

INFLUENCIA DE DISTINTOS TRATAMIENTOS FERTILIZANTES SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE NITRATOS EN UN CULTIVO DE LECHUGA

ADRIANA ESTEBAN
ENCARNACIÓN CONESA
JUAN A. FERNÁNDEZ

Departamento de Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Cartagena.
30203 Cartagena, Murcia

JOSÉ ÁLVAREZ-ROGEL

Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. Universidad Politécnica de Cartagena.
30203 Cartagena, Murcia

ANTONIO PATO
LUIS FERNANDO CONDÉS

OCA Torre Pacheco. Consejería de Agricultura y Agua.
Comunidad Autónoma de Murcia

RESUMEN

Los abonados nitrogenados se emplean abundantemente en la agricultura favoreciendo la acumulación de nitratos en suelo y planta. El peligro que pueden ocasionar estos elementos reside en su transformación química a nitrito una vez ingeridos por el ser humano, dando lugar a unas sustancias cancerígenas llamadas nitrosaminas. En este trabajo se ha estudiado la evolución de los nitratos, tanto en lixiviados como en planta, en cuatro tratamientos distintos de fertilización: 1) el recomendado para Producción Integrada en la Región de Murcia, 2) Rombiorgán (abonado ecológico líquido), 3) fertilizantes nitrogenados de liberación lenta, y 4) Bioprón (mezcla de bacterias fijadoras), aplicados en un cultivo de lechuga al aire libre dentro del Campo de Cartagena. Se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento, distribuidas al azar en la parcela. Cada repetición estaba compuesta por tres caballones de 6 m de longitud y 1 m de separación entre mesetas, siendo el intermedio el caballón de muestreo, donde se colocaron unas sondas de succión a dos profundidades distintas (30 y 60 cm) para recoger el lixiviado del agua de riego, y de donde se obtuvieron, en el momento de la recolección, las plantas objeto de

estudio. El análisis de los lixiviados se llevó a cabo cada semana hasta el final del cultivo, y el análisis de las muestras vegetales en la recolección. Asimismo se analizaron las características morfológicas de las plantas en el momento de la recolección. No existieron diferencias significativas entre las cantidades de nitratos de los lixiviados del agua de riego para los distintos tratamientos ni entre el contenido de éstos en las hojas de la lechuga. Las medidas realizadas en recolección mostraron diferencias en cuanto altura, anchura y peso de la planta, siendo el tratamiento de Producción Integrada en el que se obtuvieron lechugas de menores dimensiones que el resto.

Palabras clave: *Bioprón, Rombiorgan, Producción Integrada, fertilizante de liberación lenta, sondas de succión.*

INTRODUCCIÓN

El nitrato es un compuesto habitual y natural de la planta, que lo absorbe del terreno y lo utiliza para la síntesis de proteínas (Santamaría *et al.*, 2002). Los abonados nitrogenados se emplean abundantemente en la agricultura favoreciendo la acumulación de nitratos en suelo y planta; un elevado aporte de fertilizante nitrogenado es considerado como una exigencia para obtener una alta producción y una elevada cualidad de las hortalizas (Hochmuth, 1992), sin tener en cuenta las consecuencias que la cantidad de nitrógeno tiene sobre la lixiviación de nitratos a las aguas subterráneas (Díez, 1999). Existen datos sobre el uso de fertilizantes nitrogenados en España que indican un incremento en la aplicación de nitrógeno inorgánico en los últimos años, provocando problemas de contaminación en los acuíferos, lo que constituye un motivo de preocupación a nivel científico y político. El nitrato llega al hombre a través de la alimentación y tiene una toxicidad muy baja (Speijers, 1996), pero el producto de su reducción, el nitrito, puede originar unas sustancias, las nitrosaminas, que pueden actuar como cancerígenas (Ramachandran *et al.*, 2005), por lo que la presencia de elevadas concentraciones de nitrato en las hortalizas es considerado un problema de salud pública (Santamaría *et al.*, 2002). El órgano de la planta donde se acumula una mayor cantidad de nitrato es en las hojas de algunas hortalizas, entre las que se encuentra la lechuga, y la cantidad de nitrato acumulado depende de factores genéticos, ambientales y de las técnicas agronómicas utilizadas (Gonnella *et al.*, 2002). Se ha demostrado que la acumulación de nitratos en lechuga se ve afectada por la textura del suelo, la fuente de fertilizante, la intensidad de la luz, la temporada de cultivo y el tipo y cultivar (Pavlou *et al.*, 2007). En la mayoría de los tipos de lechuga, incluida la romana, la mayor concentración de nitratos se acumula en las hojas externas (Santamaría *et al.*, 1999). La concentración de nitrato en la planta generalmente se incrementa con el aumento de la disponibilidad de nitrógeno en el medio de cultivo, por lo que el aporte indiscriminado de nitrógeno puede repercutir negativamente sobre el medio ambiente y sobre la calidad de la hortaliza (Santamaría *et al.*, 2002), haciéndose necesaria la aplicación de prácticas agrícolas que incluyan una mejor gestión de los productos químicos.

El objetivo de este trabajo fue determinar en qué medida los diferentes tratamientos de fertilización pueden generar problemas por lixiviación de nitratos, o acumulación de éstos en planta. Esto se hizo estudiando la evolución de nitratos en lixiviados y analizando nitratos en planta, a fin de determinar el más adecuado. Asimismo, se estudiaron los efectos de los tipos de fertilización sobre distintos parámetros del desarrollo vegetativo de la lechuga tipo romana para evaluar índices de rendimiento y calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del experimento

Este experimento se realizó en un cultivo de lechuga tipo romana cv. Olympus, en una parcela a campo abierto, en la Estación Experimental Agroalimentaria Tomás Ferro (ESEA), situada en La Palma (Cartagena), perteneciente a la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

Se compararon entre sí cuatro aportes distintos de fertilización dentro de la misma parcela, realizándose tres repeticiones de cada uno de ellos distribuidas al azar. Los fertilizantes utilizados fueron: a) Producción Integrada en la Región de Murcia: fertilización siguiendo las recomendaciones de abonado para lechuga que dicta la Normativa de Producción Integrada de la Región de Murcia, 2) Rombiorgán (abonado ecológico líquido), 3) fertilizantes nitrogenados de liberación lenta y 4) Bioprón (mezcla de bacterias fijadoras).

Tabla de fertilizantes ensayados

Tratamientos	Dosis
Producción Integrada	43 kg/ha de NH_4NO_3 57,69 kg/ha de KH_2PO_4 218,23 kg/ha de K_2NO_3 111,11 kg/ha de $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$
Rombiorgan 60 litros/ha	31% m.o. 1% N 0,5% P 2% K
Liberación lenta	57,69 kg/ha de KH_2PO_4 200,77 kg/ha de K_2SO_4 40 l/ha de Glucoumato base L1 (0,8% N) 186 l/ha de Glucoumato L2 (18% N)
Bioprón 300kg/ha	<i>Azospirillum brasilense</i> (Cepa M3) <i>Pantoea dispersa</i> (Cepa C3) 240kg/ha de K_2SO_4

Cada repetición estuvo formada por tres caballones de 6 m de longitud y 1 m de separación entre mesetas. El caballón intermedio fue el de muestreo, de donde se obtuvieron las plantas objeto de estudio tras la recolección.

El cultivo comenzó el 12 de abril y finalizó el 8 de junio de 2007, siendo por tanto su duración de 57 días. En este periodo, la temperatura máxima registrada fue de 24,8 °C, y la mínima de 18 °C, siendo la precipitación total de 4 mm.

Las lechugas utilizadas fueron adquiridas en un semillero y plantadas en la parcela en forma de plántula con 3 ó 4 hojas verdaderas. Antes de la plantación, y para la preparación del suelo, se adicionó estiércol y se realizaron las labores con subsolador, fresadora y, finalmente, acaballadora para preparar los caballones.

El agua utilizada para el riego tuvo una conductividad de 1,3 dS/m y un pH de 7,5, siendo su procedencia de la balsa propiedad de la finca que recibe sus aguas del trasvase Tajo-Segura.

Inmediatamente después de la plantación se les suministró a las plántulas un riego abundante para su buena estabilización en la parcela. El resto de riegos que se adicionaron se determinaron teniendo en cuenta la evapotranspiración de la semana anterior por el método de Penman-Monteith, y el aporte total varió entre 2,44 m³ al principio del cultivo hasta 9,6 m³ a la finalización del mismo. Se comenzó regando dos veces por semana, y a partir de la quinta semana, cuando el calor fue más intenso, tres veces.

En la primera semana el riego fue tan sólo con agua, por lo que no fue hasta la segunda semana cuando se empezó a incorporar el abono en cada uno de los distintos tratamientos hasta el final del cultivo.

La colocación de las sondas de succión se realizó una semana después del transplante, colocando cuatro sondas (dos a 30 cm y dos a 60 cm) por cada caballón de estudio intercaladas dos a dos, dos al principio del caballón y dos al final. La sonda de 60 fue la que se dispuso en orientación sur y la de 30 en orientación norte.

Los lixiviados fueron recogidos cada semana, comenzando dos semanas después de la plantación, coincidiendo con la primera semana de incorporación de la fertilización y terminando la semana anterior a la recolección. Por lo tanto, el muestreo de lixiviados se realizó durante seis semanas.

Cuando las plantas alcanzaron su aspecto comercial se cortaron a ras de suelo. Para la realización de las estimaciones experimentales se recogieron 12 plantas del caballón central de cada tratamiento y repetición, en total 144 plantas.

Métodos analíticos

Tras la recolección, se determinaron las características morfológicas de las plantas: peso bruto (g), peso neto comercial (g), longitud tallo (cm), anchura (cm) y altura (cm) de la planta. Una vez realizado este proceso, se dividieron las doce plantas de cada repetición en tres grupos de los que se sacaron cuatro hojas externas y cuatro internas por grupo. De estas hojas se determinó el peso fresco, contenido relativo de clorofila, realizado con un medidor de clorofila SPAD-502 (Konica Minolta Holdings, Inc.) y el peso seco después de permanecer en una estufa a 60 °C durante dos días. Asimismo, se determinó el grado de succulencia aérea que se obtuvo dividiendo el peso fresco entre el peso seco aéreo, tanto de las hojas interiores como exteriores. Posteriormente, esas hojas escogidas se molieron en un molinillo, obteniéndose un triturado adecuado para realizar la determinación de nitratos en hoja. La extracción de los nitratos de las hojas se realizó agitando las muestras en agua destilada durante media hora.

Tanto los nitratos de los lixiviados como los de las hojas se midieron con cubetas de cuarzo a una $\lambda = 220$ nm según la metodología propuesta por la A.O.A.C. (1975) en un espectrofotómetro Dinko 8500, restando la interferencia debida a la materia orgánica a una $\lambda = 275$ nm.

El contenido de nitratos en hojas se expresó como mg/kg de producto fresco (p.f.) y el de los lixiviados en mg/l⁻¹.

Análisis estadísticos

Se realizó un Anova y, cuando existieron diferencias significativas entre grupos ($P < 0,05$), las medias fueron separadas con la Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de nitratos en lixiviados

El contenido de nitratos analizado en los lixiviados de las sondas situadas a 30 cm y a 60 cm de profundidad no mostraron diferencias significativas para los tratamientos de fertilización ensayados. Se apreció una tendencia a la disminución en el contenido de nitratos a lo largo del ciclo de cultivo tanto en las sondas superficiales como en las profundas (figura 1). En las sondas de 30 cm, aun manteniendo la fertilización continuada, se observó una reducción de nitratos en los tratamientos con Rombiorgan y el abonado de lenta liberación del 96% desde el inicio a la finalización del cultivo. En los tratamientos de Producción Integrada y de Biopron la disminución fue sólo del 86%, lo que supone un 10% menos de concentración final de nitratos a esta profundidad y para estos tratamientos. En las sondas de 60 cm, la disminución de nitratos fue menor en todos los tratamientos, y sólo con Rombiorgan se redujo la concentración final de nitratos un 91% respecto a la concentración inicial. Con la fertilización de Producción Integrada la reducción final de nitratos fue del 70%.

Comparando los cuatro tratamientos fertilizantes, se estimó que la menor concentración de nitratos al final del ciclo de cultivo en valor absoluto, tanto en las sondas superficiales como en las profundas, se obtuvo con el fertilizante de lenta liberación (10,01 mg/l⁻¹ y 22,30 mg/l⁻¹) y la mayor con el abonado de Producción Integrada (59,60 mg/l⁻¹ y 79,22 mg/l⁻¹).

Acumulación de nitratos en hojas

La concentración de nitratos en las hojas externas fue superior a los de las hojas internas en todos los tratamientos ensayados. El análisis estadístico para el contenido de nitratos, tanto en las hojas externas como internas, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de fertilizantes utilizados. A pesar de no haber diferencias estadísticas, se aprecia una diferencia en valor absoluto del contenido de nitratos de las hojas de lechugas tratadas con Biopron, con los valores más bajos (1.189 mg/kg⁻¹ p.f.), respecto al tratamiento de Producción Integrada, con el que se obtuvieron los mayores valores (1.833 mg/kg⁻¹ p.f.) (tabla 1). Siomos *et al.* (1999) consiguieron valores similares a los obtenidos en este trabajo con Biopron, en lechuga cultivada en periodo estival en Grecia, mientras que Pavlou *et al.* (2007), para el mismo periodo de cultivo, obtuvo una concentración de nitratos en las hojas externas de 664 mg/kg⁻¹ p.f.

Con todos los tratamientos de fertilizantes utilizados en este ensayo, se obtuvieron lechugas con concentraciones de nitrato foliar por debajo del permitido por la Comisión Europea para cultivos de lechuga en periodo estival y en campo abierto, donde se estableció que la concentración de nitrato foliar no debía exceder de 2.500 mg/kg⁻¹ p.f.

Por otro lado, en cuanto al contenido de clorofila en hoja (unidades SPAD), no hubo diferencias estadísticas entre los distintos tratamientos ensayados (tabla 1), donde sí las hubo fue entre las hojas externas y las internas (datos no mostrados), como era de esperar, ya que este índice de nutrición de la planta presenta una satisfactoria correlación con el contenido de nitrógeno total en hoja (Villar *et al.*, 2002). Godoy *et al.* (2003) emplearon el medidor de clorofila para determinar las aplicaciones de nitrógeno en cobertera, obteniendo resultados satisfactorios.

Parámetros de desarrollo vegetal

La aplicación de los distintos tratamientos de fertilización produjo diferencias significativas en la altura, anchura, peso bruto total y peso neto comercial de la planta. Los mayores valores de peso total (bruto y comercial) y altura se obtuvieron con el fertilizante de lenta liberación; por el contrario, el de Producción Integrada dio los valores más bajos de peso total y altura de planta (tabla 2). De los fertilizantes considerados menos agresivos, Rombiorgan actuó más favorablemente en la producción de planta, mejorando su peso total frente al de Producción Integrada. El grado de suculencia aérea mostró valores similares en todos los tratamientos de fertilizantes utilizados, no habiendo diferencias significativas entre ellos. A pesar de que con Biopron hay un menor aporte de nitratos, el grado de suculencia de las hojas internas mostró valores absolutos superiores (16,19 g) respecto a los menores valores absolutos obtenidos con el abonado de Producción Integrada (14,66 g) (tabla 2). Los fertilizantes que incorporan modestas cantidades de nitrógeno al suelo, como Rombiorgan y Biopron, se han considerado de menor importancia agrícola (FAO, 1995); sin embargo, su utilización en la agricultura ha sido positiva, observándose notables incrementos en los rendimientos de diferentes cultivos, debido a la capacidad de estos microorganismos de sintetizar sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal (Rodelas, 2001). El tratamiento fertilizante con abono de lenta liberación fue con el que se obtuvieron lechugas más altas y con mayor peso bruto, no mostrando diferencias significativas con los tratamientos de Rombiorgan y Biopron. Por el contrario, el tratamiento de fertilización con el que se obtuvieron lechugas de menores dimensiones (altura, anchura y peso bruto y comercial) fue el de Producción Integrada.

CONCLUSIONES

A modo de conclusión podemos decir que el fertilizante que provocó una mayor acumulación de nitratos en hojas, una mayor concentración de nitratos en sondas superficiales y un menor rendimiento en la producción del cultivo fue el de Producción Integrada recomendado por la Región de Murcia de la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. En base a este trabajo podemos indicar que tanto Rombiorgan como Biopron son dos fertilizantes muy adecuados para el cultivo estival de lechuga en campo abierto, ya que el contenido de nitratos en hojas fue más bajo que en el resto de fertilizantes, a la vez que se obtiene una mejor producción final de lechuga.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto Interreg III C GRINMED.

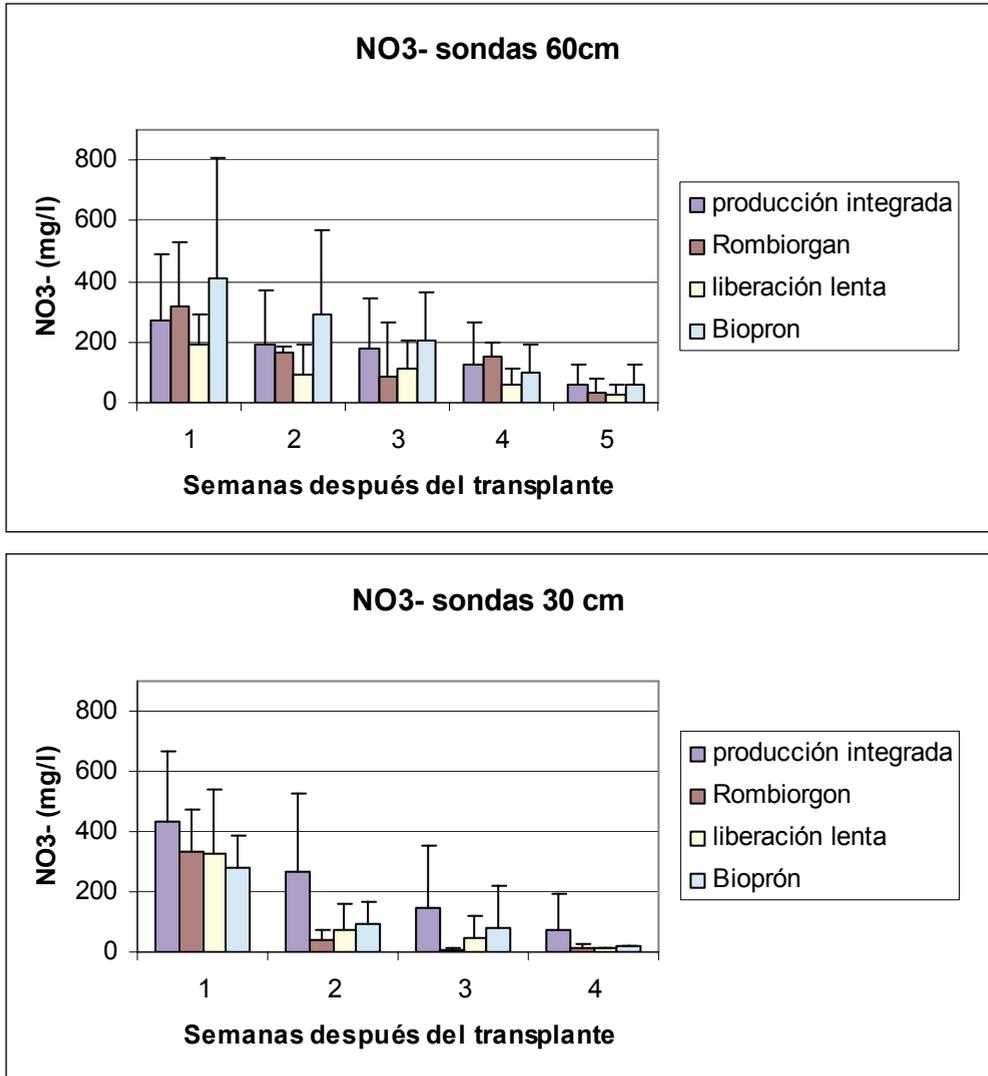
Tabla 1. Concentración de NO₃ en hojas externas e internas y spad en lechuga tipo romana cv. *Olympus*. Según el test de Duncan ($P>0,05$), no hay diferencias significativas entre los tratamientos

Parámetros medidos	Producción Integrada	Rombiorgan	Abono lenta liberación	Biopron
SPAD hojas externas	33,3	29,07	27,96	28,43
SPAD hojas internas	7,72	8,52	5,67	5,46
NO ₃ hojas externas (mg kg ⁻¹ p.f.)	1833,98	1238,08	1738,52	1189,51
NO ₃ hojas internas (mg kg ⁻¹ p.f.)	285,19	146,14	228,32	155,17

Tabla 2. Parámetros de desarrollo vegetal en lechuga romana cv. *Olympus*. Diferentes letras dentro de una misma fila indican diferencias significativas según el test de Duncan ($P=0,05$)

Parámetros medidos	Producción Integrada	Rombiorgan	Abono lenta liberación	Biopron
Altura planta (cm)	30,83 a	32,5 ab	33,77 b	32,83 ab
Anchura planta (cm)	11,09 a	12,87 b	12,47 ab	12,61 ab
Peso fresco bruto (g)	872,86 a	1038 b	1050,35 b	972,75 ab
Peso comercial (g)	629,36 a	727,5 b	703,66 b	664,22 ab
Altura del tallo (cm)	16,43 a	14,66 a	15,09 a	16,47 a
Suculencia hojas internas (g)	14,667 a	15,432 a	15,927 a	16,193 a
Suculencia hojas externas (g)	15,082 a	14,552 a	15,471 a	14,978 a

Figura 1. Evolución de la concentración de nitratos en lixiviados a 30 y 60 cm de profundidad en el ciclo de cultivo de lechuga romana



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DÍEZ LÓPEZ, J.A. 1999. Optimización de la fertilización nitrogenada: procedimientos de análisis de suelo, toma de muestra y elección del tipo de fertilizante. *Edafología*. 6: 73-84.
- GODOY, L.; VILLAS BÔAS, R. y BÜLL, L. 2003. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenadas em plantas de pimentão. *Revista Brasileira do Ciencia Solo*. 27: 1049-1056.
- GONNELLA, M.; SERIO, F. y SANTAMARÍA, P. 2002. Fattori genetici e ambientali e contenuto di nitrato degli ortaggi. *Culture Protette*. 12: 14-19.
- HOCHMUTH, G.J. 1992. Concepts practices for improving nitrogen management for vegetables. *HortTechn*. 2:121-125.
- PAVLOU, G.C.; EHALIOTIS, C.D. y KAVVADIAS, V.A. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturar*. 111: 319-325.
- RAMACHANDRAN, A.; HRYCAN, W.; BANTLE, J. y WATERER, D. 2005. Seasonal changes in tissue nitrate levels in fall-planted spinach (*Spinacia oleracea*). University Saskatchewan, Saskatoon S.K. <http://www.usask.ca/agriculture/plantsci/vegetable>.
- RODELAS, M.B. 2001. Interacción Rhizobium-Azospirillum y Rhizobium-Azotobacter. Efecto sobre la nodulación y fijación simbiótica del dinitrógeno en Vicia faba. En: (<http://193.146.205.198/sefin/Ecologia/Rodelas.html>).
- SANTAMARÍA, P.; GONNELLA, M. y VALENZANO, V. 2002. Livelli di nitrato e commercializzazione degli ortaggi. *Culture Protette*. 12: 7-13.
- SIOMOS, A.S. y DOGRAS, C.C. 1999. Nitrates in vegetables produced in Greece. *Journal of Vegetable Crop Production*. 5(2): 3-13.
- SPEIJERS, G.J.A. 1996. Nitrate in: Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants in food. WHO Food Additives Series. Ginevra. 35: 325-360.
- VILLAR, D. y ORTEGA, R. 2002. Medidor de clorofila. Bases teóricas y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos. *Agronomía y forestal UC*. 4-8.
- FAO/WHO. 1995. Evaluation of certain food additives and contaminants. 44th report of the Joint Experts Committee on Food Additives.