

# INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES PARA LA DELIMITACIÓN Y EL MANEJO DE AMBIENTES HIDROHALOMÓRFICOS DE LA PAMPA ARENOSA

Isasti, J.I.<sup>1</sup>, C. Álvarez<sup>2</sup> \*, H. Videla-Mensegue<sup>3</sup>, M. Gutierrez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Agronomía Pioneer

<sup>2</sup> INTA AER General Pico.

<sup>3</sup> INTA AER Laboulaye,

<sup>4</sup> Sistema Chacras AAPRESID; La Pampa

alvarez.cristian@inta.gob.ar

**RESUMEN:** La Pampa Arenosa es una región subhúmeda de escasa pendiente regional y pobre drenaje con frecuentes períodos húmedos cuyos excesos hídricos provocan ascenso freático, inundaciones y salinización en ciertas posiciones del relieve. El objetivo del trabajo fue generar herramientas de ambientación con la finalidad de cuantificar áreas afectadas y poder generar prácticas de manejo para mejorar la sostenibilidad agrícola de un grupo de productores de la región miembros de la Chacra América. El área de estudio comprende 75.000 hectáreas en el noroeste de Buenos Aires, sudeste de Córdoba y noreste de La Pampa. Para la delimitación de ambientes se integraron tres capas de información que incluyen datos topográficos derivados de un modelo digital de elevación, un mapa de riesgo hídrico y un mapa de potencial productivo inferido de NDVI máximo a partir de imágenes Sentinel. Se delimitaron tres zonas de manejo en función de las limitaciones ambientales: manejo superador para mejorar la salud del suelo en ambientes no identificados como bajos, manejo intensificado para regular el nivel freático en ambientes bajos sin afectación de sales y manejo restaurador para recuperar ambientes bajos con problemas de NDVI y riesgo hídrico. El 40% de la superficie se clasificó como manejo superador, el 35% como manejo intensificado (con riesgo hídrico mayormente nulo a muy bajo), y el 25% restante se dividió en áreas afectadas por sales (con diferente potencial productivo y riesgo hídrico, que varió entre: sin riesgo hídrico hasta alto o casi permanente). Al considerar las características del agua subterránea en las diferentes zonas de manejo, se logró identificar variaciones en la profundidad del nivel freático y en las propiedades físicas y químicas del agua. La zona de manejo restaurador mostró una napa más cercana a la superficie, mayor conductividad eléctrica y RAS, mientras que la zona de manejo intensificado presentó valores intermedios con gran variabilidad. La zona de manejo superador tenía una napa más profunda y condiciones no riesgosas en términos de conductividad eléctrica y RAS. Además, se observó que los ambientes más bajos destinados al manejo restaurador tenían un mayor contenido total de sales y una proporción más alta de sales cloruradas sódicas, mientras que los ambientes sin riesgo de salinización o anegamiento tenían menos sales totales y una mayor proporción de bicarbonatos. Asociado a estas variables que se cuantificaron, se propuso un esquema de diagnóstico y toma de decisiones para el manejo de suelos salinos y/o anegables en un contexto de gestión integrada del paisaje.

**PALABRAS CLAVE:** manejo por ambientes, suelos salinos, riesgo hídrico.

## INTRODUCCION

Los productores de la Pampa Arenosa enfrentan el desafío de producir en una región subhúmeda de escasa pendiente regional y con una pobre red de drenaje (Taboada et al., 2009). El aumento del régimen de lluvias y cambios en el uso del suelo elevaron los

niveles freáticos, aumentando el riesgo de inundación y salinización. Para abordar este desafío, un grupo de productores fundó la Chacra América en 2020 con la finalidad de mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos mediante prácticas agronómicas adaptadas a estos ambientes en un marco de gestión integrada en el paisaje. El objetivo de este trabajo fue generar herramientas de ambientación con la finalidad de cuantificar áreas afectadas y poder generar prácticas de manejo para mejorar la sostenibilidad agrícola de los productores de Chacra América, para lo cual se propuso i) delimitar zonas de manejo por ambientes y ii) caracterizar los ambientes identificados como parte esencial de la estrategia para adaptar prácticas de manejo a las condiciones específicas de cada área.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La Pampa Interior o Arenosa es una región que abarca una extensión de unos 75.000 km<sup>2</sup>. El área de estudio comprende unas 75.000 hectáreas en los campos participantes de la Chacra, en el noroeste de Buenos Aires, sudeste de Córdoba y noreste de La Pampa.

Para la delimitación de los ambientes se integraron 3 capas de información (figura 1): el modelo digital de elevación FABDEM (Hawker et al., 2022) sobre el cual se realizó el análisis topográfico, un mapa de riesgo hídrico derivado del Global Surface Water (Pekel et al., 2016) y una imagen de NDVI máximo histórico post-inundación de 2016-2017 a partir de imágenes Sentinel post-inundación procesadas en Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). Los mapas topográficos, de riesgo hídrico y NDVI máximo histórico se procesaron e integraron con el software QGIS 3.16 (QGIS Development Team, 2022).

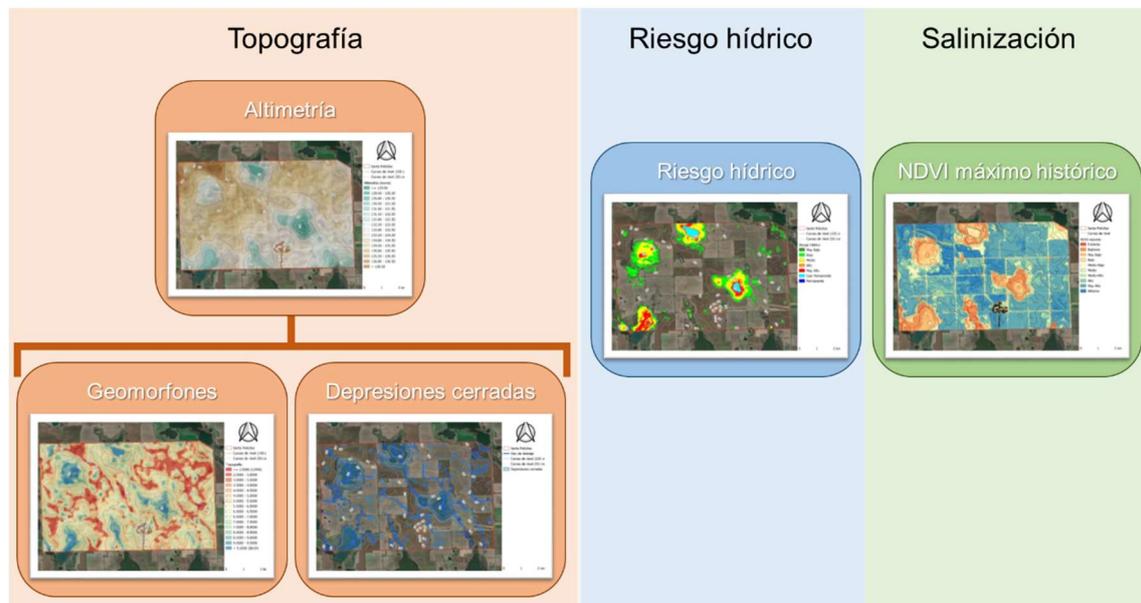


Figura 1. Capas de información utilizadas para la delimitación de ambientes.

La delimitación de zonas de manejo tuvo un carácter funcional, en base a las limitantes ambientales. En este sentido se buscó diferenciar 3 zonas con manejo diferente:

- **Manejo superador:** ambientes altos de la topografía y de elevada productividad en las que no hay riesgo de anegamiento o salinización.
- **Manejo intensificado:** ambientes identificados como bajos, con cierto nivel de riesgo hídrico, pero en el cual la productividad inferida del NDVI máximo no ha sido afectada por las sales.

- **Manejo restaurador:** ambientes bajos en los que la productividad inferida del NDVI máximo es menor y el riesgo hídrico es mayor.

Entre mayo y julio de 2022 se muestrearon las aguas subterráneas de las distintas zonas de manejo para determinar profundidad, conductividad eléctrica (CE), pH, composición de iones, relación de adsorción de sodio (RAS) y carbonato de sodio residual (CSR).

## RESULTADOS Y DISCUSION

La integración de información topográfica, frecuencia de anegamiento y productividad potencial estimada a partir de NDVI máximo post-inundación permitieron delimitar zonas de manejo. A modo ilustrativo, se presentan los resultados para uno de los campos integrantes de la Chacra en el sudeste cordobés (figura 2).

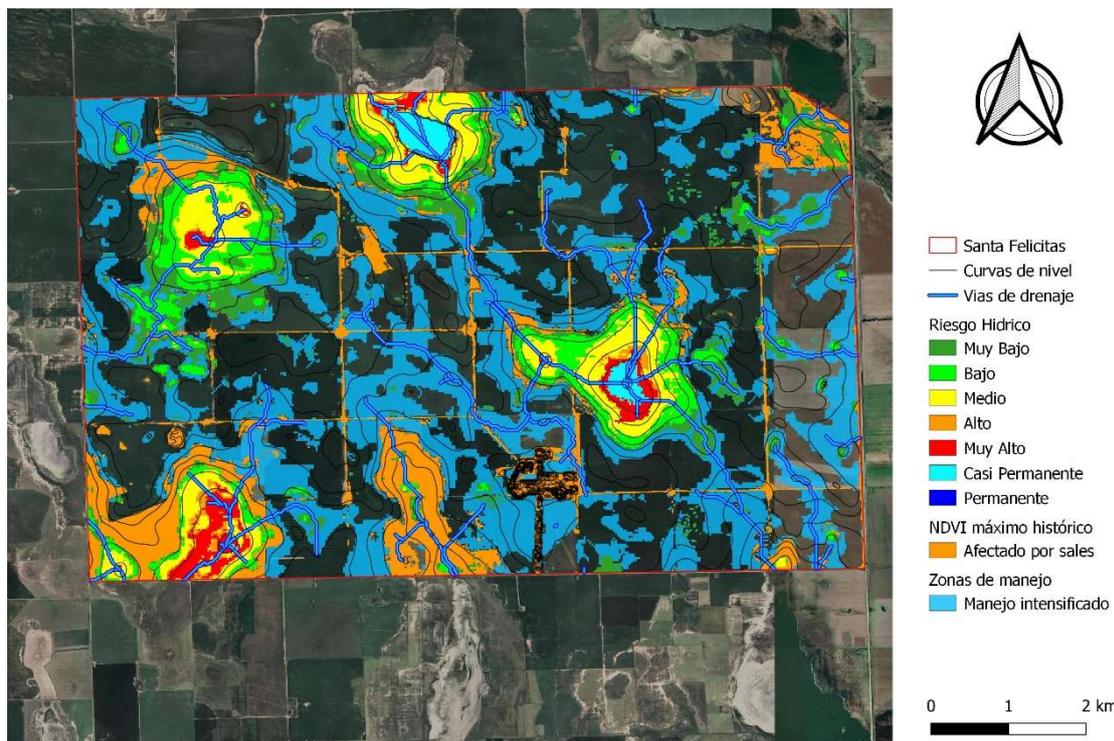


Figura 2. Mapa integrado de topografía, riesgo hídrico y salino en el sudeste de Córdoba.

En el caso del campo representado, las zonas de manejo superador corresponden a un 40% de la superficie (tabla 1), el énfasis debe estar en optimizar la productividad del agua y mejorar la salud del suelo.

Las zonas a intensificar representan un 35% de la superficie, de la cual una décima parte tiene riesgo hídrico bajo. El riesgo de tener una napa muy cercana a superficie requiere de maximizar el consumo de agua para regular el nivel freático y frenar el agua de los ambientes topográficos más altos que llega a las cotas más bajas de los sitios evaluados. El 25% restante presenta un potencial productivo menor (NDVI máximo histórico post-inundación por debajo de 0.80), pudiendo diferenciar un 11% del área sin riesgo hídrico (pero con napa salina cercana a superficie), un 11% a áreas con riesgo bajo a medio y un 3% con un riesgo de inundación de alto a casi permanente. Es importante generar y mantener cobertura que logre consumir más agua, deprimir la napa, mejorar la infiltración y lavar las sales en el perfil de suelo.

**Tabla 1.** Área correspondiente a las distintas zonas de manejo.

Zona de manejo	Riesgo hídrico nulo	Riesgo hídrico bajo a medio	Riesgo hídrico alto a permanente	TOTAL
<b>Superador</b>	40%	0%	0%	<b>40%</b>
<b>Intensificado</b>	31.5%	3.5%	0%	<b>35%</b>
<b>Restaurador</b>	11%	11%	3%	<b>25%</b>

Al considerar las características del agua subterránea de los ambientes evaluados, se lograron diferenciar zonas de manejo tanto en nivel freático como en las características físicas y químicas (Tabla 2). En tanto que, en la zona a restaurar la profundidad de la napa se registró más cerca de la superficie (109 cm) y tanto la conductividad eléctrica (12 dS m<sup>-1</sup>) como la RAS fue mayor (43). Sin embargo, la zona a intensificar presentó valores intermedios de profundidad de napa (187 cm), de CE (2.8 dS m<sup>-1</sup>) y de RAS (18.3) con una gran variabilidad. La zona destinada a manejo superador con napa a 242 cm al momento del muestreo, no presentó valores riesgosos respecto a CE (1.3 dS m<sup>-1</sup>) y RAS (6.8).

**Tabla 2.** Características de la napa por zonas de manejo (n = 70).

Zona de manejo	Profundidad de la napa (cm)	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	RAS	CSR (meq. L <sup>-1</sup> )
<b>Superador</b>	241.9 <sup>C</sup>	1.3 <sup>A</sup>	7.3 <sup>A</sup>	6.8 <sup>A</sup>	-4.5 <sup>A</sup>
<b>Intensificado</b>	187.0 <sup>B</sup>	2.8 <sup>A</sup>	7.6 <sup>A</sup>	18.3 <sup>B</sup>	6.6 <sup>A</sup>
<b>Restaurador</b>	109.1 <sup>A</sup>	12.0 <sup>B</sup>	7.5 <sup>A</sup>	43.2 <sup>C</sup>	-0.8 <sup>A</sup>

Letras diferentes indican diferencias de medias significativas (p-valor<0.05).

Respecto a la composición de cationes y aniones del agua subterránea (tabla 3), el flujo de agua con hacia las depresiones del terreno genera altas concentraciones de sales solubles, por lo que se observa que en los ambientes más bajos destinados al manejo restaurador el contenido total de sales se incrementa. A su vez, en términos relativos es mayor la proporción de sales solubles, clasificando como aguas cloruradas sódicas. En tanto que en los ambientes con nulo riesgo de salinización o anegamiento presentaron menores concentración de sales totales y una mayor proporción de bicarbonatos.

**Tabla 3.** Composición media de las napas (en meq. L<sup>-1</sup>) por zona de manejo (n = 70).

Zona de manejo	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<b>Superador</b>	11.5 <sup>A</sup>	1.0 <sup>A</sup>	2.9 <sup>A</sup>	9.8 <sup>A</sup>	1.2 <sup>AB</sup>	2.7 <sup>A</sup>	1.8 <sup>A</sup>	8.2 <sup>A</sup>
<b>Intensificado</b>	36.4 <sup>A</sup>	1.3 <sup>A</sup>	2.8 <sup>A</sup>	4.9 <sup>A</sup>	1.6 <sup>B</sup>	9.6 <sup>A</sup>	7.0 <sup>A</sup>	14.3 <sup>B</sup>
<b>Restaurador</b>	117.3 <sup>B</sup>	1.6 <sup>B</sup>	6.9 <sup>B</sup>	11.1 <sup>A</sup>	0.6 <sup>A</sup>	57.7 <sup>B</sup>	25.5 <sup>B</sup>	17.1 <sup>B</sup>

Letras diferentes indican diferencias de medias significativas (p-valor<0.05).

Las zonas de manejo a intensificar presentaron valores intermedios para todas las características en estudio, pero con una gran dispersión, existiendo napas que al ascender podrían ser muy riesgosas y desencadenar procesos de salinización severos e incluso casi irreversibles, como son aquellas que tienen un CSR mayor a  $1.5 \text{ meq.L}^{-1}$  (Richards, 1954, Jobbagy et al., 2017).

Por último, a partir de la integración de capas de información se propuso un esquema de diagnóstico y toma de decisiones para el manejo de suelos salinos y/o anegables en un marco de gestión integrada del paisaje (figura 3).

# Diagnóstico y manejo de suelos salinos y/o anegables

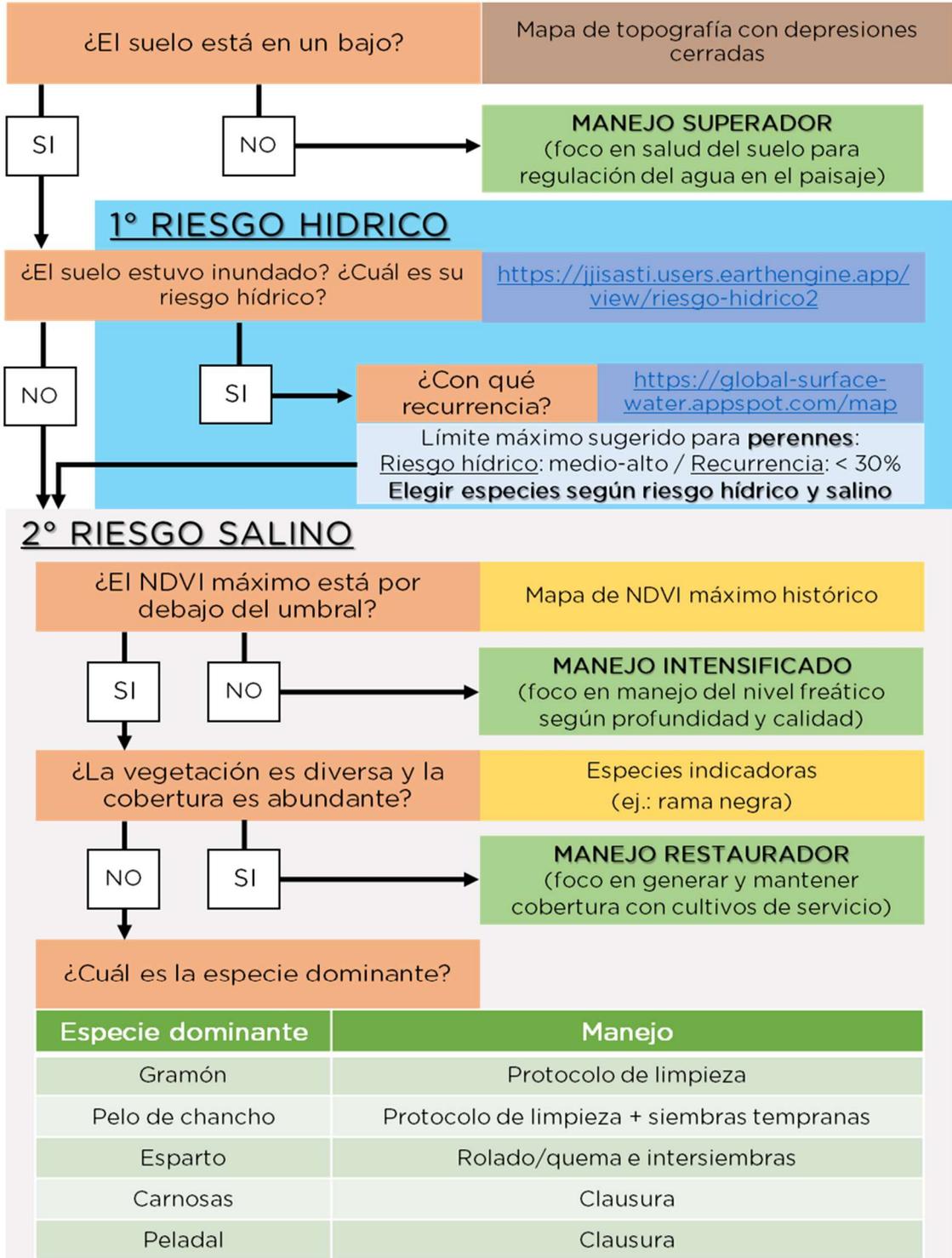


Figura 3. Esquema de diagnóstico y manejo de suelos hidrohalmórficos.

## CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo permiten concluir que la integración de distintas capas de información posibilita la delimitación de zonas de manejo en ambientes hidrohalomórficos de la Pampa Arenosa, siendo una valiosa herramienta para la organización y la toma de decisiones tanto a nivel predial como regional. Además, la determinación de la profundidad y salinidad de la capa freática permite caracterizar la composición geoquímica y el riesgo de salinización y sodificación de los ambientes, e implementar prácticas de manejo asociada a variables como es el encharcamiento y salinización que generar las napas en estos sitios.

## BIBLIOGRAFIA

- Base de datos: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7>
- Base de datos: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel>
- Base de datos: <https://global-surface-water.appspot.com/>)
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., Sampson, C., & Neal, J. (2022). A 30m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, 17(2), [024016]. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>.
- Jobbágy, E. G., Tóth, T., Nosoetto, M. D., and Earman, S. (2017) On the Fundamental Causes of High Environmental Alkalinity (pH ≥ 9): An Assessment of Its Drivers and Global Distribution. *Land Degrad. Develop.*, 28: 1973– 1981. doi: 10.1002/ldr.2718.
- Pekel, JF., Cottam, A., Gorelick, N. et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418–422 (2016). <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- QGIS Development Team, 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. <http://qgis.org>
- Richards, L.A. (1954) Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, Agriculture, 160, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington DC.
- Taboada MA, Damiano F, Lavado RS. 2009. Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos. p. 103-127. En: MA Taboada, RS Lavado. Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El Halomorfismo, la Acidez, el Hidromorfismo y las Inundaciones. Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. ISBN 978-950-29-1162-5, 160 p.