

RESPUESTA HIDROLÓGICA EN MONOCULTIVOS DE MAÍZ Y SOJA DETERMINADA EN PARCELAS DE ESCURRIMIENTO

M. Castiglioni^{1*}, E. Gabioud², M. Wilson², C. Sasa², J. Oszust³

¹Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. C.A.B.A. Argentina. e-mail: castigli@agro.ub.ar

²Grupo Recursos Naturales y Factores abióticos-INTA-EEA Paraná. Ruta 11. Km 12.5. (3100). Oro Verde. Entre Ríos. Argentina. e-mail: gabioud.emmanuel@inta.gob.ar

³Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNER). Ruta 11. Km 10. (3100). Oro Verde. E. Ríos. Argentina. e-mail: josedanieloszust@hotmail.com

RESUMEN. Los monocultivos de soja y maíz difieren en la cantidad de material vegetal aportado al suelo. Sin embargo, estudios realizados previamente no han mostrado diferencias en el coeficiente de escurrimiento generado en ambos sistemas productivos. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar a escala de parcela y en dos años distintos, el comportamiento hidrológico de los monocultivos de maíz y soja. Se analizaron parámetros meteorológicos, de infiltración y de escurrimiento, provenientes de parcelas instaladas en la EEA INTA Paraná (Entre Ríos, Argentina). Se observó un menor valor en la curva número y en el coeficiente y duración del escurrimiento en maíz, pero solo durante el período primavera-estival. Estos resultados se deberían a una condición más seca del suelo en el año que se hicieron las mediciones en dicho monocultivo. Las restantes variables hidrológicas no mostraron diferencias entre ambos sistemas productivos.

ABSTRACT. Soybean and corn monocultures differ in the amount of plant residues left on the soil. However, previous studies did not show differences in the runoff coefficient generated by both production systems. The objective of this work was to characterize at the plot scale and in two different years, the hydrological behavior of corn and soybean monocultures. Meteorological, infiltration and runoff parameters from plots installed in the EEA INTA Paraná (Entre Ríos, Argentina) were analyzed. A lower value was observed in the curve number and in the coefficient and duration of runoff in corn, but only during the spring-summer period. These results are due to a drier soil condition in the year that measurements were made on corn monoculture. The remaining hydrological variables did not show differences between both production systems.

Por motivos económicos, ha existido en grandes áreas de Argentina bajo producción agrícola, una tendencia al cultivo de solo especies de verano (soja y maíz), sin un aprovechamiento de los recursos (agua y energía) durante el invierno. Por su parte, y dadas las características diferenciales que presentan ambos cultivos, los efectos generados sobre el suelo podrían ser distintos. Chagas et al. (1995) mostraron en el estrato superficial de un Argiudol bajo siembra directa de Argentina, mejor estabilidad estructural y mayor contenido de carbono en el monocultivo de maíz respecto al de soja. Sin embargo, al contrastar resultados de distintas propiedades físicas entre ambos sistemas productivos, Sasa et al. (2010) no observaron en la capa superficial de un Argiudol ácuico de Entre Ríos (Argentina), diferencias en la conductividad hidráulica saturada, densidad aparente y la distribución de poros. Estos autores comprobaron también, que a pesar de la diferente producción de materia seca aportada por el maíz y la soja (21 Tn ha⁻¹ y 6 Tn ha⁻¹, respectivamente), no había diferencias entre ambos monocultivos en el coeficiente de escurrimiento generado.

Los distintos períodos del año también pueden generar cambios en la respuesta hidrológica de un mismo sistema productivo, como consecuencia de las modificaciones que se producen en las condiciones climáticas, edáficas y en la estructura del cultivo. En este sentido, Castiglioni y Zimmermann (2013) y Castiglioni et al. (2014), trabajando en parcelas de escurrimiento con maíz, pudieron observar que durante el período de desarrollo y crecimiento de este cultivo, había una disminución en la duración del escurrimiento y en el número de curva, en comparación a lo sucedido durante la etapa de barbecho.

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar y analizar a escala de parcela y en dos años distintos, el comportamiento hidrológico de los monocultivos de maíz y soja.

1.- Introducción

En la producción agropecuaria es necesario conocer el comportamiento del movimiento superficial y en profundidad del agua. Este es un recurso fundamental para el rendimiento de los cultivos, incidiendo su pérdida por escorrentía en la erosión y en el transporte de pesticidas, nutrientes y otros solutos (Tebrugge y During, 1999).

2.- Material y métodos

Se trabajó con información meteorológica, de infiltración y de escurrimiento generada en dos períodos distintos: diciembre de 2011 a setiembre de 2012 para el monocultivo de maíz (Ma) y febrero a noviembre de 2016 para el monocultivo de soja (Sj). En ambos casos se estimó el caudal de los escurrimientos con un limnógrafo-freatógrafo, dispuesto a la salida de parcelas de escorrentía

ubicadas en la EEA INTA Paraná (Entre Ríos, Argentina). Estas poseen una superficie de 100 m², 3,5% de pendiente y los cultivos son implantados en siembra directa desde el año 2000. La región presenta una precipitación y una temperatura media anual de 1000 mm y de 18.3 °C, respectivamente. El suelo presente es un Argiudol ácuico (Serie Tezanos Pinto), que presenta una textura superficial franco limosa (27 % de arcilla y 66 % de limo) (Plan Mapa de Suelos, 1998). Los registros meteorológicos fueron obtenidos del Observatorio Agrometeorológico situado a 200 m de las parcelas, mientras que los de caudal se estimaron a partir de la medición de la altura de agua, realizada cada diez minutos, por un sensor dispuesto antes de la descarga de las parcelas. Para transformar los valores de altura de agua en velocidad de flujo de agua, se usó la fórmula de Manning (Schwab et al., 1966), utilizando para su ajuste la información del volumen total de escurrimiento registrado en las piletas de descarga de las parcelas. Las variables meteorológicas utilizadas fueron: lámina de lluvia (LL), intensidad de la lluvia (ILL), lluvia caída los 5, 10 y 30 días previos a cada evento de escurrimiento (LL5, LL10, LL30, respectivamente), evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración potencial de los 5, 10 y 30 días previos a cada evento de escurrimiento (ETP5, ETP10, ETP30, respectivamente) y la relación lluvia/ETP para iguales intervalos de tiempo previos (LL/ETP5; LL/ETP10; LLET30, respectivamente). Los parámetros asociados a la infiltración fueron: infiltración total para cada evento de lluvia con escurrimiento (I), infiltración previa al inicio del escurrimiento (IP), infiltración ocurrida durante el escurrimiento (ID), tasa de infiltración media antes del inicio del escurrimiento (TIP) y tasa de infiltración media durante el escurrimiento (TID). Del escurrimiento se consideró: caudal pico (CP), tiempo desde el inicio de la lluvia hasta el pico de escurrimiento (TP), duración del escurrimiento (DE), duración desde el inicio hasta el pico del escurrimiento (DP), duración desde el pico de la crecida hasta el fin del escurrimiento (DD), coeficiente de escurrimiento (CE), número de curva (CN) y antecedente de humedad previo a la lluvia (AMC) (USDA SCS, 1985).

El valor de CN se estimó a partir de los datos de lámina de lluvia y de escurrimiento, aplicando primeramente la ecuación (1) para determinar S (retención potencial máxima al comienzo de la tormenta) (Yoo et al., 1993).

$$S = 5P + 10Q - 10(Q^2 + 1.25PQ)^{1/2} \quad (1)$$

Posteriormente, los valores de S fueron transformados a CN mediante la ecuación (2) (USDA SCS, 1985).

$$CN = \frac{1000}{(10 + S)} \quad (2)$$

El coeficiente de escurrimiento se determinó como la relación porcentual entre la lámina de agua escurrida y la proveniente de las lluvias. Para estimar AMC se utilizaron los criterios propuestos por USDA SCS (1985), considerando por un lado los milímetros de lluvia

precipitados los cinco días previos a cada evento de escurrimiento y también si el período del año analizado correspondía a una etapa de activo crecimiento vegetal o de reposo. De esta manera se caracterizaron tres AMC: I (suelo seco), II (humedad de suelo normal) y III (suelo húmedo).

Se realizó un análisis de varianza de los resultados de los parámetros meteorológicos, de escurrimiento e infiltración, según el monocultivo presente: soja (Sj) o maíz (Ma) y de acuerdo al período del año considerado: otoño-invierno (OI) o primavera-verano (PV). De las variables analizadas, solo CN, ETP5 y ETP10 presentaron distribución normal, por lo que las restantes debieron ser transformadas a logaritmo natural (Ln), mientras que DE a raíz cuadrada. Los resultados de ET30, LL5, LL10, LL30, LL/ETP30, ID, CP y DP no presentaron distribución normal pese a las distintas transformaciones realizadas, habiéndose realizado el análisis de varianza por un método no paramétrico (Kruskal y Wallis, 1952) que no asume normalidad en los datos (Di Rienzo et al., 2009). También se hicieron análisis de correlación y regresión lineal entre las variables meteorológicas con las de escurrimiento e infiltración. Estos estudios se realizaron utilizando el software InfoStat versión 2015 (Di Rienzo et al., 2015).

3.- Resultados y discusión

Las lluvias y la evapotranspiración potencial ocurridas durante el registro de escurrimiento realizado en Ma (738 mm y 988 mm, respectivamente), fueron similares al promedio histórico (1967-2014) correspondiente a un mismo período (756 mm y 913 mm, respectivamente). Por su parte, LL y ETP registradas en Sj fueron: 919 mm y 725 mm, respectivamente, mientras que el promedio histórico (1967-2014) para dichas variables durante similar período fue: 683 mm y 783 mm, respectivamente. De acuerdo con estos resultados, los registros de escurrimiento en Sj ocurrieron en una etapa más húmeda que lo normal (mayor volumen de lluvias y menor ETP), mientras que durante Ma el ciclo fue ligeramente más seco que lo normal (menor volumen de lluvias y mayor ETP). Del total de tormentas ocurridas en Ma (n=49), el 47 % generó escurrimiento (n=23), siendo la lámina escurrida de 41,4 mm, lo que resulta en un coeficiente de escurrimiento del 5,5 %. La mayoría de estas lluvias (43%) fue bajo AMC I, un 39 % lo hizo bajo AMC III y el 17 % restante lo hizo con una AMC II. En Sj hubo 74 tormentas, de las cuales el 35 % (n=26) generaron escurrimiento, con una lámina escurrida de 156 mm, obteniendo un coeficiente de escurrimiento de 16,1 %. A su vez, el 50 % de las lluvias con escorrentía ocurridas en Sj fueron sobre AMC III, el 42 % lo hizo sobre AMC I y el restante 8 % lo hizo sobre AMC II. De acuerdo con estos resultados, si bien durante Sj se generó un mayor CE respecto a Ma, se considera que fue como resultado de las condiciones meteorológicas distintas entre ambos cultivos, las que generaron una superior humedad del suelo en Sj, quedando esto de manifiesto en el mayor porcentaje de tormentas bajo AMC III durante dicho cultivo.

En la Tabla 1 se observa que tanto en OI como en PV, no hubo diferencias significativas en la lámina e intensidad media de las lluvias que originaron escurrimiento en cada cultivo. A su vez, ETP5 y ETP10 fueron similares durante OI para ambos sistemas productivos, mientras que en PV este parámetro fue mayor en Ma, aunque ampliando el período previo considerado, no existieron diferencias entre parcelas en la ETP30 para ambos períodos del año. La lámina de lluvia de los 5 días anteriores a cada escurrimiento

no fue diferente entre cultivos, mientras que la de los 10 y 30 días previos fue superior en Sj durante OI e igual entre ambas producciones en PV. Similar comportamiento al recién señalado resultó en las relaciones LL/ETP5, LL/ETP10 y LL/ETP30 (Tabla 1). Por lo expuesto, las diferencias en las condiciones meteorológicas previas a los escurrimientos entre ambos cultivos, generaron en Sj un suelo más húmedo durante OI y uno más seco en Ma en el transcurso de PV.

Tabla 1. Características meteorológicas previas a cada evento de escurrimiento según cultivo y período del año.

	LL (mm)	ILL (mm h ⁻¹)	ETP5 (mm)	ETP10 (mm)	ETP30 (mm)	LL5 (mm)	LL10 (mm)	LL30 (mm)	LL/ETP5 (mm mm ⁻¹)	LL/ETP10 (mm mm ⁻¹)	LL/ETP30 (mm mm ⁻¹)
SjOI	20 a	5,4 a	11 a	25 a	88 a	74 b	103 b	197 b	9,33 b	5,26 b	0,68 b
SjPV	38 b	14,9 b	21 b	41 b	133 b	21 a	62 ab	162 b	1,12 a	1,53 a	-0,07 ab
MaOI	21 a	5,0 a	11 a	24 a	72 a	32 ab	38 a	67 a	3,56 ab	1,56 a	-0,47 a
MaPV	35 b	7,1 ab	27 c	54 c	163 b	24 a	35 a	113 ab	0,98 a	0,75 a	-0,49 a

LL: lámina de lluvia, ILL: intensidad de lluvia, ETP5, ETP10, ETP30: evapotranspiración potencial de los 5, 10 y 30 días previos a cada evento de escurrimiento, LL5, LL10, LL30: lámina de lluvia correspondiente a los 5, 10 y 30 días previos a cada evento de escurrimiento. Sj: monocultivo de soja, Ma: monocultivo de maíz, OI: período otoño-invierno, PV: período primavera-verano. Letras minúsculas distintas: diferencias significativas entre cultivos y períodos del año ($p < 0,05$).

A pesar de estos resultados, no se detectaron diferencias entre ambos monocultivos para cada período analizado, en la lámina total de agua infiltrada (I) ni en la absorbida por el suelo en forma previa (IP) y posterior (ID) al inicio del escurrimiento. Tampoco se observaron diferencias entre Sj y Ma en TIP, TID, CP, TP y DP, independientemente del período del año considerado. Sin embargo, CE, CN, DE y DD fueron menores en Ma durante PV, pero iguales entre ambos monocultivos en OI. Por lo tanto, a pesar de la mayor lluvia antecedente (10 y 30 días previos) ocurrida en Sj durante OI y de la superior ETP previa (5 y 10 días anteriores) generada en Ma durante PV, solo hubo una

respuesta significativa en este último caso, generándose una menor cantidad de agua escurrida respecto a los milímetros llovidos (CN y CE) y una inferior duración del escurrimiento, fundamentalmente durante la fase de decaimiento del caudal. De esta manera, si bien sería adecuado abarcar una superior variabilidad meteorológica para cada uno de los períodos y cultivos analizados, las diferencias encontradas entre ambos monocultivos en su comportamiento hidrológico, se deberían fundamentalmente a las distintas condiciones de humedad de suelo previas, en lugar de responder a un efecto diferencial generado por Sj o Ma.

Tabla 2. Resultados de los parámetros de infiltración y escurrimiento según cultivo y período del año.

	I (mm)	IP (mm)	ID (mm)	TIP (mm h ⁻¹)	TID (mm h ⁻¹)	CP (m ³ seg ⁻¹)	CE (%)	CN	TP (minutos)	DE (minutos)	DP (minutos)	DD (minutos)
SjOI	18 a	3 ab	15 a	3,5 a	2,5 a	0,02 a	8 b	84 b	143 a	495 b	62 a	433 b
SjPV	26 ab	4 bc	22 a	5,1 ab	3,1 ab	0,14 a	21 b	80 b	235 a	575 b	180 a	395 b
MaOI	18 a	2 a	16 a	3,4 a	2,4 a	0,04 a	14 b	84 b	201 a	462 b	201 a	261 b
MaPV	34 b	11 c	22 a	8,4 b	5,9 b	0,03 a	4 a	70 a	139 a	242 a	108 a	134 a

I: lámina de agua infiltrada, IP: lámina de agua infiltrada previa al comienzo del escurrimiento, ID: lámina de agua infiltrada durante el escurrimiento, TIP: tasa de infiltración media previa al inicio del escurrimiento, TID: tasa de infiltración media durante el escurrimiento, CP: caudal pico, CE: coeficiente de escurrimiento, CN: número de curva, TP: tiempo desde el inicio de la lluvia hasta el caudal pico, DE: Duración del escurrimiento. DP: duración desde el inicio hasta el pico del escurrimiento, DD: duración desde el pico de escurrimiento hasta su fin. Sj: monocultivo de soja, Ma: monocultivo de maíz, OI: período otoño-invierno, PV: período primavera-verano. Letras minúsculas distintas: diferencias significativas entre cultivos y períodos del año ($p < 0,05$).

Con la finalidad de estudiar la posibilidad de predicción y si las relaciones obtenidas variaban de acuerdo al tipo de cultivo, se hizo un análisis de regresión lineal entre CN, CE, TP, DE y CP y aquellos parámetros meteorológicos que resultaron significativos en el correspondiente análisis de correlación. Para ello, el criterio utilizado fue tomar todos los resultados sin discriminarlos, separarlos solo por período del año (OI o PV), por tipo de cultivo (Ma o Sj), o de acuerdo a las distintas combinaciones período del año-cultivo (SjOI, SjPV, MaOI, MaPV). Los mejores ajustes obtenidos ($> R^2$) fueron para DE (R^2 promedio: 0,76; rango entre 0,61 y 0,92) y para CN (R^2 promedio: 0,75; rango entre 0,45 y 0,98), obteniendo valores de R^2 superiores a 0,70 en OI,

PV, Sj, Ma, SjOI, MaOI y MaPV en DE, mientras que dicho comportamiento lo obtuvieron OI, Ma, SjOI, MaOI y MaPV en CN. Las regresiones lineales generadas para CP y TP tuvieron un grado de ajuste intermedio (R^2 promedio: 0,51 y 0,62, respectivamente), mientras que la capacidad de predicción para CE fue la menor (R^2 promedio: 0,42). Considerando todas las ecuaciones desarrolladas para predecir CN, CE, TP, DE y CP según los criterios antes mencionados ($n = 99$), la lámina de agua correspondiente a la lluvia que provocó escurrimiento, fue la variable meteorológica que apareció en una mayor cantidad de veces ($n = 26$), mientras que la intensidad de la lluvia fue seleccionada en 18 oportunidades. A su vez, los parámetros que influyeron

sobre el estado de humedad del suelo previo a las tormentas (LL, ETP y LL/ETP), fueron seleccionados en 13, 20 y 22 ecuaciones, respectivamente. No obstante, no hubo un único intervalo de tiempo para las condiciones meteorológicas previas, que incidiera fundamentalmente en el comportamiento de las variables hidrológicas estudiadas. Sin embargo, el período previo de 30 días fue seleccionado en un mayor número de oportunidades para LL y ETP, mientras que el de 10 días fue más utilizado en LL/ETP. Los peores ajustes entre las variables hidrológicas y los factores meteorológicos se obtuvieron cuando los resultados no fueron discriminados por período del año y tipo de cultivo. Contrariamente, pero dependiendo también de la propiedad analizada, los mayores R^2 se generaron cuando se separó en forma conjunta los efectos del período del año y tipo de cultivo. En la Fig. 1 y Fig. 2 se muestran para ambos monocultivos, las relaciones entre el Ln de la lluvia (Lnlluvia) con CN y con el Ln de la lámina de agua infiltrada (Lninfiltración), siendo estas las que obtuvieron los coeficientes de correlación más altos.

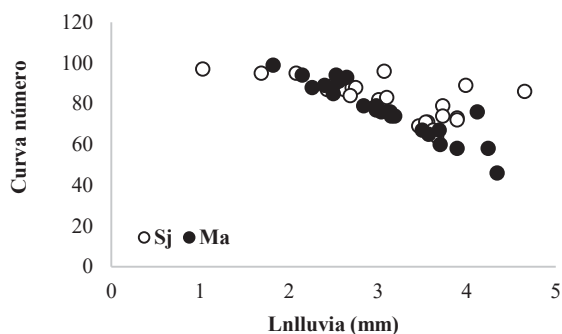


Fig. 1. Relación Lnlluvia con curva número para los monocultivos de soja y maíz

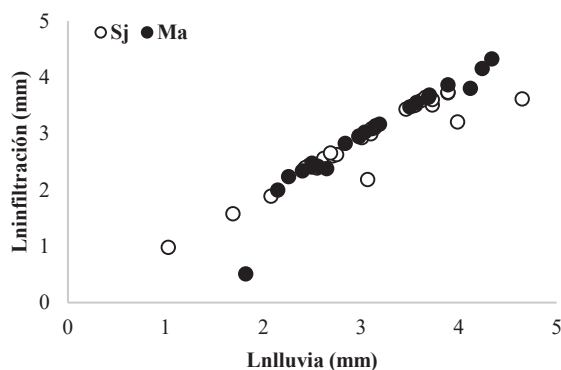


Fig. 2. Relación Lnlluvia con Lninfiltración para los monocultivos de soja y maíz.

De acuerdo a lo observado en las mismas, hubo un comportamiento bastante similar para ambos monocultivos, con la excepción de lo ocurrido en Sj para los valores altos de Lnlluvia en la relación Lnlluvia/CN.

En este caso, la mayoría de los puntos que se ubicaron por fuera de la tendencia general, corresponden a lo ocurrido en el monocultivo de soja durante el período PV, situación que no obtuvo un coeficiente de correlación significativo entre Lnlluvia y CN.

4.- Conclusiones

Si bien el tiempo de análisis fue reducido y algunas condiciones meteorológicas antecedentes fueron distintas entre años, no existieron evidencias relevantes para afirmar que los monocultivos de maíz y soja generan a esta escala de trabajo una respuesta hidrológica diferente.

Agradecimientos. El presente trabajo se ha realizado a partir de fondos otorgados por el proyecto UBACyT 20020170100460BA, proyecto PEI052 – Desarrollo y aplicación de tecnologías para el control de la erosión y degradación de suelos. PDI039 - Remediación de suelos y aguas y restauración ecológica de sistemas degradados por uso agropecuario, agroindustrial y actividades extractivas.

5.- Bibliografía

- Castiglioni, M., y E. Zimmermann, 2015. Escurrimiento en sistema de siembra directa: efecto de algunos factores meteorológicos. *Ciencia del Suelo* 33(1): 107-117.
- Castiglioni, M., C. Sasal, M. Wilson, J. Oszust, y E. Gabioud, 2014. Análisis de los escurrimientos provenientes de una parcela con monocultivo de maíz en dos períodos del año diferentes. 2do. *Congreso Internacional de Hidrología de llanuras*. 23 al 26 de setiembre de 2014. Santa Fé.
- Chagas, C.I., O.J.Santanatoglia, M.G. Castiglioni, y H.J.Marelli, 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26(5&6): 643-655.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, L. Gonzalez, M. Tablada, M. del P. Díaz, C.W. Robledo, y M.G. Balzarini, 2009. *Estadística para las ciencias agropecuarias*. 7ma ed. 372 pp.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, y C.W. Robledo, *InfoStat versión 2015*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Kruskal, W.H., y W. A. Wallis, 1952. Use of ranks on one-criterion variance analysis. *J Am. Stat. Assoc.* 47: 583-621.
- Plan Mapa De Suelos, 1998. Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Paraná Provincia de Entre Ríos, Serie Relevamiento de Recursos Naturales N 8 17, 114 pp.
- Sasal, M.C., M.G. Castiglioni, y M.G. Wilson, 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural rainfall erosion plots under no tillage. *Soil & Tillage Research*. 108: 24-29. ISSN 0167-1987
- Schwab, G., R. Frevert, T. Edminster, y K. Barnes, 1966. *Soil and Water Conservation Engineering*. Ed. J. Wiley Inc. N Y, 683 pp.
- Tebrugge, F., y R.A. During, 1999. Reducing tillage intensity—a review of results from a long-term study in Germany. *Soil & Till. Res.* 53: 15–28.
- USDA. Soil Conservation Service, 1985. *SCS national engineering handbook*. Section 4 Hydrology. USDA Soil Conservation Service. Washington, DC.
- Yoo, K.H., K.S. Yoon, y J.M.Soielleu, 1993. Runoff Curve Numbers Determined by Three Methods Under Conventional and Conservation Tillages. *Transactions of the ASAE* 36(1): 57-63.