínez Feria *et al.*, 2016, Restovich *et al.*, 2012), incidiendo tanto sobre la producción de biomasa aérea (BA) como en el rendimiento (R) (De Sá Pereyra *et al.*, 2014, Uhaldegaray *et al.*, 2018).

Algunos de los factores que inciden sobre la tasa de descomposición de los residuos se pueden manejar, tales como la especie (Scianca, 2010) y la relación C:N, la cual varía en función de la fertilización (Martinez *et al.*, 2013, Raposo, 2017) y el estado fenológico en que se realiza el secado del CC (Uhaldegaray, 2012). Mayores rendimientos fueron reportados en el cultivo de maíz cuando el antecesor fue vicia que cuando fue avena, sugiriendo un aporte extra de N realizado por la leguminosa y una inmovilización producida por los residuos de la gramínea (Sá Pereyra *et al.*, 2014).

La relación C:N de los residuos adicionados al suelo asume un rol importante en la descomposición. Esta relación determina que proceso va predominar, mineralización o inmovilización de N (Sá Pereyra *et al.*, 2013). La fracción de N orgánico mineralizada está inversamente relacionada a la relación C:N, si la relación C:N es menor que 20:1 se produce liberación de N, mientras que relaciones superiores a 30:1 producen inmovilización de N desde la fracción mineral del suelo (Echeverria & Sainz Rosas, 2005).

El momento de secado (estado fenológico) y el aporte de N afectan la producción de BA, la descomposición de los residuos del CC durante el Bch (Fernández *et al.*, 2012b) y durante el desarrollo del cultivo posterior (Uhaldegaray, 2012). En este sentido, la fertilización aumenta la cantidad de residuos y disminuye la relación C:N, si bien esta depende más del momento de secado que de la fertilización con N (Fernández *et al.*, 2012a).

La EUA del CC relaciona la producción de materia seca y/o rendimiento con el uso consuntivo (UC) del cultivo. La EUA varía con el tipo de especie (Scianca, 2010), variedad (Álvarez *et al.*, 2012), momento de secado (Álvarez *et al.*, 2012, Lardone *et*

*al.*, 2014ab, Girón *et al.*, 2013), fertilización (García *et al.*, 2002, Caviglia *et al.*, 2007, Sardiña *et al.*, 2008; Oderiz *et al.*, 2017) y las condiciones climáticas, especialmente las precipitaciones (Fernández *et al.*, 2012b).

La disponibilidad de N de los suelos es una de las principales limitantes de los rendimientos de los cultivos (Darwich, 1990). En la región pampeana la fertilización nitrogenada mejora la EUA en gramíneas, debido a que tiene un impacto mayor sobre la producción de materia seca que sobre el consumo de agua (Quiroga *et al.*, 2007). Para los suelos de la región pampeana el nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y el rendimiento de los cultivos es el N (Echeverría & Sainz Rosa, 2005).

Un adecuado abastecimiento de N se traduce en elevadas tasas de división celular y en una elevada intercepción y conversión de radiación interceptada (Echeverría & Sainz Rosa, 2005). Como respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la concentración de N en tejido es mayor, aumentando la capacidad fotosintética del cultivo, generando una mayor tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en periodos tempranos, dando como resultado incrementos en la EUA (Dardanelli *et al.*, 2003). Además la EUA es función de la demanda atmosférica (Fernández *et al.*, 2012b) y la disponibilidad de agua en el suelo (Álvarez *et al.*, 2012).

Es importante destacar que en áreas húmedas, con precipitaciones anuales superiores a 800 mm, no se observa el impacto negativo, por consumo de agua, de los CC sobre el CCh (Blanco-Canqui *et al.*, 2015).

Los CC permiten reducir las pérdidas de agua almacenada en el suelo a través de la reducción de la evaporación directa, no solamente durante el Bch una vez secado, sino también entre la siembra y la floración del CCh (Fernández *et al.*, 2012b). Los elementos de la interface suelo-atmósfera se combinan para reducir el impacto de la velocidad del viento, la insolación y el impacto de las gotas de lluvia, (Krüger & Quiroga, 2013). Estos elementos influyen sobre procesos importantes para el crecimiento de los cultivos como evaporación, cambio térmico, infiltración, encostramiento, fertilidad, compactación, y penetración de raíces, quienes en conjunto determinan la productividad del suelo (Krüger & Quiroga, 2013).

El rendimiento en granos de los cultivos es función del agua transpirada, la EUA y el índice de cosecha. Estos tres factores pueden ser modificados por

determinadas prácticas de manejo (Dardanelli *et al.*, 2003). En este sentido mejorar los indicadores de eficiencias es primordial en varios de los aspectos relacionados a los objetivos perseguidos con los CC, en los cuales altas TCC, calidad y cantidad de BA son los aspectos fundamentales a manejar.

En la gestión del agua en secano la eficiencia de barbecho (EB) es un indicador clave, este permite estimar cuantos mm de las PP ocurridas durante el Bch son acumulados efectivamente en el suelo (Mathews & Army, 1960) y evaluar si la duración del Bch es la adecuada para recargar el perfil. La EB depende del tipo de suelo, sistema de labranza, cobertura, intensidad y cantidad de PP y la CRA (Lampurlanes *et al.*, 2002 citado por Álvarez *et al.*, 2012). Como el peso relativo de cada factor varía entre sitios, es frecuente observar resultados contrastantes entre experiencias (Álvarez *et al.*, 2012).

La cantidad y la intensidad de las PP dominan el almacenamiento de agua durante el Bch y esto se da por sobre los efectos de la cobertura en la disminución de la evaporación (Baumhardt & Jones *et al.*, 2002). Carfagno *et al.*, (2013) encontró que al disminuir la duración del período de Bch, aumentó la variabilidad de la EB entre sitios incrementándose la dependencia con las PP.

En Anguil el centeno utilizado como CC tuvo EB superiores al tratamiento sin cobertura (Raposo, 2017), mientras que en suelos someros la variabilidad de la EB no está relacionada con la longitud del Bch (Ross *et al.*, 2017). En suelos profundos y con buen régimen hídrico (Vergara *et al.*, 2005), las EB con residuos de CC, fueron significativamente superiores a la del Bch tradicional y en régimen hídricos más restrictivos la reducción de la duración de Bch afectó a la EB, encontrándose EB negativas (Carfagno *et al.*, 2013).

Las secuencias de cultivos con inclusión de gramíneas como CC mostraron mayores EB que las secuencias sin CC (Rillo *et al.*, 2018). En Hapludoles típicos del noroeste bonaerense no se encontraron diferencias en rendimiento de soja establecida sobre CC con diferente longitud de Bch (Álvarez *et al.*, 2005). Sobre suelos de régimen údico, aún en años secos, la inclusión de CC no afectó la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente, mientras que en suelos de régimen ústico el agua edáfica disponible a la siembra del cultivo siguiente fue menor que en el Bch, en este caso la inclusión de CC significaron un Costo Hídrico (CH) para el cultivo siguiente (Carfagno *et al.*, 2013).

Los CC consumen más agua que los Bch, esto ha sido ampliamente demostrado en la región pampeana y se ha determinado que en promedio el agua en el suelo disponible a la siembra de los CCh disminuye en un 20 % en los CC respecto del Bch químico (Álvarez et al., 2017). El CH de los CC es la diferencia de agua entre dos prácticas agronómicas que presenta el suelo en un momento determinado. Resultados de experiencias obtenidos en la región semiárida pampeana muestran que las diferencias en los contenidos finales de agua entre los testigos y los CC variaron entre 30 y 100 mm a favor de los testigos (Fernández *et al.*, 2012a).

A pesar de la evidencia de los beneficios de los CC y la existencia de incentivos, tales como programas para compartir costos, etc., los registros actuales indican que los CC se utilizan en escasa proporción. Por ejemplo ocupan solo el 1,55% de los lotes destinados a cultivo de cosecha en Iowa (Martínez-Feda *et al.*, 2016). En Argentina los CC es una práctica que está creciendo en superficie, impulsada por el aporte al control de malezas, pero que aún sigue siendo baja la superficie con CC, solo el 2% de la superficie bajo siembra directa se estima que se siembran CC (AAPRESID, 2029).

### **HIPÓTESIS.**

Los recursos disponibles en los periodos de Bch prolongado de secuencias de cultivos estivales, como agua y N, en gran medida se pierden y no son diferidos al cultivo posterior.

La incorporación de CC permite aprovechar el agua, el N disponibles en dichos periodos para producir biomasa vegetal y no afectar el rendimiento del cultivo posterior.

La BA producida por los CC es función (entre otros factores) de la EUA, dicha eficiencia se puede mejorar con la fertilización nitrogenada, sin aumentos significativos en el UC.

La EUN es función de la dosis de nitrogenada utilizada y disminuye con el aumento de la dosis, incrementando los riesgos de pérdida al medio ambiente.



## **OBJETIVO GENERAL.**

- Evaluar la factibilidad técnica, ambiental y productiva del cultivo de centeno utilizado como CC en la PA.
- Determinar el efecto del cultivo de centeno y la fertilización nitrogenada de este, cuando es utilizado como CC, sobre la dinámica de agua, N y el rendimiento del cultivo estival siguiente.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar mediante el análisis de estadísticas históricas el uso de la tierra y caracterizar la rotación zonal, a través de cuantificar la evolución de la superficie sembrada y evaluar la factibilidad técnica para la inclusión de los CC en la rotación actual.
  - Evaluar la dinámica de agua y de  $\text{NO}_3$  cuando se incorpora el centeno como CC y es fertilizado con N.
  - Determinar la EUA y EUN del centeno como CC en diferentes niveles de fertilización con N.
  - Cuantificar el impacto que los CC tienen sobre el rendimiento del cultivo posterior respecto del Bch tradicional.
  - Determinar el UC del cultivo de centeno cuando es fertilizado con N y evaluar si las PP cubren dicho UC y permiten recuperar el agua del perfil hasta capacidad de campo con una probabilidad técnicamente aceptable.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

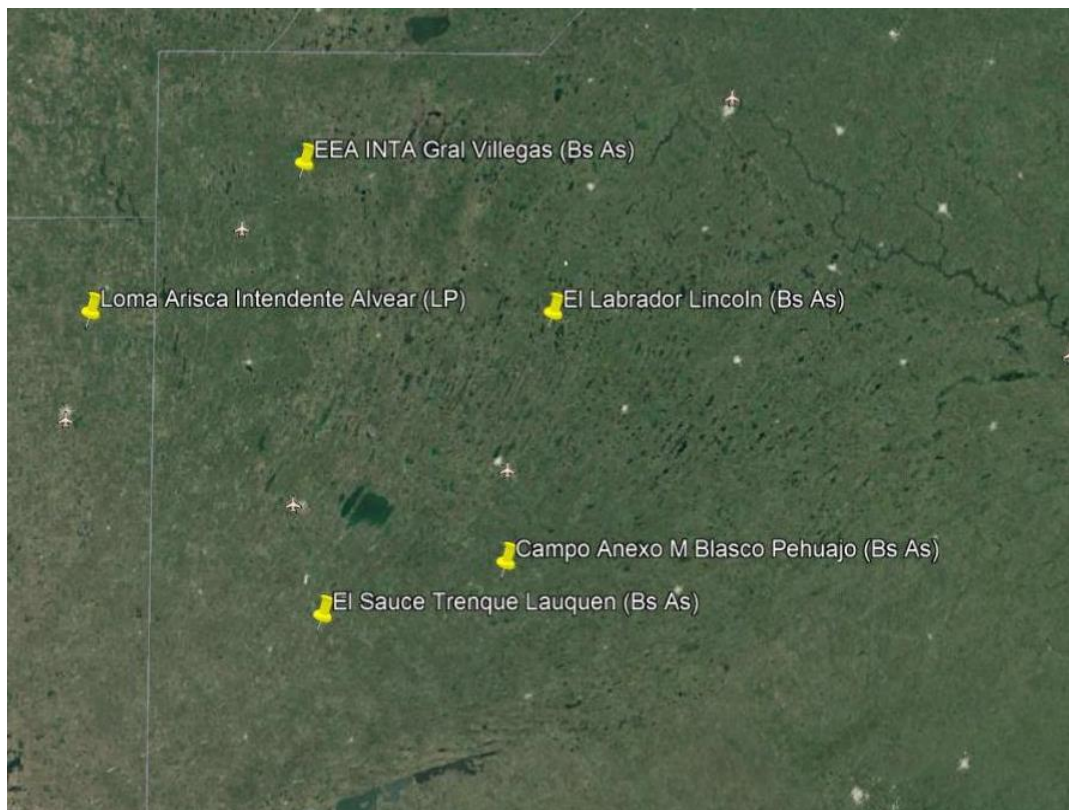
### **UBICACIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES.**

Se establecieron cinco ensayos, cuatro ubicados en la provincia de Buenos Aires y uno en la provincia de La Pampa, con el objetivo de abarcar en el estudio los ambientes más representativos de la zona de estudio (Fig. 7). Los sitios experimentales que se ubicaron la Provincia de Bs As se establecieron en el partido de Lincoln (Ln), Pehuajó (Phj), General Villegas (GV), Trenque Lauquen (TL) y el que se ubicó en la Provincia de La Pampa se estableció en el departamento de Chapalaeufú cercano a la ciudad de Intendente Alvear (IA).

Los suelos sobre los que se localizaron son: Hapludol Típico serie Estación Naón en Lincoln, Hapludol típico serie Pehuajó en Pehuajó, Udipsamente Thapto Mólico

serie Piróvano en Trenque Lauquen, Hapludol típico Serie Lincoln en General Villegas y Hapludol Entico en Intendente Alvear.

El sitio Lincoln está ubicado en el establecimiento “El Labrador”, a 8 km al oeste de la Localidad de Martínez de Hoz, a 57 km al sur de la Ciudad Ln y a 52 km al Noreste de la Ciudad de Phj (Latitud 35°21'33.57"S. Longitud 61°41'46.74"O).



*Fig. 7: Ubicación de los sitios experimentales.*

El sitio TL está ubicado en el establecimiento “El Sauce”, sobre la Ruta Nacional 33 a 2,5 km al sur del cruce de 7 Primos, a 13 km al suroeste de la Localidad de 30 de Agosto, y a 41 km al sur de TL (Latitud 36°21'45.72"S Longitud 62°39'21.73"O).

El sitio Phj está ubicado en el “Campo Anexo INTA Marina Blasco”, ubicado a 12 km al Oeste de la Localidad de Mones Cazón y 44 km al Sur Phj (Latitud 36°12'44.07"S Longitud 61°52'23.75"O).

El sitio GV está ubicado en el “Campo experimental de EEA INTA Gral. Villegas”, en la Colonia La Velita a 29 km al Noreste de la Ciudad de GV y a 7 km al Norte de la Estación Drable (Latitud: 34°51'33.34"S. Longitud: 62°46'29.80"O).

El sitio IA está ubicado en el Establecimiento “Loma Arisca” a 18 km al sur de la ciudad de IA y a 31 km al Norte de la Ciudad de Gral. Pico (Latitud: 34°51'44.44"S. Longitud: 62°46'3.04"O).

### **TRATAMIENTOS.**

En cada sitio se evaluaron cinco tratamientos. Un Bch químico y CC con centeno, con cuatro dosis de N, aplicadas al voleo en forma de urea (0-46-0) en estadio de macollaje. Los tratamientos del lote previos a la siembra del CC estuvieron a cargo del productor. En todos los casos se sembró en lotes tratados con herbicidas para el control de las malezas presentes, sin el uso de herbicidas residuales.

Tratamientos:

- Bch: sin Cultivo de Cobertura
- CC N0: Cultivo de Cobertura sin N
- CC N40: Cultivo de Cobertura con 40 kg ha<sup>-1</sup> de N
- CC N80: Cultivo de Cobertura con 80 kg ha<sup>-1</sup> de N
- CC N120: Cultivo de Cobertura con 120 kg ha<sup>-1</sup> de N

A partir de la bibliografía consultada se eligió sembrar centeno como CC, por sus aportes de altos volúmenes de residuos y precocidad (Scianca, 2010). El cultivar elegido fue INTA Quehue, se sembró a razón de 50 kg ha<sup>-1</sup>, con el objetivo de lograr 300 pl m<sup>-2</sup> y a la siembra se fertilizó con P como MAP (9-52-0) a razón de 100 kg ha<sup>-1</sup>.

El CCh no fue el mismo en todos los sitios, en los sitios Ln y GV el cultivo de cosecha fue Soja. En los sitios TL, Phj e IA el cultivo de cosecha fue maíz.

### **DISEÑO EXPERIMENTAL.**

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con, 3 repeticiones. Cada parcela tuvo una superficie de 15 m<sup>2</sup> (5m x 3m).

## **CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.**

En cada localidad se caracterizó pluviométricamente la campaña comparándola con la media histórica (período 1980-2015).

Se dividió a la campaña en tres periodos para evaluar las PP en cada etapa de la secuencia CC-CCh: Abril-Septiembre que coincide con el ciclo del CC, Octubre que coincide con el Bch corto entre el secado del CC y la siembra del CCh y Noviembre- Marzo que coincide con el periodo de crecimiento del CCh.

En cada caso se utilizó la serie de PP histórica disponible más cercana que permitiera caracterizar el sitio. Para el sitio Phj se utilizó la serie del SMN del aeródromo de Phj, para el Sitio TL se utilizó la serie de la Escuela Agropecuaria N° 1 Manuel Belgrano de la Localidad de 30 de Agosto, para el sitio GV se utilizó la serie de la EEA INTA General Villegas, en el sitio Ln se utilizó la serie de la AER INTA Ln y en el sitio IA la serie del sitio Trebolares de la AER INTA Gral. Pico. En cada sitio se registraron las PP durante el periodo evaluado, desde implantación del CC hasta la cosecha del CCh.

La T° se caracterizó mensualmente para las variables T° Media (T°Med), T° Máxima (T°Max) y T° Mínima (T°Min) disponible en <https://es.climate-data.org>.

## **CARACTERIZACIÓN PRODUCTIVA.**

La caracterización productiva de la zona se realizó en base a los datos publicados por el Ministerio de Agroindustria de la Nación en la página Datos Abiertos (Datos.gob.ar). La última visita al sitio fue el 10/04/2020.

La evolución de la superficie se realizó con frecuencia decadal, el área se estimó con el dato de superficie sembrada y se tuvieron en cuenta los principales cultivos de la zona: maíz, soja, girasol, trigo, cebada (cervecera y forrajera), avena y centeno.

Se tomaron las campañas 1969/1970, 1979/1980, 1989/1990, 1999/2000, 2009/2010 y 2016/2017 como referencia para la década. La suma de todas las superficies de cada cultivo para cada campaña se considera que es la aproximadamente la superficie agrícola de cada partido/departamento, ya que abarcan más del 95 % de la superficie ocupadas con cultivos anuales en el área en estudio para los años considerados.

## **CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DE LOS SITIOS.**

En cada sitio se realizó una calicata, donde se describieron los perfiles de suelo y se extrajeron muestras de los respectivos horizontes para determinar propiedades físico-químicas.

En la caracterización inicial se realizó un muestreo compuesto de 0-20 cm de profundidad, representativa de toda la superficie del ensayo.

Sobre las muestras de los horizontes y la muestra de 0-20 cm en laboratorio se determinó Textura por Bouyoucos (1962), MO por Walkley & Black (1934) (semimicro), P por Bray & Kurtz I, N pH por potenciometría en dilución en agua 1:2.5.

En intervalos de 20 cm se determinaron los contenidos de agua correspondientes a capacidad de campo (Richards) y punto de marchitez permanente (membrana presión) y la Densidad Aparente (DAP) por el método del cilindro (cilindros de 240 cm<sup>3</sup>).

## **LABORES CULTURALES.**

En los sitios Ln, Phj, GV e IA el antecesor fue soja de 1°, mientras que en el sitio TL el antecesor fue vicia / maíz para silo.

En todos los sitios la siembra del CC se realizó durante el mes de abril de 2015 en siembra directa (Fig. 8), con control previo de malezas. En cada sitio la dosis y principios activos dependieron de lo utilizado en el lote comercial. En ningún caso se utilizaron en la implantación herbicidas residuales. El tratamiento Bch se mantuvo durante todo el periodo libre de malezas mediante el uso de herbicidas de contacto y residuales, desde la siembra del CC hasta el secado del mismo.

El secado del CC se realizó en todos los casos a mediados de octubre de 2015 (Fig. 8), cuando el cultivo había alcanzado el estado de antesis, con Glifosato, a razón de 680 gr ha<sup>-1</sup> equivalente ácido.

La fecha de siembra del CCh varió según el sitio. En los sitios Ln y GV, en los cuales se sembró soja, la fecha fue mediados de Noviembre 2015, en el caso de TL, Phj e IA, que fueron a maíz la fecha de siembra fue la primera quincena de diciembre (Fig. 8).

La elección del híbrido o variedad, la densidad de siembra, como así el manejo sanitario del CCh en todos los casos fue el que utilizó el productor en el resto del lote.

En el sitio Ln la variedad de soja utilizada fue Nidera A 5009 RG y GV la variedad DM 4612 RR. En TL el híbrido utilizado fue DM 2738 MGRR2, en Phj el I 880 MGRR2 y en IA Dk 7210 VT3P.

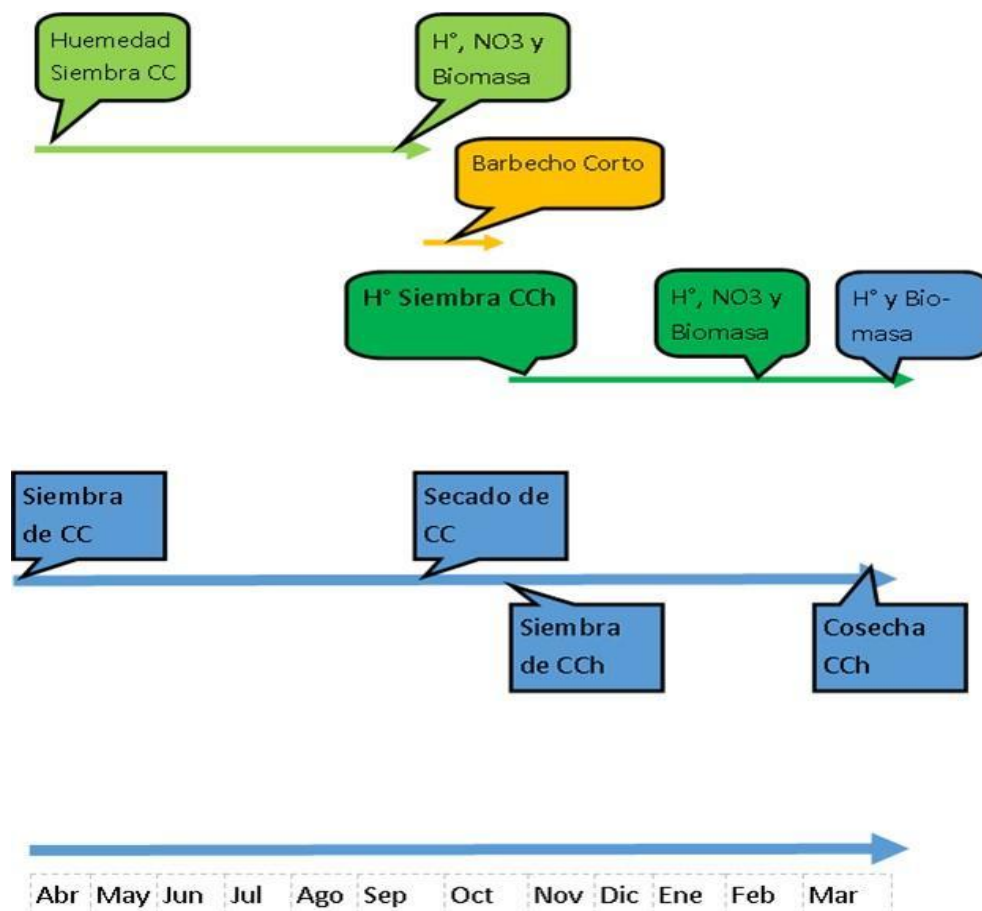


Fig. 8: Secuencia de actividades culturales en los sitios experimentales.

### MUESTREO Y ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Agua edáfica total (AET) se determinó en los momentos de siembra del CC, secado del CC, siembra del CCh, periodo crítico (PC) del CCh y Cosecha del CCh (Fig. 8). En todos los casos se muestreó hasta los 2 m de profundidad, en intervalos de 20 cm. La muestra se secó en estufa a 60°C durante 48 hs hasta peso constante.

Los NO<sub>3</sub> en el suelo se determinaron a la siembra del CC, secado del CC y PC del CCh (Fig. 8). Las muestras se tamizaron por 2 mm y se secaron en estufa a 60 °C durante una hora para su posterior conservación. (Brambila *et al.*, 2013). La determinación se realizó por el método del ácido cromotrópico (West &

Ramachandran, 1966). Las determinaciones se realizaron hasta el 1 metro de profundidad, en los intervalos de 0-20 cm, 20-60 cm y 60-100 cm.

El conteo de plantas de centeno logrado se realizó aproximadamente a los 30 días después de la siembra del CC.

Al secado del CC se realizó el muestro de BA del CC (Fig. 8), el cual fue pesado en verde y se tomó una muestra, a la cual en laboratorio se le determinó MS y sobre esta alícuota, se utilizó para la determinaciones en de C y N en BA.

La cosecha del CCh se realizó posterior a la MF (Fig. 8). En este momento se contó la densidad de plantas lograda. El rendimiento se determinó cosechando una superficie de 5 m<sup>2</sup> por parcela, se trilló con trilladora estacionaria y se determinó el peso de la muestra, la humedad (H°) del grano y el peso de mil granos (PMG).

Se determinó el contenido de C y N total de la biomasa del CC y del CCh por combustión seca, empleando un analizador LECO – TrueSpec® CN (LECO Corp. St. Joseph. MI. USA).

### **CÁLCULOS y ECUACIONES.**

Para calcular el AET (hasta los 2 m de profundidad) se utilizó la fórmula:

$$\text{AET (mm)} = \sum (\% \text{ H}^\circ \text{ gravimétrica} \times \text{DAP} \times \text{Prof}) / 10$$

Donde % H° gravimétrica = porcentaje de humedad gravimétrica. DAP= densidad aparente del suelo (g cm<sup>-3</sup>), Prof.= profundidad de muestreo (cm).

El CH se calculó utilizando la fórmula:

$$\text{CH (mm)} = \text{AET CC} - \text{AET Bch}$$

Donde AET CC= AET del CC al momento del secado (mm); AET Bch = AET del Bch al momento del secado (mm).

El UC se calculó con la fórmula propuesta por López & Arrué, (1997):

$$\text{UC (mm)} = \text{AET inicial (mm)} + \text{PP (mm)} - \text{AET final (mm)}$$

Donde AET Inicial= AET Inicial se considera al momento de la siembra del CC o CCh (mm). AET Final= AET final se considera al secado del CC o CCh (mm); PP= PP ocurridas entre la siembra y el secado del CC o CCh (mm).

La EB se calculó empleando la fórmula de Mathews & Ammy, (1960). En nuestro caso estimamos las EB, en todos los tratamientos para el periodo que va desde el secado del CC hasta la siembra del CCh.

$$EB (\%) = ((AET \text{ inicial} - AET \text{ final}) / PP) \times 100$$

Donde AET Inicial= AET al momento de la siembra del CC (mm). AET Final = AET Final a la siembra del CCh (mm). PP = precipitaciones durante el periodo (mm).

La EUA en se calculó con la fórmula:

$$EUA (\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}) = BA / UC$$

Donde BA= biomasa aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); UC= UC del cultivo (Para calcular la EUA en grano se reemplaza BA por rendimiento en grano sobre base seca).

El N-NO<sub>3</sub> hasta el metro de profundidad se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$N \text{ NO}_3 (\text{kg ha}^{-1}) = \sum \text{NO}_3 \times 0.2258 \times \text{Área (ha)} \times \text{Prof. (m)} \times \text{DAP}/1.000.000$$

Donde NO<sub>3</sub>: Nitratos en ppm. Área (m<sup>2</sup>), Prof.: profundidad de muestreo (cm); DAP: densidad aparente en (g cm<sup>-3</sup>).

La Eficiencia de Uso de Nitrógeno (EUN) en se calculó utilizando la fórmula propuesta por Doberman (2005):

$$EUN (\text{kg ha}^{-1} \text{ kg}^{-1}) = BA / N \text{ inicial}$$

Donde BA= BA del cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), N inicial = N fertilizante en ( $\text{kg ha}^{-1}$ )+ N suelo en ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

N en BA calculó con la fórmula:

$$N \text{ en BA } (\text{kg ha}^{-1}) = BA \times \% N$$

Donde BA: biomasa aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), %N: % de N en BA.

La relación Carbono / Nitrógeno se calculó con la fórmula:

$$C / N = (\%) C / (\%) N$$

Donde %C: % de Carbono en BA; N%: % de N en BA



Carbono en biomasa aérea se calculó con la fórmula:

$$\text{CBA (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{BA (kg ha}^{-1}\text{)} \times \% \text{ C}$$

Donde BA: biomasa aérea (kg ha<sup>-1</sup>); % C porcentaje de Carbono en biomasa aérea.

Respuesta a la fertilización nitrogenada (RpN) se calculó con la siguiente formula:

$$\text{RpN (\%)} = (\text{BAF}-\text{BAT})/\text{BAT} \times 100$$

Donde BAF= es BA del CC fertilizado. BAT= es BA del CC sin fertilizar.

Eficiencia de Recuperación de N (ERN) se calculó con la siguiente formula:

$$\text{ERN (\%)} = \text{N BA} / \text{N inicial} \times 100$$

Donde N BA = N en biomasa aérea (kg ha<sup>-1</sup>); N Inicial = N-NO<sub>3</sub> suelo (kg ha<sup>-1</sup>) + N fertilizante (kg ha<sup>-1</sup>).

CRA se calculó con la siguiente formula

$$\text{CRA (mm cm}^{-1}\text{)} = \sum ((\text{C.C.}-\text{PMP}) \times \text{DAP}) / \text{Prof.}$$

Donde C.C.: capacidad de campo (CC) en (%). PMP: punto de marchitez permanente (PMP) en (%). DAP: densidad aparente en (g cm<sup>-3</sup>), Prof.: profundidad del horizonte en (cm).

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

En cada capítulo los resultados de los ensayos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA y las diferencias entre medias a partir del test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Se utilizó el método de correlación de Pearson.

Para el análisis multivariado se utilizó el método de análisis de componentes principales, las variables que se utilizaron fueron RpN (%), P, pH, MO, Índice de MO sobre Limo + Arcilla (IMO), PP ocurridas entre la Siembra y el Secado del CC y PP+ AET Inicial formada por Agua edáfica inicial mas PP ocurridas entre la siembra el secado del CC, N inicial: N-NO<sub>3</sub> inicial compuesto por el N-NO<sub>3</sub> al momento de la siembra del CC y el N aportado por el fertilizante, y BA del CC.

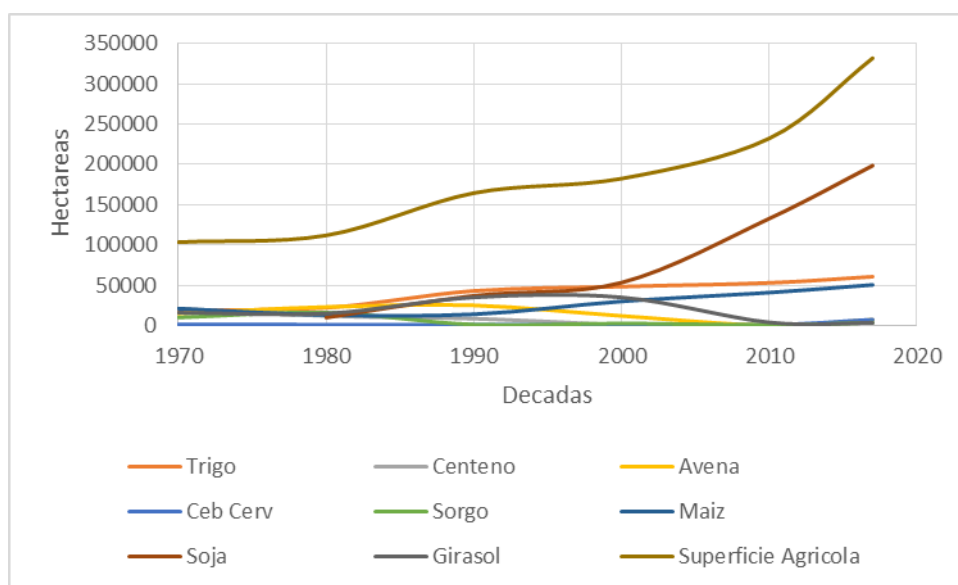
Se utilizó el Software Estadístico Infostat Versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2016).

## CAPÍTULO II SITIO LINCOLN.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### MARCO PRODUCTIVO ZONAL.

La superficie agrícola del Partido de Lincoln se expandió de 106.000 ha en 1970 a 331.000 ha en 2017, pasando de ocupar del 18% al 57% del área. Este proceso significó un cambio cuantitativo y cualitativo en cuanto a la participación de cada uno de los cultivos. El proceso de agriculturización se consolidó con predominio de la soja a partir de la década del 2000 y si bien de 1970 no hay registros de lotes sembrados con soja en 2017 esta alcanza las 198.500 ha, (Fig. 9).



*Fig. 9: Evolución de la Superficie Sembrada por Cultivos y Área Agrícola en el partido de Lincoln (fuente Datos.gob.ar 2020).*

Los cultivos invernales fueron reduciendo su participación en la rotación. Sin embargo la superficie de trigo se mantuvo constante desde la década de 1980, en términos relativos no acompañó la evolución de la superficie agrícola y en mismo periodo la avena fue perdiendo superficie.

De los cultivos estivales el girasol fue de los cultivos que perdió superficie. El maíz mantiene una tendencia a aumentar la superficie desde la década de 1980, menor a la mostrada por la soja.

Tomando a la superficie agrícola total del partido como una unidad productiva podríamos definir la rotación agrícola actual. Se observa que en la última década la rotación tuvo 6 años de Soja, 2 años de trigo y 2 años de maíz. En esta rotación teórica la inclusión de CC en invierno es totalmente factible, ya que 8 de cada 10 años los suelos pasan el invierno como Bch.

### **CARACTERIZACIÓN EDÁFICA SITIO LINCOLN.**

La Unidad Cartográfica en que está ubicado el sitio muestral es Ortiz de Rosas 24 (Or 24) (Fig. 10). El tipo de unidad es Complejo. El paisaje característico son amplias planicies con hasta 2 % de cubetas (Fig. 10).

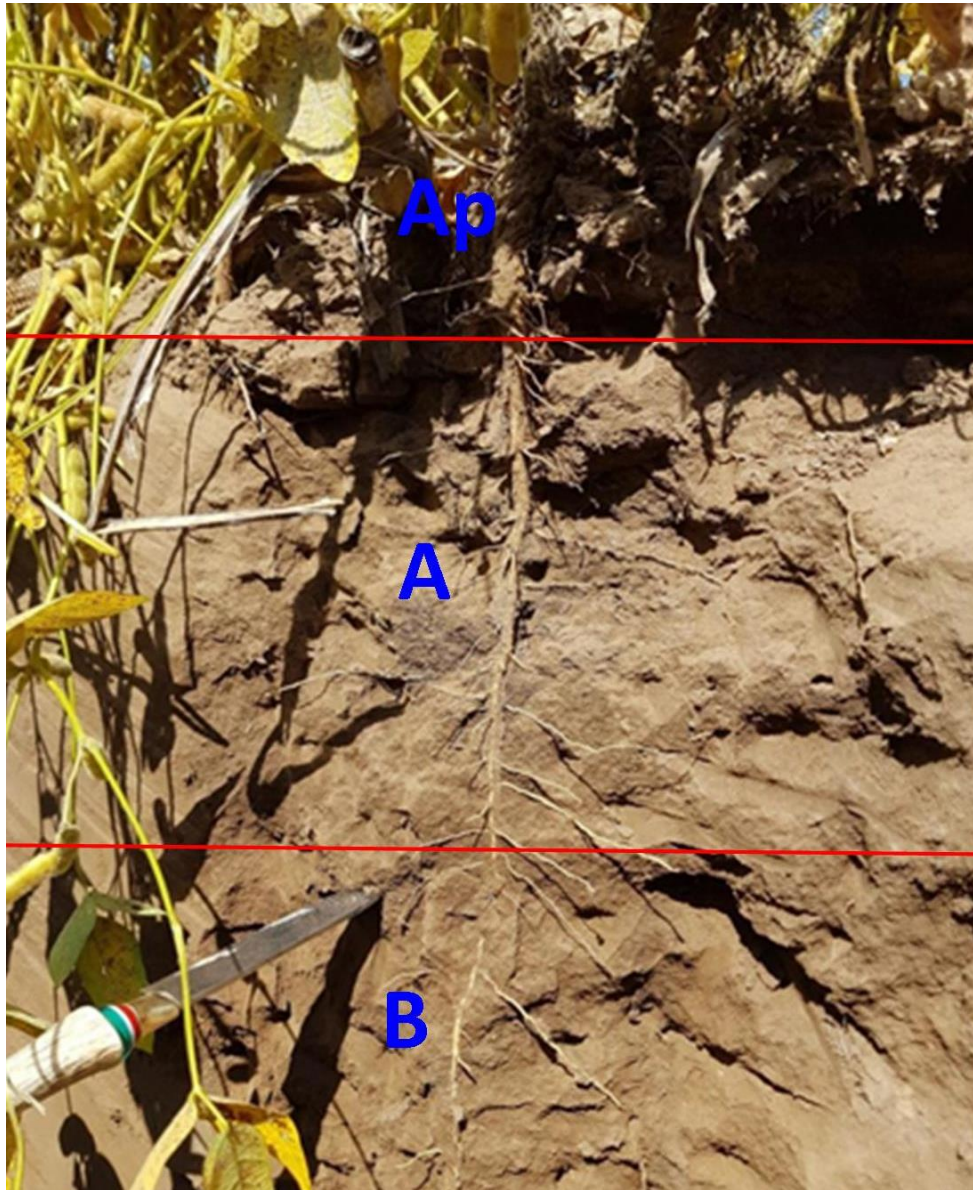
Los componentes Taxonómicos son Serie Ortiz de Rosas 70% que se clasificó como Hapludol Thapto Argico ubicados sobre tendidos altos, Norumbega 20% se clasificó como Hapludol Entico ubicado en las lomas y la serie Estación Naón 10% se clasificó como Hapludol Típico y se ubica en las media loma baja.



*Fig. 10: Mapa extraído carta de suelos de INTA escala 1:50.000.*

La descripción de la calicata se corresponde con la serie Estación Naón, la cual se ubica en la posición loma. El suelo presenta algo excesivamente drenado, escurrimiento medio, permeabilidad moderadamente rápida. Las limitaciones de uso del suelo son la baja retención de humedad y baja capacidad de intercambio catiónico.

Presenta Capacidad de uso II-S e Índice de productividad según región climática 77(A), 73(B), 69(C).



*Fig. 11: Perfil de la calicata sitio Ln.*

La calicata en el sitio muestral (Fig. 11) se realizó sobre la media loma, con pendiente baja a muy baja, sin limitaciones en profundidad hasta los 200 cm de profundidad. Dentro del área de ensayo, se detectó presencia de tosca entre los 60-100 cm de profundidad, en forma de eflorescencias puntuales, que abarcan poca superficie, no llegando a cubrir la superficie de la parcela.

En la tabla 1 se presentan las principales características del perfil.

El Horizonte Ap (Fig. 11) de 8 cm de profundidad, tiene estructura en bloques que rompe a laminar. De textura franco arenosa y muy buen contenido de MO. La CRA es de 1,48 mm cm<sup>-1</sup> (Tabla 1)

El Horizonte A2 (Fig. 11) es de 17 cm de espesor, con estructura en bloque, de textura franco arenoso, con buen contenido de MO y un IMO de 7,4. La CRA de 1,17 mm cm<sup>-1</sup> (Tabla 1).

El Horizonte B (Fig. 11) de 21 cm de profundidad con estructura que rompe en bloque. De textura franco arenosa y una CRA de 1,17 mm cm<sup>-1</sup>(Tabla 1).

El Horizonte BC (Fig. 11) de 22 cm de profundidad con estructura que rompe en bloque, de textura franco arenoso y una CRA de 1,23 mm cm<sup>-1</sup> (Tabla 1)

El horizonte C posee una estructura masiva, con textura franco arenoso y la CRA es de 1,09 mm cm<sup>-1</sup>.

*Tabla 1 Datos analíticos de la calicata sitio Ln: profundidad (cm). MO (%), arcilla (%), limo(%), arena (%), P: (ppm), P.M.P (%), C.C. (%), D.A.P (gr cm<sup>-3</sup>).*

Horizonte	Ap	A2	B	BC	C
Profundidad (cm)	0-8	8-25	25-46	46-68	68+
MO (%)	3,93	2,72	1,45	0,52	0,31
Arcilla (%)	6	8	14	15	13
Limo (%)	27	28	23	16	14
Arena (%)	66	63	62	68	72
pH	5,42	5,61	6,04	6,25	5,48
P (ppm)	11,2	5,1	4,2	2,5	7,9
P.M.P (%)	9,5	9	9,2	7,8	6,1
C.C. (%)	21,5	18,4	18	16,6	13,7
D.A.P (gr cm <sup>3</sup> )	1,23	1,25	1,32	1,40	1,44

A los 220 cm profundidad se halla el manto de tosca. A partir de los 78 cm de profundidad se observa presencia de moteados de Manganeseo que denotan la presencia de anoxias temporarias, debido al ascenso del nivel freático, lo que podría asumirse como un régimen acuicó. La CRA hasta los 200 cm de profundidad es de 227 mm.

Al momento de la caracterización el nivel freático se registró a los 180 cm de profundidad, el ascenso capilar se describió hasta 80 cm por encima del nivel freático.

### CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE SITIO LINCOLN.

La T° media anual es 15.5 ° C en Coronel Martínez de Hoz. El mes más frío es julio con una T° media de 3 °C y el mes más cálidos es Enero con 31°C de T° media (<https://es.climate-data.org>).

La PP media anual para el periodo 1985-2015 fue de 996 mm, con un promedio histórico para el periodo Abril-Septiembre de 290 mm, para el mes de Octubre de 119 mm y para el periodo Noviembre-Marzo de 588 mm. Para la campaña 2015-2016 en el periodo Abril- Septiembre llovieron 530 mm, en Octubre llovieron 67 mm y para el periodo Noviembre 2015-Marzo 2016 se registraron 489 mm. En total en la campaña Abril 2015- Marzo 2016 las PP alcanzaron los 1086 mm algo superior a la media histórica, con un invierno húmedo (Fig. 12).

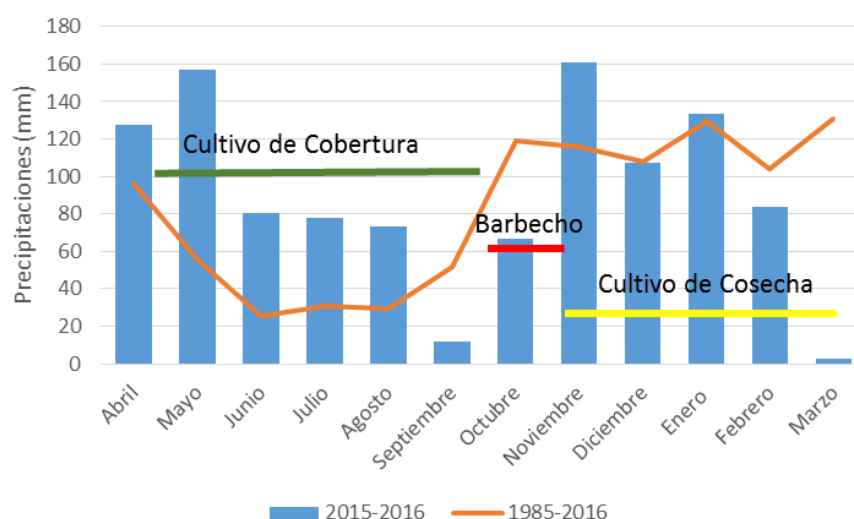
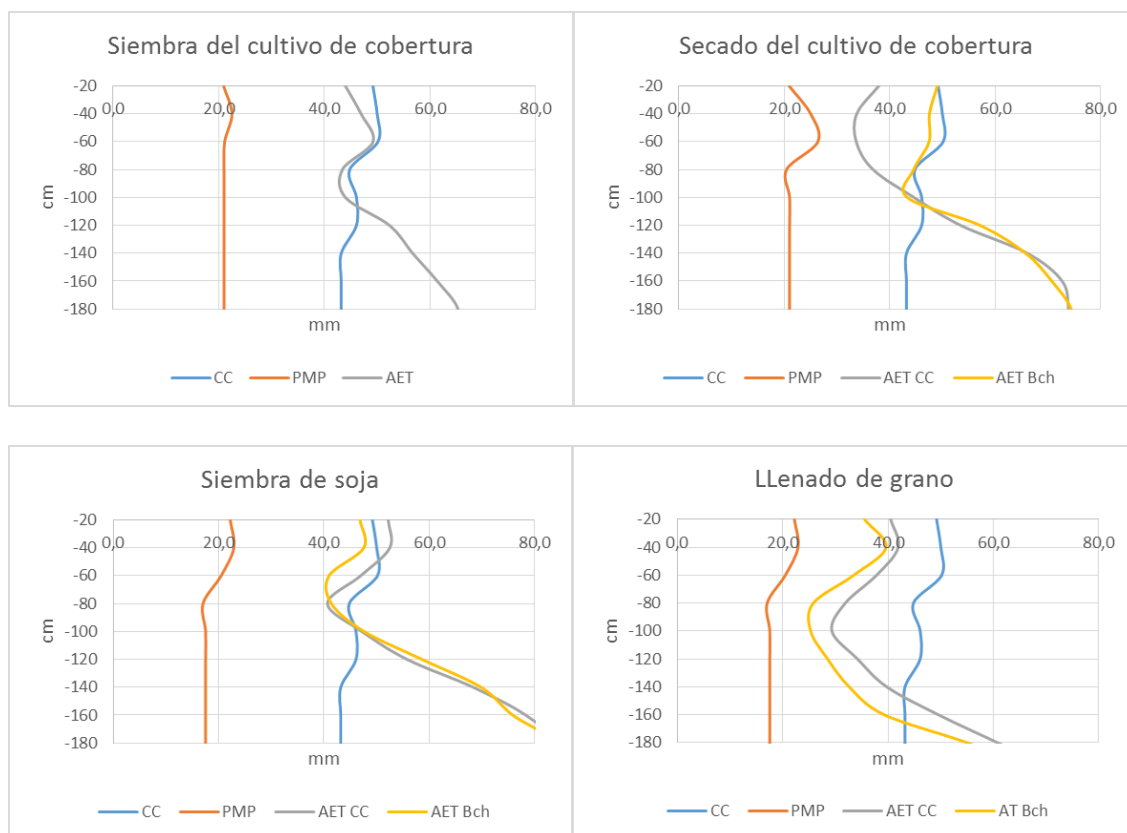


Fig. 12: Ocupación del lote en la campaña 2015-2016, precipitaciones campaña 2015-2016 y precipitaciones históricas periodo 1985-2015.

## PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CONSUMO DE AGUA.

El AET hasta los 2 metros de profundidad al momento de la siembra de los CC fue de 528 mm, en este momento todo el perfil se encontraba por sobre la C.C. (Fig. 13). El stand de plantas de centeno logradas no difirió entre tratamientos y fue de 250 pl m<sup>2</sup>.



*Fig. 13: Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio Ln. CC: capacidad de campo. PMP: Punto de marchitez permanente. AET: agua edáfica total. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos de cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra del cultivo de cosecha y llenado de grano.*

Las precipitaciones ocurridas desde la siembra hasta el secado de los CC fueron de 205 mm. Al secado no se hallaron diferencias en el contenido de AET entre los tratamientos ( $p=0.05$ ) (Tabla 2), en tanto que se puede considerar que existe una tendencia a mayores contenidos de agua en el Bch vs el CC (Fig. 13) siendo el nivel freático el responsable de que no haya diferencias entre tratamientos. Esto coincide

con lo reportado por Scianca *et al.*, (2010) para la zona de Gral. Pinto, la presencia del nivel freático cercano a la superficie y régimen de lluvia superior a la media, no encontraron diferencias en el contenido de humedad entre CC y Bch al momento del secado.

La producción de BA del CC mostró tendencia a diferenciar entre tratamientos ( $p=0,09$ ) según los niveles de fertilización N. La producción de BA obtenida se corresponde con los valores reportados para Gral. Pinto por Scianca (2010) en un ambiente similar.

Al momento del secado del CC y a la siembra del CCh el AET no mostro diferencias significativas (Tabla 2) entre los tratamientos, posiblemente debido a la cercanía del nivel freático a la superficie y el registró de precipitaciones superiores a la media..

*Tabla 2 Resumen 1 Sitio Lincoln. BA-CC: biomasa aérea cultivo de cobertura (kg MS ha<sup>-1</sup>). RTO: rendimiento en grano del cultivo de cosecha (soja) (kg ha<sup>-1</sup>); AET Sec: agua edáfica total al momento del secado del cultivo de cobertura (mm). AET Sie: agua edáfica total al momento de la siembra del cultivo de cosecha (mm); AET PC agua edáfica total en el periodo crítico del cultivo de cosecha (mm). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ).*

Tratamientos	BA-CC	RTO	AET Sec	AET Sie	AET PC
Bch		4798a	571 a	597a	356a
0N	6653b	5252a	543 a	606a	353a
40N	8600ab	5455a	524 a	608a	407a
80N	9107ab	5005a	520 a	620a	450a
120N	9867a	5110a	521 a	607a	454a
	$p=0,09$	$p=0,81$	$p=0,05$	$p=0,84$	$p=0,32$
	CV=12	CV=13	CV=3	CV=4	CV=18

El UC-CC no mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3) y no se correlacionó con la producción de BA-CC. En las condiciones de este estudio (con



presencia de napa cercana) al realizar un balance de agua con el UC, se puede cometer el error de asumir que toda el agua que excede la sección evaluada fue evapotranspirada, o que provino de las precipitaciones (Scianca 2010).

Los valores medios de EUA no permitieron evidenciar diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). Presentando en promedio un valor medio de  $42 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  (Tabla 3), similar a lo reportado por Scianca (2010) en Gral Pinto con valores entre  $54$  y  $37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ .

El CH del CC no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización y el promedio fue de  $44 \text{ mm}$  (Tabla 3). Es importante destacar que este CH representa una pérdida neta de agua del sistema, lo cual juega un papel importante en el balance hídrico invernal, estos  $44 \text{ mm}$  representan aproximadamente  $10 \text{ cm}$  menos de nivel freático del CC respecto del Bch.

*Tabla 3: Resumen 2 sitio Lincoln. UC-CC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). UC-CCh: uso consuntivo de los cultivos de cosecha (CCh) (mm). EUACC: eficiencia uso de agua del CC ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ). EUAG: eficiencia uso de agua para la producción de grano del cultivo de cosecha ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ); CH: costo hídrico del cultivo de cobertura (mm). EB: eficiencia de barbecho. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ).*

Tratamiento	UC-CC	UC-CCh	EUACC	EUAG	CH	EB
Bch		645 a		7,6a		17b
0N	190a	633a	36a	8,5a	28a	40a
40N	210a	671a	42a	8,1a	49a	56a
80N	213a	655a	43a	7,7a	51a	63a
120N	212a	614a	47a	8,3a	50a	56a
	$p=0,56$	$p=0,44$	$p=0,37$	$p=0,87$	$p=0,56$	$p>0,01$
	CV=10	CV=5	CV=16	CV=17	CV=49	CV=31

Las PP entre el secado del CC y la siembra del CCh fueron de  $159 \text{ mm}$ . Al momento de la siembra del CCh el AET no presentó diferencias significativas (Tabla 2)

entre los tratamientos y el promedio fue de 608 mm. Scianca (2010) trabajando con centeno como CC hallaron resultados similares en la zona, donde el AET a la del CCh fue similar entre CC y Bch.

La EB entre secado CC y siembra del CCh mostró diferencias significativas, (Tabla 3) entre los tratamientos Bch y CC, pero no entre estos. Durante este periodo de Bch las coberturas son más efectivas para administrar las lluvias que el Bch desnudo (Fernández *et al.*, 2005).

### **DINÁMICA DE NITRÓGENO.**

Al momento de la siembra de los CC la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> en promedio fue de 113 kg ha<sup>-1</sup>. Asociado a texturas medias (50% L+A) permitió obtener valores alto de IMO (superior a 7). Posiblemente los valores altos de disponibilidad de N a la siembra sean debido a valores de IMO superiores a 5 (Quiroga *et al.*, 2006).

Valores altos de IMO y N-NO<sub>3</sub> a la siembra del CC, no permitieron observar diferencias significativas en RpN en las dosis crecientes de N evaluadas y en promedio fue de 41%.

Al momento del secado del CC el contenido de N-NO<sub>3</sub> no mostró diferencias significativas entre tratamientos y fue en promedio de 71 kg N ha<sup>-1</sup>. Scianca (2010) en Gral. Pinto trabajando con centeno, avena y raigrás como CC encontró que el Bch siempre se caracterizó por tener un mayor contenido de N en el suelo, que los demás tratamientos evaluados con CC, esto lo atribuye a que el tratamiento testigo permaneció durante el periodo de Bch libre de vegetación viva.

El % de N en BA mostró diferencias significativas (Tabla 4) entre los tratamientos, encontrando mayores niveles en BA en función creciente de dosis de N incorporado (Fig. 14). Corbalán & Pelletier (2018) reportaron en centeno que la fertilización N incrementó en forma significativa el % de N (expresado en % de Proteína Bruta) respecto al centeno sin fertilizar.

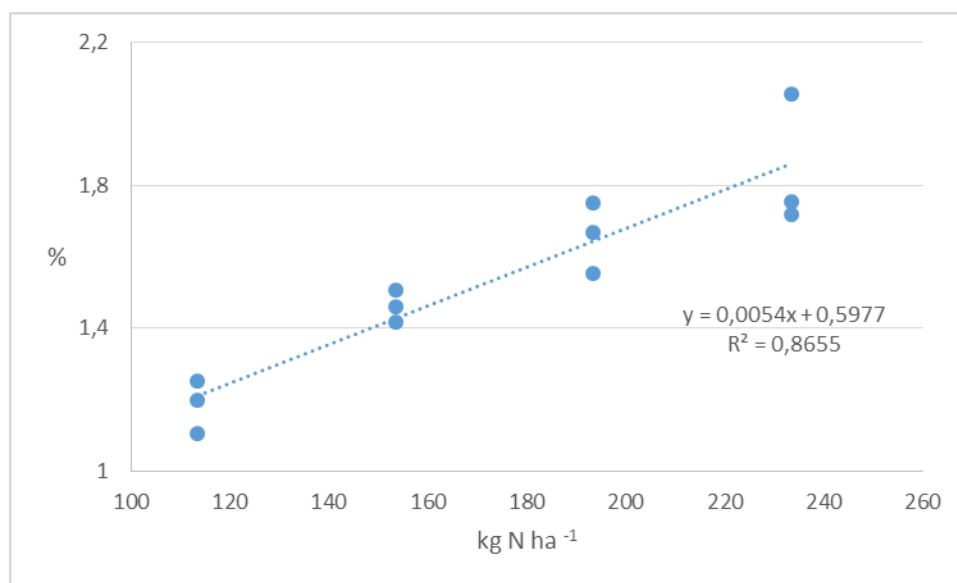


Fig. 14. Porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea en función del nitrógeno inicial (S+F). Sitio Lincoln.

La cantidad de N registrada en BA-CC también mostró diferencias significativas entre los tratamientos, las mayores dosis de N acumularon mayor cantidad de N (Tabla 4).

Tabla 4: Resumen 3 Sitio Lincoln. N-NO<sub>3</sub> Sec: nitrógeno de nitratos al momento del secado del cultivo de cobertura hasta 1 m de profundidad (kg N ha<sup>-1</sup>). N % CC: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura; N-CC: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg N ha<sup>-1</sup>) N % CCh: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cosecha. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ).

Tratamiento	N-NO <sub>3</sub> Sec	N % CC	N-CC	N % CCh
Bch	85a			3,2a
0N	56a	1,19c	78b	3,5a
40N	55a	1,5bc	133ab	3,2a
80N	78a	1,7ab	142a	3,3a
120N	81a	1,8a	183a	3,2a
	p=0,46	p<0,01	P<0,01	p=0,44
	CV=35	CV =7	CV =14	CV=7

La relación C:N de la BA-CC al momento del secado mostró diferencias significativas entre los tratamientos, a mayor dosis de fertilizante menor es la relación C:N (Tabla 5).

La cantidad de C fijado en BA también respondió positivamente a la fertilización N como consecuencia de la mayor BA producida. Mayores dosis de N posibilitaron ser más eficiente en la captura de C, esto implicaría poder mejorar los balances de carbono en los sistemas con alta frecuencia de soja o cultivos de bajos aportes de rastrojo (Tabla 5).

La EUN presento una tendencia a decrecer a medida que la dosis de N se incrementa (Tabla 5) y el ERN fue menor en la medida que la dosis de N aumenta (Tabla 5). Scianca (2010) en Gral. Pinto reporta que los contenidos de N en BA del centeno variaron entre 100-275 kg N ha<sup>-1</sup> debido a la BA producida.

*Tabla 5: Resumen 4 sitio Lincoln. EUN-CC: eficiencia de uso nitrógeno del cultivo de cobertura (kg BA kg<sup>-1</sup> N); C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C-CC: contenido de carbono de la biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). ERN: eficiencia de recupero de nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p≤0,05).*

Tratamiento	EUN CC	C:N	C-CC	ERN
0N	59a	39a	3084b	
40N	56a	35ab	3947ab	0,93a
80N	47a	28bc	4238 ab	0,69a
120N	42a	25c	4521a	0,73a
	p=0,55	p>0,01	p=0,09	p=0,55
	CV=13	CV=9	CV=12	CV=11

#### **IMPACTO DEL CC SOBRE EL AGUA, N EN EL CCH Y SU PRODUCTIVIDAD.**

Las lluvias desde la siembra hasta el Periodo Crítico (PC) del CCh fueron de 353 mm. En el PC, el AET no mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2), coincidiendo con los datos reportados por Scianca, (2010). La producción de BA de la soja hasta el PC no presento diferencias significativas, siendo el promedio de 3832 kg ha<sup>-1</sup>.

En el PC del CCh el contenido de N-NO<sub>3</sub> no presentó diferencias entre los tratamientos, siendo el promedio de los mismos de 21 kg N ha<sup>-1</sup> (Tabla 5). El % N en BA y el N BA kg ha<sup>-1</sup> no mostraron diferencias entre los tratamientos, siendo el promedio de 3,2 % de N y 124 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabla 5). En buena condición de suelo (IMO > 7) y humedad se confirma que en general no existe relación estrecha entre los contenidos de agua en suelo y NO<sub>3</sub> al momento de secar los CC y su influencia sobre el cultivo siguiente (Scianca, 2010; Álvarez *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2007).

El rendimiento en grano de soja no registró diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2), siendo el promedio de 5124 kg ha<sup>-1</sup>. Scianca (2010) reporta rendimientos de soja entre 4990 y 5418 kg ha<sup>-1</sup>, no registrándose diferencias significativas entre los tratamientos Bch y CC. Álvarez *et al.*, (2017) en la región pampeana, concluye que el rendimiento de la soja fue mínimamente afectado (-2%) por la inclusión de CC invernales, asumiendo que ni la reducción de los NO<sub>3</sub> del suelo, ni del agua disponible tuvo impacto en rendimiento de la soja.

## **CONCLUSIONES.**

La alta frecuencia de cultivo de soja en las secuencias típicas de la región (8 de cada 10 años) generan un espacio factible de intervención con CC en los extensos barbechos invernales.

En condiciones de año húmedo y presencia de napa (oferta hídrica no limitante) el CC respondió positivamente a la fertilización con N, incrementando la producción de BA de manera lineal en el rango de dosis evaluadas.

En años con altas precipitaciones, que mantiene el nivel freático cercano a la superficie (1 m) durante el desarrollo del CC, no permitió registrar diferencias significativas en el UC de los distintos tratamientos de los CC.

El CH de 44 mm respecto del testigo impactó bajo este régimen hídrico en una disminución del nivel freático de 10 cm. Este efecto a nivel de cuenca podría mitigar recargas importantes de meses de primavera disminuyendo la contribución directa al nivel freático. No obstante, es necesario destacar que los CC tienen muy baja o nula capacidad de amortiguar efectos extremos, como puede ser una inundación o deprimir napa, pero contribuyen al efecto buffer del sistema al secar los primeros cm de suelo durante su crecimiento.

La práctica de fertilización N incremento la concentración (%) y el contenido total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) linealmente en función a la dosis de N aplicada. Permitiendo observar menores relaciones C/N, lo cual podría mejorar la tasa de mineralización del residuo.

La práctica del CC no impacto sobre la productividad de BA en el PC ni en el rendimiento en grano del cultivo de soja.

### CAPITULO III SITIO TRENQUE LAUQUEN.

#### RESULTADO Y DISCUSIÓN.

##### MARCO PRODUCTIVO ZONAL.

En la década de 1970 la superficie con cultivos anuales alcanzaba el 50% del área del partido, la cual era dominada por el centeno, como verdeo de invierno y el trigo era el principal cultivo de cosecha. Las inundaciones recurrentes que se sucedieron a partir de 1973, con su pico en 1986 hicieron disminuir el área bajo agricultura hasta mediados de la década del 2000. Desde este momento la superficie agrícola comienza un proceso de recuperación y expansión llegando en 2017 a ocupar el 72% del área del partido (Fig.16).

Esta expansión de la superficie agrícola se dio fundamentalmente por el aumento del área sembrada con soja. Esta desplaza principalmente al girasol y las pasturas base alfalfa (Medicago Sativa L). El maíz en la última década también ha mostrado un fuerte aumento del área sembrada. Los cereales de invierno mantienen un área similar en las últimas campañas, y la cebada tiene una mayor participación compitiendo y desplazando al trigo en superficie sembrada.

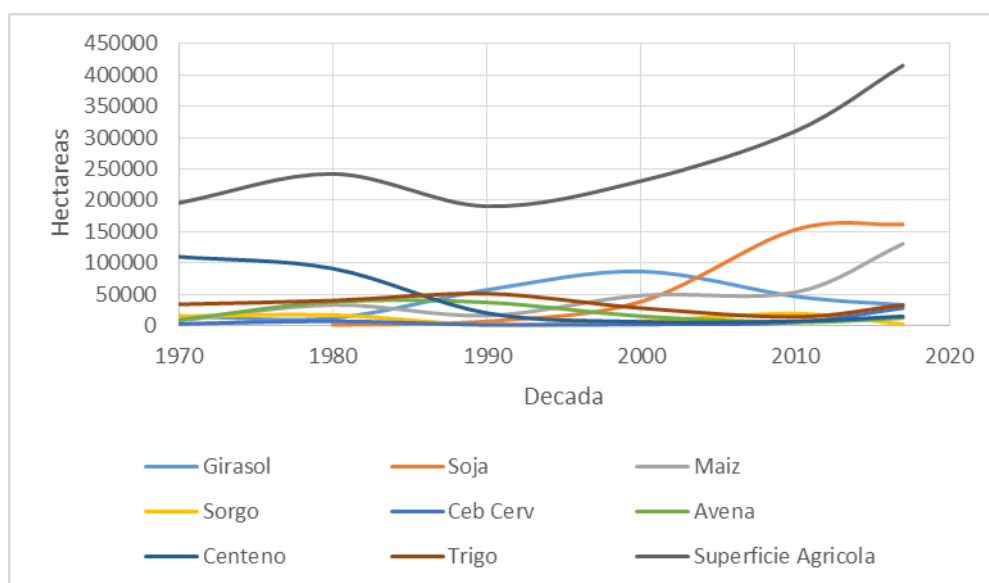
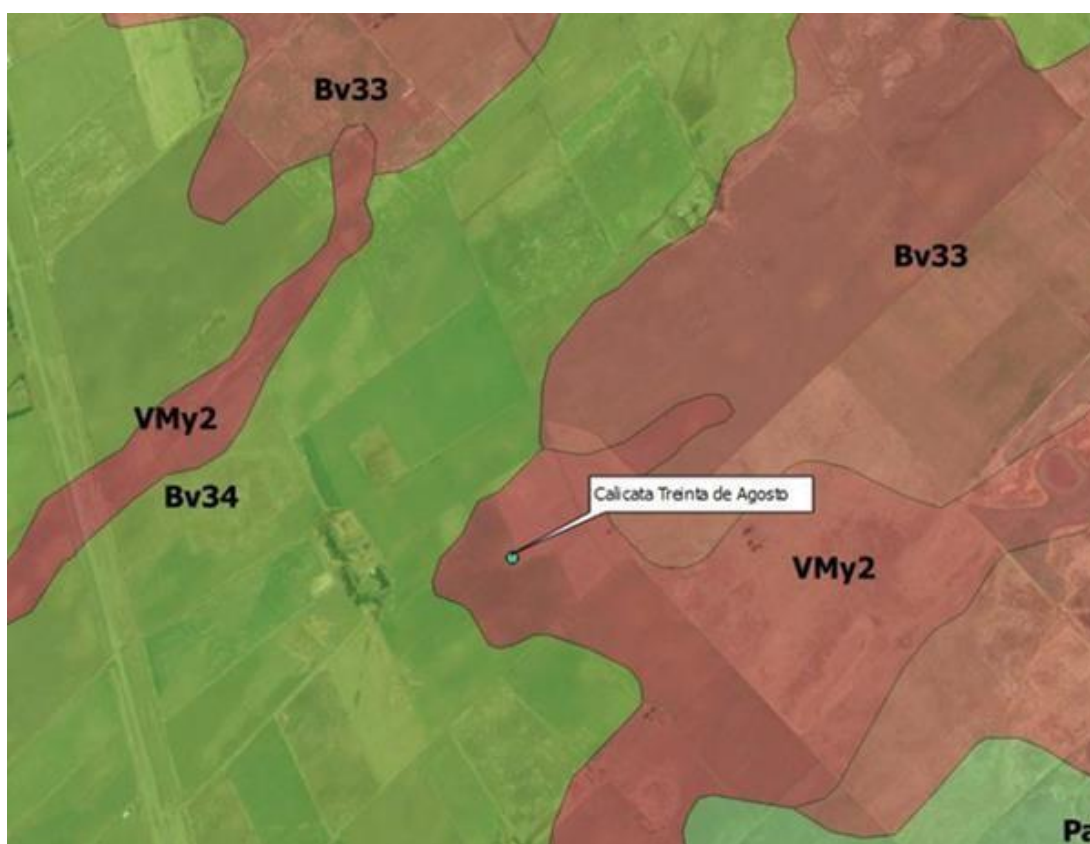


Fig. 15: Evolución de la superficie sembrada por cultivos y área agrícola en el partido de TL (fuente Datos.gob.ar 2020).

De acuerdo a la proporción relativa de los cultivos, la rotación en el área agrícola en 10 años del partido es de 4 años de soja, 3 años maíz, 1 año girasol, 1 año trigo y 1 año de cebada. Este partido se caracteriza por la fuerte presencia del sector lechero, por lo que hay que tener en cuenta que una importante proporción del área de maíz es destinada a ensilaje. En este contexto los CC tienen una gran oportunidad de ser incluidos en la rotación, ya que 8 de cada 10 años durante el invierno los lotes agrícolas se encuentran en Bch.

### **CARACTERIZACIÓN EDÁFICA SITIO TRENQUE LAUQUEN**

La Unidad Cartográfica en la que se encuentra el sitio muestral corresponde a 25 de Mayo 2 (VMy 2) (Fig. 16). El tipo de Unidad es Asociación, caracterizado por un paisaje de cordones medianosos estabilizados (Fig. 16).



*Fig. 16: Sitio TL mapa de carta de suelos de INTA escala 1:50.000.*

Componentes taxonómicos: 25 de Mayo (50%) se clasificó como Udipsament típico, ubicado en el pico de loma. Piedritas (40%) Hapludol Éntico, ubicado en los



sitios plano intermedanosos, Pirovano (10%) se clasificó como Udipsament Thapto Molico, ubicado en la media loma.

El relieve en la zona donde se realizó la calicata del sitio muestral está ubicada sobre cubeta de deflación amplia sobre el cordón medanoso. Este presenta microlomas y microdepresiones, en un macro ambiente de lomas arenosas, correspondiente a la formación típica de los médanos parabólicos.

*Tabla 6: Datos analíticos de la calicata sitio TL. Profundidad (cm). MO (%), arcilla (%), limo (%), arena (%), P: (ppm), P.M.P (%), C.C. (%), D.A.P (gr cm<sup>-3</sup>).*

Horizonte	AP	IIA1	AC	C
Profundidad (cm)	0-15	15-33	33-52	52- +
MO (%)	1,1	0,97	0,8	0,45
Arcilla (%)	2	4	2	4
Limo (%)	7	10	9	5
Arena (%)	91	86	89	91
pH	5,86	6,11	6,33	6,6
P (ppm)	22,8	3,76	1,7	1,2
P.M.P (%)	3,2	3,9	3,7	3,2
C.C. (%)	8,1	10,7	8,6	8,5
D.A.P (gr cm <sup>3</sup> )	1,4	1,31	1,34	1,40

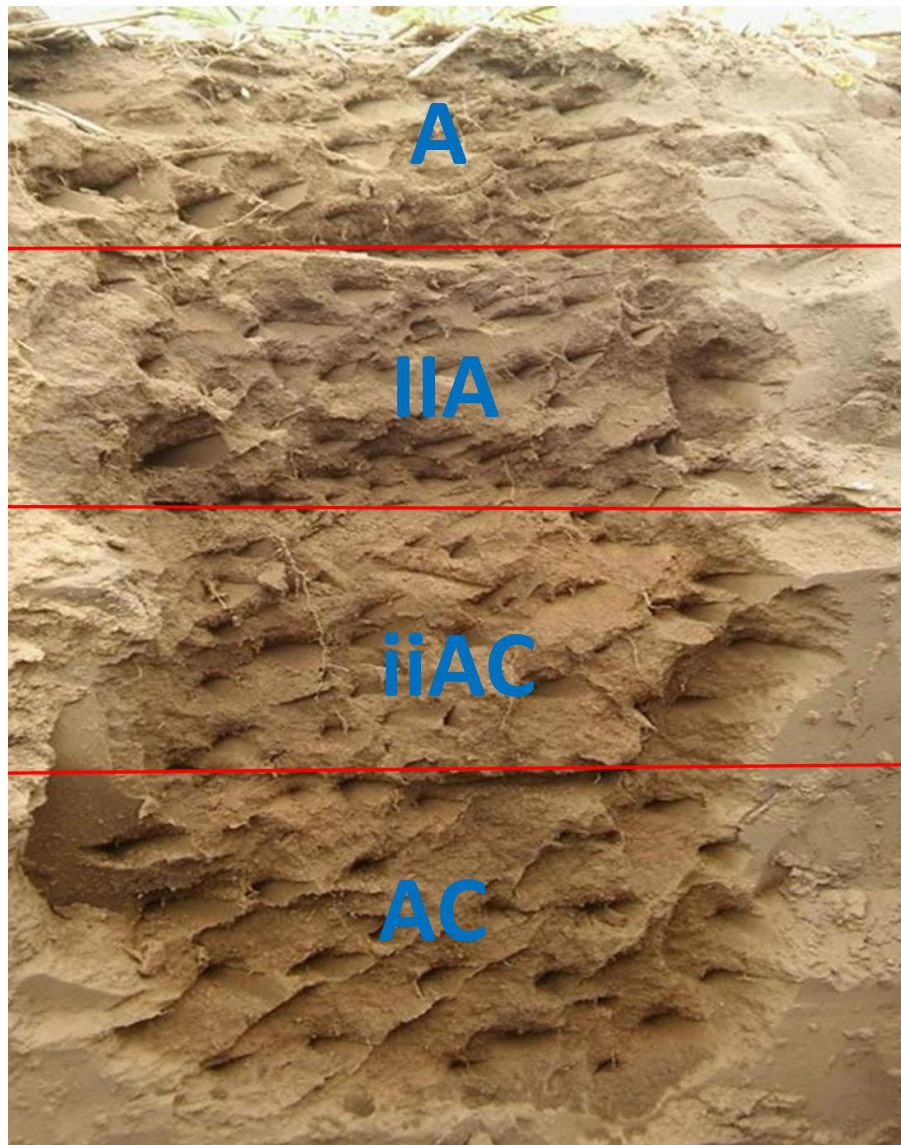
La descripción realizada coincide en los horizontes hallados con la serie Pirovano, descripta en la carta de suelo de INTA 1:50.000 (Fig. 16).

El horizonte AP (Fig. 17) tiene estructura laminar, que rompe en bloques subangulares en los primeros 5 cm. y bloques angulares con planos bien definidos entre los 5 y 15 (cm). Este horizonte de textura arenoso, y un alto contenido de P, con una baja CRA de 0,7 mm cm<sup>-1</sup>. Este horizonte es de origen más reciente al resto del perfil (Tabla 6).

El horizonte IIA1 (Fig. 17) tiene un espesor de 18 cm, es un horizonte enterrado, de textura arenosa franca, con una estructura que rompe en bloques débiles. La CRA es de  $0,9 \text{ mm cm}^{-1}$  y una DAP menor al horizonte superior (Tabla 6).

El horizonte IIAC (Fig. 17) tiene un espesor de 19 cm. de estructura subangular débil. Es un horizonte de transición, con una CRA de  $0,7 \text{ mm cm}^{-1}$  (Tabla 6).

El Horizonte IIC (Fig. 17) es masivo, de textura arenoso. La CRA es de  $0,6 \text{ mm cm}^{-1}$  (Tabla 6).



*Fig.17. Foto calicata sitio TL.*

## CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL SITIO TRENQUE LAUQUEN.

La T° media promedio 1984-2016 es de 15,7 C°. El periodo libre de heladas es de 263 días y el periodo con heladas es de 102 días, la fecha promedio de primera helada es 24/5 y la fecha promedio de última helada es el 2/9. (<https://es.climate-data.org>)

La PP media anual en el periodo 1985-2015 fue de 851 mm, en el periodo Abril-Septiembre de 247 mm, en el mes de Octubre de 93 mm y en el periodo Noviembre-Marzo de 512 mm.

En la campaña 2015-2016, en el periodo Abril-Septiembre (2015) las PP fueron de 211 mm, similares a la media, en Octubre (2015) 57 mm inferior a la media, y el periodo Noviembre (2015)-Marzo (2016) 445 mm, similares a la media.

Se observó buena distribución de las PP en los meses estivales, ya que las lluvias en Enero y Febrero sumaron los 253 mm. En total en la campaña 2015-2016 las PP fue de 749 mm, inferior a la media histórica, pero bien distribuidas (Fig. 18).

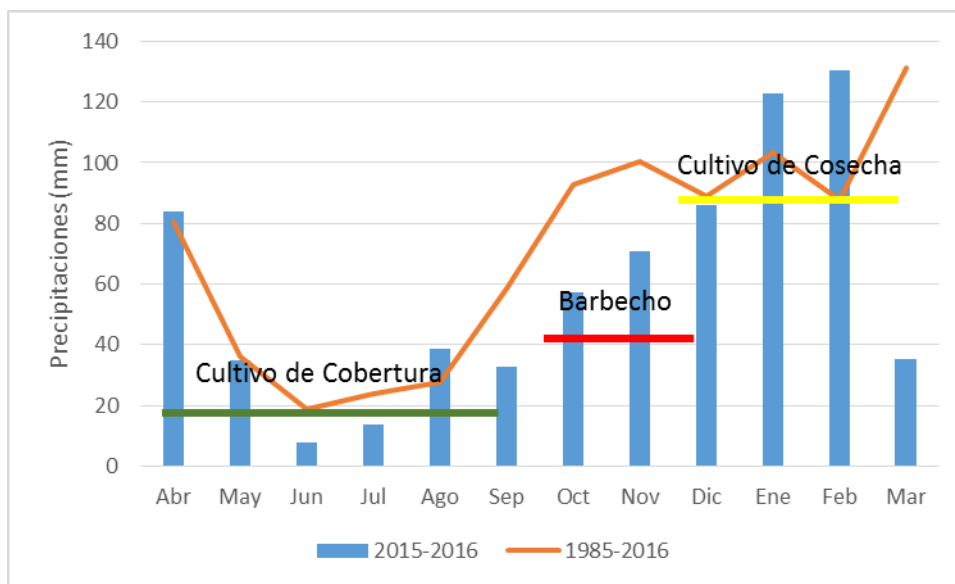
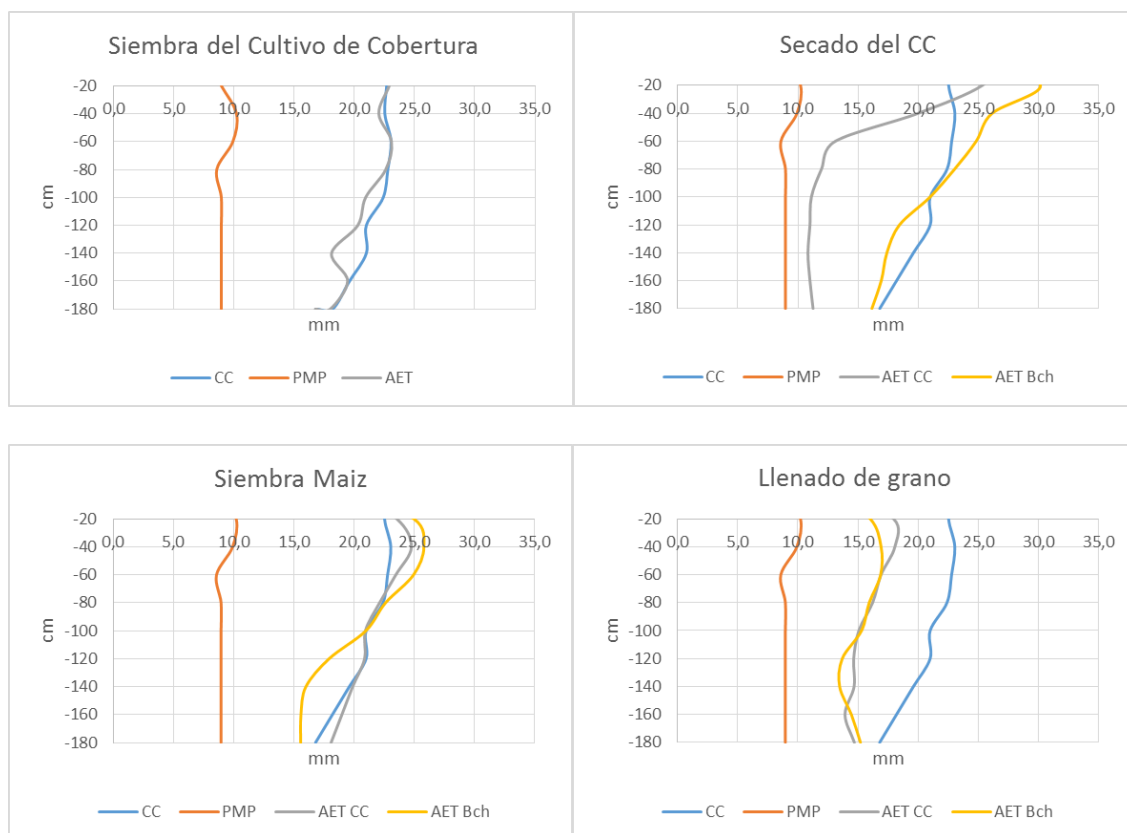


Fig. 18: Ocupación del lote durante el periodo de estudio. PP (2015-2016) y PP histórico (1985-2016) Sitio TL.

## PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CONSUMO DE AGUA.

El contenido inicial de AET al momento de la siembra del CC fue de 194 mm. Esta agua representa el 71 % CRA (Fig. 19).

El stand de plantas logradas fue de 205 pl m<sup>-2</sup> y no difirió entre tratamientos. Entre la siembra y el secado del CC las lluvias registradas fueron de 117 mm. La producción de BA presento diferencias significativas entre tratamientos, registrándose sus mayores valores con las dosis más altas de N (Tabla 7).



*Fig. 19: Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio TL. CC: capacidad de campo. PMP: Punto de marchitez permanente. ATE: agua total edáfica. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra y llenado del cultivo de cosecha.*

El UC del CC varió entre tratamientos y se correlacionó positivamente ( $R^2=0.92$ ) con la BA-CC. (Fig. 20). Mayor fue el UC en la medida que se generó mayor BA, siendo de 34 %, 18 % y 11% el incremento del UC respecto del centeno sin fertilizar para las dosis de 120N, 80N y 40 N respectivamente. Esto evidencia que en ambientes con limitaciones edáficas (Baja CRA) estimular la producción de BA con

fertilización N estimula el UC y puede condicionar la oferta hídrica para el cultivo siguiente.

Hay antecedentes en la bibliografía en donde se cita que la fertilización N estimula el consumo de agua en gramíneas de invierno (Santamaría *et al.*, 2004). Los UC de los CC son algo superiores a los reportados en estudios previos para la zona (103,5 mm) por Varillas *et al.*, (2014).

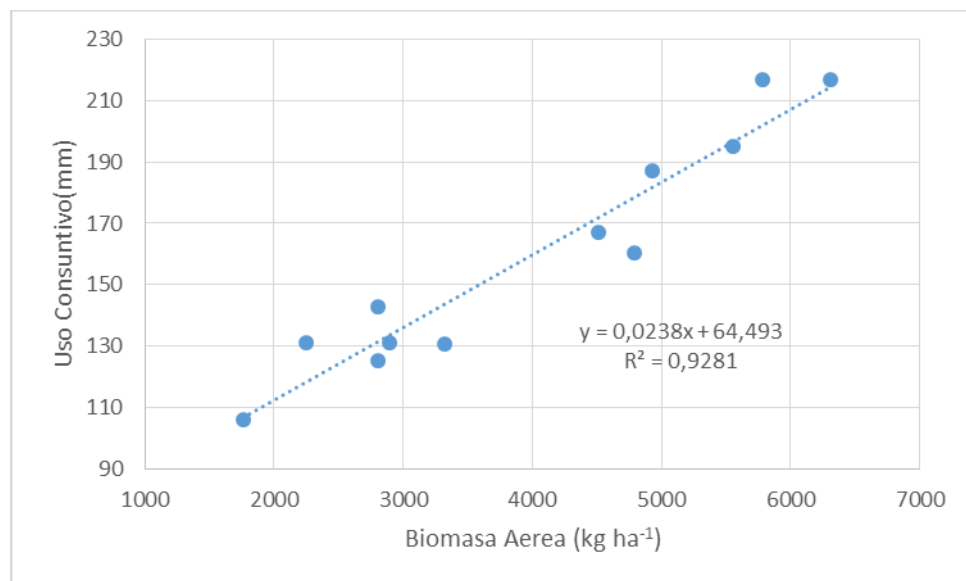


Fig. 20: Uso Consuntivo del cultivo de cobertura (mm) en función de la biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). Sitio TL.

La producción de BA promedio que debería lograrse en un CC para generar impacto sobre malezas, reducir erosión, etc. sería de entre 3500 a 4000 kg MS ha<sup>-1</sup> de BA (Scianca *et al.* 2010, Delgado *et al.*, 2011 Blanco-Canqui *et al.*, 2015), lo cual implicaría un consumo de entre 130 y 160 mm. La fertilización N permitiría alcanzar la BA umbral en menor tiempo y de esta manera reducir el UC, estudios que permitan evaluar el impacto del momento de secado y fertilización sobre la producción de BA y UC son necesarios para minimizar los posibles impactos negativos que los CC podrían tener en estos ambientes sobre la gestión del agua.

El AET al momento del secado del CC presento diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 7), con mayor contenido de AET para el Bch respecto de los tratamientos con CC. Entre los tratamientos de fertilización se observaron menores contenidos de AET en la medida que se incrementó la dosis de N (Tabla 7).

De manera coincidente con el UC, el CH del CC mostró diferencias entre tratamientos (Tabla 8), incrementando en función de la dosis de N (Tabla 8). Resultados de experiencias obtenidos en la región semiárida pampeana muestran que las diferencias en los contenidos finales de agua entre los testigos y los CC variaron entre 30 y 100 mm a favor de los testigos (Fernández *et al.*, 2012b).

*Tabla 7: Resumen 1 sitio TL 1. BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg MS ha<sup>-1</sup>). BA-CCh: biomasa aérea del cultivo de cosecha en madurez fisiológica del maíz (kg MS ha<sup>-1</sup>). Rto: rendimiento en grano del maíz (kg ha<sup>-1</sup>); AET Sec: Agua edáfica total al secado del cultivo de cobertura (mm). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p≤0,05).*

Tratamiento	BA-CC	BA CCH	Rto	AET Sec
Bch		10191a	4373a	220a
0N	3164b	9380a	3348a	172b
40N	3568b	10096a	3775a	159b
80N	3968ab	10135a	3730a	148bc
120N	5206a	10433a	3961a	130c
	p<0,01	p=0,11	p=0,53	p<0,01
	CV=12	CV=4	CV=38	CV=5

La EUA no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 8), siendo el promedio de 24 kg MS mm<sup>-1</sup> (Tabla 8). Esto se debió a que el mayor aporte de N produjo incremento en la BA y en el UCC, en tanto que la EUA se mantuvo constante, sin generar diferencias significativas entre tratamiento. Los valores de EUA reportadas por Varillas *et al.*, (2014) fueron en promedio de 35 kg mm<sup>-1</sup>, en condiciones de PP más restrictivas, en la misma zona.

Desde el secado del CC hasta la siembra del CCh las PP registradas fueron de 228 mm. El AET a la siembra de maíz fue similar entre tratamientos, siendo en promedio de 209 mm (Fig. 19).

Las EB mostraron diferencias significativas (Tabla 8) entre el Bch y CC, pero no entre los tratamientos de N. En estudios previos Varillas *et al.*, (2014) reportaron mayores EB para CC (20%) que en Bch (6%).

Tabla 8 Resumen 2 Sitio TL. UC-CC: Uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). UC-CCh uso consuntivo del cultivo de cosecha Maíz (mm). EUA-CC: Eficiencia uso de agua cultivo de cobertura ( $\text{kg mm}^{-1}$ ). EUA-G: Eficiencia uso de agua en la producción de granos del maíz ( $\text{kg mm}^{-1}$ ); CH: Costo hídrico del cultivo de cobertura respecto del barbecho químico (mm). EB: Eficiencia de barbecho. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ).

TRAT	UC-CC	EUA-CC	UC-CCh	EUA-G	CH	EB
Bch			412a	9,2a		(-7)b
0N	139b	22a	417a	7,0a	47b	17a
40N	152b	23a	419a	7,9a	60b	23a
80N	163ab	24a	410a	7,9a	71ab	26a
120N	181a	29a	419a	8,4a	89a	36a
	p<0,01	p=0,26	p=0,79	p=0,96	p<0,01	p<0,01
	CV=5	CV=17	CV=5	CV=43	CV=13	CV=43

### DINÁMICA DE NITRÓGENO.

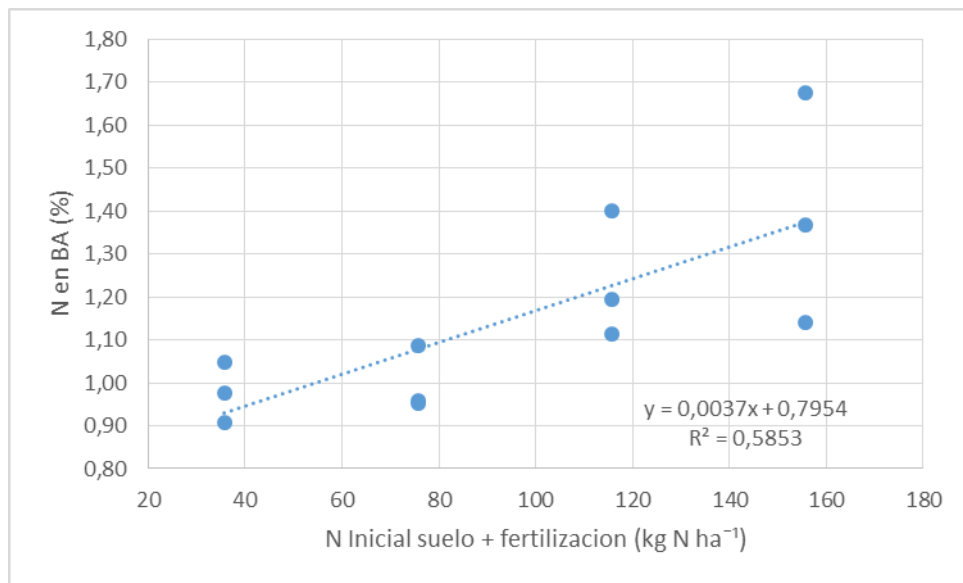
A la siembra del CC en el suelo se registraron  $36 \text{ kg N ha}^{-1}$ . En el secado del CC la disponibilidad de  $\text{N-NO}_3$  mostró diferencias entre el Bch y los CC, pero no entre las dosis de N (Tabla 9).

Al momento del secado del CC el Bch se registraron  $49 \text{ kg N ha}^{-1}$  en el suelo, mientras que en los tratamientos CC sin fertilización se registraron  $32 \text{ kg N ha}^{-1}$  en el suelo y  $31 \text{ kg N ha}^{-1}$  más de N contenido en su BA. Esto es  $63 \text{ kg N ha}^{-1}$  en el sistema CC (sin contar lo retenido por el sistema radicular), una diferencia de  $14 \text{ kg N ha}^{-1}$  respecto del Bch, N que perdió el sistema (Pórtela *et al.*, 2016).

El % de N BA presento diferencias significativas entre tratamientos, a mayor dosis de N se incrementó el % N en BA (Fig. 21). De manera coincidente, los  $\text{kg de N ha}^{-1}$  en BA-CC presentaron diferencias entre tratamientos, siendo mayor la cantidad de N retenido en BA en la medida que aumentó la disponibilidad de N (Tabla 9).

La fijación de  $\text{C kg ha}^{-1}$  en BA presento diferencias significativas entre los tratamientos, diferenciando los niveles bajos (0 y 40N) de los niveles altos de fertilización (80-120N) en función de la producción de BA-CC (Tabla 10).

La relación C:N también mostro diferencias entre tratamientos, diferenciando los tratamientos 0N y 40N de 80N y 120N (Tabla 10), a mayor dosis de N la relación C:N disminuye. En todos los tratamientos la relación C:N halladas son superiores a los umbrales de 25-30, sugeridos por Allison *et al.*, (1966), citado por Fernández *et al.*, (2012b), por sobre los cuales prevalecen los procesos de inmovilización neta sobre mineralización.



*Fig. 21: Porcentaje (%) de N de la BA de CC en función del N Inicial (suelo + fertilización). Sitio TL.*

La EUN mostró diferencias significativas entre tratamientos, disminuyendo en la medida que se incrementó la dosis de N. Como consecuencia de la menor EUN, menor es el ERN (Tabla 10). En consecuencia mayor es la cantidad de N que se pierde al medio y menor la eficiencia de uso del N proveniente del fertilizante.



Tabla 9 Resumen 3 Sitio TL. N-NO<sub>3</sub>-CC: nitrógeno de nitratos al momento del secado del cultivo de cobertura hasta 1 m de profundidad (kg ha<sup>-1</sup>). % N –BA-CC: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura; NCC: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>) N-NO<sub>3</sub>-PC: nitrógeno de nitratos en el periodo crítico del cultivo de cosecha maíz (kg ha<sup>-1</sup>). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05)

Tratamiento	N-NO <sub>3</sub> -CC	% N BACC	N CC	N-NO <sub>3</sub> -PC
Bch	49a			33a
0N	32b	1.0b	31c	36a
40N	31b	1.0b	37bc	30a
80N	37b	1.2ab	50b	27a
120N	35b	1.4a	74a	30a
	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p=0,38
	CV=8	CV=9	CV=12	CV=11

Tabla 10: Resumen 4 Sitio Trenque Lauquen. EUN: eficiencia de uso nitrógeno del cultivo de cobertura (kg BA kg<sup>-1</sup> N); C:N: relación carbono/nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C: carbono en biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). ERN: eficiencia de recuperación de nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos 5%.

Tratamiento	EUN	C:N	C	ERN
0N	89a	48a	1470b	88a
40N	47ab	47a	1659b	48b
80N	34b	38b	1855ab	44b
120N	33b	34b	2441a	48b
	p=0,02	p<0,01	p<0,01	p=0,03
	CV=35	CV=6	CV=13	CV=15

## IMPACTO DEL CC SOBRE EL AGUA Y N EN EL CCH.

En el PC del cultivo de maíz el AET disponible en el suelo fue similar entre tratamientos con un valor promedio de 153 mm (datos no publicados).

En el PC del Maíz no se encontraron diferencias en los N-NO<sub>3</sub> en el suelo. En el mismo sentido no se registraron diferencias en la BA del Maíz en el PC en los parámetros % de N en tejido ( $p=0,45$ ) y el N retenido en BA kg ha<sup>-1</sup> ( $p=0,46$ ), con un promedio de 0.97 % y 121 kg ha<sup>-1</sup> de N en BA.

En este año particular, donde las precipitaciones de enero y febrero fueron apropiadas (Fig. 18), el N es el factor que más limita la producción. En estos suelos con alto contenido de arena, se encontró relación ( $R^2=0,44$ ) entre el N-NO<sub>3</sub> hasta 1 m de profundidad al secado del CC y el rendimiento en grano del maíz (Fig. 22). Sin embargo, no se pudo hallar diferencias significativas en la BA aérea y en el rendimiento del maíz entre los tratamientos Bch y CC, ya que si se hallaron diferencias significativas en los N-NO<sub>3</sub> al momento del secado del CC (Tabla 7).

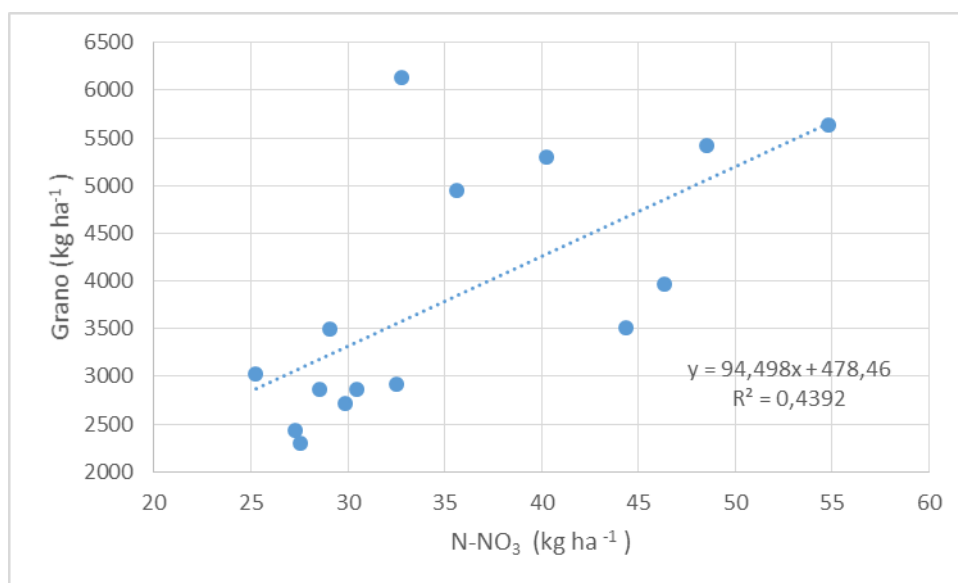


Fig. 22: Rendimiento en grano de maíz (kg ha<sup>-1</sup>) en función del N-NO<sub>3</sub> al momento del secado del cultivo de cobertura. Sitio TL.

## **CONCLUSIONES.**

La baja CRA, la baja MO y la textura arenosa son propiedades particulares de este sitio y condicionantes de los resultados encontrados. Si bien las condiciones del suelo son buenas en función del contenido de MO y textura.

A mayores dosis de N, la disponibilidad de humedad en el suelo fue menor al momento del secado. Se observó que a mayor nivel de fertilización nitrogenada, la producción de BA y UC aumenta para el centeno.

La mayor disponibilidad de N generó mayor BA y retuvo N, el % de N fue mayor y los residuos del CC tuvieron menor relación C:N.

La EUA aumento con la fertilización N, mientras que la EUN y el ERN disminuyeron.

## CAPITULO IV SITIO PEHUAJÓ.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### MARCO PRODUCTIVO ZONAL.

Desde la década de 1970 hasta la actualidad la superficie agrícola se incrementa, pasando a ocupar del 20 al 66% de la superficie del partido, avanzando sobre suelos con baja aptitud agrícola.

La década de 1970 se caracterizó por una distribución más equitativa de la superficie entre los distintos cultivos y con predominio de las gramíneas invernales, donde los verdes de invierno ocupaban una superficie importante (Fig. 23).

En el periodo que va entre la década de 1980 hasta 2000, por las reiteradas inundaciones que sufrió la zona, la superficie se mantuvo estable o incluso tendió a disminuir.

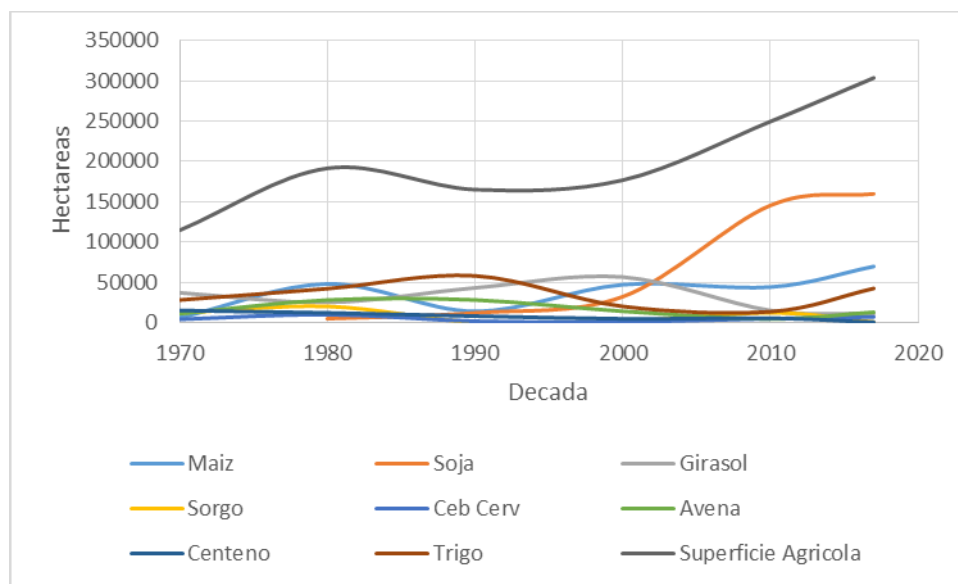


Fig. 23: Evolución de la Superficie Sembrada por Cultivos en el partido de Phj (fuente Datos.gob.ar, 2020).

La rotación actual del área agrícola en el partido en el periodo de 10 años es la siguiente: 5 años con soja, 2 años a maíz, 1 años a girasol, 1 año con trigo o cebada y 1 año con verdeo de invierno. En esta rotación los CC tienen una alta

factibilidad, ya que 8 de cada 10 años los lotes en invierno permanecen desocupados con Bch largos.

### CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SITIO PEHUAJÓ

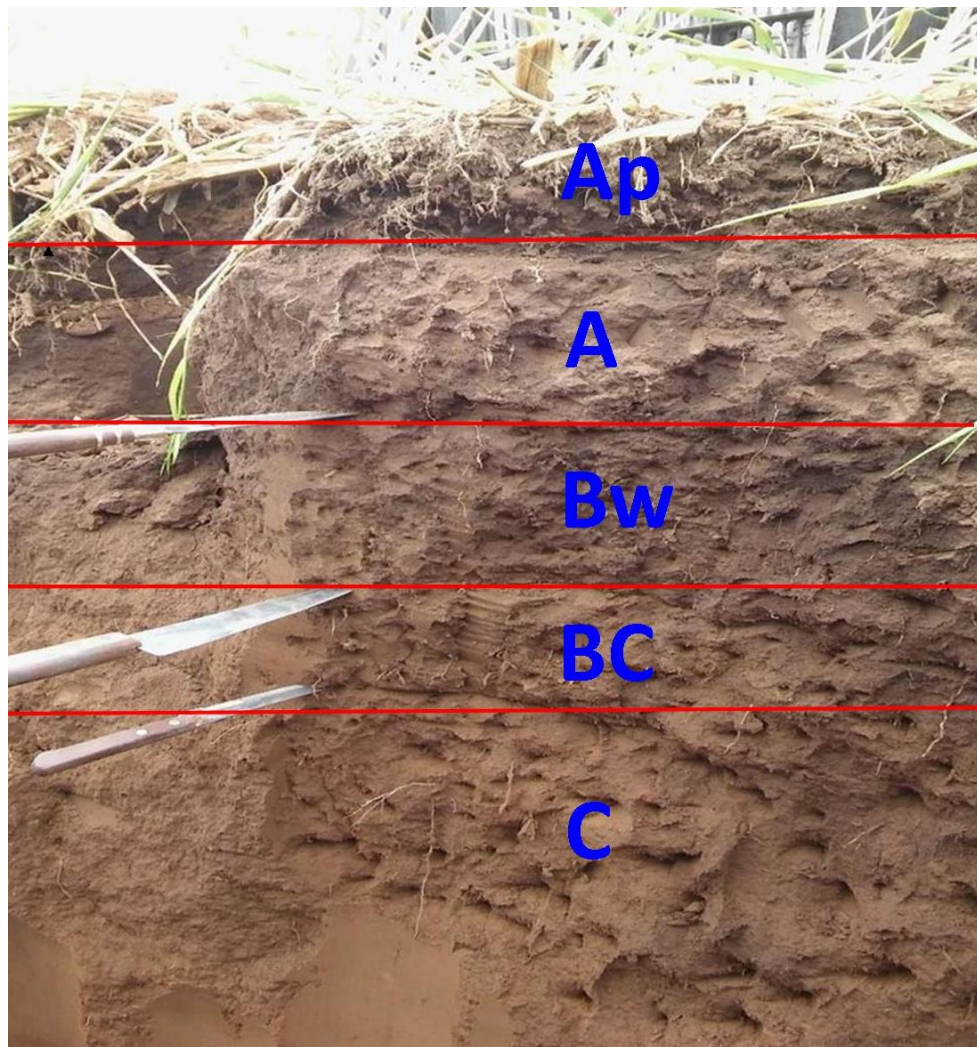
La Unidad Cartográfica en la que está ubicado el sitio muestral se denomina Bolivar 30 (Bv 30). El tipo de unidad es Asociación. El paisaje típico se caracteriza por planicies altas con ligeras ondulaciones y amplios bajos anegables, de lomas suaves con bajos dulces. Este paisaje presenta tosca distribuido de manera irregular, y en las posiciones bajas del paisaje suele encontrarse en los 60 cm de profundidad, generando un escaso perfil que condiciona el desarrollo de los cultivos cuando las lluvias son limitantes.



Fig. 24: Sitio Phj mapa carta de suelo INTA 1:50.000.

Los componentes taxonómicos son: Bolivar 60 % clasificado como Hapludol Entico en las lomas, Carlos Salas 30 % clasificado como Hapludol thapto Nátrico en planos bajos y Piedritas 10% clasificado como Hapludol Entico en los planos altos.

La calicata del sitio muestral se realizó sobre un plano alto del relieve. El área del ensayo no presenta limitaciones hasta los 2 metros de profundidad.



*Fig. 25: Foto calicata sitio Phj.*

En la tabla 11 se presentan las principales características del perfil y en la Fig. 25 se aprecia una foto del perfil.

El horizonte Ap presenta estructura granular que rompe en bloques subangulares. La textura es franco arenoso, con muy buen contenido de MO, tiene una CRA de  $1,38 \text{ mm cm}^{-1}$ .

El horizonte A presenta desarrollo incipiente de estructura laminar y bloques subangulares sobre el límite inferior, la textura es franco arenosa y presenta un IMO de 6. La CRA de  $1,43 \text{ mm cm}^{-1}$ .

El horizonte Bw tiene una estructura de bloques angulares, la textura es franco arenoso y tiene una CRA de  $1,02 \text{ mm cm}^{-1}$ .

El horizonte BC tiene una estructura angular que rompe en masiva. La textura es franco arenosa. La CRA es de 0,89 mm cm<sup>-1</sup>.

La estructura del Horizonte C es masiva, la textura es arenosa y la CRA de 0,61 mm cm<sup>-1</sup>.

*Tabla 11: Datos Analíticos de la calicata sitio Phj, profundidad (cm), MO Materia Orgánica (%), arcilla(%), limo(%), arena(%), P: fosforo ppm, P.M.P: punto de marchitez permanente, C.C (%): capacidad de campo (%), D.A.P densidad aparente (gr cm<sup>-3</sup>).*

Horizonte	AP	A2	Bw	BC	C
Profundidad	0-7	7-29	29-41	41-57	57-mas
MO (%)	3,92	2,01	1,15	0,92	0,36
Arcilla (%)	5	6	8	8	6
Limo (%)	25	25	21	21	21
Arena (%)	69	68	70	70	72
pH	6	6	6,31	6,48	6,62
P (ppm)	15	5,57	2,9	2,9	2,8
P.M.P (%)	6,2	5,1	4,3	4,0	4,0
C.C (%)	16	15	11,5	10,8	10
D.A.P (gr cm <sup>3</sup> )	1,33	1,43	1,46	1,49	1,50

La CRA hasta los 2 metros de profundidad es 179 mm.

### **CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL SITIO PEHUAJÓ.**

La T° media para la localidad de Pehuajó es de 15,5 °C. El mes más cálido es enero, con una T° media de 23,2 ° C y el mes más frío es julio con T° medias de 8,2 ° C (<https://es.climate-data.org>).

El periodo libre de heladas es de 237 días y el periodo con heladas es de 128 días, la fecha promedio de primera helada es el 14 de mayo y la fecha promedio de última helada es el 18 de septiembre.

La PP media anual para el periodo 1985-2015 fue de 950 mm, del periodo Abril-Septiembre de 277 mm, del mes de Octubre de 113 mm y del periodo Noviembre-Marzo de 560 mm.

Durante la campaña 2015-2016 las PP fueron para el periodo Abril-Septiembre de 361 mm, algo superior a la media, en Octubre (2015) de 86 mm, inferior a la media, y para el periodo Noviembre (2015)-Marzo (2016) de 523 mm, dentro de la media. En total en la campaña 2015-2016 las PP alcanzaron los 970 mm similar a la media.

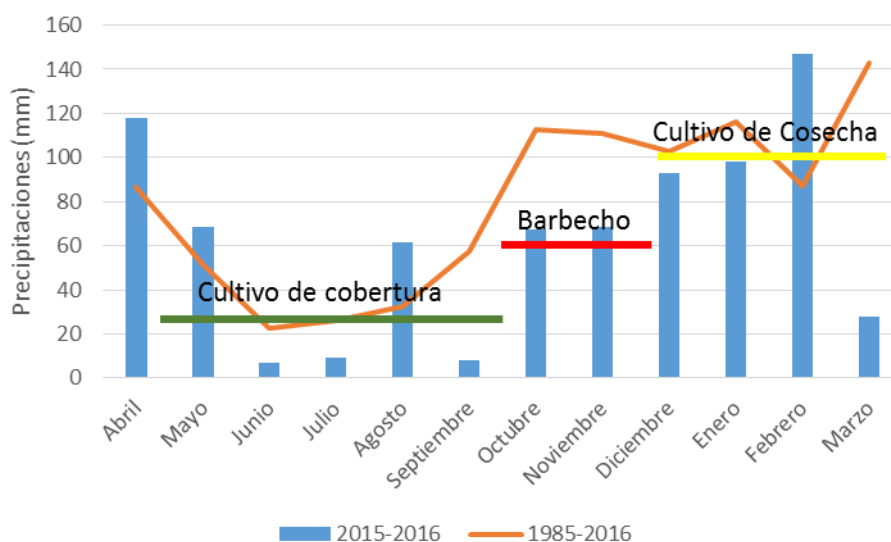


Fig. 26: Ocupación del lote durante el Periodo de Estudio. PP (2015-2016) y PP Histórico (1985-2016) sitio Phj.

La actual campaña se caracteriza por un invierno húmedo, con buenas lluvias en Diciembre, Enero y Febrero (430 mm). Se lo puede considerar como un año normal, con buenas PP durante la etapa de desarrollo de los CC y con cierta limitación en la primavera (Fig. 26).

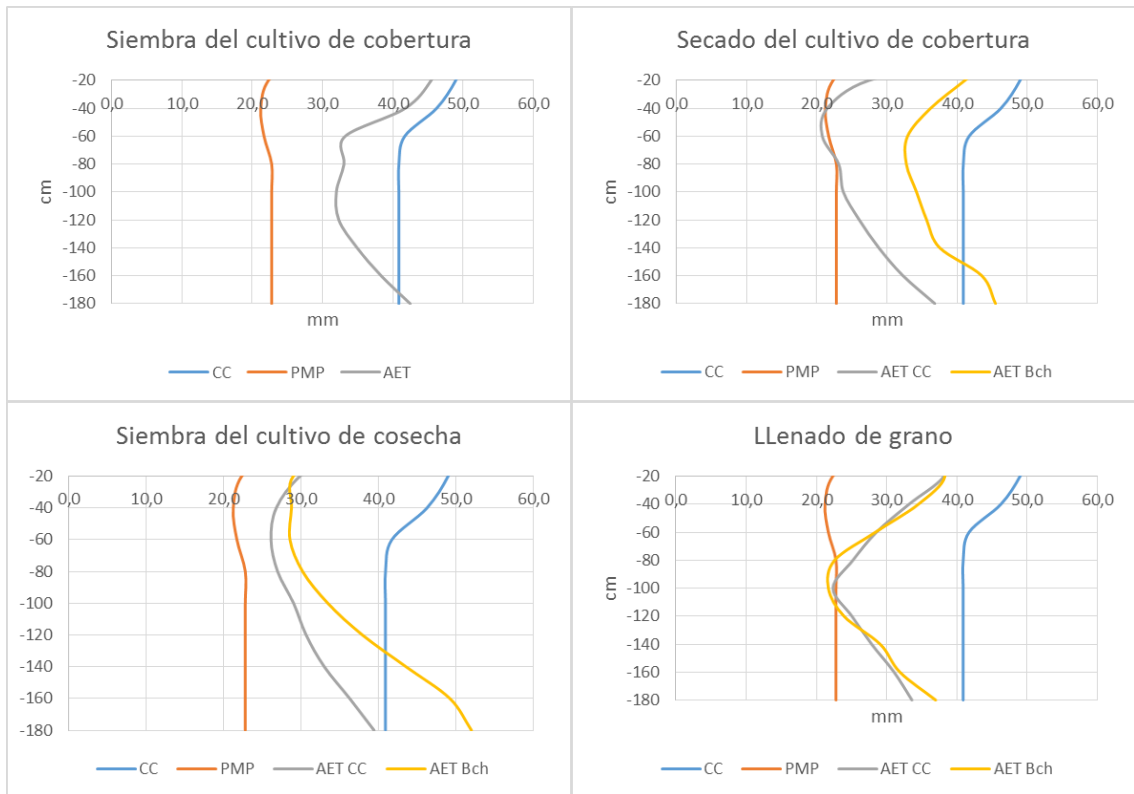
### PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CONSUMO DE AGUA.

A la siembra del CC el AET hasta los 2 metros de profundidad del perfil era de 384 mm, que representan el 88 % de la AET a capacidad de campo (Fig. 27). El stand de plantas de centeno logradas fue de 220 pl m<sup>-2</sup>.

La BA del CC mostró diferencias significativas entre los tratamientos y se encontró respuesta a la fertilización con N, si bien no se hallaron diferencias entre



las dosis 0N, 40N y 80, la dosis 120N se diferenci6 significativamente de las dosis 0N y 40N, aunque no se diferenci6 de 80N (Tabla 12).



*Fig. 27: Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio Phj. CC: capacidad de campo. PMP: Punto de marchitez permanente. AET: agua total edáfica. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra del cultivo de cosecha y llenado de grano.*

Entre la siembra y el secado del CC las PP fueron de 117 mm. El contenido de AET del tratamiento Bch al momento del secado se diferenci6 de los tratamientos CC (Tabla 12), aunque no se hallaron diferencias entre las dosis de N (Fig.27).

El UC-CC no mostro diferencias entre tratamientos, siendo en promedio de 214 mm (Tabla 12).

Se hallaron diferencias en el CH entre los tratamientos extremos de 0N y 120 N, aumentando en funci6n del incremento de la dosis de N (Tabla 13).

La EUA del CC mostró diferencias entre tratamientos; a mayor dosis de N la EUA fue mayor, debido a un incremento en la producción de BA (Tabla13). Cuando el agua no es limitante, la EUA se incrementa con la mayor disponibilidad de N.

Carfagno *et al.*, (2013) trabajando en 30 de Agosto también encontraron diferencias entre CC y Bch en el AET al secado del CC y reporta UC-CC para el centeno de 222 mm.

*Tabla 12 Resumen 1 sitio Pehuajó. BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). BA-CCh: biomasa aérea del cultivo de cosecha maíz (kg ha<sup>-1</sup>). Rto: rendimiento en grano maíz (kg ha<sup>-1</sup>); AET Sec: agua edáfica total al momento del secado del cultivo de cobertura (mm). Letras distintas significa diferencias estadísticas (p>0,05).*

Tratamiento	BA-CC	BA-CCh	Rto	AET Sec
Bch		8822a	7442a	385a
0N	4752b	8939a	7818a	300b
40N	5850b	9131a	7838a	301b
80N	6641ab	8649a	7676a	287b
120N	8065a	9189a	7594a	256b
	p<0,01	p=0,20	p=0,54	p<0,01
	CV=11	CV=3	CV=4	CV=6

Tabla 13 Resumen 2 sitio Pehuajó. UCC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). EUA-CC: eficiencia uso de agua del cultivo de cobertura en la producción de biomasa aérea ( $\text{kg mm}^{-1}$ ). EUA-G: eficiencia uso de agua del cultivo de cosecha para la producción de grano ( $\text{kg mm}^{-1}$ ); CH: costo hídrico del cultivo de cosecha (mm). EB: eficiencia de barbecho del cultivo de cobertura respecto del barbecho químico. Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ).

Tratamiento	UC-CC	EUA-CC	EUA-G	CH	EB
S/C			16b		(-22)a
0N	201a	24b	19a	85b	29b
40N	200a	30ab	18ab	85ab	22b
80N	214a	32ab	19a	98ab	24b
120N	245a	34a	19a	130a	57b
	p=0,12	p=0,04	p=0,02	p=0,01	p<0,01
	CV=10	CV=11	CV=5	CV=21	CV=45

### DINÁMICA DE NITRÓGENO.

Al momento de la siembra el perfil contaba con  $111 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Este suelo se presenta niveles altos de MO (Tabla 11) lo que es reflejado en un alto IMO y una alta concentración inicial de  $\text{N-NO}_3$ .

Si bien la disponibilidad inicial de  $\text{N-NO}_3$  es alta, se encontró respuesta a la fertilización N. La RpN mostro una tendencia a incrementar cuando la dosis de N aumento, dicha aumento en la producción de BA-CC respecto de 0N fueron en promedio de 41% para 40 N, 46% para 80N y 81% para el tratamiento 120 N que se diferenció de los dos anteriores.

Al secado de los CC la disponibilidad de  $\text{N-NO}_3$  mostro diferencias significativas entre el Bch y los CC y entre las dosis de N, el tratamiento 0N, mostro una condición intermedia entre Bch y los tratamientos fertilizados, mientras que, entre las dosis 40N, 80N y 120N no se diferenciaron entre sí (Tabla 14).

Tabla 14 Resumen 3 sitio Phj. N-NO<sub>3</sub>: nitrógeno de nitratos al momento del secado del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). N%: porcentaje de nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; N: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>); N-NO<sub>3</sub> PC: nitrógeno de nitratos momento del periodo crítico del cultivo de cosecha (kg ha<sup>-1</sup>); N PC: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cosecha en el periodo crítico del maíz. Letras distintas significa diferencias estadísticas (p<0,05).

Tratamiento	N-NO <sub>3</sub>	N %	N	N-NO <sub>3</sub> PC	N-PC
Bch	109a			25a	35a
0N	31c	1,75a	83b	26a	35a
40N	41b	1,78a	104b	35a	36a
80N	54b	1,90a	125ab	32a	28a
120N	54b	1,96a	158 <sup>a</sup>	35a	26a
	p<0,01	p=0,07	p=0,02	p=0,30	p=0,55
	CV=27	CV=5	CV=16	CV=19	CV=14

El N en BA presento diferencias significativas entre los tratamientos, aumentando con la disponibilidad de N (Tabla 14), y el % de N en BA-CC presento una tendencia a incrementar con las mayores dosis de N (Tabla 14).

No se hallaron diferencias estadísticas en la EUN (Tabla 15) entre los tratamientos, esto se debe a que hubo respuesta a la fertilización N para los tres niveles de fertilización.

El C fijado-BA del CC mostro diferencias significativas entre tratamientos incrementándose cuando la dosis de N aumento (Tabla 15).

La relación C:N no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 15), esto se debe a que el % N en BA no tuvo una diferencia y las concentraciones de N en tejido fueren altas (Tabla 14).

Tabla 15: Resumen 4 sitio Phj. EUN: eficiencia de uso de nitrógeno del cultivo de cobertura ( $\text{kg BA kg}^{-1} \text{ N}$ ); %C: porcentaje de carbono de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C: carbono en la biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg C ha}^{-1}$ ) Letras distintas significa diferencias estadísticas al 5%.

Tratamiento	EUN	C:N	C
0N	43a	25a	2095b
40N	39a	25a	2551b
80N	35a	23a	2891ab
120N	35a	22a	3555a
	p=0,16	p=0,39	p<0,01
	CV=17	CV=5	CV=11

#### IMPACTO DEL CC SOBRE EL AGUA Y N EN EL CCH.

Las precipitaciones ocurridas desde el secado del CC hasta el momento de la siembra del CCh fueron de 85 mm, las cuales permitieron la recuperación hídrica del perfil. Por lo tanto, a la siembra del CCh el contenido de AET no presentó diferencias entre tratamientos, con una disponibilidad promedio de 323 mm (Figura 28).

Se registraron diferencias significativas en la EB entre el Bch y los CC, aunque no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización con N (Tabla 13). Carfagno et al., (2013) trabajando en 30 de Agosto en fechas de secado de septiembre, utilizando centeno como CC, reportaron que las EB de los CC fueron significativamente superiores al Bch.

Las lluvias ocurridas entre la siembra y el PC del CCh fueron de 231 mm. En el PC el AET no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p=0,28$ ), con un promedio de 302 mm. La BA del CCh generada hasta este momento no presentó diferencias significativas y el promedio fue de  $8946 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabla 12).

El rendimiento en grano a cosecha no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con un promedio de  $7674 \text{ kg grano ha}^{-1}$  (Tabla 12).

Entre la siembra y la MF del maíz las lluvias registradas fueron de 430 mm. El UC a MF del maíz mostró una tendencia ( $p=0,06$ ) por la cual el Bch tuvo un UC de 449 mm,

mayor que el registrado en los CC (Tabla 13), con 398, 403, 409 y 424 mm para 120N, 80N, 0N y 40 N respectivamente. Esto está asociado a la mayor cobertura del suelo, generado por los residuos del CC, la cual reduce las pérdidas por evaporación directa (Fernandez et al., 2012a).

La EUA de grano de maíz sobre el tratamiento Bch fue menor que los tratamientos con CC 120N, 80N y 0N, mientras que, el tratamiento 40N no se diferenció significativamente del tratamiento Bch ni de los tratamientos CC (Tabla 13).

### **CONCLUSIONES.**

Para un año de lluvias normales y suelos en con muy buenas condiciones edáficas ( $IMO > 5$ ), el centeno como CC responde a la fertilización N hasta en altas dosis.

Los CC tienen un CH respecto del Bch, al momento del secado del CC. Cuando el CC es fertilizado con N, el aumento de la BA no incrementa el CH.

La cobertura generada por el CC mejora la EB entre el secado y la siembra respecto del Bch, esto permite que el perfil recupere mayor cantidad de agua y que al momento de la siembra no se encuentre diferencias entre los tratamientos en el AET.

Los CC disminuyen el contenido de  $N-NO_3$  al momento del secado, sin detectarse diferencias significativas en el PC del maíz siguiente.

La fertilización N generó mayor BA del CC, fijó mayor cantidad de C en BA del CC y retuvo mayor cantidad de N en BA del CC, a una menor EUA y sin presentar diferencias en la EUN con el aumento de la dosis de N.

La inclusión del CC no tuvo impacto en la producción de BA en el PC ni en el rendimiento en grano del cultivo de maíz.

## CAPÍTULO V SITIO GENERAL VILLEGAS.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### MARCO PRODUCTIVO ZONAL.

El proceso de agriculturización en el partido de General Villegas trajo aparejado un aumento de la superficie agrícola. En la década de 1970, la agricultura ocupaba menos del 20% del área total de partido, 50 años después ocupa más del 56% del área total, alcanzando las 411.000 ha, llegando a cubrir toda el área con suelos de aptitud agrícola (Fig. 28).

En la década de 1970 el trigo y el girasol eran los principales cultivos destinados a cosecha, en tanto que la avena y el centeno eran los principales verdeos de invierno. Desde la década de 1980 hasta la aparición y posterior expansión de la soja RR en la década del 2000 (Pengue, 2001), el área agrícola se mantuvo constante. Ya en la década del 2000 el aumento del área agrícola se dio a expensas de la expansión del cultivo de soja resistente a Roundup y la adopción masiva de la SD (Satorre, 2005).

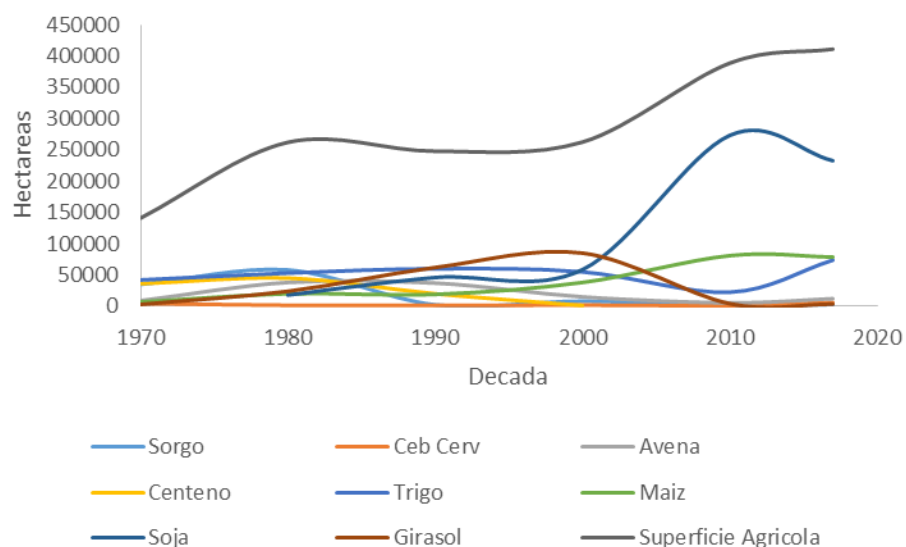


Fig. 28: Evolución de la superficie sembrada por cultivos y área agrícola en el partido de GV (fuente Datos.gob.ar, 2020)

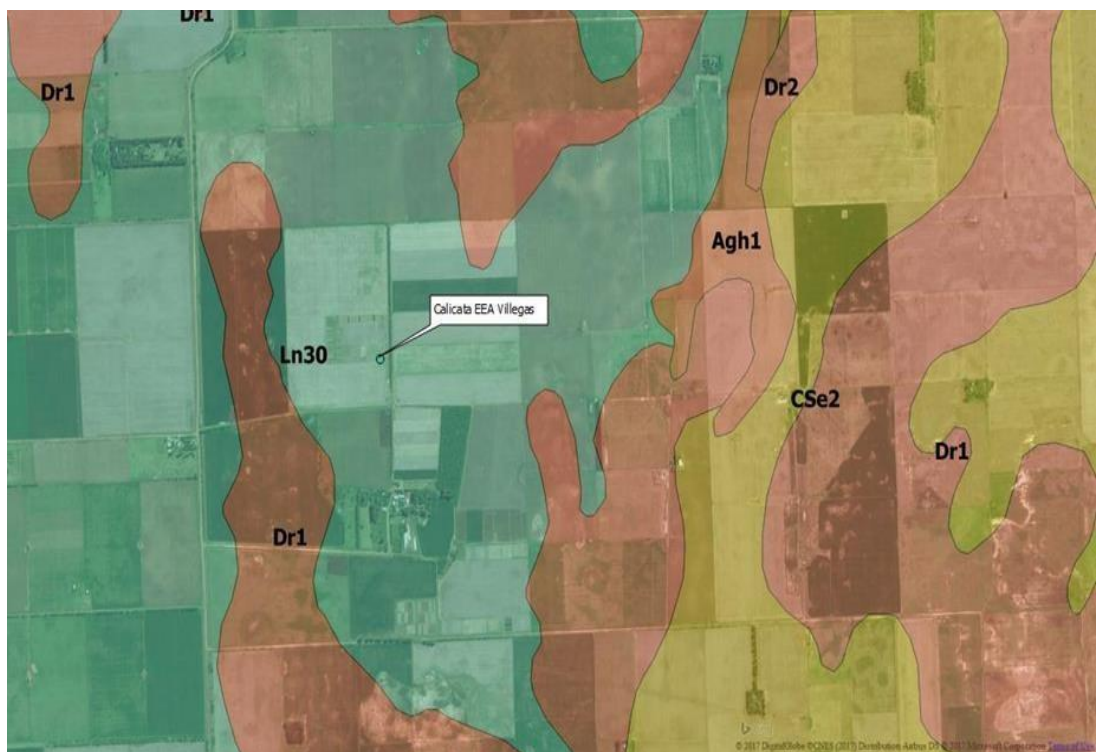
En el contexto actual de la rotación del partido en el área agrícola en un periodo de 10 años, 6 años están ocupados con soja, 2 años con maíz y 2 años con trigo. En esta

rotación los CC serian una alternativa viable, ya que 8 de cada 10 años los lotes en el invierno se encuentran como Bch largos.

### **CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SITIO GENERAL VILLEGAS**

La Unidad Cartográfica en la que está ubicado el sitio muestral esta denominada como Lincoln 30 (Ln 30) (Fig. 29). El Tipo de Unidad es una asociación y el paisaje característico son lomas ampliamente onduladas con cubetas.

Los Componentes taxonómicos son: Serie Lincoln 70% se clasificó como Hapludol Típico y se ubica en la loma y media loma. Serie Balbín 20% se clasificó como Duracuol Nátrico y se ubica en pie de loma/bajo, mientras que la Serie Ameghino 10% se clasificó como Hapludol Entico y se ubica en la posición de cresta de loma.

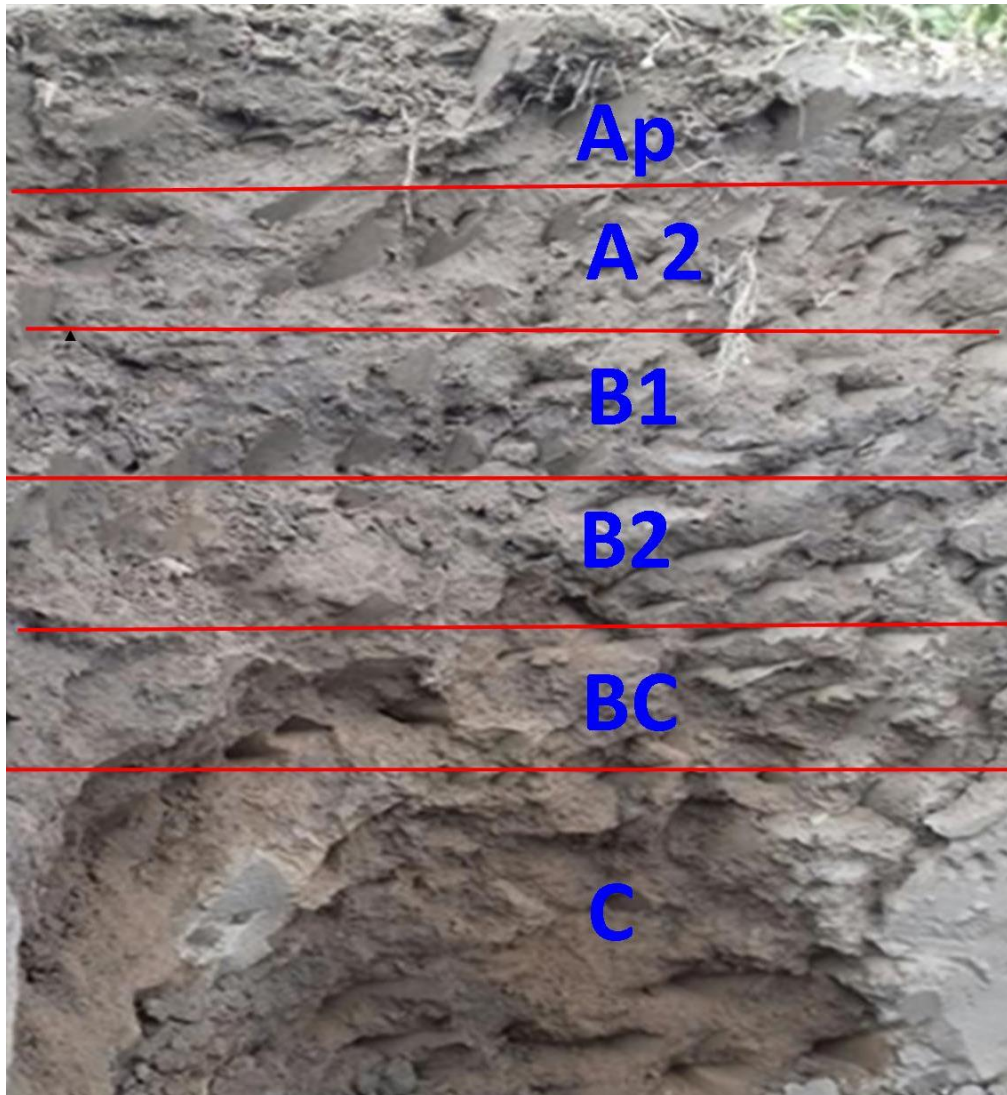


*Fig. 29: Sitio GV Mapa Carta de Suelo INTA 1:50.000.*

La calicata se situó sobre el plano alto de un relieve de lomas suaves. En la tabla 16 se presentan las principales características del perfil.



El horizonte superficial AP (Fig. 30) tiene un espesor de 7 cm, textura franco arenosa y buen contenido de MO. La CRA es de  $1 \text{ mm cm}^{-1}$  y la estructura es en bloque angulares.



*Fig.30: Foto Calicata sitio GV.*

El horizonte A2 (Fig. 30) tiene un espesor de 13 cm, textura franco arenosa. El pH es ligeramente ácido, síntoma de un incipiente proceso de acidificación. La DAP manifiesta un proceso de densificación del horizonte. La CRA es de  $0,8 \text{ mm cm}^{-1}$  y la estructura es de bloques subangulares (Tabla 16).

El horizonte B1 (Fig. 30) es un horizonte cambicó, con un principio de acumulación de materiales finos, que se manifiesta con el incremento de limo y arcilla respecto del

horizonte A2. La textura es franco arenosa, tiene una CRA de 0,95 mm cm<sup>3</sup> y la estructura es en bloque angular masivo (Tabla 16).

El horizonte B2 (Fig. 30) de textura franco arenoso, la CRA es de 0,95 mm cm<sup>-1</sup> y estructura en bloques angulares que rompe en masivo (Tabla 16).

El horizonte BC (Fig. 30) de textura franco arenoso, la CRA es de 0,8 mm cm<sup>-1</sup> y la estructura es masiva (Tabla 16).

El horizonte C (Fig. 30) es de textura franco arenosa y la CRA de 0,75 mm cm<sup>-1</sup> (Tabla 16).

*Tabla 16: Datos analíticos de la calicata sitio GV, profundidad (cm). MO: materia orgánica (%), arcilla (%), limo(%), arena (%), P: fosforo ppm, P.M.P: punto de marchitez permanente. C.C. (%): capacidad de campo (%). D.A.P: densidad aparente (gr cm<sup>-3</sup>).*

Horizonte	AP	A2	B1	B2	BC	C2
Profundidad (cm)	0-7	7-20	20-28	28-36	36-55	55+
MO (%)	1,92	1,28	0,95	0,75	0,56	0,36
Arcilla (%)	3	4	7	11	14	9
Limo (%)	24	25	27	32	25	25
Arena (%)	73	71	66	57	61	66
pH	6,4	5,9	6	6,2	6,4	6,7
P (ppm)	26	16	13	7	7	12
C.C (%)	14	12	13	13	12	11
P.M.P (%)	6	6	7	7	7	6
D.A.P (%)	1,33	1,56	1,49	1,49	1,47	1,47

### **CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL SITIO GENERAL VILLEGAS**

La T° media para la localidad de GV es de 15.6 °C, el mes más frío es Julio con una T° promedio de 8 °C y el más cálido Enero con una T° promedio de 25°C (<https://es.climate-data.org>).

El periodo libre de heladas meteorológicas es de 225 días y el periodo con heladas es de 140 días, con fecha promedio de primera helada para el 2 de mayo y fecha promedio de última helada el 18 de septiembre, con un promedio de 42 días con helada (<https://www.agro.uba.ar/heladas/>).

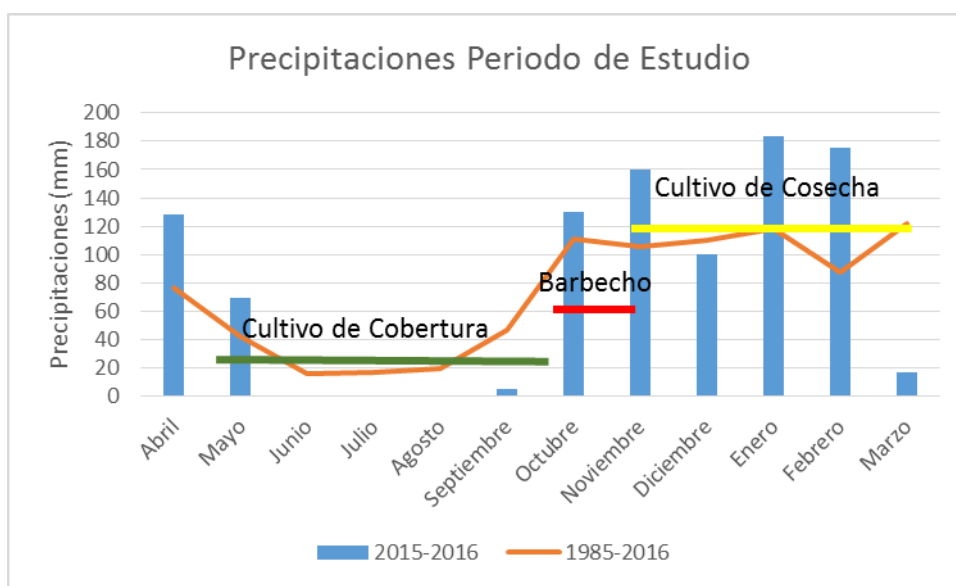


Fig. 31: Ocupación del lote durante el periodo de estudio, PP (2015-2016) y PP histórico (1985-2016). Sitio General Villegas.

La PP media anual para el periodo 1985-2015 es de 874 mm, para el periodo Abril-Septiembre es de 220 mm, para el mes de Octubre de 111 mm y para el periodo Noviembre-Marzo de 544 mm.

En la campaña 2015-2016 en el periodo Abril-Septiembre llovieron 203 mm, similar a la media histórica, en Octubre llovieron 127 mm algo superior a la media histórica y para el periodo Noviembre 2015-Marzo 2016 se registraron 636 mm, 100 mm más que la media y concentrados principalmente en enero y febrero. En total en la campaña 2015-2016 las PP alcanzaron los 969 mm, algo superior a la media histórica (Fig. 31).

### PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONSUMO DE AGUA.

A la siembra del CC el perfil se encontraba por encima de C.C. con 337 mm (Fig. 33).

Desde la siembra hasta el secado del CC llovieron 78 mm. La producción de BA del CC mostró diferencias estadísticas, el tratamiento 0N produjo menos que los

fertilizados y se diferenció del resto. A pesar que la BA del CC siguió aumentando a mayores dosis, no hubo diferencias entre los tratamientos 40N, 80N y 120N (Fig. (Tabla 17), probablemente asociado las falta de PP durante el ciclo del CC (Fig. 31).

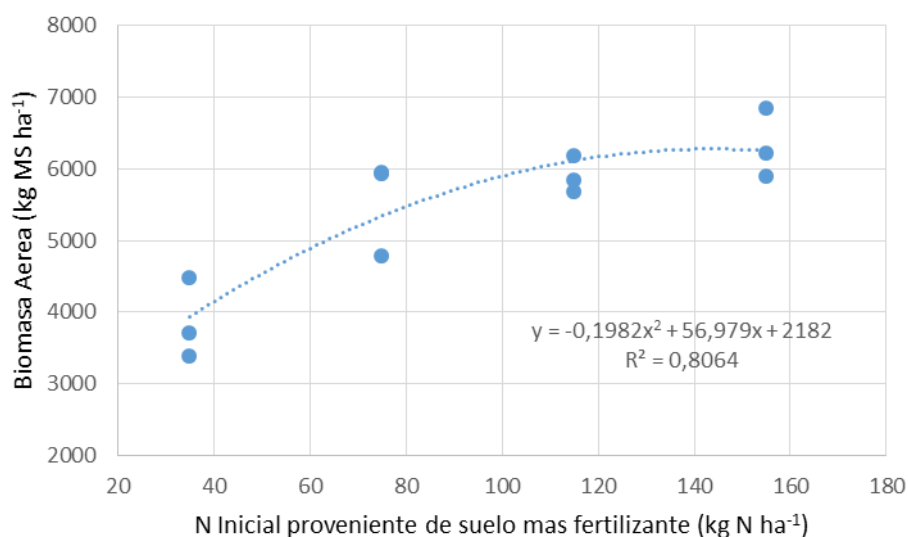


Fig. 32: Biomasa aérea del cultivo de cobertura en función del nitrógeno inicial (suelo más fertilizante). Sitio GV.

Tabla 17: Resumen 1 sitio GV. BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $kg\ ha^{-1}$ ). Rend: rendimiento en grano del maíz ( $kg\ ha^{-1}$ ); AET Sec: agua edáfica total al secado del cultivo de cobertura (mm). ATE Sie: agua edáfica total a la siembra del cultivo de cosecha (mm); AET PC agua edáfica total en el periodo crítico del cultivo de cosecha (mm). Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ).

Tratamiento	BA-CC	BA PC	Rto	AET Sec	ATE Sie	AET PC
Bch		1913a	3097a	257b	330a	327a
0N	3862b	1813a	2996a	181a	322a	393a
40N	5556a	1431a	2955a	194a	350a	344a
80N	5898a	1621a	3147a	160a	312a	340a
120N	6324a	1846a	3349a	164a	337a	363a
	p=0,01	p=0,35	p=0,66	p<0,01	p=0,79	p=0,42
	CV=10	CV=17	CV=11	CV=13	CV=11	CV=19

Al secado del CC el ATE mostró diferencias entre el Bch y los tratamientos con CC, pero no entre estos (Tabla 17). Lardone *et al.*, (2013) utilizando centeno con dos niveles de fertilización como CC no encontró diferencias entre niveles de fertilización en el AET al secado del CC.

*Tabla 18: Resumen 2 Sitio GV 2. UC-CC: Uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). UC-CCh: Uso consuntivo del cultivo de cosecha maíz (mm). EUA-CC: eficiencia uso de agua del cultivo de cobertura (kg mm<sup>-1</sup>). EUAG: eficiencia uso de agua en la producción de grano de maíz (kg mm<sup>-1</sup>); CH: costo hídrico del cultivo de cobertura (mm). EB: eficiencia de barbecho (%). Letras distintas significa diferencias estadísticas (p<0,05).*

Tratamiento	UC-CC	UC-CCh	EUA-CC	EUA-G	EB
Bch		597a		5,3a	31b
0N	235a	568a	18a	5,3a	61a
40N	247a	578a	23a	5,1a	67a
80N	255a	572a	24a	5,5a	65a
120N	270a	570a	24a	5,9a	74a
	p=0,36	p=0,93	p=0,23	p=0,88	p=0,01
	CV=9	CV=8	CV=17	CV=18	CV=20

El CH no presento diferencias significativas entre tratamientos y en promedio fue de 93 mm. Resultados similares fueron reportados por Miranda *et al.*, (2012) en el mismo sitio trabajando con avena, raigrás y centeno, valores promedios de CH entre 60-70 mm.

El UC del CC no presento diferencias significativas entre los tratamientos y en promedio fue de 252 mm (Tabla 18). De manera coincidente, Lardone *et al.*, (2013) reporta UC de centeno de 235 mm, no habiendo encontrado diferencias entre niveles de fertilización N.

La EUA de CC no presento diferencias significativas entre tratamientos y el promedio fue de 22 kg mm<sup>-1</sup>. Scianca (2010) en ambientes similares al de este estudio,

reportó EUA entre 21 y 30 kg MS mm<sup>-1</sup> del centeno como CC en un año húmedo y seco, respectivamente.

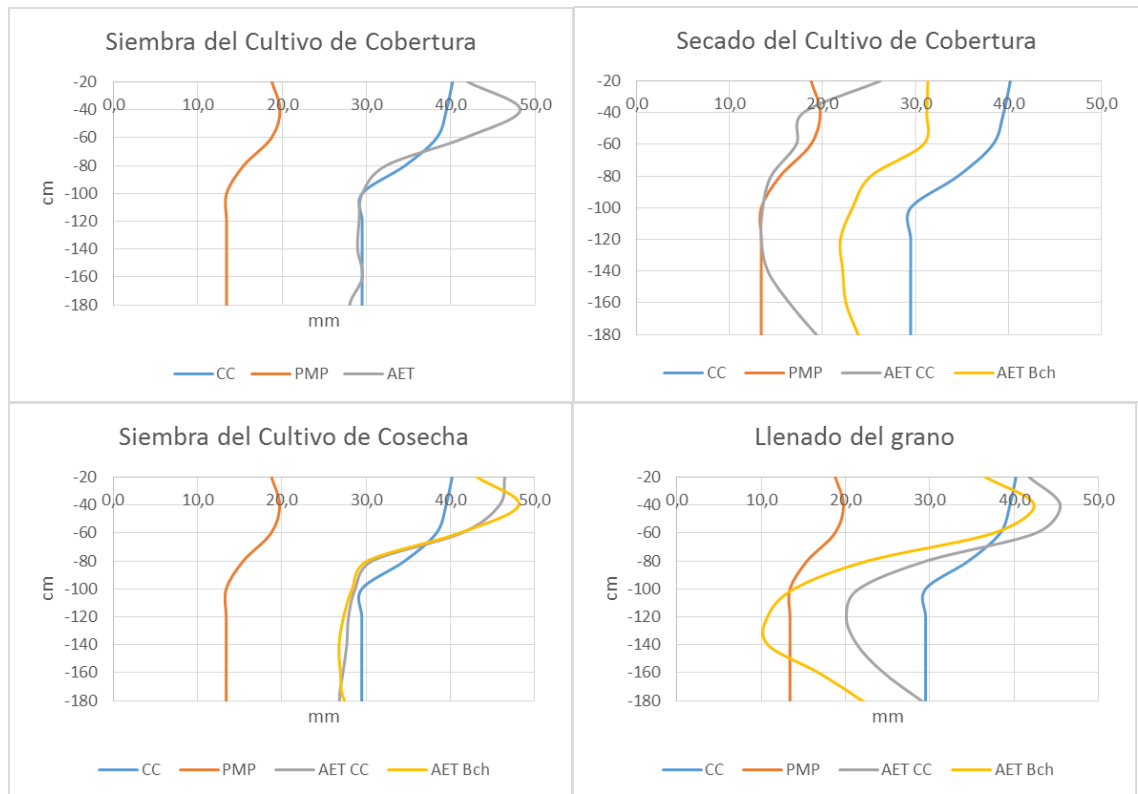


Fig. 33: Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio GV. Prof.: profundidad. CC: capacidad de campo. PMP: punto de marchitez permanente. ATE: agua total edáfica. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra del cultivo de cosecha y llenado.

### DINÁMICA DE NITRÓGENO.

Al momento de la siembra del CC la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> era de 35 kg ha<sup>-1</sup>.

Se encontró respuesta a la fertilización a partir de la dosis 40N (Tabla 17), aunque no se diferenció entre las dosis mayores (Fig. 32), esto se podría asociar a la restricción en las PP durante el ciclo del CC, principalmente hacia el final del mismo (Fig. 32) y en concordancia con los contenidos hídricos del suelo al

momento del secado, donde se observó que el CC consumió toda el agua disponible en el perfil (Fig. 33).

Lardone *et al.*, (2013) en el mismo sitio, fertilizando con dosis de 0 y 40 kg N ha<sup>-1</sup>, no encontraron respuesta a la fertilización, mientras que Girón *et al.*, (2016) reportaron que el CC fertilizado con 40 kg N ha<sup>-1</sup> cuando se lo comparó con no fertilizado, generó mayor BA durante todo el ciclo del cultivo, llegando a obtener un 50% más de biomasa en el momento del secado.

*Tabla 19: Resumen 3 sitio GV. N-NO<sub>3</sub> CC: nitrógeno de nitratos al momento del secado del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). N % BA-CC: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura; N BA-CC: nitrógeno en la biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>); N-NO<sub>3</sub> CC: nitrógeno de nitratos en el periodo crítico del cultivo de cosecha soja (kg ha<sup>-1</sup>). Letras distintas significa diferencias estadísticas (p<0,05).*

Tratamiento	N-NO <sub>3</sub> CC	N % BA-CC	N BA-CC	N-NO <sub>3</sub> PC
Bch	47a			29a
0N	26b	1,19b	27c	31a
40N	26b	1,46b	38bc	31a
80N	31b	1,66ab	47b	31a
120N	36b	1,84a	63a	28a
	p=0,01	p<0,01	p<0,01	p=0,82
	CV=16	CV=13	CV=12	CV=12

La RpN presento una tendencia (p=0,10) a incrementar cuando se aumenta la dosis de N, los incrementos fueron de 45, 47 y 67 % para 40N, 80N y 120N, respectivamente, condicionado por las restricciones hídricas en las que se desarrolló el CC.

Al momento del secado del CC la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> presento diferencias entre los tratamientos, el Bch se diferenció de los tratamientos con CC, aunque entre estos no se encontró diferencias (Tabla 19).

El % de N en BA-CC también presento diferencias entre los tratamientos, cuando se aumentó la dosis de N la concentración de N en tejido se incrementó (Tabla 19).

El N-BA del CC también mostró diferencias entre los tratamientos, este aumento con la fertilización N, esto se debe al aumento en la concentración de N ( $R^2=0,92$ ) y a la mayor BA lograda ( $R^2=0,82$ ) (Tabla 19).

La EUN presento diferencias significativas entre los tratamientos, la cual fue disminuyendo en la medida que se incrementó la dosis de N (Tabla 20).

Se encontró diferencias significativas en el C fijado entre los tratamientos, el tratamiento 0N el cual fijo menos, se diferenció del resto de los tratamientos, que no se diferenciaron entre sí (Tabla 20).

La relación C:N disminuyó con el incremento de la dosis de N, pasando en el tratamiento de una relación de 39 en el tratamiento no fertilizado a 25 en el tratamiento de mayor dosis (Tabla 20).

*Tabla 20 Resumen 4 sitio GV. EUN-CC: eficiencia de uso nitrógeno del cultivo de cobertura (kg MS kg<sup>-1</sup> N); C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura; C-CC: carbono fijado por el cultivo de cobertura(kg ha<sup>-1</sup>) Letras distintas significa diferencias estadísticas (p<0,05).*

Tratamiento	EUN	C:N	C-CC
0N	110a	39b	1764b
40N	74b	35ab	2554a
80N	51bc	28ab	2659a
120N	41c	25a	2907a
	p<0,01	p<0,01	p=0,01
	CV=15	CV=13	CV=10

#### **IMPACTO DEL CC SOBRE EL AGUA Y N EN EL CCH.**

Entre el secado del CC y la siembra del CCh las PP fueron de 233 mm (Fig.31). El AET al momento de la siembra del CCh no presento diferencias significativas (Tabla 17) entre los tratamientos y el promedio fue de 330 mm. Resultados similares reportaron Giron *et al.* (2016) comparando Bch con centeno fertilizado con N y sin fertilizar, el AET a la siembra de la soja fue similar para todos antecesores.

La EB se diferenció significativamente entre el Bch y los CC, la mayores eficiencias se lograron en los tratamientos con CC, aunque sin diferencias entre



dosis de N (Tabla 18). Scianca (2010) reporta que en tratamientos sin CC se registraron bajas EB, cercanas a 0 en la campaña 2005 año húmedo y negativas en la campaña 2006, año seco. Miranda *et al.*, (2012) reportaron que debido a las mayores EB de los CC respecto del Bch, al momento de la siembra del cultivo estival, el contenido AET no se diferenciaba significativamente entre CC y Bch.

En PC de la soja el AET no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 17). De manera coincidente, la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 19). En consecuencia la BA de la soja en este momento no presentó diferencias significativas entre los tratamientos y el % de N en BA del CCh no mostró diferencias significativas ( $p=0,45$ ) entre los tratamientos, al igual que el N en BA del CCh no mostró diferencias significativas ( $p=0,36$ ) entre los tratamientos y fue en promedio de 48 kg N ha<sup>-1</sup>.

Entre siembra y MF las PP registradas fueron de 601 mm, el UC del CCh no se diferenció significativamente entre los tratamientos y la EUA en grano no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 18).

El rendimiento en grano del CCh no presentó diferencias significativas entre tratamientos. En el mismo sentido Scianca (2010) encontró que el UC del CC y la producción de BA del CC no influenciaron sobre la oferta hídrica para el CCh siguiente, no afectando el desarrollo ni la producción de la soja posterior, respecto del tratamiento Bch.

## **CONCLUSIONES.**

El CC tuvo déficit hídrico hacia el final de su ciclo que condicionó su crecimiento.

La fertilización N aumentó la producción de BA del CC y no hubo respuesta por encima de la dosis 40 N, asociado al crecimiento limitado por el déficit hídrico.

La fertilización N aumentó el % N en tejido y disminuyó la relación C:N.

La fertilización N no generó diferencias en el UC.

Los CC tuvieron un CH mayor, EB mayor y menos N-NO<sub>3</sub> disponible en suelo al secado del mismo.

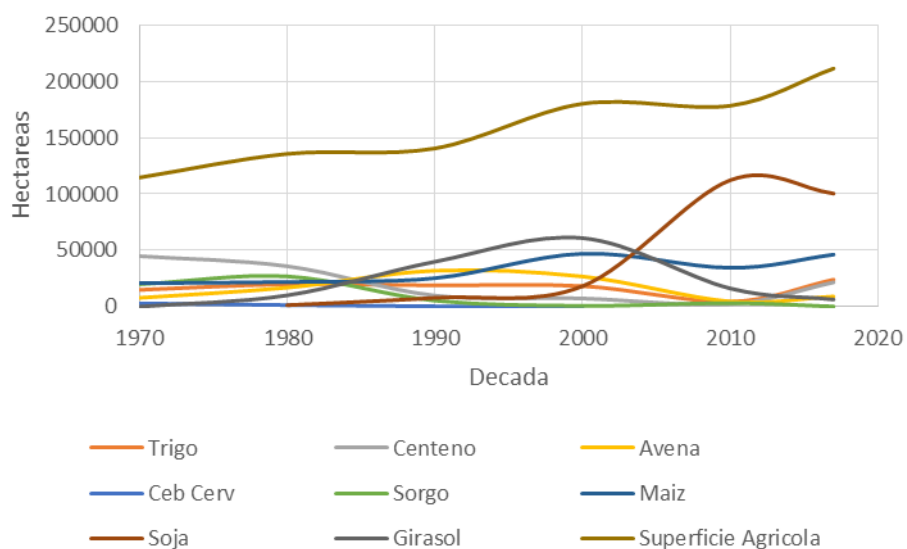
El cultivo de soja no vio influenciada la producción de BA y grano por efecto del antecesor.

## CAPÍTULO VI SITIO INTENDENTE ALVEAR.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### MARCO PRODUCTIVO ZONAL.

En el Departamento Chapalaeufú, desde la década de 1970, el aumento de la superficie bajo agricultura se dio a una tasa relativamente constante. En este periodo el área agrícola pasa de ocupar el 44 % en 1970 al 82% del área total en el 2010 (Fig. 34).



*Fig. 34: Evolución de la superficie sembrada por cultivos y área agrícola en el departamento Chapaleufú (fuente Datos.gob.ar, 2020).*

En la década de 1970 el trigo y centeno eran los cultivos más sembrados. Hacia la década de 1990 el girasol era el cultivo que mayor área ocupaba y es en esta época que el maíz comienza a expandirse. A partir de la década del 2000 comienza un proceso acelerado de expansión de la soja con el advenimiento de los eventos resistentes a Roundup, ocupando en la actualidad el 50% del área sembrada.

En este contexto la rotación actual del departamento, en un ciclo productivo de 10 años, el cultivo de soja ocupa 5 años, 2 años están ocupados por maíz, 1 años por trigo, 1 año por centeno y 1 año por girasol. En esta rotación los CC tienen una factibilidad agronómica de participar en la rotación, ya que 8 de cada 10 años los lotes pasan el invierno como Bch.

## CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DEL SITIO INTENDENTE ALVEAR.

En el sitio IA el ensayo estaba ubicado sobre la parte superior de una loma tendida, el paisaje es de lomas suaves sobre un cordón medanoso de reciente consolidación, sin limitaciones en profundidad.

La calicata se situó sobre el plano alto de un relieve de lomas suaves. En la tabla 21 se presentan las principales características del perfil.

*Tabla 21: Datos analíticos de la calicata sitio IA. Profundidad (cm). MO: materia orgánica (%), arcilla (%), limo (%), arena (%), P: fosforo (ppm), P.M.P (%): punto de marchitez permanente, C.C (%): capacidad de campo (%), D.A.p densidad aparente ( $gr\ cm^{-3}$ ).*

Horizonte	Ap	A2	AC	C1	C2
Profundidad	0-8	8-23	23-36	36-52	52+
MO	2,0	1,2	1,0	0,7	0,5
Arcilla	1	4	4	4	3
Limo	15	12	15	14	14
Arena	84	84	81	82	83
pH	6,5	6,4	6,6	6,8	6,8
P	21	10	6	5	6
C.C	10	8	8	8	8
P.M.P	4	4	4	4	4
DAP	1,38	1,61	1,60	1,54	1,51

El Horizonte Ap de textura arenosa, CRA  $0,76\ mm\ cm^{-1}$  y estructura en bloques subangulares débiles (Tabla 21).

El horizonte A2 de textura arenosa, la CRA es  $0,69\ mm\ cm^{-1}$  y estructura en bloques sub angulares. La DAP en este horizonte está marcando un proceso de densificación, pudiendo evidenciar síntomas de compactación (Tabla 21).

El horizonte AC de textura arenoso franco, CRA de 0,65 mm cm<sup>-1</sup> y una estructura masiva (Tabla 21).

El horizonte C1 de textura arenosa, CRA de 0,58 mm cm<sup>-1</sup> y la estructura es masiva (Tabla 21).

El horizonte C2 de textura arenosa CRA de 0,60 mm cm<sup>-1</sup> y de estructura masiva (Tabla 21).

### **CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL SITIO INTENDENTE ALVEAR.**

La T° media para la localidad de IA es de 16 °C, el mes más frío es Julio con una T° promedio de 8 °C y el mes más cálido es Enero con una T° promedio de 25°C (<https://es.climate-data.org>).

El periodo libre de heladas meteorológicas es de 231 días y el periodo con heladas de 134 días. La fecha promedio de primera helada es el 5 de mayo y la fecha promedio de última helada es el 19 de septiembre, mientras que el promedio de días con helada es de 30 días (<https://www.agro.uba.ar/heladas/>).

La PP media anual promedio en el periodo 1985-2015 es de 934 mm, en el periodo Abril-Septiembre de 247 mm, en el mes de Octubre de 115 mm y en el periodo Noviembre-Marzo de 578 mm.

Para la campaña 2015-2016 en el periodo Abril-Septiembre llovieron 250 mm, similar a la media histórica, en Octubre llovieron 101 mm, inferior a la media histórica y para el periodo Noviembre2015 – Marzo2016 se registraron 628 mm (Fig. 35).

En total en la campaña 2015-2016 las PP alcanzaron los 979 mm similar a la media histórica, con la particularidad de un Enero y Febrero muy húmedo, en el cual se registraron 389 mm, por lo cual se puede considerar al año como normal con buenas PP para los cultivos estivales (Fig. 35).

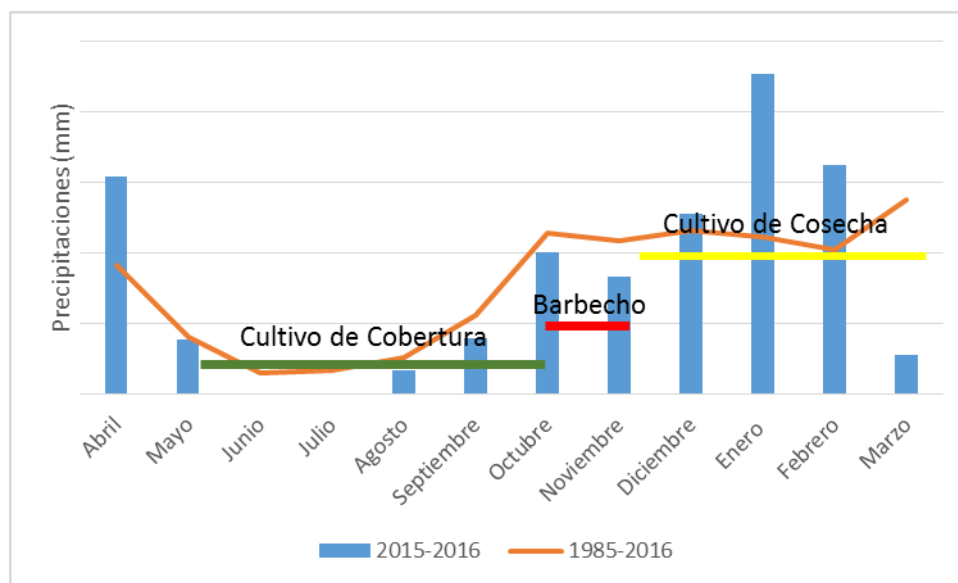


Fig. 35: Ocupación del lote durante el periodo de estudio, PP (2015-2016) y PP serie histórica (1985-2016) sitio IA.

## PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONSUMO DE AGUA.

A la siembra del CC el AET era de 269 mm, el perfil se encontraba a capacidad de campo y sin influencia de napa hasta los 2 m de profundidad (Fig. 37).

Entre la siembra del CC y el secado del CC llovieron 117 mm: Al momento del secado la AET presento diferencias significativas entre el Bch y los CC, (Fig. 37), pero no entre las dosis de N (Tabla 29). Efectos similares de los CC son reportados por Álvarez *et al.* (2013) para el mismo sitio donde los CC dejaron menor cantidad de AET en el perfil del suelo respecto al Bch al secado de los mismos.

El CH no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, siendo en promedio de 60 mm (Tabla 23).

La producción de BA del CC aumentó con el incremento de la dosis de N, mostrando diferencias significativas entre los tratamientos. La dosis 120N produjo la mayor BA, las dosis 80N y 40N tuvieron una producción intermedia y la dosis 0N fue la menor producción de BA (Tabla 22 y Fig. 36). Álvarez *et al.*, (2013) en mismo sitio, reportaron que la fertilización incrementó la producción solo en el ambiente de loma, mientras que en el bajo no encontró respuesta la fertilización N.

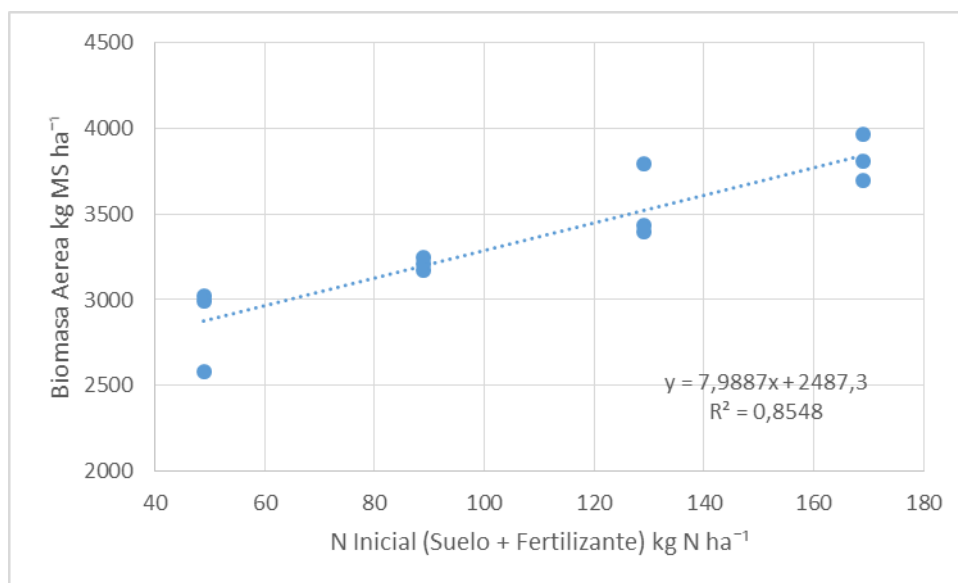


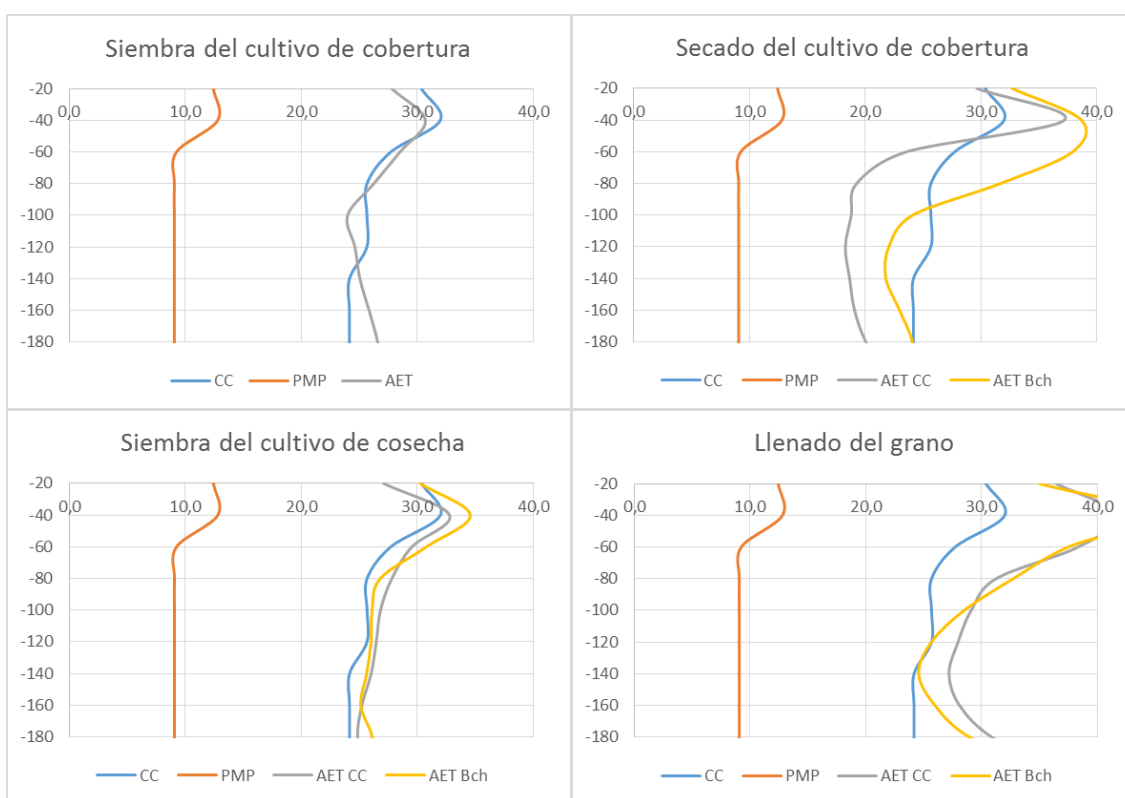
Fig. 36: Biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg MS ha<sup>-1</sup>) en función del nitrógeno inicial (suelo más fertilización) (kg N ha<sup>-1</sup>) sitio Intendente Alvear.

Tabla 22: Resumen 1 sitio IA. BACC: biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). Rto: rendimiento en grano del maíz (kg ha<sup>-1</sup>); AET Sec: agua edáfica total al secado del cultivo de cobertura (mm). ATE Sie: agua edáfica total a la siembra del cultivo de cosecha (mm); AET PC agua edáfica total en el llenado del cultivo de cosecha (mm). Letras distintas significa diferencias estadísticas (p<0,05).

Tratamiento	BA CC	Rto	AET Sec	AET Sie	AET PC
Bch		7671a	280a	278a	319a
0N	2864c	8287a	218b	268a	330a
40N	3209bc	8734a	212b	279a	334a
80N	3540ab	8067 a	225b	267a	323a
120N	3819a	8450a	226b	274a	323a
	p<0,01	p=0,29	p=0,02	p=0,97	p=0,98
	CV=4	CV=15	CV=8	CV=10	CV=11

El UC del CC no presento diferencias significativas entre las dosis de N (Tabla 23). Valores superiores a los hallados son reportados por Álvarez *et al.* (2013) en el mismo sitio, donde determino que el UC del CC en el ambiente loma fueron entre 182-200 mm.

La EUA se incrementó con el aumento de la dosis de N (Tabla 23). Scianca (2010) en Dorila (LP) reporta EUA de 50 kg MS mm<sup>-1</sup> de centeno como CC y Carfagno *et al.* (2013) en el mismo sitio, encontraron que la EUA del centeno como CC fue significativamente más alta que el raigrás.



*Fig. 37: Secuencia temporal de agua edáfica total en el sitio IA. Prof.: profundidad. CC: capacidad de campo. PMP: punto de marchitez permanente. ATE: agua total edáfica. AET CC: agua edáfica total correspondiente al promedio de todos los tratamientos cultivo de cobertura. AET Bch: agua edáfica total correspondiente al tratamiento barbecho. Se muestran los estados hídricos a la siembra del cultivo de cobertura, secado del cultivo de cobertura, siembra del cultivo de cosecha y llenado.*

Entre el Secado del CC y la siembra del CCh las PP registradas fueron de 174 mm, lo que permitió la recarga total del perfil en todos los tratamientos (Fig. 37) y no se encontraron diferencias significativas en la AET a la siembra del CCh entre los mismos (Tabla 22).

*Tabla 23: Resumen 2 sitio IA 2. UC-CC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). UC-CCh: uso consuntivo del cultivo de cosecha (mm). EUA-CC: eficiencia uso de agua del cultivo de cosecha ( $\text{kg mm}^{-1}$ ). EUA-G: eficiencia uso de agua grano ( $\text{kg mm}^{-1}$ ); CH: costo hídrico del cultivo de cosecha (mm). EB: eficiencia de barbecho. Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ).*

Tratamiento	UC-CC	UC-CCh	EUA-CC	EUA-G	CH	EB
Bch		564a		15a		(-1)b
0N	165a	544a	17b	19a	62a	29ab
40N	171a	551a	19ab	21a	68a	38a
80N	158a	550a	23ab	18a	55a	24ab
120N	158a	555a	24a	19a	54a	28a
	p=0,82	p=0,83	p=0,04	p=0,29	p=0,82	p=0,06
	CV=12	CV=4	CV=11	CV=16	CV=33	CV=55

La EB mostró una tendencia donde los CC fueron más eficientes en la captura de las lluvias ocurridas respecto del Bch (Tabla 23). Álvarez *et al*, (2013) en este mismo sitio encontraron que la EB disminuyó a medida que se alargaba el periodo de Bch y las EB variaron entre ambientes, siendo mayores en los CC respecto del Bch.

#### **DINÁMICA DEL N.**

A la siembra del CC la disponibilidad de N era de  $49 \text{ kg ha}^{-1}$ . La respuesta a la fertilización se diferenció significativamente entre los tratamientos fertilizados, siendo de 34 %, 24% y 13% para 120N, 80N y 40N, respectivamente. La baja respuesta a la fertilización N podría asociarse una buena condición inicial de sitio (alto IMO).

Al momento del secado se registraron diferencias significativas en la disponibilidad de  $\text{N-NO}_3$  en el suelo entre tratamientos, hallándose una mayor



disponibilidad en el Bch (Tabla 24) respecto de los CC, aunque no hubo diferencias entre las dosis de N.

*Tabla 24: Resumen 3 sitio IA. N-NO<sub>3</sub>CC: nitrógeno de nitrato al momento del secado del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>). N% BA-CC: porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura; N-BA-CC: nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>); N-NO<sub>3</sub> CCh: nitrógeno de nitratos en el periodo crítico del cultivo de cosecha maíz (kg ha<sup>-1</sup>). Letras distintas significan diferencias estadísticas (p<0,05).*

Tratamiento	N-NO <sub>3</sub> CC	N % BA-CC	N-BA-CC	N-NO <sub>3</sub> CCh
Bch	44a			30 a
0N	29b	1,4a	40b	38 a
40N	29b	1,5a	45b	38 a
80N	29b	1,5a	54ab	30 a
120N	32b	1,6a	65a	31 a
	p<0,01	p=0,09	p<0,01	p=0,40
	CV=11	CV=10	CV=11	CV=20

No se encontró diferencias significativas en el % de N en el tejido entre los tratamientos de dosis de fertilización (Tabla 24). Sin embargo el N retenido en la biomasa se incrementó con las dosis de N (Tabla 24), debido al aumento de la producción de BA (R<sup>2</sup>=0,78) provocada por la fertilización N y a un incremento en la concentración de N en tejido (R<sup>2</sup>=0,83).

La EUN presentó diferencias significativas entre tratamientos, la cual decreció con el aumento de la dosis de N. El tratamiento no fertilizado fue el que presentó la mayor eficiencia y se diferenció del resto de los tratamientos, que no se diferenciaron entre sí (Tabla 24).

La relación C:N disminuyó con el aumento de la dosis de N (Fig. 38, Tabla 25). La relación C:N halladas están en el límite superior de los umbrales de 25-30, por sobre los cuales prevalecen los procesos de inmovilización de N sobre mineralización (Stevenson & Cole., 1999).

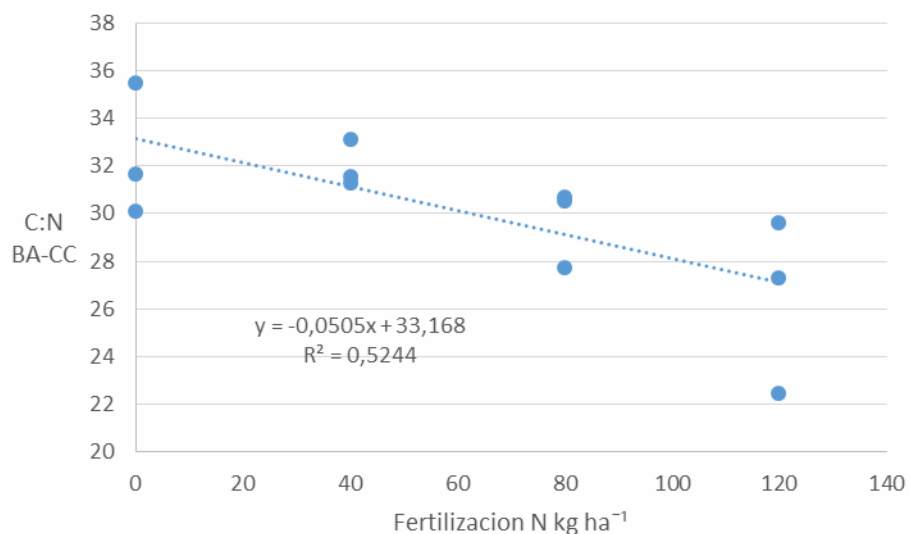


Fig.38. Relación C:N de la biomasa aérea en función de la dosis de nitrógeno sitio IA.

Se hallaron diferencias significativas en el C fijado en BA entre las dosis de N, siendo el que mayor C secuestro el tratamiento 120N, seguido de 80N, 40N y 0N la que menor C fijó (Tabla 25), el secuestro de C se dio en función de la BA producida.

Tabla 25: Resumen 4 sitio IA. EUN-CC: eficiencia de uso nitrógeno del cultivo de cobertura ( $\text{kg BA kg}^{-1} \text{N}$ ); C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura. C: carbono de la biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) Letras distintas significa diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ).

Tratamiento	EUN-CC	C:N	C
0N	58a	32b	1285c
40N	36b	32ab	1453bc
80N	27c	30ab	1626ba
120N	23c	26a	1705a
	$p < 0,01$	$p = 0,04$	$p < 0,01$
	CV=7	CV=9	CV=4

#### IMPACTO DEL CC SOBRE EL AGUA Y N EN EL CCH.

Las PP registradas entre la siembra del maíz y R4 fueron de 505 mm. El AET en llenado de grano no mostró diferencias entre tratamientos (Tabla 22).

La EUA hasta el llenado de grano no presento diferencias significativas ( $p=0,34$ ) entre los tratamientos, siendo en promedio de  $40 \text{ kg MS mm}^{-1}$ . Las PP ocurridas en este periodo (Fig. 35) no condicionaron la oferta hídrica.

La producción de BA de maíz en R4 fue similar entre tratamientos ( $p=0,78$ ) con un valor promedio de  $18308 \text{ kg MS ha}^{-1}$ .

En el PC del maíz la disponibilidad de N en el suelo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 24).

El % N BA del CCh no se hallaron diferencias ( $p=0,72$ ) entre los tratamientos y el promedio fue de  $0,96 \%$ . De manera similar, no se observaron diferencias entre los tratamientos en el N BA-CCh ( $p=0,64$ ) y el promedio fue de  $187 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Tabla 25).

En este contexto donde el agua no fue limitante, la producción de BA del CCh fue en gran medida explicada por el contenido (%) de N en tejido ( $R^2=0,68$ ), no hay un efecto claro del antecesor sobre el contenido de N en BA del CCh, ya que no se encontró diferencias entre los tratamientos para este parámetro. La relación C:N en la cual se interrumpió el ciclo del CC, se encuentran en la zona de inmovilización y parecen no haber jugado un papel importante como fuente de N, siendo la mineralización de MO la principal vía de aporte (Uhaldegaray *et al.*, 2018).

El rendimiento en grano fue similar entre tratamientos (Tabla 22), y no se encontraron efectos sobre los componentes del rendimiento.

Entre la siembra del CCh y la MF (20/4/2016) las PP fueron de  $605 \text{ mm}$ . Con estas PP no se hallaron diferencias en el UC del CCh entre los tratamientos. En este sentido la EUA para la producción de grano del maíz no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos.

## **CONCLUSIÓN.**

La baja CRA de estos ambientes arenosos los hace altamente dependientes de las PP, ya que en general no tienen influencia de la napa freática en la zona radicular. En este sentido fue un año no limitante desde el punto de vista de las PP, tanto en cantidad como en distribución.

La buena condición del suelo, evidenciada por su alto IMO, es uno de los principales factores de baja respuesta a la fertilización N y la baja CRA la principal limitante para la producción de BA del CC.

La fertilización con N mejoró la EUA, pero a costa de una menor EUN y el UC del CC no se modificó con el aumento de la dosis.

La fertilización N modificó la relación C:N, la cual disminuyó a medida que la dosis de N aumento.

El CH de los CC no representó una limitante para el CCh, ya que al momento de la siembra del CCh se habían recargado todos los perfiles, debido a las PP ocurridas en este periodo y a las mayores EB que mostraron los tratamientos con CC.

Bajo las condiciones hídricas en que se realizó la experiencia los CC no influyeron sobre el rendimiento del CCh.

## CAPITULO VII-INTEGRADOR.

### EFFECTO DEL SITIO Y LA FERTILIZACIÓN CON N SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA AEREA DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA.

La calidad del sitio se relaciona con el contenido de arena, MO, la relación MO/Limo + Arcilla (índice IMO), el P disponible y la CRA, debido a que son parámetros estables en el ciclo del cultivo (Rubio & Taboada.; 2012).

La disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> del suelo, el AET, la T°, la ocurrencia de heladas y las PP hacen referencia a la oferta de recursos del ciclo en particular; de la conjunción de los mismos se determina el ambiente para el cultivo.

Prácticas agronómicas como especie a utilizar, fecha de siembra o el nivel de fertilización, son herramientas que permiten adaptar los objetivos del cultivo al ambiente.

En resumen la suma de los factores anteriormente mencionados determinan el ambiente en el cual se va desarrollar el cultivo y la posibilidad del mismo de usar eficientemente dichos recursos disponibles.

*Tabla 26 Resumen por sitio del UC-CC: Uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg MS ha<sup>-1</sup>) y RpN: respuesta a la fertilización nitrogenada (%) y ERN: eficiencia de recuperación de nitrógeno (%). EUN: eficiencia de uso de nitrógeno (kg MS BA kg<sup>-1</sup>N) para los sitios GV, Phj, Ln, IA y TL. Letras distintas significan diferencias (p<0,05).*

Sitio	UC-CC	BA-CC	RpN	ERN	EUN	EUA
GV	252a	5410b	42a	53b	69a	22a
Phj	215b	6327b	39a	70ab	38b	30b
Ln	206b	8557a	31a	77a	51b	42c
IA	163c	3976c	18a	53b	36b	21a
TL	159c	3358c	35a	57ab	50b	25ab
	p<0,01	p>0,01	p=0,25	p<0,01	p<0,01	p<0,01
	CV=10	CV=17	CV=21	CV=29	CV=31	CV=21

La producción de BA del CC difirió significativamente entre sitios, asociada a las diferencias en calidad del sitio y/o la oferta de recursos (Tabla 26). La mayores BA del CC se lograron en los sitios de menor contenido de arena, mayor MO y CRA. La producción de BA del CC fue mayor en la medida que la oferta ambiental tuvo más agua inicial y N-NO<sub>3</sub> disponible (Tabla 27).

*Tabla 27: Correlación de Pearson de BA-CC biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg MS ha<sup>-1</sup>) con N Inicial: suma del nitrógeno aportado por el suelo más el fertilizante al momento de la siembra del cultivo de cobertura (kg N ha<sup>-1</sup>), P: fósforo (ppm), MO: porcentaje de materia orgánica. Arena. Porcentaje de arena, pH. IMO: índice de materia orgánica sobre limo más arcilla (%) CRA: capacidad de retención de agua hasta los 2 metros de profundidad; AET Inicial +PP: agua edáfica total en el suelo a la siembra del cultivo de cobertura más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo (mm).*

BA-CC	r	p-valor
N Inicial (S+F)	0,72	<0,01
P (ppm)	-0,69	<0,01
% MO	0,67	<0,01
% Arena	-0,75	<0,01
pH	-0,58	<0,01
IMO	-0,39	<0,01
CRA (mm)	0,83	<0,01
AET I + PP (mm)	0,75	<0,01

La producción de BA del CC estuvo correlacionada positivamente con las variables de sitio CRA, MO y negativamente con las variables de sitio Arena y P. En tanto que se correlacionó positivamente con la oferta ambiental AET Inicial, PP y N Inicial (Tabla 27). En el análisis de componentes principales, el contenido de arena se ubica en el cuadrante opuesto a la BA del CC esto muestra la relación en sentido

opuesto de las variables y confirmando que la variable textura determina el ambiente.

Utilizamos en este trabajo al parámetro P como un indicador de presión, ya que la fertilización con P no fue una variable de estudio. En esta experiencia hay sitios con aptitud agrícola y de limitada aptitud agrícola. Los suelos menos provistos de P coinciden con ambientes de mayor aptitud agrícola, mayores rendimientos y balances de P negativos, por ende sometidos a una mayor presión de extracción. Es por esta razón que este parámetro se correlaciona negativamente (Tabla 27) con la producción de BA del CC.

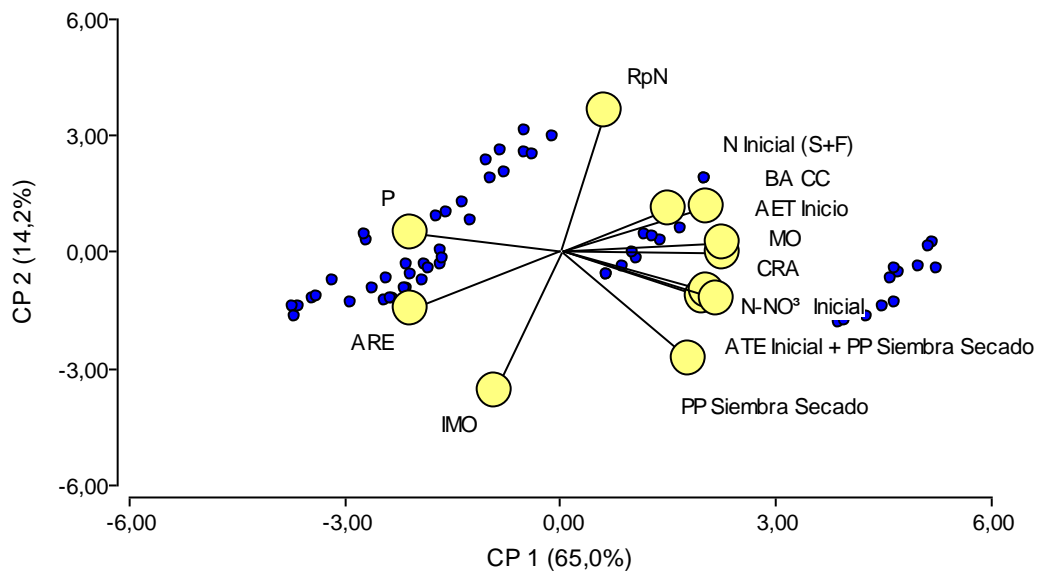
*Tabla 28: Correlación de Pearson RpN: respuesta a la fertilización (%), con N-NO<sub>3</sub> Inicial: suma del nitrógeno aportado por el suelo más el fertilizante al momento de la siembra del cultivo de cobertura (kg N ha<sup>-1</sup>). P: fosforo (ppm). MO: porcentaje de materia orgánica. Arena. Porcentaje de arena, pH. IMO: índice de materia orgánica sobre limo más arcilla (%) CRA: capacidad de retención de agua hasta los 2 metros de profundidad; PP Siem-Sec: precipitaciones ocurridas entre la siembra y el secado del cultivo de cobertura (mm); AET I + PP: agua edáfica total inicial en el suelo a la siembra del cultivo de cobertura más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo (mm).*

<i>RpN</i>	Pearson	p-valor
N-NO <sup>3</sup> Inicial	0,09	0,51
P	-0,12	0,34
MO	0,07	0,57
ARE	-0,26	0,04
IMO	-0,32	0,01
CRA	0,18	0,17
AETI + PP	0,10	0,43

La RpN estuvo condicionada por el ambiente (Tabla 28) y se correlaciono en forma negativa con los contenidos de arena e índice IMO. Es decir, que la RpN fue mayor en la medida que el contenido de arena y el IMO fueron menores. En el análisis de

componentes principales, el IMO se ubica en el cuadrante opuesto a RpN indicando un comportamiento en sentido inverso de las variables (Fig. 39).

Aunque los sitios analizados son pocos, la tendencia concuerda con lo expresado por Quiroga *et al.*, (2006) para quien el IMO es un buen estimador de la respuesta a la fertilización N, siendo este más integral que la disponibilidad de nutrientes, textura o MO por separados, ya que este índice integra aspectos relacionados a la fertilidad física y química de los suelos (Quiroga & Funaro, 2004).



*Fig. 39: Análisis de componentes principales con la variables RpN: respuesta a la fertilización nitrogenada (%), P: fósforo (ppm), N Inicial (S+F): nitrógeno disponible a la siembra del cultivo de cobertura suelo más fertilización ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), BA CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ), AET Inicio: agua edáfica total a la siembra del cultivo de cobertura (mm), MO: materia orgánica del suelo (%), CRA: capacidad de retención de agua (mm), N-NO<sub>3</sub>: nitrógeno de nitratos hasta 1 metro de profundidad ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), ATE Inicial + PP siembra secado: suma de agua edáfica total a la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de cobertura (mm), PP siembra secado: precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de cobertura (mm).*



En este año en particular (2015) la RpN no estuvo condicionada por la oferta hídrica inicial, ya que todos los sitios a la siembra del CC presentaban los perfiles de suelo recargados y las PP estuvieron dentro de la media histórica.

Las PP en el periodo abril-septiembre fueron iguales en promedio a la media para todos los sitios, en consecuencia la oferta hídrica compuesta por AET Inicial y las PP en la mayoría de los años son suficientes para cubrir los requerimientos medios del centeno como CC y obtener respuesta positiva a la fertilización con N (Tabla 27).

El UC del CC mostró diferencias significativas entre los sitios (Tabla 26) los menores valores se hallaron en los sitios más arenosos. La producción de BA del CC fue mayor en los sitios de mayor UC, lo cual se dio a expensas del consumo del AET (GV), las PP (Phj) y el aporte de la napa freática (Ln), confirmando que en términos de aporte de las PP al crecimiento es importante la cantidad y la distribución de las mismas (Baumhardt & Jones., 2002).

El UC del CC no se diferenció significativamente con los niveles de fertilización N (Tabla 26). Uhaldegaray *et al.*, (2018) en Anguil reportan resultados similares, sin diferencia entre el UC según dosis de N.

La EUA se diferenció entre sitios (Tabla 26), en los sitios donde se lograron las mayores producciones de BA del CC tuvieron mayores EUA, coincidentemente en estos sitios se registraron los mayores UC.

Se hallaron diferencias estadísticas en la EUA según dosis de N (Tabla 29). Las dosis más altas, permitieron mayor producción de BA del CC, por lo tanto tuvieron mayores EUA ya que el UC fue similar entre tratamientos. Bertolla *et al.*, (2013) también halló que la fertilización con N en gramíneas como CC produjo aumentos en la BA, la EUA y la tasa de crecimiento del cultivo.

La EUA estuvo condicionada por la oferta hídrica sitios y por la fertilización con N, por esto es importante considerar que en términos de optimizar el uso del recurso hídrico la fertilización con N es una herramienta útil siempre y cuando la oferta hídrica este asegurada.

Los N-NO<sub>3</sub> a la siembra no se correlacionaron con la RpN. En este sentido Berardo & Marino., (2007) plantean que en otoño existe un desbalance entre la oferta de N del suelo y el requerimiento de los cultivos, por esto las fertilizaciones en otoño suelen

resultar excesivas, debido a menores tasas de crecimiento de los cultivos y que las condiciones climáticas otoñales suelen favorecer mayores pérdidas de N, en región pampeana. Prystupa (2007) trabajando en trigo determino en región pampeana el umbral crítico de no respuesta a la fertilización N de 16-18 ppm N-NO<sub>3</sub> (0-20 cm de profundidad), por debajo del cual no se observó una relación clara entre la concentración de nitratos inicial y el rendimiento relativo.

La MO, por si sola, no se correlaciona con la RpN (Tabla 28), Quiroga *et al.*, (2008) muestran la dificultad de considerar el contenido MO total como un indicador individual de calidad en Molisoles, tanto al evaluar su efecto sobre propiedades físicas como su relación con la productividad de los cultivos (Quiroga & Funaro, 2004).

LA BA del CC aumento con el aumento de la dosis de N y se encontraron diferencias significativas entre las dosis utilizadas (Tabla 29) y a medida que se aumenta la dosis las diferencias son menores, en el rango de dosis evaluadas no se alcanzó el plateau. En centeno utilizado como CC secados en encañazón, los tratamientos con fertilización N generan las mayores producciones de MS (Barraco *et al.*, 2012).

En las tres dosis de N utilizadas siempre hubo respuesta positiva y se encontraron diferencias entre las dosis en la respuesta a la fertilización (Tabla 29), la dosis más alta 120N no se diferenció de la dosis de 80N, pero sí de la dosis 40N y las dosis 80N y 40N no se diferenciaron entre sí. Marino & Agnudsdei (2009) plantean que dosis inferiores a los 50 kg N ha<sup>-1</sup> generan incertidumbres en las respuestas obtenidas y Berardo & Marino (2007) reportan respuesta hasta dosis de fertilización de 100 a 150 kg N ha<sup>-1</sup> en el sudeste bonaerense. También en bajas dosis de N Corvalan & Pelestier., (2018) reportan para el centeno cv Quehue escasas diferencias entre las dosis de nitrógeno aplicadas.

La EUN mostró diferencias entre los tratamientos (Tabla 29) y los sitios (Tabla 26). Esta decreció con la dosis de N, siendo la eficiencia más alta para el CC no fertilizado, y en orden decreciente para las dosis 40N, 80N y 120N. Amigone *et al.*, (1998) en Río Cuarto han encontrado respuesta a la fertilización nitrogenada de avena con eficiencias de uso de 22 a 45 kg MS por kg de N aplicado y efectos sobre el porcentaje de proteína bruta. Trasmonte & Diaz Zorita., (2000) trabajando

con avena reportaron que la EUN disminuye con el aumento de las dosis de aplicación de N.

LA EUN del sitio GV se diferencia del resto y puede atribuirse al bajo contenido inicial de N-NO<sub>3</sub> y la buena producción de BA del CC.

El ERN tuvo diferencias estadísticas entre sitios y permitió diferenciar a los mismos por su calidad. En tal sentido los sitios que permiten una buena producción de BA son los que mayor recupero presentan (Tabla 26).

Con la fertilización N los sistemas de CC se hacen menos eficientes en la gestión del N, ya que disminuyen la EUN y la ERN en la medida que se aumenta la dosis de N. El recupero de N tiene implicancias ambientales, ya que el N no captado por los CC es susceptible de lixiviarse (Portela *et al.*, 2016). Evitar la pérdida de N es uno de los objetivos buscados con los CC (Blanco Canqui *et al.* 2015); evaluar la EUN y cuanto del N se recupera en la BA son indicadores importantes en la performance ambiental de la fertilización N (Doberman 2005), este indicador se podría mejorar aún más evaluando la biomasa de raíces (Frasier *et al.*, 2009).

*Tabla 29: Resumen por sitios de UC-CC: uso consuntivo del cultivo de cobertura (mm). BA-CC: biomasa aérea del cultivo de cobertura (kg MS ha<sup>-1</sup>) y RpN respuesta a la fertilización N (%) N. ERN Eficiencia de recuperación de N (%), EUN. eficiencia de uso de nitrógeno (kg MS BA kg<sup>-1</sup>N). Letras distintas significan diferencias al 5%.*

Tratamiento	UC-CC	BA-CC	RpN	ERN	EUN	EUA
0	186a	4259c		78a	72c	24a
40	196a	5357b	28b	62ab	50 b	27ab
80	201a	5831ab	40ab	52b	39ab	29ab
120	213a	6656a	63a	55b	35a	31b
	p=0.15	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01
	CV=16	CV=17	CV=21	CV=29	CV=31	CV=21

## FERTILIZACIÓN NITROGENADA, CALIDAD DE RESIDUO Y DISPONIBILIDAD DE NITROGENO.

Al momento del secado, en los tratamientos de CC había una menor disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> que en el Bch. Resultados similares a los hallados en esta experiencia son reportados por Frasier *et al.*, (2017) en Anguil, Álvarez *et al.*, (2012) en Gral Pico, Scianca (2010) en Dóriga y Villegas, Miranda *et al.*, (2014b) en Villegas y Bertolla *et al.*, (2013) en Marcos Juárez. Prystupa (2007) trabajando con cereales de invierno, determinó que durante fin de macollaje-encañazón los nitratos comienzan a disminuir, alcanzando alrededor de espigazón el nivel más bajo de nitratos en el suelo.

La longitud del Bch afecta positivamente el N disponible (Quiroga *et al.*, 2005), como en efecto los CC acortan este periodo, reducen en promedio el 50% de los NO<sub>3</sub> disponibles en relación con el Bch (Álvarez *et al.*, 2017). Este consumo de NO<sub>3</sub> representa una fuerte disminución en las pérdidas por lixiviado (Pórtela *et al.*, 2016) y permite que el N capturado sea liberado gradualmente (Blanco-Canqui *et al.*, 2015; Uhaldegaray, 2018) para ser aprovechado por el cultivo siguiente.

*Tabla 30: Resumen de N por sitio. N BA-CC: nitrógeno retenido en la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado (kg N ha<sup>-1</sup>). C BA-CC: carbono retenido en la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado (kg ha<sup>-1</sup>). N-NO<sub>3</sub>: nitrógeno de nitratos en el suelo al momento del secado del cultivo de cobertura (kg N ha<sup>-1</sup>).*

Sitio	N BA-CC	C BA-CC	N-NO <sub>3</sub>
TL	48b	1856c	35a
Phj	118a	2772b	65b
Ln	131a	3947a	71b
IA	51b	1509c	33a
GV	44b	2471b	33a
	p<0,01	p=0,01	p<0,01
	CV=20	CV=18	CV=20

Entre las dosis de N no se encontraron diferencias en la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> al momento del secado del CC, indicando que el N de los fertilizantes es muy

susceptible de ser lixiviado, en condiciones de alta concentración de NO<sub>3</sub> y PP (Berardo & Marino 2007). Este mecanismo es la principal pérdida de N en los sistemas agrícolas (Echeverría *et al.*, 2005).

Entre los sitios también hubo diferencias significativas en el N-NO<sub>3</sub> (Tabla 30) y permitió diferenciar los sitios Ln y Phj de GV, TL e IA. Esto se relaciona con el contenido de MO (Galantini *et al.*, 2008), ya que los suelos con mayor contenido de MO son los que mayor disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> mostraron.

*Tabla 31 Resumen de calidad de residuos y nitratos remanente por Tratamientos. C:N: relación carbono nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado (%), N %: concentración de nitrógeno en biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado (%), N BA-CC: nitrógeno retenido en la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado (kg N ha<sup>-1</sup>). C: carbono retenido en la biomasa aérea del cultivo de cobertura al momento del secado (kg ha<sup>-1</sup>). N-NO<sub>3</sub>: nitrógeno de nitratos en el suelo al momento del secado del cultivo de cobertura (kg N ha<sup>-1</sup>).*

Tratamientos	C:N	N %	N	C	N-NO <sub>3</sub>
0	37a	1,28c	52c	1940c	34a
40	34b	1,41b	73b	2431b	41a
80	32b	1,48b	82b	2646ab	44a
120	28c	1,66a	106a	3028a	46a
Bch					71b
	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01
	CV=9	CV=8	CV=20	CV=18	CV=20

El % N BA del CC aumento y la relación C:N disminuyó al aumentar la dosis de N (Tabla 31). Berardo & Marino (2007) hallaron que con dosis de N mayores a 100-150 kg N ha<sup>-1</sup>, solo se incrementó el contenido N en el forraje. Martínez *et al.*; (2013) reporta que el N acumulado en avena utilizada como CC fue mayor en los

tratamientos fertilizados con N y la relación C:N fue menor comparado con los tratamientos sin fertilización.

Esto puede atribuirse a un consumo de lujo de N, ya que por encima de ciertas concentraciones no hay respuesta del crecimiento al agregado de nutrientes (Tognetti *et al.*, 2006). En buenas condiciones hídricas, cuanto mayor es la concentración de nutriente en la solución y mayor es la tasa transpiratoria, mayor es la absorción de  $\text{NO}_3$  (Abbate & Andrade, 2005).

La fertilización con N tiende a alargar el periodo vegetativo (Tognetti *et al.*, 2006) y particularmente en el centeno la relación C:N aumenta bruscamente con el avance de los estados reproductivos (Diez & Sardiña, 2014) ya que la relación proteína bruta/carbohidratos no estructurales se hace menor. Esta mayor relación C:N, le confiere más persistencia en el tiempo a los residuos (Scianca, 2010). Corvalan & Pelletier (2017) también encuentran diferencias en los contenidos de PB para centeno cv Quehue entre diferentes sitios y Uhaldegaray (2012) concluyeron que la fertilización N aumentó la cantidad de residuos y disminuyó la relación C:N.

La descomposición de la MO genera una elevada demanda de N, ya que los hongos y bacterias que intervienen en su transformación tienen relaciones C:N más bajas que los materiales que descomponen (Porta Casanellas *et al.*, 2003). Es por esto que residuos con relaciones C:N más bajas se descompondrán más rápidamente.

En residuos con una relación C:N menor a 20:1 hay liberación de N por mineralización y si esta es superior a 30:1 se produce inmovilización de N por crecimiento bacteriano (Echeverría & Sainz Rosas, 2005). Andriulo *et al.* (2008) sugieren que la fertilización N produce una estimulación de las emisiones de C y N, producto de una mayor descomposición de los residuos que ingresan al suelo, debido a que BA enriquecida con N aceleran su mineralización.

La calidad de los residuos aportados al suelo influye fuertemente en las variaciones de disponibilidad de N en el suelo durante prácticamente todo el ciclo del cultivo CCh, siendo esto determinante en la absorción de N y en el rendimiento (Sa Pereira, 2013).

Las relaciones C:N halladas se encuentran por encima de los umbrales propuestos, sugiriendo que procesos de inmovilización serían favorecidos en los

rangos hallados (Tabla 31). Uhaldegaray (2012) en fechas de secado similares halló relaciones C:N similares y encontró que en V6 del maíz los residuos de BA del CC habían perdido entre el 70-90% del N. Kramberger *et al.*, (2009) concluyeron que los CC con especies no leguminosas de alta relación C:N presentaron escaso o nulo aporte de N al cultivo sucesor y Uhaldegaray *et al.*, (2018) concluyeron que el N derivado del residuo fue una fuente importante para el cultivo de maíz en los tratamientos de CC, pero el N derivado del suelo fue la principal fuente.

El C fijado en BA del CC varío entre las dosis de N, aumentando cuando las dosis de N son mayores. Si bien se fijó más C, las relaciones C:N es menor y esto podría estimular las emisiones de C (Andriulo *et al.*, 2008). Hay evidencia de que los CC ayudan a incrementar el CO del suelo, por ejemplo: después de 10 años de secuencia CC/Soja versus Bch/Soja, el contenido de C total y particulado fue mayor en los tratamientos con CC vs Bch (Rillo *et al.*, 2018) o con 8 años de efectos acumulados, la inclusión de CC aumentó el contenido de CO (Lardone *et al.*, 2012, Barraco *et al.*, 2016). Pero la relación C:N parece gobernar este proceso (Galatini *et al.*, 2008), en tal sentido dilucidar si la fertilización N puede ser utilizada como práctica para aumentar la tasa de fijación de C mediante CC debería ser evaluado en futuros trabajos.

### **DINÁMICA DEL AGUA DURANTE EL BARBECHO.**

Los CC consumen más agua que los Bch, esto ha sido ampliamente demostrado en la región pampeana y se ha determinado que en promedio el agua en el suelo disponible a la siembra de los CCh disminuye en un 20 % en los CC respecto del Bch químico (Álvarez *et al.*, 2017). Sin embargo si el Bch es largo tan solo un 30 % de las precipitaciones durante el Bch son transferidas al ciclo de los cultivos (Quiroga *et al.*, 2003) por lo cual el 70% restante se pierde a la atmósfera o sirve de recarga a la napa (Aragón *et al.*, 2011).

La ausencia de cultivos durante el invierno provoca una pérdida de recursos disponibles, como agua, nutrientes, radiación solar, etc. (Sardiña *et al.*, 2008), que no son aprovechados para producir granos y/o biomasa (Álvarez *et al.*, 2014) y que no son transferidos al cultivo de cosecha (Scianca 2010; Sá Pereyra *et al.*, 2017).

La conservación del agua durante el Bch es función del tipo de suelo, sistema de labranza, PP, CRA (Lampurlanes *et al.*, 2002) y el nivel de cobertura (Quiroga *et al.*, 2005; Krüger & Quiroga, 2013). Los CC intervienen principalmente en la generación de

cobertura, en esta experiencia en promedio de todos los sitios y todos los tratamientos, fue de 5550 kg MS ha<sup>-1</sup> con un máximo de 10680 kg MS ha<sup>-1</sup> y un mínimo de 2251 kg MS ha<sup>-1</sup> respecto del Bch, el cual se mantuvo limpio durante todo el ciclo.

En regiones con PP ≥ 800 mm, los CC a menudo aumentan el contenido de agua del suelo a la siembra del CCh (Blanco-Canqui *et al.*, 2015). En la zona en estudio las PP promedio de los últimos 30 años, en todas las localidades fueron superiores a los 800 mm.

En secano, el principal riesgo de los CC es condicionar la oferta hídrica para el CCh, si no existe recarga del perfil durante el corto período de Bch posterior al secado del CC (Álvarez *et al.* 2012). En la zona de estudio las PP de Octubre y Noviembre, periodo que coincide entre el secado del CC y la siembra del CCh, son superiores a 100 mm en mas del 75% de los años (Fernández *et al.*, 2012a).

Las PP medias de este periodo son similares a las CRA (Figura 40), por lo que estos suelos pueden almacenar las mismas, en la medida que se logre la mayor captación (Rillo *et al.*, 2013). Para la zona en estudio las PP permitirían recargar el perfil en ese periodo con una probabilidad mayor al 75%. En este sentido se puede fijar como última fecha de secado del centeno en los primeros días de octubre, sin comprometer la recarga del perfil.

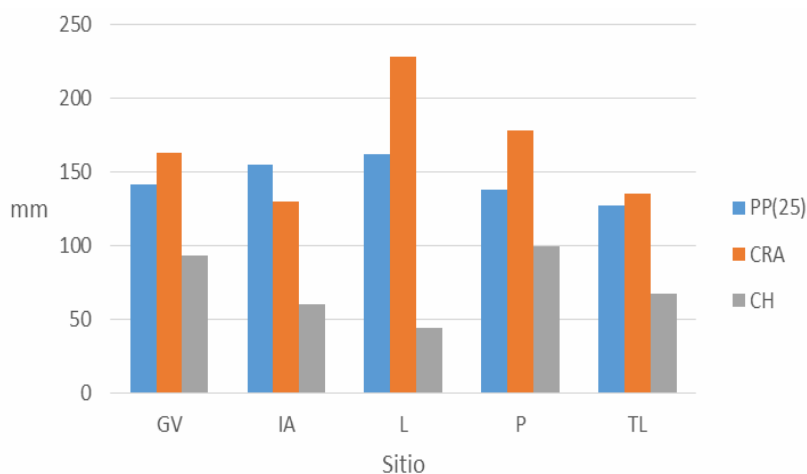


Figura 40: PP: precipitaciones del mes de octubre y noviembre, promedio histórico (1985-2015), CRA: capacidad de retención de agua para el sitio y CH: costo hídrico de los cultivos de cobertura (2015).



En el periodo de barbecho corto que ocurre desde el secado del CC hasta la siembra del cultivo de verano, los CC tuvieron una EB del 42%, mientras que los barbechos solo de 3,5%, siendo estas diferencias significativas ( $p > 0,01$ ). El efecto de la cobertura contribuye la captación y conservación del agua, debido a una mejora en la velocidad de infiltración (Rillo *et al.*, 2018) y una menor tasa de evaporación por menor temperatura superficial (Fernández *et al.*, 2008) y una disminución de la velocidad del viento (Krüger *et al.*, 2013). La EB no se diferenció entre tratamientos de fertilización ( $p = 0,29$ ) y el efecto de la cobertura se manifestó desde los menores volúmenes de BA generado por los CC (Lardone *et al.*, 2014b).

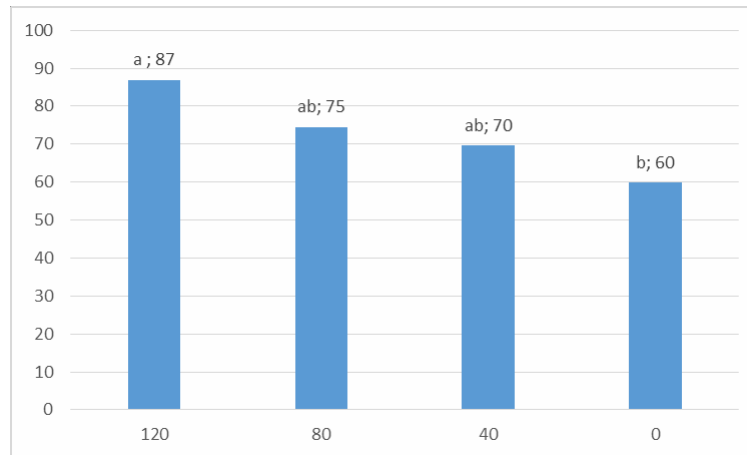
Los residuos en la superficie del suelo además de reducir la cantidad de radiación solar directa que llega al suelo, reflejan mayor cantidad de radiación a la atmósfera, ya que el manto vegetal suele tener un albedo superior al del suelo desnudo, lo que permite disminuir las pérdidas de agua por evaporación (Fernández *et al.*, 2012a). Al momento de la siembra los CC se encuentran incluso en mejores condiciones que los Bch descubiertos, porque los primeros cm de profundidad mantienen la humedad por más tiempo, extendiendo la oportunidad de siembra (Carfagno *et al.*, 2008).

A la siembra no se encontraron diferencias ( $p = 0,54$ ) en el AET entre los tratamientos. Resultados similares son reportados en la zona por Scianca (2010), Álvarez *et al.* (2012), Miranda *et al.* (2012), Baigorria & Cazorla (2010). Centenos con momentos tempranos de secado con fertilización permiten un mayor tiempo de recarga de agua en los perfiles de suelo para la siembra (Barraco *et al.*, 2012)

El CH presentó diferencias significativas ( $p = 0,03$ ) entre los tratamientos 120N y 0N, mientras que los tratamientos intermedios no se diferenciaron entre sí (Figura 41). Esto evidencia que la mayor producción de BM puede incrementar el consumo de agua, si bien no hay evidencia estadística de mayor UC de los CC cuando produjeron mayor BA (Tabla 29).

El CH presentó diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) entre los sitios. El mayor CH se registró en el sitio Phj, seguido de GV, TL, IA y Ln. En el caso de este último sitio, la cercanía de la napa freática a la superficie atenta contra la sensibilidad de la metodología utilizada y no permite discriminar el efecto del CC sobre la dinámica hídrica del efecto de los movimientos verticales del nivel freático. La diferencia en el CH entre sitios está estrechamente relacionada a la distribución de las PP, cuanto más

cercanas al momento de muestreo menos evidentes son las diferencias entre tratamientos.



*Figura 41: Costo hídrico del cultivo de cobertura para los tratamientos 120N, 80N; 40N y 0N. Letras distintas muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).*

En promedio el CH de la práctica para la zona fue del orden de los 70 mm (Figura 41). Los CC tienen un CH de entre 30-100 mm (Quiroga *et al.*, 2008, Fernández *et al.*, 2012a). Estos autores también demostraron que en un suelo a capacidad de campo, se requieren aproximadamente 80 mm de agua para elevar 20 cm la napa. En esta experiencia los CC consumieron en promedio 70 mm de PP más que el Bch, el CH se traduce en 20 cm menos de napa, este es el aporte de los CC a la mitigación de los efectos que los excesos hídricos producen en el sistema.

Existe una estrecha conexión entre las aguas subterráneas y superficiales: El proceso relativamente lento de acumulación de agua que preceden a los eventos de inundación (Aragón *et al.*, 2011) ofrecen la oportunidad de desarrollar sistemas de gestión de agua a nivel de cuenca, que podrían ayudar a adaptarse a los cambios climáticos. Dada la conectividad del sistema hidrológico y la fuerte asociación observada entre el balance hídrico de la parcela y las inundaciones regionales (Nossetto *et al.*, 2015), es muy relevante mejorar el consumo de agua de los actuales sistemas productivos, ya que el reemplazo de los sistemas ganaderos, basados en pasturas, por la producción de granos (Figura 6) disminuyó las tasas de transpiración, elevó los niveles de la napa freática y con esto los riesgos de inundación (Nossetto *et al.*, 2015).

## **EFFECTOS DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL CULTIVO DE COSECHA.**

En la BA del CCH hasta el PC no se encontraron diferencias ( $p=0,38$ ) entre los tratamientos.

Se encontró en la AET en el PC una tendencia ( $p=0,07$ ) por la cual el tratamiento Bch el contenido de agua fue menor, sin que esto haya tenido influencia en el la producción de BA producida hasta ese momento. En la concentración de N del CCh no se encontraron diferencias entre los tratamientos ( $p=0,67$ ). Scianca (2010), concluyó que las precipitaciones ocurridas entre el periodo comprendido desde la siembra del cultivo de soja hasta el estadio de R2 lograron explicar un 94 % de la producción de BA de soja

El  $N-NO_3$  mostró una tendencia ( $p=0,08$ ) en la que los tratamientos 0N y 40N tuvieron mayor contenido de  $N-NO_3$  que el resto de los tratamientos, sin que se pueda atribuir un efecto sobre el CCh. La oferta de N está más asociada a la mineralización de la MO del suelo que a la mineralización de los residuos del CC (Uhaldegaray, 2013).

No se encontraron evidencias estadísticas de que la variación de estos parámetros, por acción de los tratamientos haya tenido efecto perjudicial o beneficioso sobre la BA del CCh en el PC. Basche *et al.*, (2016) no encontraron diferencias de tratamiento CC y Bch en el crecimiento, el área de las hojas o la absorción de nitrógeno de los CCh. En las buenas condiciones ambientales en que se desarrollaron las experiencias, los efectos del CC parecen no impactar sobre las condiciones de desarrollo del cultivo hasta el PC (Scianca 2010).

Con la fertilización con N se modificó la relación C:N, de los residuos del CC, pero siempre estuvieron por encima del umbral de inmovilización y por lo tanto la oferta de N estuvo más asociada a la mineralización del suelo (Uhaldegaray, 2013) que a la de los residuos del CC o el N residual de la fertilización N que se lixivió (Berardo & Marino 2007).

Entre los rendimientos relativos de los tratamientos no se encontraron diferencias ( $p=0,12$ ). Este parece estar más asociado a la calidad del ambiente, principalmente MO, arena y CRA cuando la oferta ambiental es adecuada (PP). En general se comprobó que no existe relación estrecha entre los contenidos de humedad de suelo y

nitratos al momento de secar los CC y su influencia sobre el cultivo siguiente (Scianca, 2010; Álvarez & Scianca 2006; Fernández *et al.*, 2007).

Álvarez *et al.* (2017) concluyen que en la región pampeana el rendimiento del cultivo de soja se vio mínimamente afectado, en tanto que el cultivo de maíz depende del tipo de CC (leguminosa o no leguminosa). En tal sentido el impacto de los cultivos de cobertura sobre los rendimientos de cultivos posteriores varía en función del manejo de estos y del cultivo siguiente, pudiendo ser beneficiosos perjudiciales o no tener efectos (Blanco-Canqui *et al.*, 2015).

Es preciso destacar que la magnitud de los beneficios del CC es altamente sitio específica (Delgado *et al.*, 2015), que el ajuste de la técnica en lo que respecta a especie, momento de secado y fertilización son de ajuste local y están en función de los objetivos perseguidos (Scianca 2010) y que los efectos como el control de malezas son de corto plazo (Girón *et al.*, 2016) y otros como como secuestro de carbono (Rillo *et al.*, 2018) no son visibles en el corto plazo, al menos hasta por lo menos pasados 5 años (Blanco-Canqui *et al.*, 2015 ).

## **CONCLUSIONES.**

La incorporación de CC generó un volumen de rastrojo que secuestro C, NO<sub>3</sub> y mejoró la EUA general del sistema. La fertilización N del CC generó más BA del CC, mejoró la EUA del CC, si bien tuvo un incremento del CH. En la medida que la dosis de N aumenta, genera un residuo de menor relación C:N, a una menor EUN y ERN, por lo tanto el riesgo ambiental por contaminación con N es mayor.

La EB entre el secado del CC y siembra del CCh, es mayor en los CC respecto del Bch y al momento de la siembra no se encontraron diferencias en el AET entre ambos sistemas.

Los CC, a través del CH que tienen respecto del Bch, aportan a mejorar el balance hídrico regional, al evapotranspirar mayor cantidad de agua respecto de lotes que se mantienen en Bch, sin afectar al cultivo de renta.

En las condiciones en la que se realizaron estos estudios los CC no impactaron sobre el rendimiento del CCh.

La práctica agronómica del CC necesita del ajuste local y principalmente a nivel de predio, en función del ambiente, la oferta de recursos y los objetivos, esto es fundamental para el éxito y adopción de la práctica en cada sistema.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- AAPRESID. 2019. Revista Red de Innovadores nº 180. Pág. 18.
- Abbate P. & F. Andrade. 2005. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de granos. En: Fertilidad de los Suelos y fertilización de cultivos (Echeverría H. & F. O. García Editores) Ediciones INTA 1<sup>a</sup>. ed. Pág. 43-65
- Amigone M, A. Montesano & B. Masiero. 1998. Siembra directa de verdeos de invierno. Publicación No. 1. Serie Ganadería. UEE Ganadera Agrícola Centro-Oeste. EEA INTA Marcos Juárez. Córdoba, Argentina. Pág. 18-22
- Andrade F. 2017. Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demanda y reducir el impacto ambiental. Fernando Andrade (compilador) 1<sup>ra</sup>. Edición Ediciones INTA ISBN 978-987-521-860-4. Pág. 3.
- Andriulo A.; M.C. Sazal, A.B. Irizar; S.B. Restobich & F. Rimatori. 2008. Efecto de diferentes sistemas de labranzas, secuencias de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina (Gallatini J., J. Iglesias, M. Landriscini, L. Suñer & G. Minoldo Editores). 1° Ed. Bahía Blanca. Universidad de Sur. Ediusn. ISBN978-987-655-6009-3. Pág. 117-130.
- Alconada Magliano M. M. y F. Damiano. 2017. Caracterización de suelos y del agua subterránea para definir intervenciones sustentables. Simposio Pedogénesis y cartografía de suelos como herramientas para la planificación sustentable. Actas XX Congreso Geológico Argentino: Pág. 17-25.
- Álvarez C. & C. Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre las propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas: Jornada Profesional Agrícola 2006.
- Álvarez C., R Fernández., R. Bagnato., C. P. Lienhard & A. R. Quiroga. 2012. Manejo de cultivos de coberturas: efecto sobre la dinámica de agua, nitrógeno y productividad de maíz tardío. Congreso AAPRESID. Cultivos Invernales en SD 2012.
- Álvarez C., R. Bagnato R., Fernández, C. P. Lienhard & A. R. Quiroga. A. R. 2013a. Cultivos de cobertura gramínea y leguminosa. Manejo y efectos sobre la nutrición de suelos y cultivos de maíz. Actas AASC. Jornadas Nacionales de Suelos

de Ambientes Semiáridos. Jornadas Provinciales de Agricultura Sustentable. 20 y 21 de septiembre de 2013. Villa Mercedes. San Luis. Argentina. Pág. 95-112.

-Álvarez C. & A. Quiroga. 2013b. Avances en aportes de los cultivos de cobertura en la región agrícola Argentina. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. (Álvarez C., A.R. Quiroga, D. Santos & M. Bodrero Editores) - 1ª Edición. La Pampa: Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-177-9. Pág. 5-6.

-Álvarez C., A. Uriens, R. Bagnato, C. P. Lienhard & M Diaz-Zorita. 2014. Dinámica de agua en barbechos y cultivos de cobertura en la región semiárida. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca. Pág. 125-130

-Álvarez R., H. S. Steinbach; & J. L. De Paepe. 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. Soil and Tillage Research. Vol. 170. Pág. 53-65.

-Aragón R., E.G. Jobbágy & E. F. Viglizzo. 2011. Surface and groundwater dynamics in the sedimentary plains of the Western Pampas (Argentina). Ecohydrology. Vol. 4(3). Pág. 433-447.

-Arguello J. 2011. Evaluación de la viabilidad de los cultivos de cobertura en la región semiárida pampeana. Tesis de grado. Fac. de Agronomía UNLPam.

-Baigorria T., & Cazorla. C. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. In Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario (Vol. 31). <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-eficiencia.pdf>

-Barraco. M.; C. A. Álvarez & C Scianca. C. 2009. Aporte de especies utilizadas como cultivos de cobertura. Jornadas nacionales sistemas productivos sustentables: fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía Blanca. 10 y 11 de agosto de 2009.

-Barraco M., C. Scianca, A. Lardone, C. A. Álvarez & M. Díaz-Zorita. 2012. Cereales de invierno como cultivos de cobertura en secuencias continuas de soja. INTA General Villegas. Memoria técnica 2011-2012. Pág. 48-53

-Barraco M; A. Lardone; P. Giron; W. Miranda & M. Díaz Zorita. (2016). Secuencias agrícolas y su efecto en la productividad de soja y propiedades edáficas. XXV Congreso Argentino de la Ciencia Del Suelo. Rio Cuarto. Argentina.

-Basche A. D, T. C. Kaspar, S.V. Archontoulis; D.B. Jaynes, T. J. Sauer, T. B. Parkin & F. E. Miguez. 2016. Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop. *Agricultural Water Management*. Vol. 172. Pág. 40-50.

-Baumhardt R. L., & O. R. Jones. 2002. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil and tillage research*, Vol. 68(2), Pág. 71-82.

-Beltrame. M. 2013. Efectos del centeno (*Secale cereale* L.) como cultivo de cobertura en el consumo de agua y la producción de materia seca del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Trabajo final para optar al título de Ingeniero Agrónomo UNRC-Cordoba.

-Berardo A. & M. A. Marino. (2007). Pasturas y Pastizales Naturales. En: Fertilidad de los suelos y fertilización de cultivos (Echeverría H & F.O. García Editores) Ediciones INTA 1ª edición. Pág. 335-364.

-Bertolla. A., T. Baigorria, D. Gómez, C. Cazorla, M. Cagliero, A. Lardone & B. Aimetta. 2013. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. (Álvarez C., A.R. Quiroga, D. Santos & M. Bodrero Editores) - 1ª Edición. La Pampa: Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-177-9. Pág. 138.

-Bianchi. A. R. & S. A. Cravero. 2010. Atlas climático digital de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: Salta. Argentina.

-Blanco-Canqui, H., T. M. Shaver, J. L. Lindquist, C.A. Shapiro, R. W. Elmore, C. A. Francis & G. W. Hergert. 2015. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, Vol. 107(6), Pág. 2449-2474.

-Bouyoucos GJ. 1962. Hydrometer method for making particle size analysis of soils. *Agronomist Journal*. Vol. 54: Pág. 464-465.

-Brambilla E., N. S. Kloster, A. Bono & J. M. Camiña. 2013. Evaluación de los métodos para determinar nitrato en suelo. *Ciencia del Suelo (ARGENTINA)* Vol. 31(2): Pág. 245-252.

-Bray, R. H. y Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*. Vol. 59: Pág. 39-45.



-Buschiazzo D. & V. Taylor. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades del suelo de la Región Semiárida Pampeana. *Ciencia del Suelo*. Vol. 10/11. Pág. 46-53.

-Carfagno P. F., M. J. Eiza, A. R. Quiroga & F. Babinec. 2008. Cultivos de cobertura: Efecto sobre la dinámica del agua en el suelo. In XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Argentina. Pág. 45-49.

-Carfagno P. F., M. J. Eiza, A. R. Quiroga, F. Babinec, C. Chagas & R. Michelena. 2013. Agua disponible en monocultivo de soja con cultivos de cobertura y barbechos reducidos en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. *Ciencia del suelo*. Volumen 31(1). Pág. 67-87.

-Carta. H. G. 2016. Análisis de 115 años de precipitaciones (primera parte). *RTA / Vol. 10 / Nº 32*. Pág. 40-43.

-Casas R. 2007. Principales efectos de la intensificación y expansión de la agricultura sobre la salud de los suelos. *Anales de la ANAV*. Trabajos del tomo LXI.

-Caviglia O. P., R.J. Melchiori, M.C. Sasal, N. V. Van Opstal, V.C. Gregorutti, M. Wilson & N. Indelangelo. 2007. Producción de materia seca, balance hídrico y porosidad edáfica en cultivos de cobertura antecesores de la soja de primera. *Actualización Técnica-Cultivos de Invierno*. Serie Extensión. EEA INTA Paraná. Pág. 42-55.

-Caviglia O. P. & F. Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *American Journal Plant Science Biotechnology*. Vol. 3. Pág. 1-8.

- Climate data.org- <https://es.climate-data.org> (última visita 20/04/2020).

-Corvalán. F.J. & S. Pelletier. 2018. Eficiencia de uso del nitrógeno en verdeo invernal de centeno. *Revista Semiárida*. Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam. Vol. 27(1): 45-57. ISSN 2362-4337 (impreso) Pág. 53.

-Dardanelli J; Collino. D; Otegui M.E. & V. Sadras 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: *Producción de granos bases metodológicas*. (Satorre. E; R Benech; G. Slafer; E. de la Fuente; D. Millares; M.E. Otegui & R. Savin Editores). UBA. Argentina. Pág. 376-433.

-Darwich N. A. 1990. Fertilizantes: Nuevo balance de requerimientos. Seminario "Juicio a nuestra agricultura". Buenos Aires 14-15 de noviembre de 1990. INTA. Buenos Aires Argentina.

- Datos.gob.ar. <https://datos.gob.ar/dataset?groups=agri> . (Última visita 10/04/2020).

-Delgado J. A., P. M. Groffman, M. A. Nearing, T. Goddard, D. Reicosky, R. Lal, N. R. Kitchen, C.W. Rice, D. Towery. & P. Salon. 2011. Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. Journal of Soil and Water Conservation Vol. 66: Pág.118-129.

-Delgado. J. A. & C.J. Gantzer. 2015. The 4Rs for cover crops and other advances in cover crop management for environmental quality. Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 70(6): Pág. 142-145.

-Díaz Zorita. M. 1995. Caracterización agroecológica del área de influencia de la EEA" General Villegas". Programa de Capacitación para Profesionales. Producción de Carne en Sistemas Pastoriles. 24-25 de agosto de 1995. INTA EEA General Villegas. Buenos Aires.

-Diez. M. & C. Sardiña. 2014. Rendimiento y calidad de verdeos de invierno para silo en diferentes estados fenológicos. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2013-2014. Pág. 124-126.

-Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W. Robledo. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

-Dobermann. A. R. 2005. Nitrogen use efficiency-state of the art. University of Nebraska – Lincoln Agronomy & Horticulture. Faculty Publications. Pág. 316.

-Echeverría H. E. & H. SainzRozas. 2005. Dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta. Capítulo. Nitrógeno. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. (Echeverría. H. E. & García. F. O Editores). 1ª Edición. INTA. Pág. 69-99.

-Fernández R., D. Funaro, & A. R. Quiroga. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. Boletín de divulgación técnica. EEA INTA Anguil. Pág. 87.

-Fernández R., A. R. Quiroga, F. Arenas, C. Antonini & M. Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. En: Manual de fertilidad y evaluación de suelos (A. R. Quiroga & A Bono Editores). Publicación Técnica N° 71. EEA INTA Anguil. Capítulo V. Pág. 7-19.

-Fernández R., A. R. Quiroga, E. Noellemeyer, D. Funaro, J. C. Montoya, B. Hitzmann & N. Peinemann. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agricultural Water Management*. Volumen 95. Pág. 1028–1040.

-Fernández R., R. A. Quiroga & E. Noellemeyer. 2012a. Cultivos de cobertura. ¿Una alternativa viable para la región semiárida pampeana? *Ciencia del suelo*. Volumen 30(2). Pág. 137-150.

-Fernández R., A. R. Quiroga, F. Arena, C. Antonini & M. Saks. 2012b. Inclusión de los cultivos de cobertura en los sistemas de producción de la región Semiárida Pampeana. En: Manual de fertilidad y evaluación de suelos. (A. R. Quiroga & A Bono Editores). Ediciones INTA. ISSN 0325-2132. Pág. 55-63.

-Fernández R., M. Saks, M. Uhaldegaray, A. R. Quiroga & E. Noellemeyer. 2012c. A study of the contribution of cover crops to nitrogen supply for corn. *Agrociencia*. Vol. 16(3). Pág. 274-279.

-Frasier I., R. Fernández & A. R. Quiroga. 2009. Valoración de especies invernales como cultivos de cobertura. *Sistemas Productivos Sustentables. Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura*. Bahía Blanca. 9 y 10 de agosto.

-Frasier I., E. Noellemeyer, N. Amiotti & A. R. Quiroga. 2017. Vetch-rye biculture is a sustainable alternative for enhanced nitrogen availability and low leaching losses in a no-till cover crop system. *Field Crops Research*. Vol 214. Pág. 104-112.

-Gabellone N. A.; R Sarandon & C Claps. 2003. Caracterización y zonificación ecológica de la Cuenca del Rio Salado. En: *Inundaciones en la región pampeana*. (O. Maiola, N. A. Gabellone & M.A. Hernandez Editores). 1° Edición. ISBN 950-34-0246-8. EDULP. La Plata. Pág. 87-122.

-Gallantini J., J.Iglesias, M. Landriscini, L. Suñer & G. Minoldo. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: *Estudio*

de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. (Gallatini J., J. Iglesias, M. Landriscini, L. Suñer & G. Minoldo Editores) 1° Ed. Bahía Blanca. Universidad de Ediuns. ISBN978-987-655-6009-3. Pág. 71-96

-García F., F. Micucci, G. Rubio, M Ruffo & I. Daverede. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. Instituto de la Potasa y el Fósforo. INFOPOS-Cono Sur.

-Girón P., C. Scianca, M. R. Barraco, A. Lardone & W Miranda. 2013. Cambios en el carbono orgánico por la inclusión de cultivos de cobertura. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2013-2014. Pág. 24-27.

-Girón P., C. Scianca, M. R. Barraco, A. Lardone & W. Miranda. 2014. Momentos de secado de cultivos de cobertura: materia seca y carbono orgánico. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2013-2014. Pág. 21-23.

-Girón P., A. Machiavello, M. R. Barraco, A Lardone & W. Miranda. 2016. Evaluación de cultivos de cobertura y herbicidas para el control de yuyo colorado (*Amaranthus hybridus*) en soja. Memoria técnica. EEA General Villegas. Pág. 25-28.

-INTA. 1993. Carta de Suelos de la República Argentina. Escala 1:50.000. ISSN 0327-718X.

-Kaspar T. C. & M. G. Bakker. M. 2015. Biomass production of 12 winter cereal cover crop cultivars and their effect on subsequent no-till corn yield. *Journal of Soil and Water Conservation*. Volumen 70(6). Pág. 353-364.

-Kramberger B., A. Gselman, M. Janzekovic, M. Kaligaric & B. Bracko. 2009. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *European Journal of Agronomy*, Vol{ 31(2). Pág. 103-109.

-Krüger H. & A.R. Quiroga. 2013. La interface suelo atmosfera y su valor estratégico en regiones semiáridas. En: *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. (C. Álvarez, A. R. Quiroga, D. Santos & M. Bodrero Editores). 1ª edición. La Pampa. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-177-9. Pág. 5-6.

- Lardone, A. V.; M. R. Barraco; C. Scianca; C. Álvarez & M. Díaz-Zorita. 2012. Cultivos de cobertura en sistemas con soja bajo siembra directa. Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 16 al 20 de abril de 2012 (CDROM).
- Lardone A. V., C. Justo, M. R. Barraco, C. Scianca & W. Miranda. 2013. Especies de cultivos de cobertura como antecesores de maíz tardío y soja. MEMORIA TÉCNICA 2012-2013. Pág. 21-24.
- Lardone A. V.; C. Scianca, M. R. Barraco, W. Miranda, C. Álvarez, A. R. Quiroga.A. & F. Babinec. 2014a. Momento de secado de especies de cultivos de cobertura. MEMORIA TÉCNICA 2013-2014. Pág. 17-20.
- Lardone A. V., M. R. Barraco, Justo & P. Girón. 2014b. Dinámica hídrica en un sistema de monocultivo de soja, con y sin cultivos de cobertura. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2013-2014. Pág. 80-83.
- Lampurlanes J., P. Angas & C. Cantero-Martínez. 2002. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region in Spain. *Soil and Tillage Research*. Vol. 65(2), Pág. 207-220.
- López M. V. & J. L. Arrúe. 1997. Growth yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil and Tillage Research*. Vol. 44(1-2). Pág. 35-54.
- Manale A. A., C. Sharpley, D. DeLong, C. Speidel, J. Gantzer, J. Peterson & N. Adusumilli. 2018. Principles and policies for soil and water conservation. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 73(4). Pág. 96-99.
- Marcillo G. S. & F. E. Miguez. 2017. Corn yield response to winter cover crops: An updated meta-analysis. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 72 (3). Pág. 226-239.
- Marino A. & M. Agnusdei. 2009. Nutrición mineral en verdeos y pasturas: manejo de alto impacto productivo. In Jornada técnica sobre sanidad animal y nutrición mineral en recursos forrajeros (Azul Argentina).

-Martinez, J. P., Barbieri, P., Sainz Rozas, H. R., & Echeverria, H. E. (2013). Incorporación de cultivos de cobertura previos a soja en el sudeste bonaerense. IAH 10. Pág. 21-25.

-Martinez-Feria. R. A., R. Dietzel; M. Liebman, M.J. Helmers & S. V. Archontoulis. 2016. Rye cover crop effects on maize: a system-level analysis. Field Crops Research. Vol. 196. Pág. 145-159.

-Mathews O. R. & T. J. Army. 1960. Moisture Storage on Fallowed Wheatland in the Great Plains 1. Soil Science Society of America Journal. Vol. 24(5). Pág. 414-418.

-Miranda W., C. Scianca, M. R. Barraco, C. Álvarez & A. V. Lardone. 2012. Cultivos de cobertura: dinámica del agua luego de dos momentos de secado. In Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. (En CD).

-Miranda W., P. Girón, M. Pérez & M. R. Barraco. 2014a. Cultivo de cobertura: espaciamiento entre hileras de siembra y manejo de malezas. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2014-2015. Pág. 78-82.

-Miranda W., C. Scianca, A. V. Lardone, M. R. Barraco & G. Abadie (2014b). Cultivo de cobertura-maíz tardío en dos ambientes representativos del Noroeste bonaerense. In XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahia Blanca. Argentina. CD ROM.

-Morello J. y O. Solbrig. 1997. ¿Argentina Granero Del Mundo: Hasta Cuándo? Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora. ISBN 987-99791-2-5.

-MOSPBA (2018). Plan Maestro Integral del Rio Salado <http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/hidraulica/informacion/planmaestro.php> (Ultima visita 30 de agosto de 2019)

-Nosetto M. D., R. A. Paez, S. I. Ballesteros & E. G. Jobbágy. 2015. Higher water-table levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the subhumid plains of the Pampas. Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol. 206. Pág. 60-70.

-Oderiz J., M. Uhaldegaray, E. Scherger, I. Frasier, R. Fernández, N. Amiotti & A. R. Quiroga. 2017. Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y eficiencia de uso del agua en una secuencia de cultivos en sistema ganadero intensificado. Congreso AAPA.

-Paoli C. & R. Giacosa. 2003. Características hidrológicas de la llanura pampeana central oeste (áreas de derrame del Río Quinto y arroyos del sur de Córdoba En: Inundaciones en la región pampeana. (O. Maiola, N. A. Gabellone & M.A. Hernandez Editores). 1° Edición. ISBN 950-34-0246-8. EDULP. La Plata. Pág. 87-122.

-Paruelo J. M., J. P. Guerschman & S. R. Verón. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Ciencia hoy. Vol. 15(87). Pág. 14-23.

-Perez S, E. Sierra, G. Casagrande; G. Vergara & F. Bernai. 2003. Comportamiento de las precipitaciones (1918/2000) en el centro este de la provincia de Buenos Aires (Argentina) Revista de la Fac. Agronomía. UNLPam ISSN 0526-6184 Vol. 14 Pág. 39-46.

-Pengue W. 2001. Expansión de la soja en Argentina Globalización. Desarrollo Agropecuario e Ingeniería Genética: Un modelo para armar. Revista biodiversidad. Vol. 29. Pág. 11-27.

-Porta Casanellas J., López-Acevedo Reguerín M. & C. Roquero de Laburu. 2003. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa.

-Portela S. I., S. B. Restovich, H. M. González & M. J. Torti 2016. Reducción del drenaje profundo y la lixiviación de nitrógeno en rotaciones agrícolas con cultivos de cobertura. Ecología austral. Vol. 26 (3). Pág. 212-220.

-Prystupa P. (2007) Cebada y Avena. En: Fertilidad de los Suelos y fertilización de cultivos (Echeverría H & F.O. Garcia Editores). Ediciones INTA 1a. ed. Pág. 317-334

-Quiroga A. R. & O. Ormeño 1996. Fertilización de verdeos de invierno. Región semiárida pampeana. Curso de Capacitación y Actualización para Profesionales en Fertilidad de Suelos y Fertilización. 1996 08 14. Trenque Lauquen. AER INTA.

-Quiroga A. R., O. Ormeño, A. Bono, N. Rodríguez, J. C. Montoya & F. Babinec. 1999. Aspectos del manejo de suelos y productividad del girasol en la región semiárida pampeana. INTA-EEA Anguil.

-Quiroga A. 2002. Indicadores de Calidad de Suelo en Molisoles de la región semiárida pampeana. Relación con el manejo y la productividad de los cultivos. Tesis Doctor en Agronomía. Universidad del Sur.

-Quiroga A., D. Funaro & O. Ormeño. 2003. Aspectos del manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. En trigo actualización 2003. INTA Anguil. Boletín Técnico 76. Pág. 33-44.

-Quiroga A. R. & Funaro D. 2004. Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. In *XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas* Pág. 476-479.

-Quiroga A. R., D.O. Funaro, R. Fernández & E. Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. *Ciencia del suelo*. Vol. 23(1). Pág. 79-86.

-Quiroga A., D. Funaro, E. Noellemeyer & N Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*. Vol. 90(1-2). Pág. 63-68.

-Quiroga A. R.; P. Carfagno; M. J. Eiza & R Michelena. R. (2007). Inclusión de cultivos de coberturas bajo agricultura de secano en la región semiárida pampeana. EEA INTA General Villegas. Jornada de cultivos de cobertura. Septiembre 2007.

-Quiroga A.R., R. Fernández, D. Funaro & N. Peineman. 2008. Materia orgánica en los Molisoles de la región Semiárida Pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productividad. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. (Gallatini J., J. Iglesias, M. Landriscini, L. Suñer & G. Minoldo Editores) 1° Ed. Bahía Blanca. Universidad de Sur. Ediuns. ISBN978-987-655-6009-3. Pág. 97-116

-Quiroga A. R. 2018. Utilización de cultivos invernales para mitigar excedentes hídricos. Manuscrito en posesión del autor.

-Raposo J. 2017. Fertilización nitrogenada en el centeno (*Secale cereale* L) utilizado como cultivo de cobertura. Tesis de grado Fac Agronomía. UNLPam.



-Restovich S.B., A. E. Andriulo & S. I. Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*. Vol. 128. Pág. 62-70.

-Rillo S., C. O. Álvarez, R. Bagnato & E. Noerllemeyer. 2013. Cultivos de Cobertura: gramíneas y leguminosas en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. En: *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. (C. Álvarez, A. R. Quiroga, D. Santos & M. Bodrero Editores). 1ª edición. La Pampa. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-177-9. Pág. 58-68.

-Rillo. S. N., C. O. Álvarez. C., A. R. Quiroga, E. Noellemeyer, M. Díaz-Zorita. & I. Frasier. 2018. Cambios en los contenidos de carbono e infiltración por la inclusión de cultivos de cobertura. *Acta XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. San Miguel de Tucumán, Tucumán, 15 al 18 Mayo 2018, Pág. 1303-1308.

-Ross F .2017. Cultivos de cobertura para maíz en el centro-sur bonaerense. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*.

-Ruffo M., & A. Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones agronómicas del cono sur*. Vol. 21, Pág. 13-16.

-Sainju U. M., B. P. Singh & W. F. Whitehead. 2002. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia USA. *Soil and Tillage Research*. Vol. 63(3-4). Pág. 167-179.

-Santamaría S. M., G. A. Studdert, & H. E. Echeverría. 2004. Sistemas de labranza y fertilización nitrogenada en trigo bajo distintas historias agrícolas RIA. ISSN: 0325-8718. *Revista de Investigaciones Agropecuarias Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Buenos Aires, Argentina*. Vol. 33. Pág. 55-75.

-Sá Pereira E. 2013. Los cultivos de cobertura y la productividad del maíz en siembra directa: dinámica del nitrógeno, agua y fracciones orgánicas del suelo. Tesis Doctoral. UNS. Bahía Blanca.

-Sá Pereira. E., J.A. Galantini, A.R. Quiroga & M.R. Landriscini. 2014. Efecto de los cultivos de cobertura otoño invernales sobre el rendimiento y acumulación de N en maíz en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*. Vol. 32(2). Pág. 219-231.

- Sá Pereira E., Galantini J. & A. R. Quiroga. 2017. Calidad de cultivos de cobertura en sistemas de siembra directa del sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*. Vol. 35(2). Pág. 337-350.

-Sardiña C., L. Guerrero, M. Orelia & A. R. Quiroga. 2008. Cultivo de cobertura, efectos de la fertilización sobre la producción de biomasa, eficiencia de uso del agua y el cultivo sucesor. In VII Congreso nacional de trigo. V Simposio nacional de cereales de siembra otoño-invernal. I Encuentro del MERCOSUR. Santa Rosa. La Pampa (Vol. 2).

-Satorre E.H. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy Volumen 87*: Pág.24-31.

-Scianca C., M. R. Barraco, C. O. Álvarez y A.R. Quiroga. (2010). Cultivo de cobertura en Hapludol Thapto Argico: Análisis de cinco campañas. Memoria Técnica 2009-2010. EEA- INTA General Villegas. Pág. 14-16.

-Scianca C. (2010). Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampera: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.

-Stevenson F. J. & M. A. Cole. (1999). The internal cycle of nitrogen in soil. In: *Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. John Wiley and Sons.Inc.. New York. Pág. 191–229.

-Studdert G. A., G. Dominguez; M. Eiza, C. Videla & H. Echeverria. 2008. Materia Orgánica particulada y su relación con la fertilidad nitrogenada en el sudoeste bonaerense. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. (Gallatini J., J. Iglesias, M. Landriscini, L. Suñer & G. Minoldo Editores) 1° Ed. Bahía Blanca. Universidad de Sur. Ediuns. ISBN978-987-655-6009-3. Pág. 97-116

-SSSA. 2008. Glossary of soil science terms. SSSA. Madison. WI.doi:10.2136/2008.glossarysoilscienceterms.

-Tognetti J. A., L. A. N. Aguirrezábal & S. G. Assuero. 2006. Funciones de los nutrientes en el crecimiento vegetal. En: *Fertilidad de los Suelos y fertilización de cultivos* (Echeverria H & F.O. Garcia Editores). Ediciones INTA 1a. ed. Pág. 19-42.

-Trasmonte. D.& M. Díaz Zorita. 2000. Fertilización de verdeos de invierno. *Revista CREA*. Vol. 34 (231). Pág. 54-59.

-Uhaldegaray M. G. 2013. Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la región semiárida pampeana. Tesis final de graduación. Facultad de Agronomía. UNLPAM.

-Uhaldegaray M.G.; J. A. Oderiz; E. D. Scherger; I. Frasier, R. Fernández; M. Pérez, A. R. Quiroga & P. Zalba. 2018. Contribución de los cultivos de cobertura a la disponibilidad de nitrógeno en el cultivo sucesor Acta XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán, Tucumán, 15 al 18 Mayo 2018.

-Van Opstal N.V., O. P. Caviglia & R. J. M. Melchiori. 2011. Water and solar radiation productivity of double-crops in a humid temperate area. Australian Journal of Crop Science. Vol. 5(13). Pág. 1760-1766.

-Varillas. G., F. Pedraz, B. Kruk & M. R. Barraco. 2014. Cultivos de cobertura en ambientes limitantes del oeste de Buenos Aires. In XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahia Blanca. Argentina. CDRROM.

-Vergara G., Casagrande, E. Sierra, E. Pérez & E. Brevedan. 2005. Comportamiento de las precipitaciones (1921/2000) en el este de la provincia de La Pampa (Argentina) Revista de la Fac. Agronomía. UNLPam ISSN 0S26-6I84 Vol. 16 Pág. 3-16.

-Viglizzo E.F., F: Lértora, A. J. Pordomingo, J. N. Bernardos; Z. E. Roberto & H. D. Valle. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol. 83: Pág. 65-81.

- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. Vol 37: Pág. 29- 38.

-West, P.W. & Ramachandran, T.P. 1966. Spectrophotometric determination of nitrate using chromotropic acid. ANAL CHIM ACTA Vol. 35: Pág. 317-324.

-Westgate L. R., J. W. Singer & K. A. Kohler. 2005. Method and timing of rye control affects soybean development and resource utilization. Agronomy Journal. Vol. 97(3). Pág. 806-816.

-Zamolinsky, A. 2001. Experiencias en recuperación de suelos salinizados. General Villegas: Ediciones INTA. Publicación Técnica N° 31. Pág. 16.

-Zaniboni. C. M.; & R. Landa. 2008. Caracterización productiva del área de influencia de la EEA INTA General Villegas. Memoria Técnica 2007-2008 Ediciones INTA EEA 2008. Pág. 101:108.