

# Nitrogen Dynamics and Nitrate Leaching in *Coffea arabica* Systems in Costa Rica According to Site Conditions, Fertilization and Shade Management

JM. HARMAND<sup>1</sup>, V. CHAVES<sup>2</sup>, H. ÁVILA<sup>3</sup>, P. CANNAVO<sup>4</sup>, L. DIONISIO<sup>2</sup>,  
G. CROUZET<sup>1</sup>, B. ZELLER<sup>4</sup>, P. VAAST<sup>1,3</sup>, R. OLIVER<sup>1</sup>, E. DAMBRINE<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), TA 10/D, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup>Instituto de Café de Costa Rica (ICAFE), Heredia, Costa Rica

<sup>3</sup>Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),  
Departamento de Agroforesteria, 7170 Turrialba, Costa Rica

<sup>4</sup>Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), INRA-Nancy,  
Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, 54280 Champenoux, France

## SUMMARY

For the last 5 years, research has been undertaken on nitrogen (N) cycling in full sun coffee plantations and coffee agroforestry systems in Costa Rica, to improve N management (N fertilization and shade management) in order to optimize production of coffee and associated trees while reducing negative environmental impacts such as nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) water contamination. These studies showed that Costa Rican soils where coffee is grown, exhibited (1) high permeability allowing large water drainage, but (2) different adsorption patterns resulting in different  $\text{NO}_3^-$  dynamics. Acrisols (Ultisols, USDA classification) from the southern zone of Costa Rica presented a dominance of positive charges in the subsoil which were responsible for strong  $\text{NO}_3^-$  retention hence mitigating  $\text{NO}_3^-$  leaching and water contamination. Andisols from the Central Valley did not show this mechanism at such a magnitude so that  $\text{NO}_3^-$  can potentially be leached in large amounts into the aquifers. Fertilization experiments in full sun coffee plantation showed that increasing the N fertilizer level from 150 to 350 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> resulted in a low additional coffee production and a high potential for  $\text{NO}_3^-$  water contamination. In optimum growing conditions for coffee in full sun with high inputs, the inclusion of shade trees (*Eucalyptus deglupta* or *Inga densiflora*) increased N accumulation in litter and permanent biomass and slightly reduced water drainage, but also reduced coffee production by 25-33%. One experiment using <sup>15</sup>N labelled fertilizer in a highly fertilized coffee-*Inga densiflora* association (250 kg N ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) showed a low efficiency of N fertilizer use by both coffee and trees. Only  $\approx 24\%$  of the annual fertilizer input contributed to the vegetative growth and the coffee production. These results highlight the need to adapt N fertilization to the current annual production and to reduce N fertilization input in shaded coffee systems intensively managed in order to better match plant needs and reduce  $\text{NO}_3^-$  leaching. In an organically managed system fertilized with coffee pulp ( $\approx 150$  kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>), but without any chemical N fertilizer input, coffee production was acceptable under the shade legume tree *Erythrina poeppigiana*. Compared to the highly fertilized agroforestry system (250 kg N ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) previously described,  $\text{NO}_3^-$  leaching in this organically managed agroforestry system was reduced by 3 times.

## RÉSUMÉ

Durant les 5 dernières années, des recherches ont été menées sur le cycle de l'azote dans les monocultures et les systèmes agroforestiers caféiers au Costa Rica. Il s'agissait d'améliorer la

gestion de l'azote en particulier la fertilisation et la gestion de l'ombrage afin d'optimiser la production du caféier tout en réduisant les impacts environnementaux négatifs comme la pollution nitrique des eaux. Les conditions climatiques pluvieuses et la perméabilité élevée des sols au Costa Rica favorisent un drainage important s'accompagnant d'un fort potentiel de lixiviation des cations et des anions du sol. Nos études ont montré que les sols ont des comportements variables du point de vue de l'adsorption des anions en particulier des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) : les Acrisols (Ultisols, classification USDA) de la zone Sud du Costa Rica présentent dans le sous-sol des charges positives qui retiennent les  $\text{NO}_3^-$  et limitent fortement les pertes par lixiviation. Les Andisols de la Vallée Centrale, formés sur cendres volcaniques ne présentent pas un phénomène de rétention de  $\text{NO}_3^-$  avec une telle amplitude, et par conséquent, les nitrates présents dans ces sols peuvent être lixiviés rapidement. Les essais de fertilisation ont montré que l'augmentation de la dose annuelle d'engrais au-delà de  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  a peu d'effet sur la production du caféier à long terme mais présente un fort potentiel de pollution nitrique. En conditions favorables pour la production de café en plein soleil, l'introduction d'arbres d'ombrage (*Eucalyptus deglupta* ou *Inga densiflora*) dans la plantation de caféiers hautement fertilisée, a eu pour effets (1) d'augmenter l'accumulation d'azote dans la litière et la biomasse permanente, (2) de réduire légèrement le drainage, mais aussi (3) de réduire la production de café de 25 à 33%. Une expérimentation utilisant l'engrais marqué  $^{15}\text{N}$  dans une plantation hautement fertilisée ( $250 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ) a montré une faible utilisation de l'engrais de l'année par le caféier et l'arbre d'ombrage ( $\approx 24\%$  de l'apport), même en année de forte production de café. Ces résultats montrent globalement que dans les systèmes fertilisés, il est nécessaire d'adapter les apports d'engrais au phénomène d'alternance des récoltes du café et de réduire les apports sous ombrage pour limiter les pertes de nitrates par drainage profond. Dans les systèmes biologiques conduits sans apport d'azote minéral, mais avec apport de drupes de café à raison de  $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ , l'ombrage d'*Erythrina poeppigiana* élagué deux fois par an a permis une production acceptable de café tout en divisant par trois les quantités de N lixivié par rapport au système agroforestier hautement fertilisé précédemment décrit.