

# Efectos del manejo del suelo sobre las pérdidas de nitrato



Parcela de estudio con sistema de cubierta vegetal.  
Torredonjimeno (Jaén).

El ensayo se realizó en parcelas de olivar con cubierta vegetal y laboreo convencional

En este artículo se detallan los resultados obtenidos sobre la contaminación de las aguas de escorrentía con nitratos recogida durante el año 2003 en diferentes olivares de la Comunidad andaluza. Se compara la cantidad y concentración de nitratos en el agua de escorrentía en dos sistemas de manejo de suelo (parcelas con cubierta vegetal y parcelas con laboreo convencional) y se presentan los resultados de escorrentía obtenidos en las distintas parcelas.

**Antonio Rodríguez Lizana.**

Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos Vivos.

**Rafaela Ordóñez Fernández.**

Departamento de Suelos y Riegos. CIFAS Alameda del obispo. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

**Pedro González Fernández.**

Departamento de Suelos y Riegos. CIFAS Alameda del obispo. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

**E**l nitrógeno es el nutriente esencial que con mayor frecuencia restringe el desarrollo de las plantas. Se absorbe por las raíces generalmente bajo las formas de  $\text{NO}_3^-$  y, en menor medida,  $\text{NH}_4^+$ . Su asimilación se diferencia en el hecho de que el ión nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo, mientras que gran parte del ión amonio permanece adsorbido sobre la superficie de la arcilla.

El exceso de fertilización nitrogenada y su defectuoso manejo en las actividades agrícolas son las causas que más pueden contribuir a la contaminación de las aguas por nitratos (Mander et al., 2000). En este sentido, un estudio realizado sobre la composición química del agua de distintos pozos situados a ambas márgenes del río Guadalquivir señaló las elevadas concentraciones de nitratos, superiores a 100 ppm, presentes en la mayoría de los pozos de profundidad inferior a 10 m (Ordóñez et al., 1991).

La época de abonado influye en la eficiencia de los fertilizantes. Se deben evitar las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en invierno, puesto que en esta época el olivo está en reposo, por lo que no absorberá el N, al tiempo que el lavado del suelo alcanza su máximo anual, de modo que las pérdidas de nitrógeno por escorrentía y lixiviación son también máximas. Por ello, el nitrógeno debe aplicarse a finales del invierno o a principios de la primavera.

Muchas pérdidas de nitrógeno vienen determinadas por la forma de abonado. Cuando los fertilizantes se aplican en superficie, pueden perderse en una elevada proporción si una vez en el suelo se registra una precipitación con la suficiente intensidad para provocar una escorrentía considerable, pérdida que suele ser inferior en los sistemas con cubierta vegetal en olivar que en las parcelas que realizan laboreo tradicional. Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en el agua de escorrentía pueden ser muy elevadas tras la aplicación de fertilizantes nitrogenados. La aplicación de abonos con formas amoniacales puede reducir estas pérdidas. El sistema de manejo de suelo también resulta importante: Richardson et al. (1995) comprobaron que las pér-



Pareja de colectores de sedimentos.



Instalación de colectores de sedimentos.

didas de nitrógeno (soluble y en sedimentos) se hallaban en torno al 6% del nitrógeno aplicado como fertilizante en laboreo convencional, reduciéndose a un 2% en no laboreo. De igual forma, aquellos suelos en los que se produzca una intensa erosión, aspecto en el que también incide la cubierta, perderán con los elementos finos una gran cantidad de nitrógeno.

En el agua de escorrentía el nitrógeno se mueve tanto en forma soluble como en forma de partículas orgánicas e inorgánicas (Sharpley et al., 1987). Las formas solubles que predominan son los nitratos, que tienden a descender en el perfil del suelo con la infiltración de las primeras precipitaciones, y el amonio, que tiende a ser retenido por el complejo de cambio del suelo.

El nitrógeno inorgánico en el suelo también puede encontrarse en forma de nitritos. Éstos son el resultado del proceso de reducción de nitratos bajo ciertas condiciones de aireación, así como una etapa intermedia en el proceso de nitrificación durante la oxidación microbiana del amonio proveniente de los fertilizantes amoniacales o ureicos o de la mineralización de la materia orgánica a nitratos. En suelos aereados, su concentración no suele ser muy elevada y efectivamente los valores de concentra-

ción determinados son bajos en los resultados obtenidos.

En este artículo se detallan los resultados obtenidos sobre la contaminación de las aguas de escorrentía con nitratos recogida durante el año 2003 en diferentes olivares de la comunidad andaluza. Se comparan la cantidad y concentración de nitratos en el agua de escorrentía en dos sistemas de manejo de suelo: parcelas con cubierta vegetal y parcelas con laboreo convencional. Posteriormente, se describe la

relación beneficiosa entre la implantación de la cubierta vegetal en olivar y la reducción de las pérdidas de formas nitrogenadas en el agua de escorrentía, principalmente las que se añaden en forma de fertilizantes. Igualmente, se presentan los resultados de escorrentía obtenidos en las distintas parcelas, lo cual permite tener una idea sobre el distinto grado de infiltración, y por ello de escorrentía, que tiene lugar con los dos sistemas de manejo de suelo evaluados.

## Material y métodos

Los ensayos se han realizado en cinco fincas de olivar localizadas en las provincias de Córdoba y Jaén de febrero de 2003 a septiembre de 2003, cuyas características se reflejan en el cuadro I.

Para la toma de muestras se han instalado dos pares de colectores de sedimentos de 1 m<sup>2</sup> de superficie en cada una de las parcelas elegidas, a fin de prevenir posibles fallos en algunas

**CUADRO I.**  
CARACTERÍSTICAS DE LAS FINCAS OBJETO DE ESTUDIO

PARCELA	SUP. (HA)	T.M.	PROVINCIA	PROFUNDIDAD	TEXTURA			M.O. (%)	PH
					AR (%)	LIM (%)	AC (%)		
C1	11.52	Llano del espinar	Córdoba	0-20	12.4	44.6	43.0	2.54	7.77
				20-40	17.1	43.0	39.9	1.84	7.97
				40-60	16.4	41.5	42.1	2.03	-
C2	4.48	Llano del espinar	Córdoba	0-20	16.5	43.3	40.2	2.04	7.97
				20-40	16.2	43.2	40.6	1.64	8.06
				40-60	14.4	41.5	44.1	1.30	8.12
C3	15.00	Castro del río	Córdoba	0-20	21.3	45.8	32.9	1.09	8.09
				20-40	25.9	45.8	28.3	0.90	8.26
				40-60	27.1	39.2	33.7	0.72	8.25
C4	8.48	Nueva carteya	Córdoba	0-20	30.6	46.9	22.5	2.09	7.93
				20-40	25.8	47.3	26.9	2.42	7.96
				40-60	26.8	46.5	26.7	2.33	8.06
J2	8.47	Torredelcampo	Jaén	0-20	27.0	39.8	33.2	0.95	7.98
				20-40	25.3	43.9	30.8	1.58	7.89
				40-60	30.4	43.1	26.3	0.69	8.08

Sup: superficie; T.M.: término municipal; AR (%): arena; LIM (%): limo; AC (%): porcentajes de arena, limo y arcilla, respectivamente;

M.O.: materia orgánica; CO<sub>2</sub>.

**CUADRO II.**  
**PRÁCTICAS DE ABONADO EN LAS DISTINTAS PARCELAS**

NOMENCLATURA	ÉPOCA DE ABONADO	DOSIS ABONO (KG/HA)	UFN1/ HA	TOTAL UFN/ HA	ÁRBOLES/ HA	FORMA DE APLICACIÓN
C1	Sept.-Octubre	330	19,8	71,3	81	Abonadora centrífuga
	Febrero-Marzo	245	51,5			Abonadora centrífuga
C2	Sept.-Octubre	400	24,0	75,5	81	Abonadora centrífuga
	Febrero-Marzo	245	51,5			Abonadora centrífuga
C3	Marzo	700	17,5	17,5	156	Inyección
C4	Septiembre	2.5002	40,0	40	204	En bandas
J2	Noviembre	278	11,0	100,7	69	Abonadora centrífuga
	Marzo	500	89,7			Abonadora centrífuga

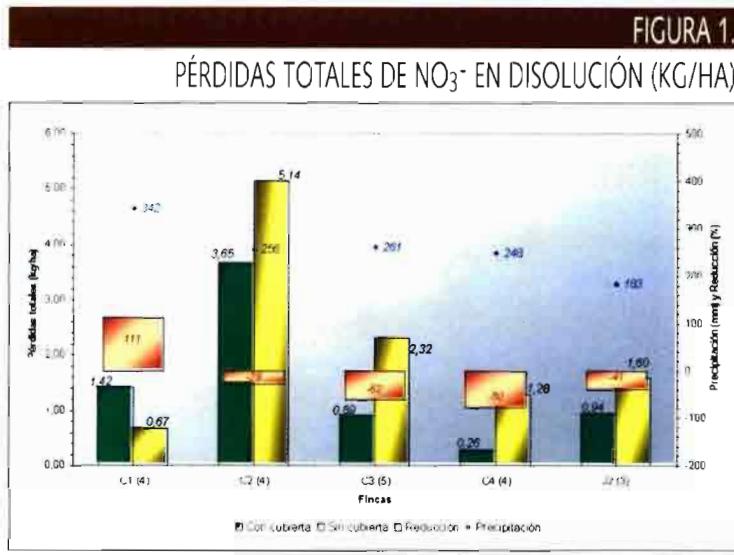
de aquéllas. Los colectores o trampas de sedimentos –de tipo cerrado– se han colocado en distintas posiciones topográficas en la finca objeto de estudio. Actualmente se están instalando nuevas parejas de trampas en cada finca, con el fin de incrementar el número de datos recogidos.

Las trampas están constituidas por chapas de acero galvanizado de 2 mm de espesor y 20 cm de anchura, que se colocan formando un cuadrado en la superficie del suelo, recogiendo el agua de escorrentía y canalizándola, mediante un orificio de 2,5 cm de diámetro, a un recipiente de polietileno de 25 l de capacidad situado por debajo del nivel del suelo. Para evitar la obturación de este orificio, se coloca una malla doble en la entrada.

La instalación de los colectores de sedimentos comenzó a finales de 2002 y se simultaneó con la toma de datos, por lo cual aquí se exponen resultados de algunas de las parcelas que forman la red de experimentación, pues en las demás la precipitación recogida ha sido muy escasa.

En la mitad de las trampas de sedimentos se permite a la cubierta crecer y en las restantes se efectúa una labranza para simular el efecto del laboreo convencional.

Dos días después de un evento de lluvia (tiempo necesario para poder entrar en la zona de estudio con vehículos), se realizaba una visita de campo en la cual se recogían las muestras



captadas por los colectores y se preparaban los recipientes para el siguiente evento de lluvia.

De cada trampa se anotaba el volumen almacenado en las garrafas y se tomaba una muestra de 1 a 3 l en un bote de polipropileno totalmente estanco. El bidón de 25 l se agitaba energéticamente antes de tomar la muestra en el bote de polipropileno. A continuación se limpian los filtros de los elementos arrastrados por el agua de escorrentía y se vaciaban y enjuagaban los bidones. Las muestras obtenidas se introducían en una cámara frigorífica a 4°C para evitar que la variación de temperatura pudiera producir cambios en la composición inicial de las muestras. Una vez en el laboratorio, las muestras eran almacenadas para su posterior análisis.

Hay que hacer constar que

los contenidos de nitratos y nitritos de las muestras de suelo tomadas del campo sufren alteraciones rápidas como consecuencia del aumento de aireación y temperatura. Por tanto, el análisis se realizaba poco después de la toma de muestras –conservadas en nevera hasta su llegada al laboratorio–, por colorimetría según el método de Griess-Ilosvay modificado por Barnes y Tolkard (1951) y Bremner (1965).

Para el cálculo de las pérdidas, se ha realizado la media en cada evento y parcela entre las trampas con cubierta, por una parte, y las trampas sin cubierta, por otra. En caso de fallo por alzamiento de un colector, se ha tenido en cuenta la posible diferencia de pendientes entre éstos. De ser superior al 3%, se eliminaba la pareja completa (trampa con cubierta y trampa

asociada sin cubierta) a efectos de realizar cálculos para dicho evento. Las pérdidas totales corresponden a la suma de las pérdidas obtenidas en las distintas salidas.

Asimismo, se ha contabilizado la pluviometría registrada a lo largo del ensayo.

### Resultados obtenidos

#### Pérdidas de nitrógeno

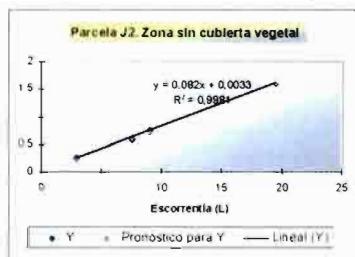
Los resultados obtenidos en las distintas muestras analizadas denotan una menor pérdida de nitrógeno en disolución en formas de nitrato en las parcelas con cubierta vegetal con respecto a las de laboreo convencional, como se aprecia en la figura 1. Hay una gran variación entre unas parcelas y otras en cuanto a las pérdidas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pues no todas realizan las mismas prácticas de abonado en fecha, dosis ni forma de aplicación. Se encuentran intervalos de pérdida que oscilan entre algo más de 5 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ha en el caso extremo (valor muy alejado de la media) hasta pérdidas cercanas a cero.

En el cuadro II se indica el tipo de abono aplicado al suelo, la dosis, fecha y forma de aplicación del nitrógeno en cada una de las fincas. Como puede contemplarse, existen grandes diferencias entre parcelas en las unidades fertilizantes de nitrógeno aplicadas al suelo.

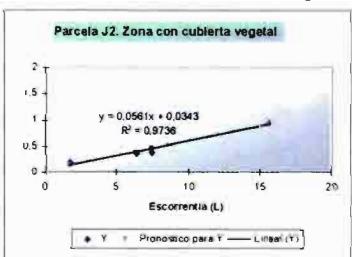
Las disminuciones que se obtienen con la implantación de técnicas conservacionistas son muy variables entre parcelas. En cuatro de las cinco parcelas analizadas, y a la espera de nuevos datos, tiene lugar un decremento de las pérdidas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en disolución, con una reducción media en dichas parcelas del 53%, resultado que puede considerarse muy positivo. La continuación de estos estudios, y por tanto la obtención de más datos en años con diferente climatología, daría una visión más completa de la dinámica de estos aniones en función de las distintas variables consideradas, evaluando su dinámica y relacionándola con los eventos

**FIGURA 2.**

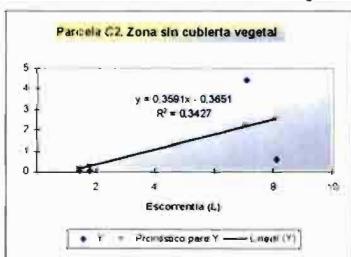
Relación escorrentía-pérdidas de nitrato en la parcela J2.  
Zona sin cubierta vegetal

**FIGURA 3.**

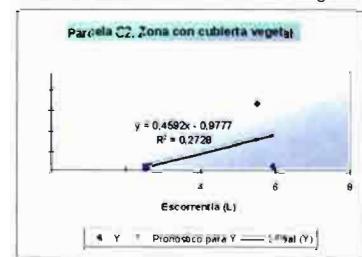
Relación escorrentía-pérdidas de nitrato en la parcela J2.  
Zona con cubierta vegetal

**FIGURA 4.**

Relación escorrentía-pérdidas de nitrato en la parcela C2.  
Zona sin cubierta vegetal

**FIGURA 5.**

Relación escorrentía-pérdidas de nitrato en la parcela C2.  
Zona con cubierta vegetal



de lluvia y los abonados que se realicen.

#### Correlación entre las pérdidas y la escorrentía

En las **figuras 2 a 5** se presenta la concentración de nitratos en función de la escorrentía registrada. Se han elegido, a modo de ejemplo, las parcelas

C2 y J2. Se observa que en J2 hay una elevada correlación –el coeficiente de determinación es próximo a la unidad– entre las pérdidas del anión y la escorrentía medida en campo, siendo los resultados favorables a la técnica de cubierta vegetal. La mayor pendiente de la recta de regresión en J2 (pérdidas de NO<sub>3</sub> en escorrentía

frente a precipitación) sin cubierta vegetal indica que, por cada litro de escorrentía, se producen más pérdidas de NO<sub>3</sub> que en la zona con cubierta. Esto no sucede en C2. Una posible causa para explicar esta baja correlación es la menor cantidad de NO<sub>3</sub> en el horizonte superficial, de manera que la lluvia no pueda produ-

cir arrastre. Actualmente se está procediendo al análisis del contenido de NO<sub>3</sub> en suelo para correlacionarlo con las pérdidas en función de la escorrentía, obteniéndose diferencias notables entre las distintas fincas colaboradoras. También se están teniendo en cuenta otras variables que pueden influir en el proceso.

**MANUAL DE  
AGRICULTURA Y GANADERÍA  
ECOLÓGICA**

**Envíenme el libro "Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica"**

Suscriptor nº.....  No suscriptor

Nombre y apellidos.....

Domicilio.....

Localidad.....

Código Postal.....

Provincia.....

Telf:.....

**FORMA DE PAGO:**

Contrareembolso

Adjunto talón a nombre de Eumedia, S.A.

Visa/Master Card: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha caducidad: \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**OFERTA ESPECIAL**  
para los suscriptores de alguna de nuestras revistas:  
**Vida Rural, Mundo Ganadero y AgroNegocios.**

Precio (PVP): 27 euros.  
**OFERTA SUSCRIPTORES:** consultar con Dpto. de Suscripciones,  
telf.: 91 426 44 30, e-mail: suscripciones@eumedia.es

Envíenos este boletín de pedido por correo o por fax al nº: 91 575 32 97.





Muestras correspondientes a pareja de trampas.  
Obsérvese la diferencia entre probeta izquierda (trampa con cubierta) y derecha.



Preparación de muestras en laboratorio.

### CUADRO III. EVOLUCIÓN TÉCNICA DEL CULTIVO EN LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS

PARCELA	ESC. CCVV (MM)	ESC. SIN CCVV (MM)	INCREMENTO1	PRECIPITACIÓN (MM)	CEC	CEN	CEC/CEN
C1	19,65	15,7	24,8	342	0,06	0,05	1,25
C2	16,5	24,8	-33,5	256	0,06	0,10	0,67
C3	19,9	31,4	-36,7	261	0,08	0,12	0,63
C4	11,8	23,4	-49,5	248	0,05	0,09	0,51
J2	15,5	19,4	-20,1	183	0,08	0,11	0,80

como fecha desde el abonado, porcentaje de cobertura, textura y materia orgánica en superficie, etc.

Otro aspecto a tener en cuenta en el sistema de manejo de suelo es la infiltración y/o la cantidad de escorrentía. Para estimar la pérdida de agua de lluvia producida por escurrimiento en el suelo se ha determinado el coeficiente de escorrentía en el olivar con cubierta (CEC) y en el labrado tradicionalmente (CEN) definiéndose éste como el cociente entre el volumen de escorrentía y el de precipitación en cada episodio de lluvia.

En el cuadro III se aprecia un descenso del mismo en las parcelas con cubierta respecto a las que se labran tradicionalmente, lo que indica que la cubierta favorece la recarga del perfil, dato especialmente interesante dado que el agua es el principal factor

limitante de la producción de este cultivo. En cuatro de las cinco parcelas se produce una reducción de la escorrentía ante los eventos de lluvia en el sistema de cubierta vegetal, o lo que es lo mismo, un aumento de la infiltración. Así, en la parcela C2, para un conjunto de chubascos que suponen 256 mm de lluvia, la escorrentía en la zona labrada es de 24,8 mm, y en la zona con cubierta de 16,5 mm, lo cual supone una reducción del 33,5% en el volumen de escorrentía y por ello un mayor volumen de agua infiltrada.

La cubierta vegetal contribuye así a un aumento de la infiltración del agua en el suelo, como ya indicaron anteriormente otros autores como Pastor (1991), Berengena (1998) y Saavedra (2002).

La menor escorrentía en la zona con cubierta juega en contra

de la concentración, pues menor volumen, para una pérdida dada, tiende a concentrar más el anión en la solución. Sin embargo, la reducción total de pérdidas que tiene lugar con la implantación de cubierta vegetal hace que en tres de las cinco parcelas no sólo las pérdidas totales, sino también la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en agua sea inferior, es decir, menor escorrentía, menor concentración de nitratos en solución y menores pérdidas de nitrógeno. ■

### Agradecimientos

Al Convenio Específico entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y la Asociación Española Agricultura de Conservación/Suelos Vivos "Desarrollo de un Programa de Seguimiento para la Evaluación de la aplicación de las medidas de fomento de Cubiertas Vegetales en el Olivar de Andalucía", que ha permitido la financiación de los ensayos de campo y laboratorio; al comité científico del Convenio por su labor de revisión; al personal de laboratorio por la labor de realización de análisis; y a los propietarios de las diferentes parcelas por permitir la continuación de los experimentos.

### Bibliografía

- Barnes, H. y Tolka, A.R. 1951. Determination of nitrate. Analyst, 76: 599-603.
- Berengena, J. 1998. Efectos del laboreo sobre el contenido de agua en el suelo. En García, L. y González, P. (Ed). Agricultura de Conservación. Fundamentos agro-nómicos, medioambientales y económicos. Asociación Española de laboreo de conservación. Córdoba. pp 52-74.
- Bremmer, J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. In C.A. Black (ed). Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy 9.
- Mander, U., Kull, A.; Kuusimets, V. y Tamm, T. 2000. Nutrient runoff dynamics in a rural catchment: influence of land-use changes, climatic fluctuations and ecological measures. Ecological Engineering, 14: 405-417.
- Ordóñez, R.; González, P.; Giráldez, J.V. 1991. La contaminación nitrogenada en la Vega de Córdoba. III Simposio sobre el agua en Andalucía. Córdoba. pp 451-462.
- Pastor, M. 1991. Estudio de diversos métodos de manejo del suelo alternativos al laboreo en el cultivo del olivo. Instituto de estudios jiennenses. Diputación Provincial de Jaén.
- Richardson, C.W. y Knight, K.W. 1995. Erosion and nutrient losses from no-till tillage on a clay soil. J. Agric. Engng Res., 61: 81-86.
- Saavedra, M.; Pastor, M. 2002. Sistemas de cultivo en olivar. Manejo de malas hierbas y herbicidas. Editorial Agrícola Española.
- Sharpley, A.N.; Smith, S.J. y Ninety, J.W. 1987. Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use. J. Agric. Food Chem., 35: 812-817.

### CONCLUSIONES

En cuatro de las cinco fincas colaboradoras las pérdidas de  $\text{NO}_3^-$  en disolución disminuyen cuando el sistema de manejo de suelo utilizado es la cubierta vegetal. A lo largo del período estudiado, la cubierta propicia reducciones de entre el 20% y el 80% con respecto a las pérdidas que tienen lugar en el olivar labrado. La pérdida media en las fincas con cubierta es de 1,43 kg/ha, frente a los 2,2 kg/ha de las labradas.

Se ha buscado una correlación entre la escorrentía registrada en las distintas fincas y las pérdidas del anión en disolución, correlación que se logra para algunas parcelas, como J2, pero que no se cumple en otras. Será necesario proseguir con las investigaciones al respecto, por lo cual se considera deseable analizar el contenido de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo a fin de buscar futuras correlaciones con las pérdidas en disolución, cantidad de agua precipitada, textura, materia orgánica y porcentaje de cobertura, así como para ofrecer recomendaciones de abonado.

La infiltración de agua en el suelo resulta superior en cuatro de las cinco parcelas analizadas, lo cual propicia una menor escorrentía y erosión en las parcelas con cubierta. El CEC medio obtenido es de 0,066 frente a un CEN medio de 0,094.

Estos datos deben tenerse en cuenta, pues la mayoría del olivar andaluz se encuentra en secano y esta técnica puede contribuir a aumentar el contenido de agua disponible, siempre que la cubierta sea adecuadamente manejada.