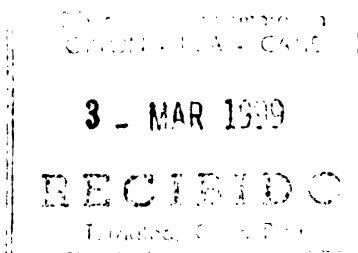


ATLANTIC ZONE PROGRAMME



Report No. 33
Field Report No. 80

**// DETERMINATION OF LOSSES OF NUTRIENTS
AND NEMATICIDES ON A BANANA PLANTATION
IN THE ATLANTIC ZONE**

✓
Alban Rosales
Pascal Maebe
Robert Sevenhuysen

Turrialba
August, 1992

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE
INVESTIGACION Y ENSEÑANZA - CATIE**

**UNIVERSIDAD AGRICOLA
DE WAGENINGEN - UAW**

**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y
GANADERIA DE COSTA RICA - MAG**



Location of the study area.

The Atlantic Zone Programme (CATIE-AUW-MAG) is the result of an agreement for technical cooperation between the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), the Agricultural University Wageningen (AUW). The Netherlands and the Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) of Costa Rica. The Programme, that was started in April 1986, has a long-term objective multidisciplinary research aimed at rational use of the natural resources in the Atlantic Zone of Costa Rica with emphasis on the small landowner.

List of contents

	page
1. Introduction	1
2. Application of fertilizer and pesticide	2
3. Hydrology	3
4. Observation of water quality parameters	5
4.1. Primary observations	5
4.2. Leaching of K, Ca, Mg and NO ₃	6
4.3. Leaching of ethoprop and terbufos	9
5. Conclusions and recommendations	10
References	12
Tables	13
Figures	23

List of tables

- Table 1 : Discharge measured at a drain in the bananaplantation and precipitation measured at the meteorological station of 'los Diamantes'. (A_{Pi} : precipitation on day i before the measurement of the discharge, Q : the measured discharge and Q_{est} : simulated discharge)
- Table 2 : Measured precipitation at the meteorological station of 'los Diamantes' and discharge (Q_{est}) simulated with the linear regression model.
- Table 3 : Measured water quality parameters at observationpoint 1
- Table 4 : Measured water quality parameters at observationpoint 2
- Table 5 : Measured water quality parameters at observationpoint 3
- Table 6 : Measured water quality parameters at observationpoint 4
- Table 7 : Measured water quality parameters at observationpoint 5
- Table 8 : Measured water quality parameters at observationpoint 6
- Table 9 : Measured water quality parameters at observationpoint 7
- Table 10: Measured water quality parameters at observationpoint 8
- Table 11: Measured water quality parameters at observationpoint 9
- Table 12: Mean values (μ) and standard deviations (σ) of the concentrations of K, Ca, Mg and NO₃ measured at observationpoint 1 to 9.
- Table 13: Measured water quality parameters at observationpoint 10
- Table 14: Measured water quality parameters and discharge at observationpoint 11.
- Table 15: Total loads in observationpoint 11 calculated with the concentrations and discharges given in table 14.
- Table 16 : Loads in observationpoint 11 corrected for the concentration in point 10 (= [C₁₁-C₁₀]*Q) calculated with the data given in table 13 and table 14.

Table 17: Total losses of K, Ca, Mg and N (nitrate is expressed in this table as N) compared with the total application of these elements.

Table 18: Concentration of Ethoprop (Eth), calculated load and discharge measured at observationpoint 10 and 11.

List of figures

- Fig. 1a: Daily precipitation in August 1991 measured in the experimental station of 'los Diamantes'.
- Fig. 1b: Daily precipitation in September 1991 measured in the experimental station of 'los Diamantes'.
- Fig. 1c: Daily precipitation in October 1991 measured in the experimental station of 'los Diamantes'.
- Fig. 1d: Daily precipitation in November 1991 measured in the experimental station of 'los Diamantes'.
- Fig. 1e: Monthly precipitation for 1991 and mean monthly precipitation for the period 1981-1990.
- Fig. 2a: Localization of the different observationpoints
- Fig. 2b: Localization of the observationpoints 10 and 11 and the drainage area
- Fig. 3: Concentration of K measured in point 10 and 11.
- Fig. 4: Concentration of Ca measured in point 10 and 11.
- Fig. 5: Concentration of Mg measured in point 10 and 11.
- Fig. 6: Concentration of NO_3 measured in point 10 and 11.
- Fig. 7: Values of pH measured in point 10 and 11.
- Fig. 8: Electrical conductivity (E.C) measured in point 10 and 11
- Fig. 9: Discharge (Q) measured at point 11.
- Fig. 10: Total loads and corrected loads of K at point 11 in function of the discharge.
- Fig. 11: Total loads of Ca at point 11 in function of the discharge.
- Fig. 12: Total loads and corrected loads of Mg at point 11 in function of the discharge.

Fig. 13: Total loads and corrected loads of NO₃ at point 11 in function of the discharge.

Fig. 14: Concentration of Ethoprop measured in point 10 and 11.

Fig. 15: Discharge (Q) measured at point 11.

1. Introduction.

The efficiency of application of fertilizers or pesticides on agriculture land is determined by the loss of it with water percolated through the soil and other parameters. Finally these fertilizers or pesticides may leave the agriculture land with the drainage water. To have an idea of the amount of these losses on a bananaplantation located at the experimental station of 'los Diamantes' in Guápiles (Costa Rica), water samples were collected during four months, from august 1991 till november 1991, and the following parameters were analysed: pH, electrical conductivity (C.E.), K, Ca, Mg, NO₃, Ethoprop and Terbufos. Chemical analysis was carried out by the Laboratorio Químico-Suelos y Foliare de CORBANA (La Rita), by La Unidad de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganaderia, by the Centro de Investigación de Contaminación Ambiental (CICA) de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica and the Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA) at Tres Ríos de Cartago.

The first water samples were taken at nine different spots on six different dates. These data gave some information about the variation in space and time of the water quality on the banana plantation. Later, a main drainage canal was selected for further study. At several times the different water quality parameters were measured at the begin point and the end point of the drain. At the end point, also the discharge was measured so that total losses of fertilizers and pesticides for the surveyed area could be estimated.

2. Application of fertilizer and pesticide.

During the investigation, the following amounts of fertilizer and nematicide were applied on the plantation:

- application of fertilizer :

23-07	
26-07	application of 210 kg/ha of fertilizer
01-08	with 13.3 %N, 28.7 %K ₂ O and 6.6 %MgO
03-08	
21-08	
22-08	
24-08	application of 210 kg/ha of fertilizer
26-08	with 13.3 %N, 28.7 %K ₂ O and 6.6 %MgO
27-08	
28-08	
20-09	application of 210 kg/ha of fertilizer
24-09	with 13.3 %N, 28.7 %K ₂ O and 6.6 %MgO
20-09	application of 200 kg/ha of fertilizer
24-09	with 22 %K ₂ O, 18 %MgO and 22 %S
25-10	
31-10	application of 210 kg/ha of fertilizer
01-11	with 13.3 %N, 28.7 %K ₂ O and 6.6 %MgO
02-11	

With these data, we can calculate the total amounts of fertilizer (expressed as elements) applied during the 4 months of observation:

K: 237 kg/ha
Mg: 55 kg/ha
N: 111 kg/ha

Normally, the total annual application of fertilizer is spread over 13 periods. The application of calcium is done only twice in a year. In 1991, 750 kg/ha (with 53.7 %CaO) was applied in March and the same amount in July. This gives a total annual addition of elementary Ca equal to 576 kg/ha.

The amounts of fertilizer and calcium applied on this plantation and also the spreading in time are quite representative for most banana plantations in Costa Rica.

- application of nematicide:

08-08	
09-08	application of 41.5 kg/ha of Counter
14-08	with 10 % terbufos
13-11	
14-11	application of 36.3 kg/ha of Mocap
15-11	with 10 % ethoprop
16-11	

This means that 4.15 kg/ha of terbufos and 3.63 kg/ha of ethoprop was applied.

3. Hydrology.

Daily precipitation data for the observation period were obtained from the experimental station 'los Diamantes'. These data are presented in Fig.1a to 1d. The monthly precipitation for the observation period was the following:

August: 544.4 mm
September: 356.4 mm
October: 354.4 mm
November: 641.5 mm

In Fig. 1e, the mean monthly precipitation for the period 1971-1990 is compared with the monthly precipitation of 1991. From this it is clear that the measurements were done in the wettest period with probably the highest losses of nutrients. Moreover, it seems that the precipitation in 1991 was relatively high.

As mentioned before, discharges were measured at a specific drain at different times. As the observation of daily rainfall is very easy and done frequently, it is interesting to investigate the relation between the areal precipitation and the observed runoff, so that the relation can be used later for simulating the runoff with rainfall data. The point precipitation of the station of 'los Diamantes' will be used as an estimate of the real areal precipitation.

Because the aim of this study is not the construction of a real rainfall-runoff model and also the number of observations of discharge is too small, a simple linear regression between rainfall data and runoff data was done. Moreover, it was observed that most of the runoff in the drain was caused by subsurface runoff. The plantation is located on an alluvial fan with a sandy soil and a gravelly/sandy subsoil, characterized by a high infiltration capacity and hydraulic conductivity.

If we represent the ground water system as a reservoir with a certain storage, and we assume that the ground water runoff on day i , Q_i , is linear proportional to the ground water storage on that day, and if we suppose that all the precipitation on a day, recharges directly the ground water system we can expect a fairly good linear relationship between rainfall and runoff. The following linear relation was tested for the data (see Table 1) measured on the plantation of 'los Diamantes' :

$$Q_i = \alpha_1 AP_{i-1} + \alpha_2 AP_{i-2} + \alpha_3 AP_{i-3} + \alpha_4 (AP_{i-4} + AP_{i-5}) + \alpha_5 (AP_{i-6} + AP_{i-7})$$

with Q_i : discharge on day i (m_3/day)
 AP_j : precipitation on day j (mm)

With the data of Table 1, the following parameter values were found: $\alpha_1 = 41$, $\alpha_2 = 44$, $\alpha_3 = 66$, $\alpha_4 = -2$, $\alpha_5 = 13$. In Table 1, also the discharge, Q_{est} , estimated with these parameters is given. The standard error of estimate, S_{xy} , defined as follows

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (Q - Q_{est})^2}{N}}$$

with N : number of observations

gives us an idea how good the linear model fits with the observed data, and at the same time it gives us a confidence interval for simulated discharges. There is a probability of 95.45% that the thure discharge lies between $Q_{sim} - 2S_{xy}$ and $Q_{sim} + 2S_{xy}$. For the data of Table 1, S_{xy} is equal to 744 m^3/day . In table 2, discharges are simulated for the dates that water quality parameters were measured but no discharges.

Great care should be taken when applying this regression model to estimate the discharge. It should only be used for estimating the order of magnitude of the discharge. The fact that one of the parameters is negative is already an indication for carefull application. Some of the assumptions made before are certainly not completely correct. Not all the precipitation will recharge the groundwater-system but part of it will evapotranspire. Moreover, it will take some time before the net-precipitation is added to the groundwater system. This could be an explanation why the parameter α_3 in the regression model is highest. Finally, some part of the total runoff can be surface runoff. How much surface runoff will be caused by a certain amount of precipitation will depend on the soil moisture conditions and the rainfall intensity. This means that there will be no simple linear relation between precipitation and surface runoff.

4. Observation of water quality parameters.

4.1. Primary observations.

During the first period of observation, nine points were selected on a small area of the banana plantation. On these points, water samples were taken at different dates. The location of these points is given in Fig.2a and a short description of each site is given below:

- point 1: begin-section of a tertiary draining ditch;
- point 2: begin-section of a tertiary draining ditch;
- point 3: mid-section of a tertiary draining ditch;
- point 4: mid-section of a secondary draining ditch;
- point 5: mid-section of a primary draining ditch;
- point 6: begin-section of a tertiary draining ditch;
- point 7: borehole;
- point 8: point where the river enters the bananaplantation;
- point 9: borehole.

A tertiary ditch is defined as a ditch which does not receive water from other ditches, a secondary ditch is a ditch where tertiary ditches are flowing into, and a primary ditch is a ditch where tertiary and secondary ditches are flowing into. All points are located close to each other except for point 6 and 8. The points 1, 2 and 7 are almost on the same location. The final results of the analyses of the water samples are given in Table 3 to 11. For K, Ca, Mg, and NO₃, the mean values and standard deviations of the concentrations measured in the different observation points are given in Table 12. From these tables, it can be concluded that the variation in time of the measured concentrations are relatively small for most points. Only in point 4 and point 7 are the variations in time relatively important. It is not directly clear if these variations were caused by application of fertilizer or by changes in precipitation during the observation-period.

There is a significant difference between the mean concentrations calculated for the different points. This can easily be explained by their location. Some points are located at the begin-section of a small drain or in an observation well and will reflect only very local leaching conditions, other points are located on the edge of the plantation and will be less affected by leaching losses, while f.e. point 5 is located at the end-section of a important drain and will reflect leaching losses for a relatively big area. Finally, these considerations were used when selecting a point where discharges would be measured at the same time that water samples are taken at the point. A point, upstream of point five was selected. This point is indicated on Fig.2a and 2b as point 11. The advantages of this point are that it is located on an important ditch that is draining a relatively big

area, that the cross-section of this ditch was relatively regular over some distance at this point so that discharge measurements with color solution were possible, and that the expected variation of the measured concentration in time would be probably small (as was observed in point 5). At the same time, a point close to the edge of the banana plantation was selected on the begin-section of the same ditch (see point 10 on Fig.2a and 2b). The concentrations of this point will be used as a kind of reference level.

4.2. Leaching of K, Ca, Mg and NO₃.

During seven weeks, the discharge was measured every week at observation point 11 and water samples were taken at point 10 and 11. These observations are given in table 13 and 14 and are presented in Fig.3 to Fig.9. It can be seen that the values of pH, electrical conductivity, Ca and Mg are more or less the same in the two points, while the concentrations of K and NO₃ are bigger in the endpoint (11) of the drain than in the beginpoint (10). This difference may be attributed to the application of fertilizers on the plantation.

The concentrations observed in point 11, and in a lesser degree in point 10, are relatively constant. The concentration of Mg is slightly decreasing, while the concentration of Ca and K is slightly increasing. The fact that the concentrations are relatively constant despite the changes in discharge, indicates that these elements are relatively mobile, easily leached from the soil and the amount of water flowing through the soil will be the most determining factor for total losses.

From table 14 it can also be seen that the electrical conductivity increases with the discharge. This result indicates that the concentrations of some ions which were not measured must have increased.

The total loads, calculated with the concentrations and discharges measured at point 11, are given in table 15. The total loads of the different parameters vary in time. As the relative variation of the concentrations (C) is small compared to the relative variation of the discharge (Q), it is logical that the total load (Q*C) is linear proportional to the discharge (Fig. 10 to 13). A part of the leached nutrients will come also from the unfertilized soil (original soil) and even some from outside (upstream) the plantation. If we assume that the concentrations measured in point 10 are not influenced by application of fertilizer on the plantation, we can estimate the amount of nutrients lost from the fertilizer by first making the difference between the concentrations measured in point 10 and 11, and then using this difference to calculate loads. The results of this calculation are presented in table 16. These corrected loads are

also plotted in function of the discharge in Fig. 10 to 13. For Ca this calculation is not done because the concentrations in point 10 are higher than in point 11, at the same time indicating that most of the leached Ca is coming from the original soil. We should remark that the concentrations at point 10 will probably also be affected by fertilizers due to dispersion effects. This is f.e. very clear for the data of nitrate. When we compare nitrate-concentrations in point 10 with the very low nitrate-concentrations in the river (between 0.16 and 0.34 ppm), we can conclude that point 10 is probably also affected by fertilizers.

To calculate total losses of these elements per area for the observed period, the drainage area has to be known. For this purpose, a topographical survey of the area was done. The results of this observation are presented in Fig. 2b. We should remark here that a big part of the runoff in this ditch was caused by subsurface flow and that an observation of the groundwater table in the area would be necessary to determine more correctly the drainage area. The presence of stones in the under-ground (the plantation is located on an alluvial fan) made the installation of observation wells impossible. Besides this, it should be noted that the presence of many drains with different depth in the area makes the drainage pattern complicated. Finally we estimated that the drainage area is approximately 13 ha, with an upper limit of 15 ha and a lower limit of 11 ha.

To estimate the total loss in point 11 for the observation-period of 4 months, we will make use of the linear relationship between the observed losses and the observed discharge. First, we estimated the mean discharge for the observation period with the linear regression model and the precipitation data for the 4 months. We estimated that the mean discharge was equal to 2690 m³/d. With this discharge, and the linear relation (obtained from Fig. 10 to 13) between loads and discharge we can estimate the expected mean daily losses for the observation period:

- total losses: K : 11.9 kg/d
 Ca : 39.2 kg/d
 Mg : 13.1 kg/d
 NO₃: 13.6 kg/d

- corrected losses: K : 3.8 kg/d
 Mg : 1.0 kg/d
 NO₃: 8.4 kg/d

In table 17, these mean daily losses are converted to losses per area for the total observation period of 4 months. At the same

time, they are compared with the total application of fertilizer in that period. The loss of Ca is compared with 1/3 of the total annual application of Ca. We can conclude that for Ca and Mg, about the double is lost of what is applied, indicating that a relative large amount of these two elements is coming from the original soil. For K, half of the amount applied is lost and for N, 1/4 of the amount applied is lost. For K, we can assume that a relative important amount is coming from the original soil as the concentrations in the river and in point 10 are relatively high. When we compare the corrected losses with the amount of application, we can see that between 15 and 18 % of the fertilizer is lost.

A very important remark should be made here. The mean daily precipitation for the 4 months of observation is equal to 15.5 mm. If we consider that the drainage area is equal to 13 ha and the mean daily discharge in that period is equal to 2690 m³/d, we obtain a mean daily runoff of 20.7 mm/d. This would mean that there was during the 4 months a net output of 634 mm. If we would consider evapotranspiration, this value would be even higher. This indicates that or the mean daily discharge for that period is seriously over estimated or the drainage area is under estimated. A third possibility is that the point precipitation of 'los Diamantes' gives an under estimation of the real areal precipitation. Errors in the estimation of the mean daily discharge can be due to errors during the measurement, errors due to the assumption that the instantaneous measured discharge is representative for the whole day or due to errors introduced by using the linear regression model for estimating the mean daily discharge. We should remark that the possible error on the estimated mean daily discharge is much more smaller than the possible error on an individual estimated discharge. Probably, the highest error was made in the estimation of the drainage area. If we suppose that there is no evapotranspiration (which in reality can be more than 3 mm per day in this zone), meaning that all precipitation will cause runoff, and there is no change in water storage and we suppose that the estimated discharge (=2690 m³/d) is correct, we can calculate that the drainage area has to be equal to 17.4 ha.

There are now two possibilities: the part of area that we did not take into account is located on the plantation (which is less probable) or it is located outside (upstream) of the plantation. A combination of both is also possible. In the case that the additional area is located outside the plantation, we should adapt in table 17 only the data for the total losses. For nitrates, which are probably coming mainly from the fertilized land, it is not necessary to do this adaptation. If the area is located inside the plantation, we should adapt both total and corrected losses. Adaptation of the data can be done by dividing loads by 17.4 ha instead of 13 ha. This would mean that the calculated losses of fertilizer per area will be smaller.

In the previous part, the relative losses of fertilizer are calculated for a period of 4 months. It would be interesting to extrapolate these data to a whole year. As the total leaching is correlated with the volumes of water passing through the soil (function of the precipitation), we could use the relation between discharge and total load together with the mean daily discharge estimated for the whole year. However, this relation was not tested in the dry period and also not in the beginning of the wet period, two periods where a different behaviour can be expected.

4.3. Leaching of ethoprop and terbufos.

Terbufos is used as a nematicide under the commercial name of Counter. It has a very low solubility in water, 5 ppm, and a high affinity for organic material (n-octanol/water partition coefficient of 4796). The persistency of terbufos is relatively low with an estimated half-life time in the soil between 9 and 27 days. There was one measurement of concentrations of terbufos, nl. on 28-08, which means 14 days after the application. Probably the measurements were done too late after the application, because no terbufos could be detected.

Ethoprop is also used as a nematicide but under the name of Mocap. Its solubility in water is much more higher (750 ppm). No data was found about affinity of ethoprop for organic material. Immediately after the application of this nematicide on the surveyed area, the concentration of ethoprop was measured at point 10 and 11 during 6 successive days. At the same time, the discharge was measured at point 11. The results are given in table 18, fig. 14 and fig. 15. During the first day, the concentration was very high, but it decreased very quickly the following days. The total loss of ethoprop for the observation-period can be estimated with the data of table 18 to be equal to 0.0592 kg. This means that, if the drainage area is equal to 13 ha, the relative loss of ethoprop during the observation period is only 0.13% of the amount applied. This very low rate of loss can be explained by the fact that there was almost no precipitation after the application and very probably, ethoprop has some affinity for organic material which can increase the immobilization of it. During this observation period, there was almost no precipitation. This caused an exponential decrease of the runoff (typical for groundwater runoff) in this period as can be seen in fig. 15. The high concentration on the first day can be explained by the fact that the application on the surveyed area was mainly on the first day of measurement and also that the precipitation during the days before the measurement was very high, while during the measurements, there was almost no precipitation. Due to this, during the first day of observation the topsoil was maybe still very wet and even there was still some

surface runoff, loaded with some particles of ethoprop. The following days, the topsoil must have become dry and probably there was no more surface runoff, so that the load of ethoprop decreased strongly. Another possible explanation could be that the adsorption of all ethoprop to organic material in the soil is not immediate, but takes some time (f.e. one day).

5. Conclusions and recommendations.

The concentrations observed in the drainage water of the banana plantation in 'los Diamantes', are relatively constant (K: 3.8 - 4.6 ppm, Ca: 10.5 - 15.5 ppm, Mg: 4.6 - 6.1 ppm and NO₃: 4.6 - 5.2 ppm) while the discharge was varying a lot. This indicates that the total losses are highly correlated with the discharge. A similar study carried out in a banana plantation in Siquirres (Gonzalez 1989), revealed similar results. The mean concentration of NO₃ (4.4 ppm) was similar, while the mean concentrations of Ca (36 ppm) and Mg (12 ppm) were higher, and the mean concentration of K (1.3 ppm) was a little bit lower. This difference can easily be explained by the difference in soil type. The soil in the plantation in Siquirres contains much more Ca and Mg in a more soluble form, and probably the clay minerals in this soil can fix K better. When we compare the observed water quality parameters with drinking water quality standards or quality standards for general household use, we can conclude that the concentrations are still below the maximum limits. The World Health Organization (Anonymus, 1981) gives as strongest limits for Ca 40 ppm, for Mg 30 ppm and for NO₃ 25 ppm. For K, the European Community advises a maximum allowable concentration of 12 ppm for drinking water.

The calculation of losses relative to the amount of applied fertilizer is presented in table 17. Because point 10 was not a very good reference point, these calculations are only approximate. Recommendations for a better choice of this point are given later. Still, we can conclude that probably the relative loss of elements of fertilizer, lies between 20 and 30 % for the observed period. We should remark here that leaching is not the only loss of fertilizer. Also denitrification in the soil or volatilization of ammonium is a possible pathway of losses (Fassbender H. W., 1987).

To calculate the relative amount of fertilizer which is lost by leaching, concentrations of some elements and discharges have to be measured at regular times. From the previous study, it is very clear how important it is to choose a site where the drainage area can be determined relatively good. When the soil is very permeable, and a large amount of runoff is subsurface flow, installation of groundwater observation wells should be possible.

Not all the elements which are leached are coming from the fertilizer, but some are coming from the original soil. To calculate the amounts which are really coming from the fertilizer, techniques with marked elements should be used. If we assume that there is only subsurface runoff and that there is a quick and complete mixing in the groundwater reservoir, we can use a very approximate, but easier way which consist in observing the groundwater quality in the upstream part of the catchment. This point should not be influenced by fertilizer, but still be on the plantation. This means that there has to be a part of the plantation where there is no fertilization during a long time. That point will then give the concentration, that would exist all over the plantation if there was no application of fertilizer at all. This technique can only give acceptable results when the water quality of the unfertilized plantation would be homogeneous in space.

To be able to make a good estimation of the annual losses, observations should be done in the dry period, the beginning of the wet period and somewhere in the middle of the wet period, because these three periods may have a different behaviour. Especially in the beginning of the wet period, a stronger leaching of elements accumulated in the dry period before could be expected. Also the relationship between precipitation and discharge has to be established for the three different periods.

The observed losses of nematicide were very low. The quick change in concentration of ethoprop from one day to another, indicates that just after the application of the nematicide, the concentrations should be measured more frequently to be able to carry out better calculations of total loads. We can conclude that the use of nematicides with a low persistency and a high affinity for organic material is probably less harmful for the environment, especially when there is no rainfall after the application, which however, is not very likely to occur in this climate.

References:

- Anonymus (1981). "Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics."; Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Fassbender Hans W. (1987). "Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina." Por Hans W. Fassbender; Elemer Bornemisza. 2a. ed. rev. - San José, Costa Rica : IICA, 1987, c1975.
- Gonzalez Villalobos L. (1989). "Determinación de las pérdidas de aniones y cationes en el agua de drenaje subterráneo en un suelo bananero"; Tesis: Escuela de fitotecnia, Facultad de agronomía, Universidad de Costa Rica.

Fig. 1 : Discharge measured at a drain in the bananaplantation and precipitation measured at the meteorological station of 'los Diamantes'. (AP_i : precipitation on day i before the measurement of the discharge, Q : the measured discharge and Q_{est} : simulated discharge)

Time	AP1 (mm)	AP2 (mm)	AP3 (mm)	AP4 (mm)	AP5 (mm)	AP6 (mm)	AP7 (mm)	Q (m ³ /d)	Q _{est} (m ³ /d)
09-91	0	1.3	0	4.2	6	2.2	7.8	570	167
10-91	42.2	35.3	23	62.6	0	0	0.3	3100	4680
10-91	1.2	0.4	0	19.1	42.2	35.3	23	635	702
10-91	1.5	0	0.8	1.2	0.4	0	19.1	305	359
10-91	1.8	13.9	1.8	1.5	16.1	4.4	0	434	826
11-91	15.5	18.3	37.8	17.2	0	3	32.8	3110	4367
11-91	55.7	19.1	0	0.1	0	0	15.5	4080	3325
11-91	40.1	64.3	55.7	19.1	0	0.1	0	8950	8113
11-91	0.9	40.1	64.3	55.7	19.1	0	0.1	5185	5897
11-91	0.3	0.9	40.1	64.3	55.7	19.1	0	3250	2707
11-91	0	0	0.9	40.1	64.3	55.7	19.1	1555	836
11-91	0	0	0.3	0.9	40.1	64.3	55.7	1210	1498
11-91	0	0	0	0.3	0.9	40.1	64.3	960	1355
11-91	19.4	60.8	89.8	4.6	35.4	45.8	0	10630	9913

Table 2 : Measured precipitation at the meteorological station of 'los Diamantes' and discharge (Q_{est}) simulated with the linear regression model.

date	AP1 (mm)	AP2 (mm)	AP3 (mm)	AP4 (mm)	AP5 (mm)	AP6 (mm)	AP7 (mm)	Q_{est} (m ³ /d)
20-08-91	0	9.5	2.2	37.5	2.8	0.4	20.8	758
27-08-91	29.2	6.7	1.0	2.1	38.8	24.6	1.4	1820
03-09-91	0	0.1	1.4	39.3	19.9	5.3	6.2	127
06-09-91	3.6	0	11.2	0	0.1	1.4	39.3	1415
17-09-91	42.2	55.9	15.5	0.9	4.0	36.3	9.5	5798
14-10-91	42.2	35.3	23	62.6	0	0	0.3	4680

Table 3 : Measured water quality parameters at observationpoint 1

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	1.27	11.96	4.21	5.78	6.53	90
27-08-91	1.65	12.26	4.63	5.66	7.48	100
03-09-91	3.16	11.20	3.21	5.67	6.68	160
06-09-91	1.40	10.38	4.82	5.31	7.60	800
17-09-91	1.68	12.95	4.66	5.17	-	-
14-10-91	1.40	7.99	2.56	4.06	-	-

Table 4 : Measured water quality parameters at observationpoint 2

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	2.19	11.99	4.89	5.78	7.25	130
27-08-91	2.07	13.48	5.59	5.68	7.43	130
03-09-91	3.08	11.50	4.46	5.52	7.37	120
06-09-91	2.29	8.65	4.90	5.26	7.43	300
17-09-91	2.09	12.06	4.75	5.16	-	-
14-10-91	2.90	9.13	4.01	2.33	-	

Table 5 : Measured water quality parameters at observationpoint 3

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	4.65	14.85	6.06	5.71	7.39	160
27-08-91	4.61	14.50	5.87	5.62	7.22	180
03-09-91	4.79	14.76	5.72	5.65	7.86	180
06-09-91	4.28	12.12	6.35	5.26	7.30	650
17-09-91	4.52	14.99	6.00	5.16	-	-
14-10-91	8.56	17.65	6.09	5.07	-	-

Table 6 : Measured water quality parameters at observationpoint 4

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	3.50	9.99	3.60	1.05	5.37	110
27-08-91	6.23	8.24	3.77	0.39	6.98	130
03-09-91	3.58	7.69	2.57	1.33	7.23	100
06-09-91	4.02	10.11	5.52	0.22	7.15	650
17-09-91	3.10	9.36	2.82	3.81	-	-
14-10-91	3.44	5.64	1.74	0.99	-	-

Table 7 : Measured water quality parameters at observationpoint 5

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	4.15	14.74	6.28	5.51	7.27	120
27-08-91	4.91	14.38	5.94	5.31	7.97	170
03-09-91	4.36	14.58	5.97	5.51	7.62	120
06-09-91	4.96	12.25	6.72	5.12	7.20	1000
17-09-91	-	-	-	-	-	-
14-10-91	4.30	14.10	5.98	4.76	-	-

Table 8: Measured water quality parameters at observationpoint 6

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	3.03	11.18	4.35	0.18	7.85	90
27-08-91	3.20	10.70	4.06	0.37	7.61	90
03-09-91	3.33	10.85	4.00	0.46	-	110
06-09-91	4.10	9.65	5.19	0.31	7.48	700
17-09-91	3.04	9.92	3.87	0.52	-	-
14-10-91	3.60	12.62	3.80	2.08	-	-

Table 9: Measured water quality parameters at observationpoint 7

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	2.05	10.98	3.50	5.76	6.76	90
27-08-91	3.79	11.06	3.69	0.28	7.33	130
03-09-91	6.08	10.89	3.05	5.61	7.25	160
06-09-91	2.93	6.09	2.78	0.29	7.34	500
17-09-91	-	-	-	-	-	-
14-10-91	8.56	8.49	2.41	4.80	-	-

Table 10: Measured water quality parameters at observationpoint 8

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	3.40	9.67	3.20	0.16	7.96	70
27-08-91	3.29	9.41	2.99	0.16	6.98	-
03-09-91	3.65	9.09	2.96	0.29	7.70	50
06-09-91	3.87	7.32	3.61	0.34	7.21	470
17-09-91	-	-	-	-	-	-
14-10-91	3.22	8.95	2.89	0.16	-	-

Table 11: Measured water quality parameters at observationpoint 9

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
20-08-91	-	-	-	-	-	
27-08-91	0.60	3.52	1.11	0.70	6.98	-
03-09-91	0.88	3.30	0.88	0.79	7.70	50
06-09-91	-	-	-	-	-	-
17-09-91	0.75	2.32	0.64	0.98	-	-
14-10-91	1.42	4.70	1.63	2.30	-	-

Table 12: Mean values (μ) and standard deviations (σ) of the concentrations of K, Ca, Mg and NO₃ measured at observationpoint 1 to 9.

point	K (ppm)		Ca (ppm)		Mg (ppm)		NO ₃ (ppm)	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
1	1.76	0.64	11.12	1.62	4.02	0.84	5.28	0.58
2	2.44	0.40	11.14	1.70	4.77	0.48	4.89	1.02
3	5.24	1.49	14.31	0.99	6.02	0.20	5.41	0.26
4	3.98	1.04	6.24	2.62	3.34	1.19	2.32	1.56
5	4.54	0.33	14.01	0.91	6.18	0.30	5.24	0.28
6	3.38	0.37	10.82	0.96	4.21	0.47	0.65	0.65
7	4.68	2.36	9.50	1.96	3.09	0.47	3.35	2.52
8	3.49	0.24	8.89	0.82	3.13	0.26	0.22	0.08
9	0.91	0.31	3.46	0.85	1.07	0.37	1.19	0.65

Table 13 : Measured water quality parameters at observationpoint 10.

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE (μ S/cm)
18-10-91	2.68	13.72	4.94	3.48	6.91	550
21-10-91	2.96	11.65	4.47	3.65	6.88	860
29-10-91	2.18	13.06	5.10	2.11	6.90	900
05-11-91	2.92	15.86	4.50	1.85	7.9	750
11-11-91	3.92	16.83	4.79	0.93	7.85	1000
18-11-91	2.60	17.93	4.43	3.81	7.39	1600
27-11-91	2.80	10.00	4.29	2.00	6.38	1600

Table 14 : Measured water quality parameters and discharge at observationpoint 11.

date	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ (ppm)	pH	CE μ S/cm	Q (m ³ /d)
18-10-91	3.85	11.81	5.89	5.20	7.05	950	635
21-10-91	3.76	10.57	5.79	5.16	6.99	700	305
29-10-91	4.44	11.36	6.13	5.19	6.70	550	435
05-11-91	4.64	14.42	5.07	5.18	7.84	980	3110
11-11-91	4.56	13.87	4.86	4.60	7.75	960	4080
18-11-91	4.64	14.61	4.93	5.23	6.91	1700	960
27-11-91	4.34	15.50	4.64	5.15	7.16	1550	10630

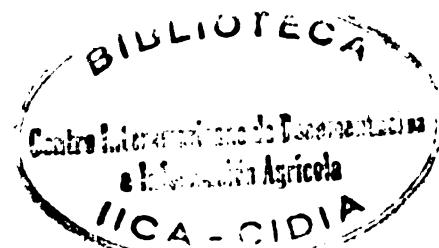


Table 15 : Total loads in observationpoint 11 calculated with the concentrations and discharges given in table 14.

date	K (kg/d)	Ca (kg/d)	Mg (kg/d)	NO ₃ (kg/d)
18-10-91	2.44	7.48	3.73	3.29
21-10-91	1.15	3.23	1.77	1.58
29-10-91	1.93	4.93	2.66	2.25
05-11-91	14.43	44.79	15.77	16.11
11-11-91	18.61	56.31	19.83	18.77
18-11-91	4.45	14.00	4.73	5.02
27-11-91	46.12	164.72	49.31	54.73
mean	12.73	42.21	13.97	14.54

Table 16 : Loads in observationpoint 11 corrected for the concentration in point 10 (= [C₁₁-C₁₀]*Q) calculated with the data given in table 13 and table 14.

date	K (kg/d)	Mg (kg/d)	NO ₃ (kg/d)
18-10-91	0.74	0.60	1.09
21-10-91	0.24	0.40	0.46
29-10-91	0.98	0.45	1.34
05-11-91	5.35	1.77	10.36
11-11-91	2.61	0.29	14.97
18-11-91	1.96	0.48	1.36
27-11-91	16.37	3.72	33.48
mean	4.04	1.10	9.01

Table 17: Total losses of K, Ca, Mg and N (nitrate is expressed in this table as N) compared with the total application of these elements

AF: total amount of elements applied during the 4 months of observation;
 L₁: estimated total losses in point 11 for the 4 months observation period;
 L₂: estimated losses in point 11 (with correction for concentration in point 10) for the 4 months observation period.

(): losses as a percentage of total application

	AF (kg/ha)	L ₁ (kg/ha)	L ₂ (kg/ha)
K	237	111 (47%)	35 (15%)
Ca	192	368 (192%)	-
Mg	55	123 (224%)	10 (18%)
N	111	29 (26%)	18 (16%)

Table 18: Concentration of Ethoprop (Eth), calculated load and discharge measured at observation point 10 and 11.

date	point 10	point 11		
	Eth (ppb)	Eth (ppb)	Eth (kg/d)	$m^3 Q$ (m ³ /d)
13-11-91	27.0	6.0	0.0537	8951.0
14-11-91	1.8	0.12	0.0006	5184.0
15-11-91	0.69	0.98	0.0032	3248.0
16-11-91	1.5	0.67	0.0010	1555.2
17-11-91	1.7	0.37	0.0004	1209.6
18-11-91	1.9	0.23	0.0002	959.0

Fig. 1a: Daily precipitation in August 1991 measured in the experimental station of 'los Diamantes'.

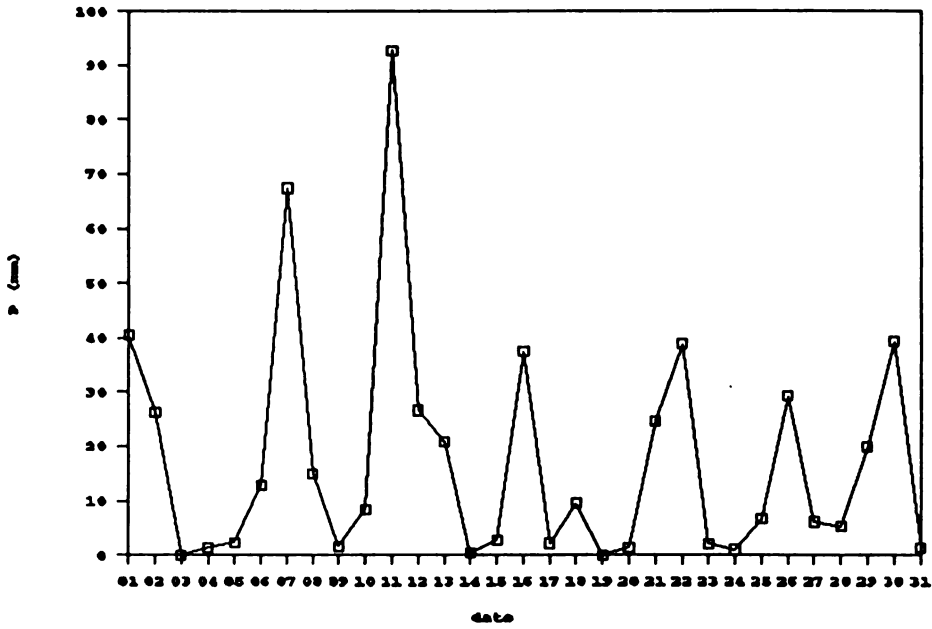


Fig. 1b: Daily precipitation in September 1991 measured in the experimental station of 'los Diamantes'.

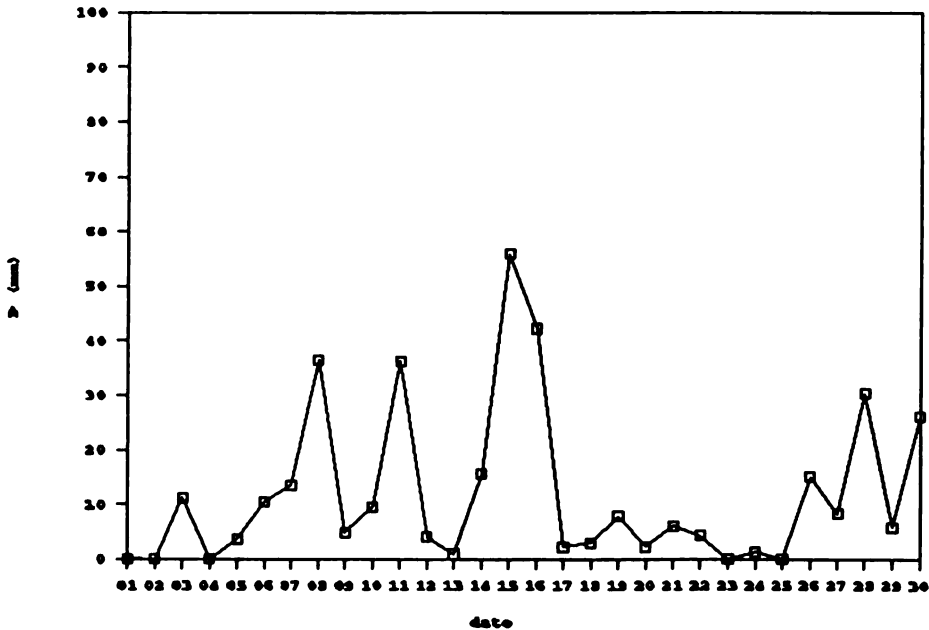


Fig. 1c: Daily precipitation in October 1991 measured in the experimental station of 'los Diamantes'.

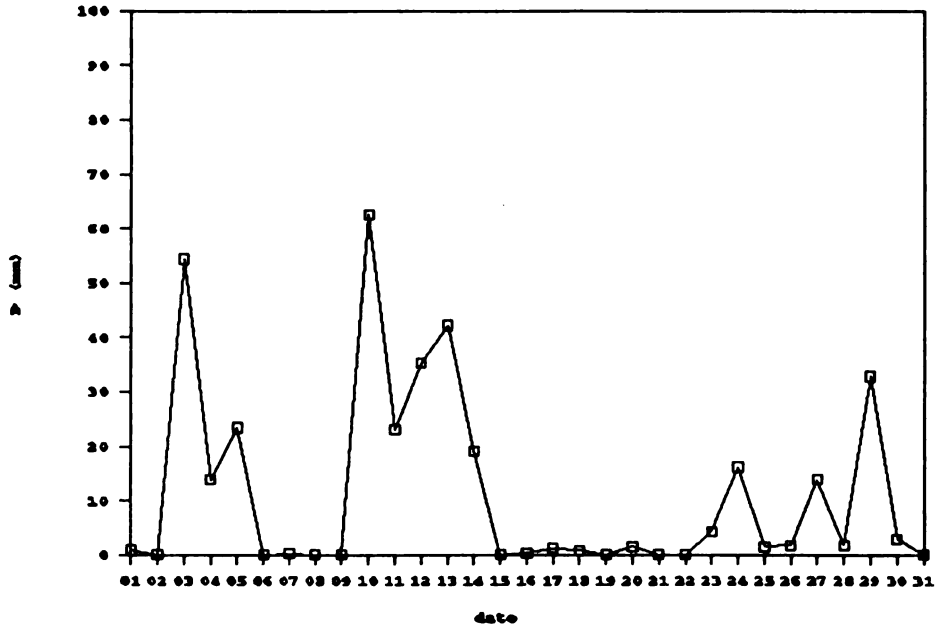


Fig. 1d: Daily precipitation in November 1991 measured in the experimental station of 'los Diamantes'.

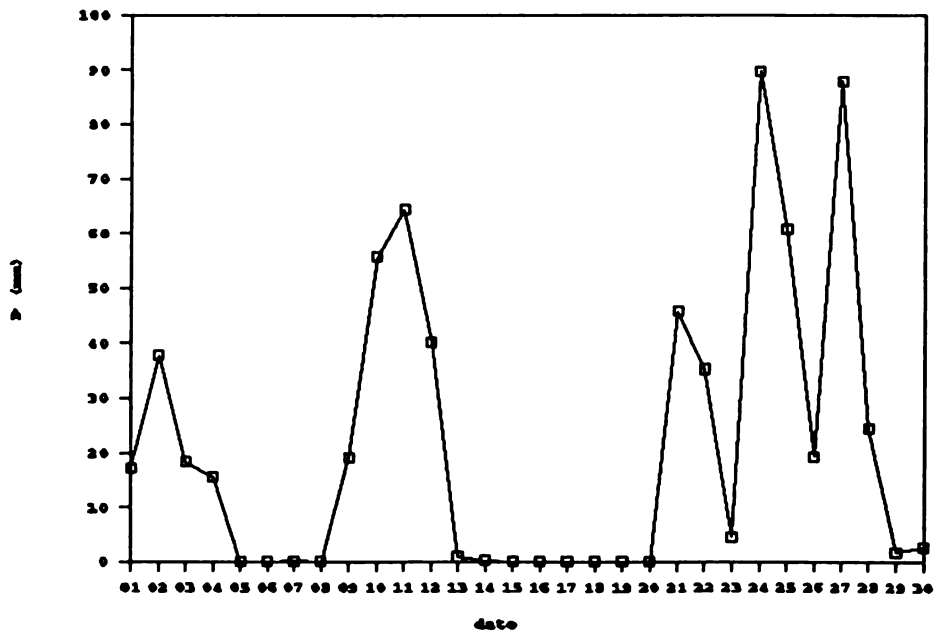


Fig. 1e: Monthly precipitation for 1991 and mean monthly precipitation for the period 1981-1990.

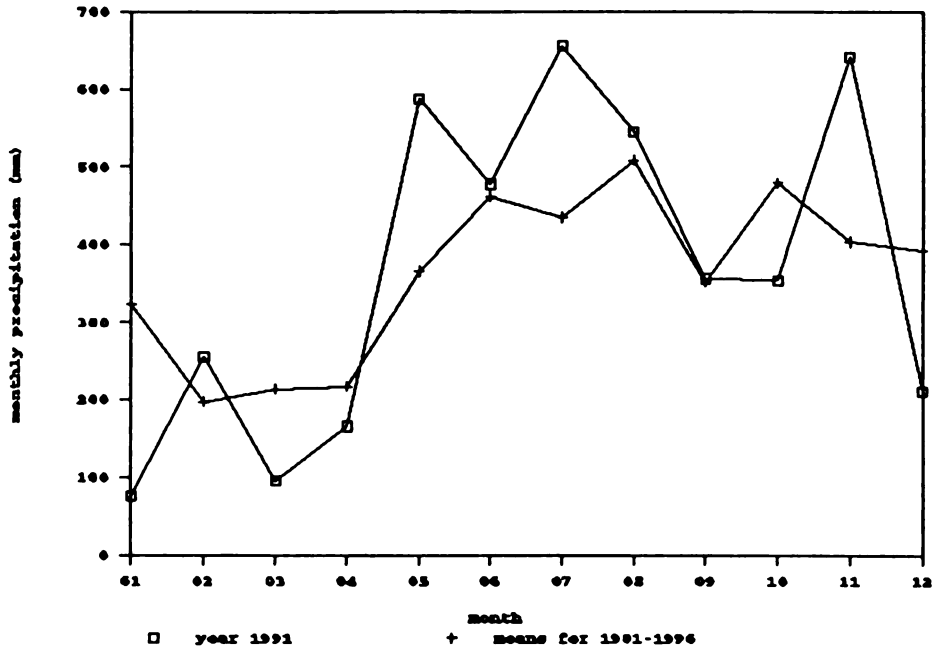


Fig. 3: Concentration of K measured in point 10 and 11.

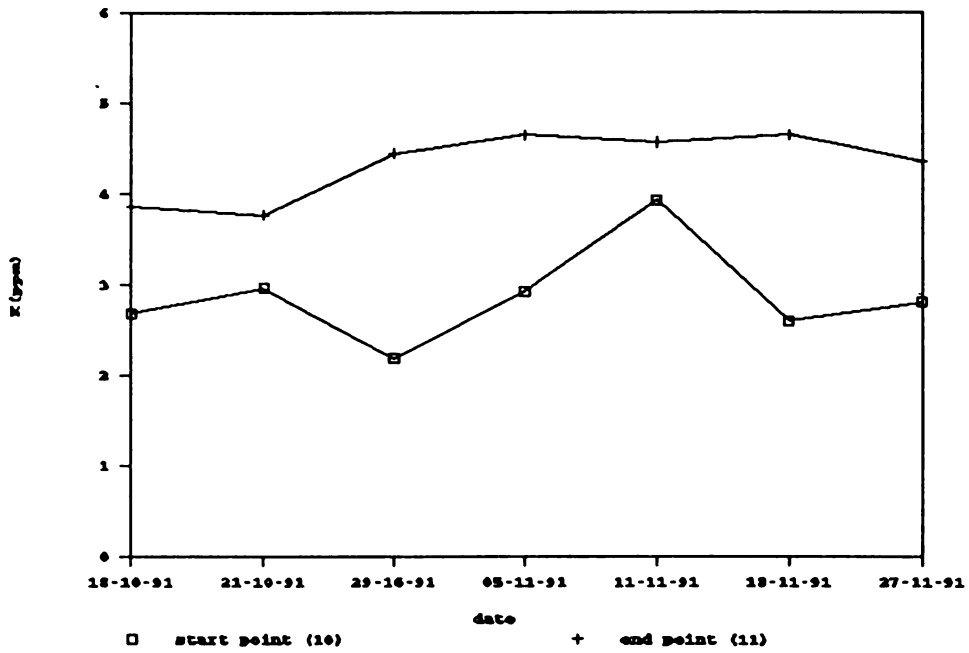


Fig. 4: Concentration of Ca measured in point 10 and 11.

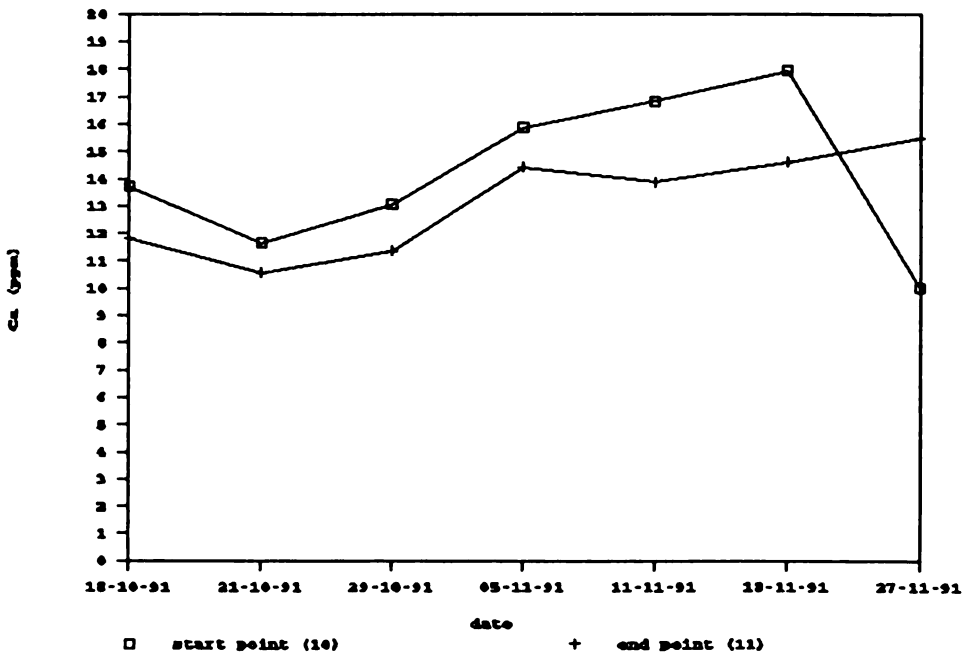


Fig. 5: Concentration of Mg measured in point 10 and 11.

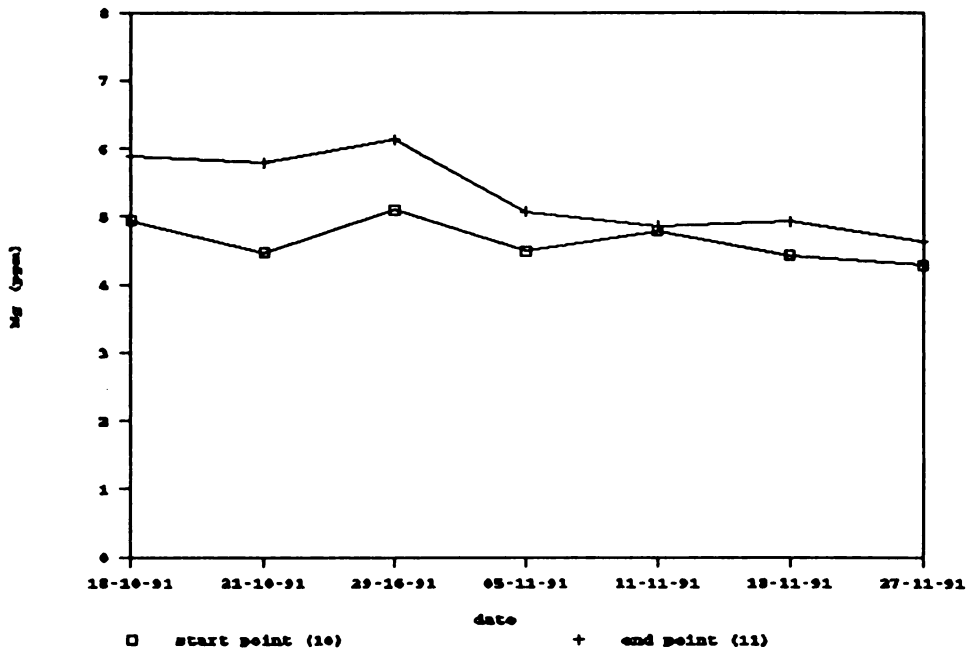


Fig. 6: Concentration of NO₃ measured in point 10 and 11.

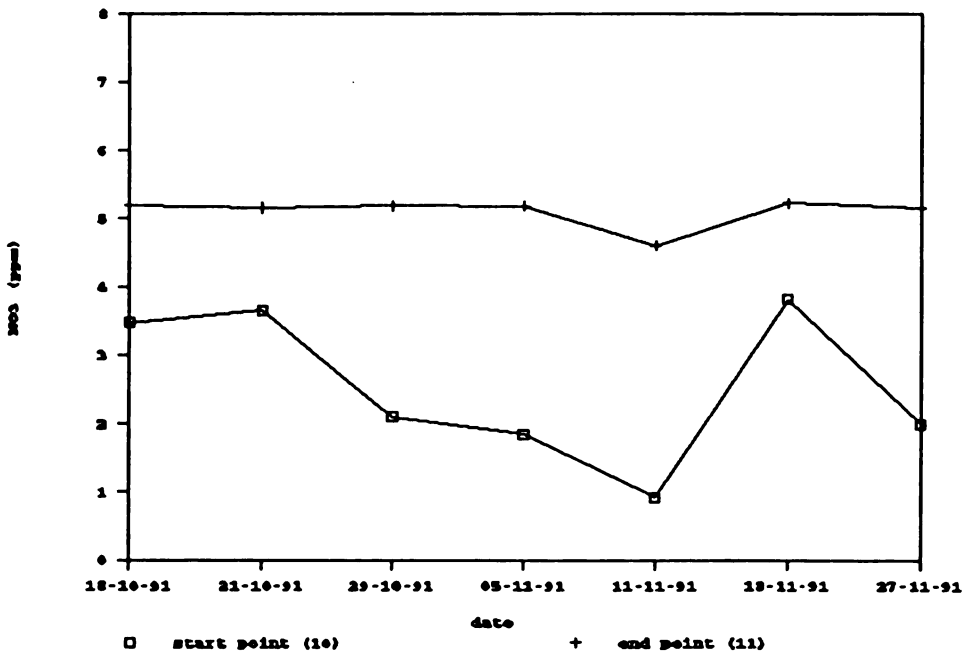


Fig. 7: Values of pH measured in point 10 and 11.

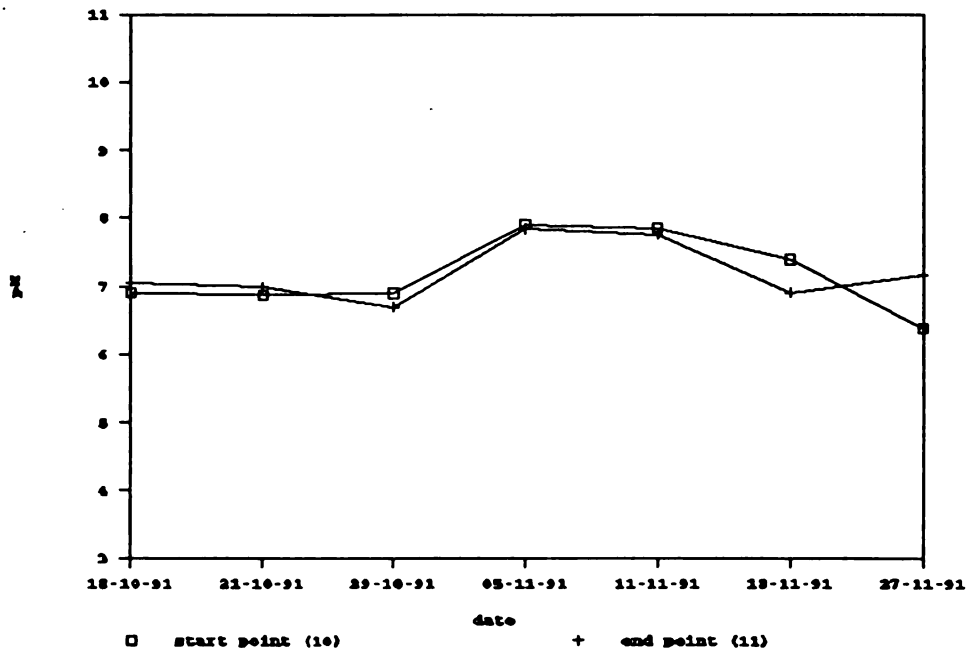


Fig. 8: Electrical conductivity (E.C) measured in point 10 and 11.

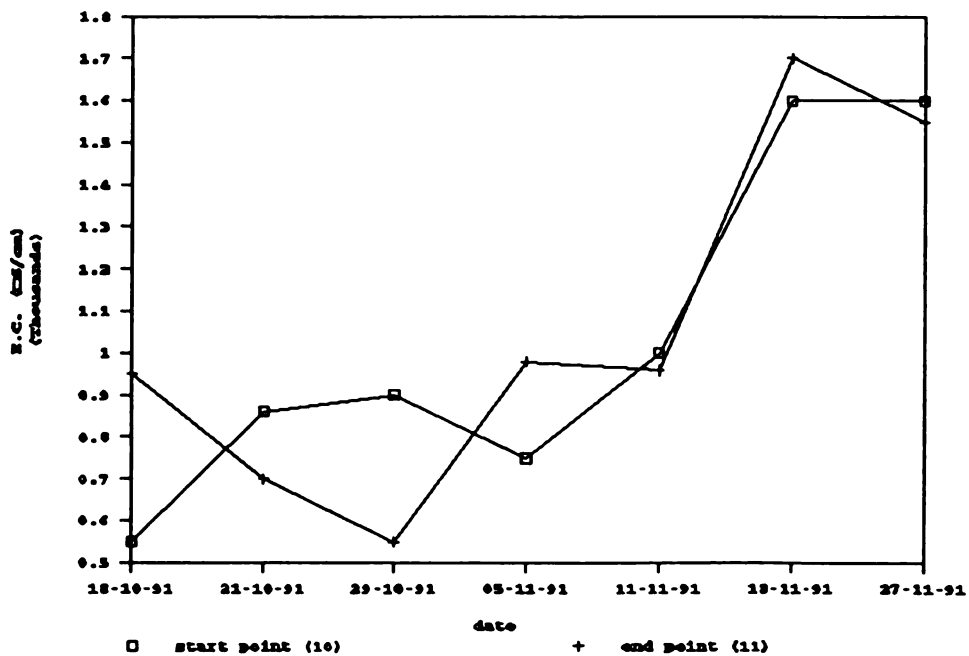


Fig. 9: Discharge (Q) measured at point 11.

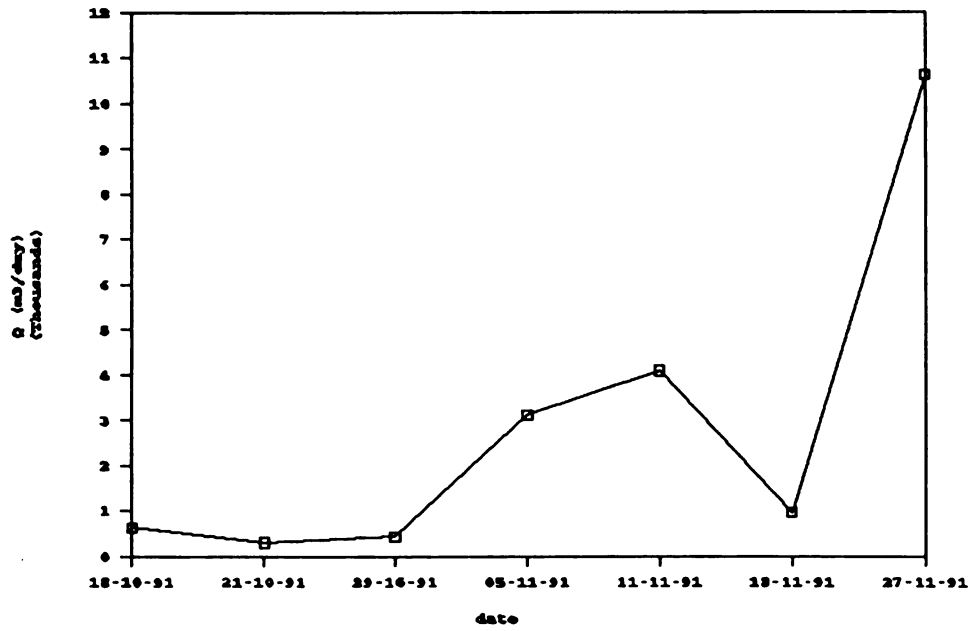


Fig. 10: Total loads and corrected loads of K at point 11 in function of the discharge.

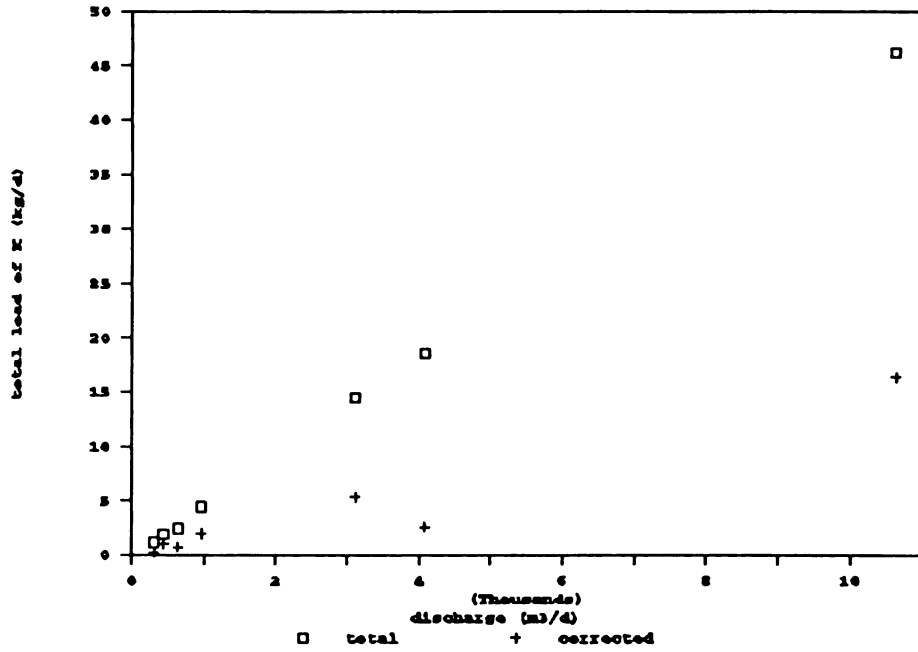


Fig. 11: Total loads of Ca at point 11 in function of the discharge.

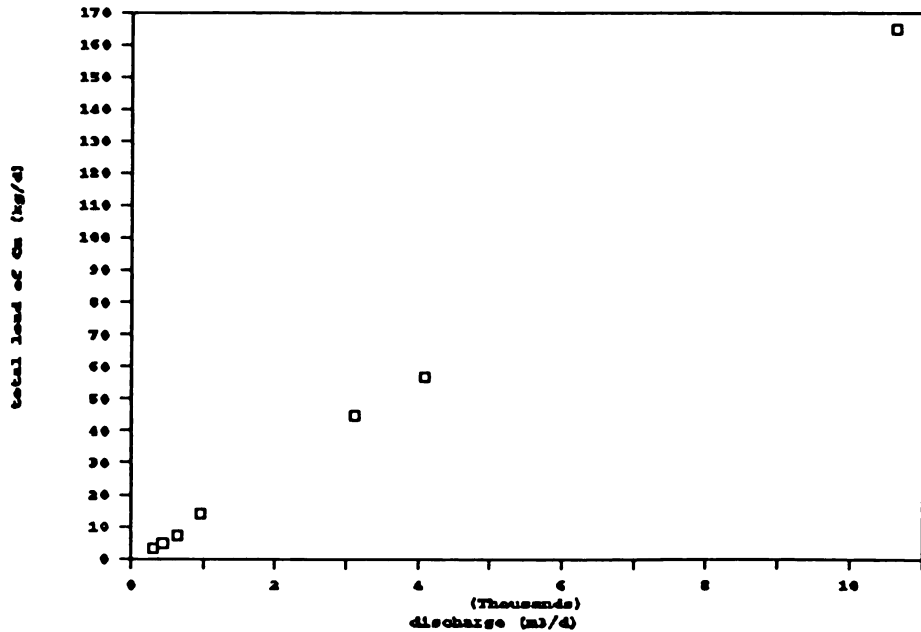


Fig. 12: Total loads and corrected loads of Mg at point 11 in function of the discharge.

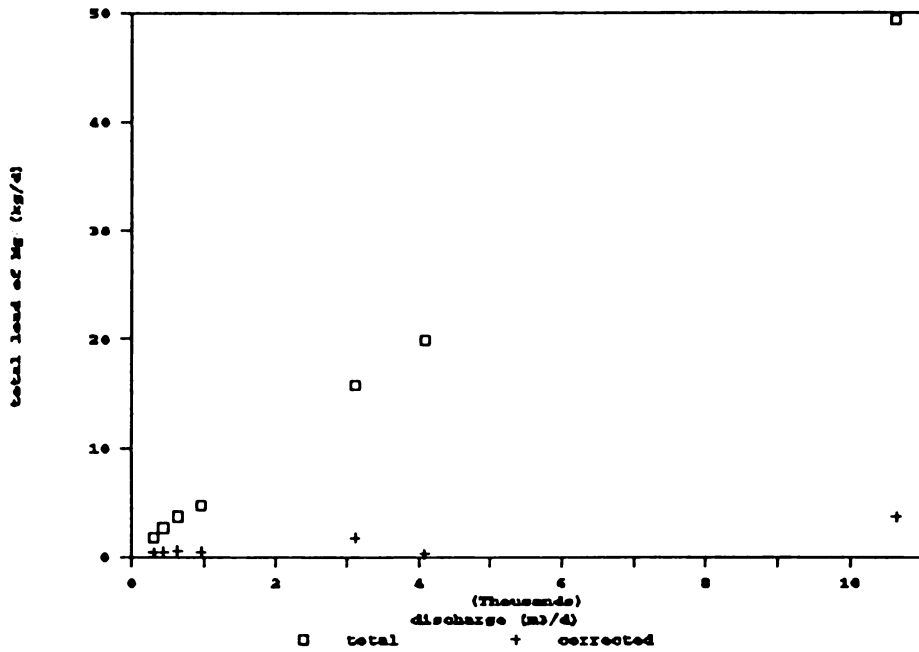


Fig. 13: Total loads and corrected loads of NO₃ at point 11 in function of the discharge.

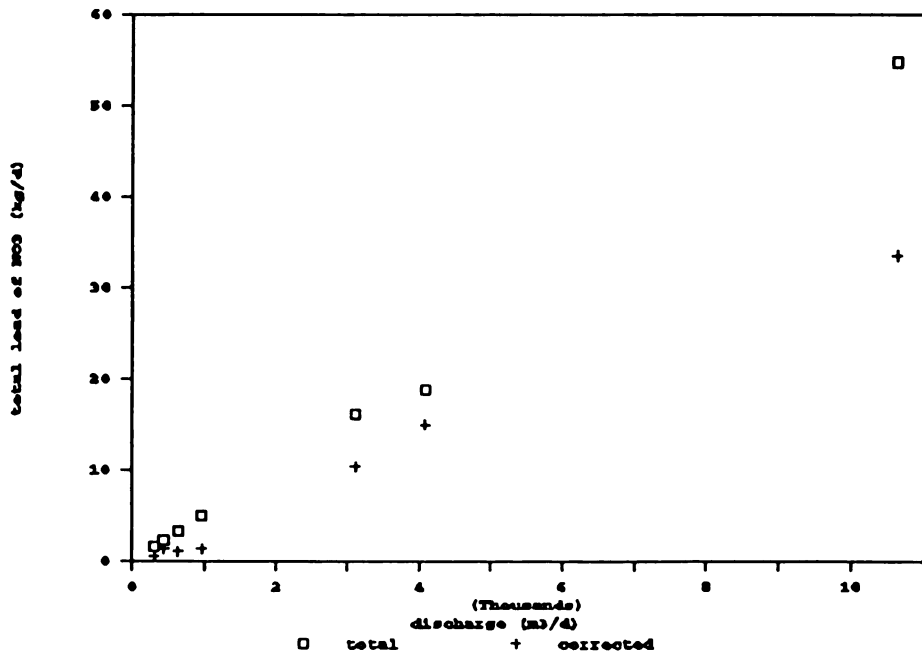


Fig. 14: Concentration of Ethoprop measured in point 10 and 11.

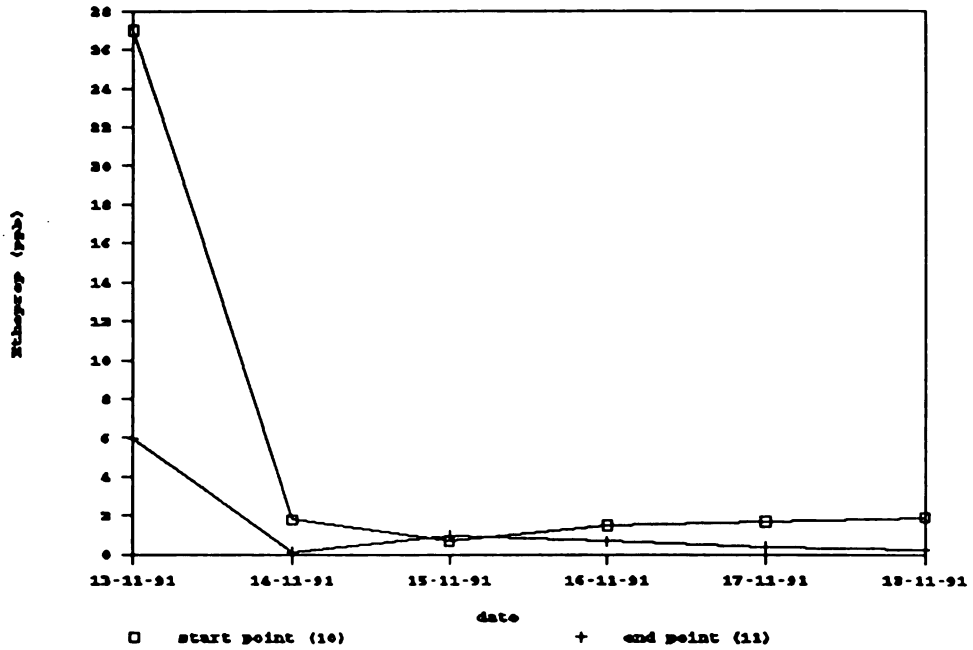
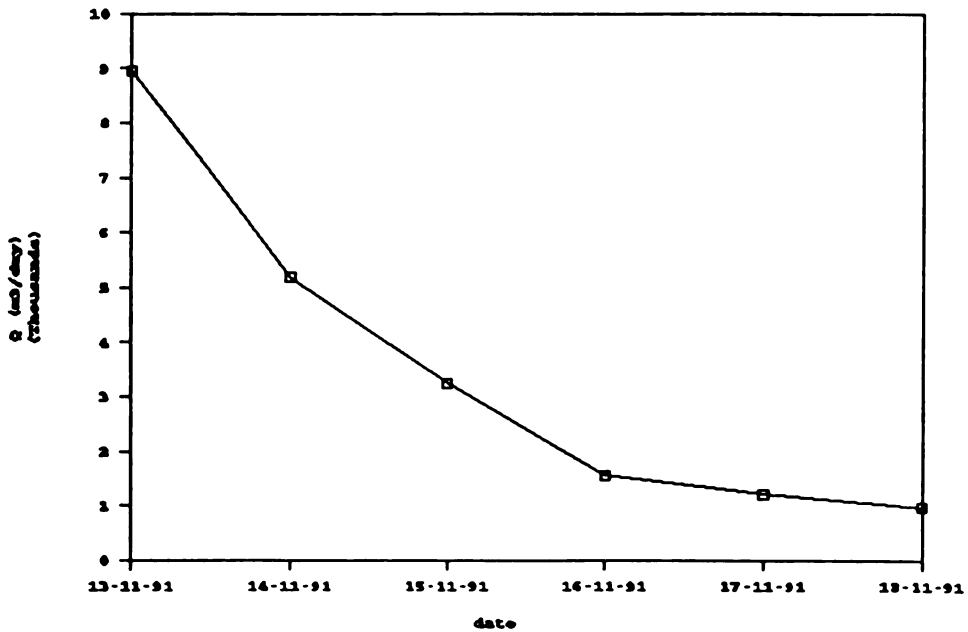


Fig. 15: Discharge (Q) measured at point 11.



Estudio hidrologico Finca Los Diamantes

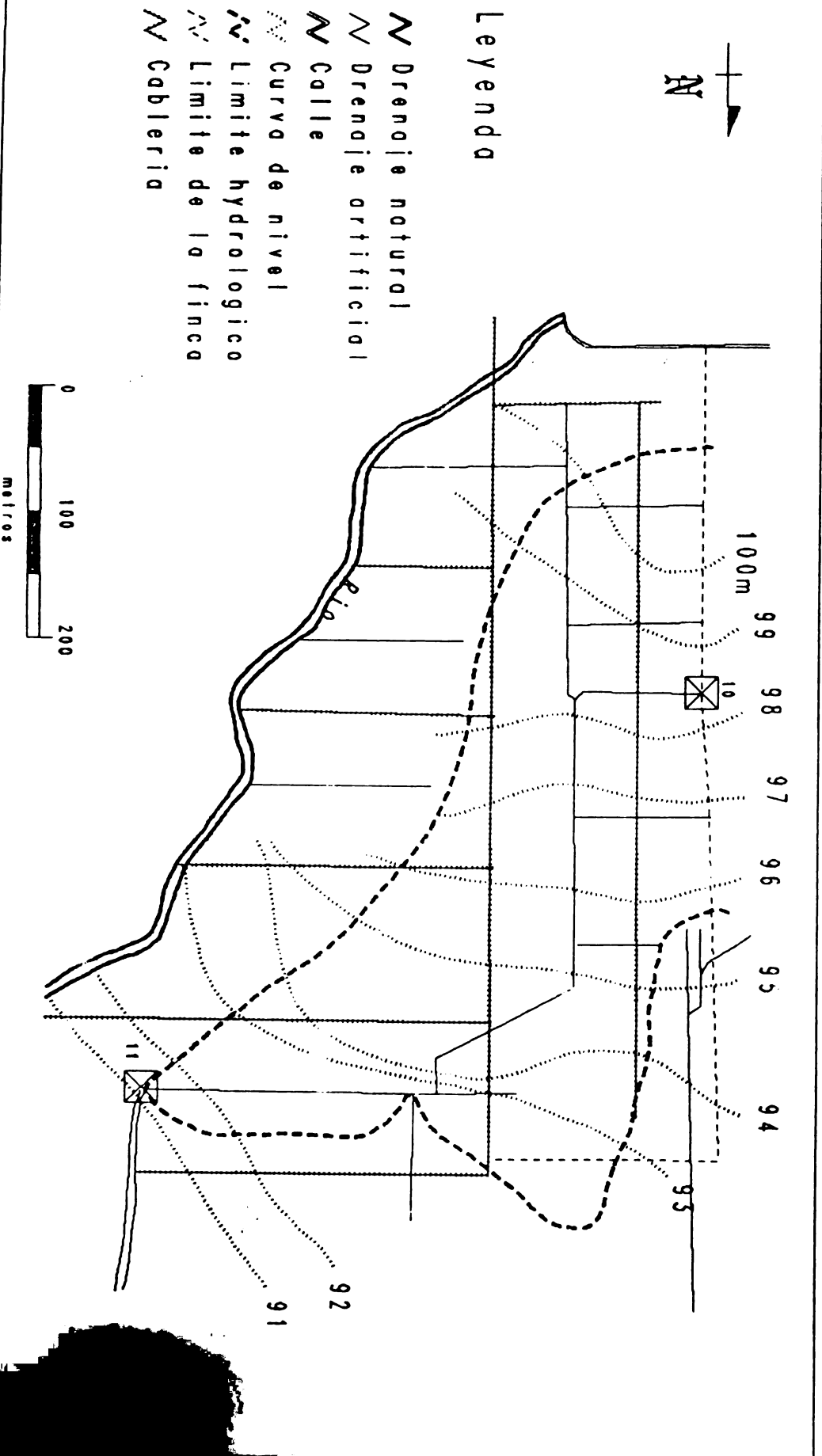


Fig. 2b Programa Zona Atlantica. 1992

Determinación de pérdidas de nutrimentos y nematicidas en un suelo bananero de la Zona Atlántica.

Introducción

La eficiencia de la aplicación de fertilizantes o pesticidas en las tierras agrícolas, estará determinada entre otros parámetros por la pérdida de ellos causados por la lixiviación. Finalmente estos fertilizantes o pesticidas se pierden a través de los sistemas de drenaje. Para tener una idea de la cantidad de estas pérdidas, una plantación bananera fue localizada en la Estación Experimental Los Diamantes en Guápiles, Limón. Se tomaron muestras de agua durante 4 meses, desde agosto 1991 hasta noviembre 1991 y los siguientes parámetros fueron analizados: pH, conductividad eléctrica (C.E.), K, Ca, Mg, NO₃, Ethoprop and terbufos. Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio químico de suelos y foliares de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) en la Rita de Pococí y en el laboratorio de suelos y foliares del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en el Centro de Investigación, de Contaminación Ambiental (CICA) de la Universidad de Costa Rica y en el Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), localizado en Tres Ríos de Cartago.

Las primeras muestras de agua fueron tomadas en 9 puntos diferentes y el muestreo fue hecho en 6 fechas diferentes. Estos datos dieron una idea de la variación en el espacio y en el tiempo de la calidad del agua en la plantación.

Posteriormente, fue seleccionado un canal principal que representa una área determinada, al tiempo que fue medida, la calidad de las muestras de agua tomadas de un punto inicial y un punto final de ese drenaje. En el punto final, también se midió el caudal para luego poder calcular las pérdidas en el área de estudio.

2. Aplicación de fertilizantes y pesticidas:

Durante el tiempo de muestreo, en la plantación fueron aplicadas las siguientes cantidades de fertilizantes y nematicidas:

Aplicación de fertilizante:

23-07

26-07 Aplicación de 210 kg/ha de fertilizante con 13,3 %N, 28, 07 %

01-08 K₂O, y 6,6 %, MgO

03-08

21-08

22-08

24-08 Aplicación de 210 Kg/ha del fertilizante anterior

26-08

27-08

28-08

20-09 Aplicación de 210 Kg/ha del fertilizante anterior

24-09

20-90 Aplicación de 200 Kg/ha de fertilizante con 22 %K₂O,

24-09 18% MgO y 22%S

25-10

31-10 Aplicación de 210 Kg/ha de fertilizante con 13,3 % N, 28,7%
01-11 K₂O y 6.6% MgO.

02-11

24-09

Con estos datos, se calculó la cantidad total de fertilizante (como elemento puro) aplicado durante los 4 mese de observación.

K: 237 Kg/ha

Mg: 55 Kg/ha

N: 111 Kg/ha

Normalmente, la cantidad total del fertilizante durante el año se realiza a través de 13 períodos o aplicaciones. La aplicación de Ca se realiza solamente dos veces al año. En el año 1991, se aplicaron 750 Kg/ha (con 53,7% CaO) en el mes de marzo y la misma cantidad en julio. Esto da una cantidad total del elemento aplicado en un año de 576 Kg/ha.

Aplicación del nematicida:

08-08 Aplicación de 41,5 Kg/ha de Counter con 10% terbufos

09-08

14-08

13-11

14-11 Aplicación de 36,3 Kg/ha de MOCAP con 10% ethoprop.

15-11

16-11

3. Hidrología

Para el período de observación, los datos de precipitación fueron obtenidos de la Estación Meteorologica de la Finca Experimental Los Diamantes.

Estos datos se presentan la figura 1a. hasta la figura 1d. La precipitación mensual para ese período fue la siguiente:

Agosto: 544 mm

Setiembre: 356,4 mm

Octubre: 354,4 mm

Noviembre: 641,5 mm

En la figura 1e, el promedio de la precipitación mensual para el período entre los años 1971 - 1990, se comparó con la precipitación promedio mensual del año 1991. De aquí se dedujo que las mediciones fueron realizadas durante el período húmedo con probables pérdidas de nutrientes mayores. Además parece que la precipitación en 1991 fue relativamente alta.

Como se mencionó anteriormente, los caudales fueron medidos en un drenaje específico a través del tiempo. Como la observación de la precipitación diaria es fácil y los datos están registrados, fue interesante investigar la relación entre la lluvia y el caudal observado, para luego simular el caudal con los datos de precipitación.

Debido a que el objetivo principal de este estudio no era la construcción de un modelo real de lluvia/caudal, y debido también a que, las mediciones fueron muy pocas, se hizo solamente una relación lineal entre los datos de lluvia y los datos de caudal. Además, se observó que la mayoría del caudal en el drenaje provenía del agua subterránea, la plantación está localizada en un abanico aluvial con un suelo arenoso y un subsuelo arenoso pero con mucha pedregosidad, con una alta capacidad de infiltración y alta conductividad hidráulica.

Si se representa el contenido de agua del suelo como un reservorio que guarda agua y si se asume que el caudal diario es Q_1 , es proporcionalmente lineal al contenido de agua en el reservorio, en ese día, y si también se supone que toda la precipitación es de un día descarga directamente el sistema de almacenamiento de agua, se puede esperar una muy buena relación entre la lluvia y el caudal. La siguiente relación lineal intento describir el comportamiento de los datos (Ver tabla 1) medidos en la bananera de los Diamantes.

$$Q_1 = 1 AP_1-1 + 2 AP_1-2 + 3 AP_1-3 + 4 (AP_1-4 + AP_1-5) + 5 (AP_1-6 + AP_1-7)$$

Donde Q_1 : Caudal de un día (m/día)
A.P. precipitación de un día (mm).

Con los datos de la tabla 1, se encontraron los siguientes valores: $a_1 = 41$, $a_2 = 44$, $a_3 = 66$, $a_4 = -2$, $a_5 = 13$. En la misma tabla 1, aparecen también los valores estimados (Q_{est}) del caudal.

El error estándar estimado (S_{xy}) se definió de la siguiente manera:

$$S_{xy} = \frac{(Q - Q_{est})^2}{n}$$

Donde: n : número de observaciones.

Ese error da una buena idea de que el modelo lineal compagina con los datos observados, y el mismo tiempo de un intervalo confiable para calcular los caudales. Existe una probabilidad de un 95,45% de que el caudal real se encuentre entre Q sin $-2S_{xy}$ y Q sin $+2S_{xy}$. Para los datos de la tabla 1, S_{xy} es de 744 m³/día. En la tabla 2, los caudales están simulados para los días de muestreo en que se midió la calidad del agua no así el caudal en ese momento.

Este modelo debería usarse solamente para el orden de la magnitud del caudal. El hecho de que uno de los parámetros es negativo es también una indicación para no aplicarlo completamente. Algunos de los supuestos no son completamente correctos. No toda la precipitación podría haber recargado el sistema de almacenamiento de agua del suelo sino que parte de

esta se podría perder por evapotranspiración. Además, esto tomaría algún tiempo antes de que la precipitación neta fuera añadida al sistema de almacenamiento. El valor más alto de 3 en el modelo de regresión, podría estar explicando esta situación. Finalmente, una parte del caudal también se pudo deber al agua de escorrentía.

El caudal de escorrentía sería causado por una cierta cantidad de lluvia, que dependería de las condiciones de humedad y de la intensidad de la precipitación. Esto significaría que no existe una simple relación lineal entre la precipitación y el caudal superficial.

4. Observación de parámetros de calidad del agua

4.1 Primeras observaciones

Durante el primer período de observación, fueron seleccionados 9 puntos en una pequeña área de la plantación. De esos puntos, fueron tomados muestras de agua a través del tiempo. La localización de esos puntos está dada en la figura 2a, y una corta descripción de cada sitio se hace a continuación:

- punto 1: Sección inicial de un canal de drenaje terciario;
- punto 2: Sección inicial de un canal de drenaje terciario;
- punto 3: Sección media de un canal de drenaje terciario;
- punto 4: Sección media de un canal de drenaje secundario;
- punto 5: Sección media de un canal de drenaje primario;
- punto 6: Sección inicial de un canal de drenaje terciario;
- punto 7: Pozo de barreno;
- punto 8: Punto donde el río entra en la plantación;
- punto 9: Pozo de barreno.

Un canal terciario se define como un canal en cual no recibe flujo de agua de ningún otro canal, un canal secundario es aquel donde un canal terciario desagua y un canal primario es aquel donde los canales secundarios desaguan. Todos los puntos están cerca entre sí excepto los puntos 6 y 8. Los puntos 1, 2 y 7 están mucho más cerca entre sí. Los resultados finales de los análisis de las muestras de agua se presentan de la tabla 3 a la tabla 11. Para K, Ca, Mg, NO₃, los valores medios y la desviación standard de las concentraciones medidas de los diferentes puntos de observación se presentan en la tabla 12. De estos datos, se puede concluir que la variación en el tiempo de las concentraciones medidas es pequeña para la mayoría de los puntos. Solamente en los puntos 4 y 7 las variaciones son relativamente importantes. No es muy claro si estas variaciones fueron causadas por la aplicación de fertilizante o por cambios en la precipitación durante el período de observación.

Existe una diferencia significativa entre las concentraciones medias calculadas para los diferentes puntos. Esto puede ser explicado fácilmente tomando en cuenta su localización. Algunos puntos están localizados en la sección inicial de drenajes pequeños o en un pozo de observación y reflejarán solo las condiciones locales de lixiviación. Otros puntos están localizados en el borde de la plantación y serán menos afectados por las pérdidas de lixiviación, así por ejemplo el punto 5 está

situado en la sección final de un drenaje relativamente importante y refleja las pérdidas por lixiviación de un área grande. Finalmente, estas consideraciones fueron tomadas en cuenta para la selección de los puntos donde los caudales podrían ser medidos, al mismo tiempo que las muestras de agua podrían ser tomadas. Un punto más arriba del punto 5 fue seleccionado. El mismo está indicado en las figuras 2a y 2b, como punto 11. Las ventajas del mismo son que está localizado en un canal importante que está drenando una gran área, que la sección transversal era regular a través del canal, lo cual hizo posible medir el caudal con el empleo de un colorante disuelto en agua y que la variación esperada de las concentraciones medidas podrían ser pequeñas (como las encontradas en el punto 5). Al mismo tiempo, un punto cerca del borde anterior de la plantación fue seleccionado, el mismo se instaló en la sección inicial del mismo canal anterior (ver punto 10 en las figuras 2a y 2b). Las concentraciones de este punto fueron usadas como un dato de referencia.

4.2. Pérdida de K, Ca, Mg y NO₃.

Durante 7 semanas y cada semana, fueron medidos los caudales en el punto 11 y fueron tomadas muestras de agua de ambos puntos 10 y 11. Estas observaciones se encuentran en las tablas 13 y 14 y están presentadas de la fig. 3 a la fig. 9. Se puede ver que los valores de pH, conductividad eléctrica, Ca y Mg son más o menos los mismos en los dos puntos, pero las concentraciones de K y NO₃ son mayores en el punto final (11) del drenaje que en el punto inicial (10). Esta diferencia puede deberse a la aplicación de fertilizantes en la plantación.

Las concentraciones observadas en el punto 11 en grado menor al punto 10, son relativamente constantes. La concentración de Mg decrece suavemente, mientras las concentraciones de Ca y K al contrario incrementan suavemente. El hecho de que las concentraciones sean relativamente constantes a pesar de los cambios en el caudal, indica que esos elementos son relativamente móviles y fácilmente lixiviados del suelo y que la cantidad de flujo de agua subterránea sería el factor determinante de las pérdidas totales.

En la tabla 14 también se puede ver que la conductividad eléctrica aumenta con el caudal. Este resultado indica que las concentraciones de algunos iones que no fueron medidos pueden estar incidiendo en este comportamiento.

Las pérdidas totales, calculadas con la concentración y los caudales medidos en el punto 11, están dados en la tabla 15. Las pérdidas totales de los principales parámetros varían en el tiempo. Como la variación relativa de las concentraciones (c) son pequeñas comparadas con la variación relativa del caudal (Q), es lógico que la pérdida total (C x Q) este en una proporción lineal al caudal (Fig. 10 a la 13). Una parte de los nutrientes perdidos vienen del suelo original y algunos otros de fuera de la plantación. Si se asume que la concentración medida en el punto 10 no está influenciada por la aplicación de fertilizantes en la plantación, se puede estimar la cantidad de nutrientes perdidos del fertilizante haciendo primero la diferencia entre la concentración medidas en el punto 10 y el punto 11, usando estas diferencias para calcular las pérdidas. Los resultados de estos cálculos aparecen en la tabla 16. Estas pérdidas "corregidas" también están presentadas en función del caudal, de la Fig. 10 a la 13. Para el Ca no se hizo este cálculo debido a que las

concentraciones en el punto 10 fueron más altas que en el punto 11, al mismo tiempo esto indica que las pérdidas de este elemento vienen de suelo original.

Se puede asegurar que la concentración en el punto 10 probablemente también será afectada por los fertilizantes debido a los efectos de dispersión. Por ejemplo lo anterior es muy claro para el dato del nitrato. Cuando se compara la concentración de nitrato en el punto 10 con la concentración más baja encontrada en el agua del río, se puede concluir que el punto 10 probablemente también este afectado por los fertilizantes.

Para calcular las pérdidas totales de estos elementos por área durante el período de observación, era necesario conocer el área de drenaje. Para lograr esto, se realizó un estudio topográfico, los resultados se pueden ver en la Fig.2b. Aquí es necesario recalcar que gran parte del desague en este canal fue causado por el agua subteránea y que una observación del nivel freático en el área sería necesario para determinar más correctamente el área de drenaje. La presencia de piedras en el subsuelo (la plantación esta localizada en un suelo aluvial) hizo imposible la instalación de pisómetros. Así mismo, la presencia de muchos drenajes con diferentes profundidades complicó el calculo del área drenada. Finalmente se estimó que esta área de drenaje era aproximadamente de 13 hs.

Para estimar la pérdida total en el punto 11 en un período de observación de 4 meses, se usó una relación lineal entre las pérdidas observadas y los caudales medidos. En primer lugar, se estimó el caudal promedio para el período de observación con un modelo de regresión lineal y los dstos de precipitación de 4 meses. Se estimó que el valor promedio del caudal fue de 2690 m/d. Con este caudal y la relación lineal (obtenida de las fig.10 a la 13) entre perdidas y caudal se pudieron estimar los promedios de las pérdidas diarias en el período de observación:

- Pérdidas totales en el punto 11.	K: 11,9 Kg/d
	Ca: 39,2 Kg/d
	Mg: 13,1 Kg/d
	NO : 13,6 Kg/d

- Pérdidas corregidas
Pérdidas punto 11- pérdidas punto 10:

K: 3,8 Kg/d
Mg: 1,0 Kg/d
NO3: 8,4 Kg/d

En la tabla 17, estos promedios de pérdidas por día son convertidos a pérdidas por área para el todo período de observación de 4 meses. Al mismo tiempo, estos datos se comparan con la aplicación total de fertilizantes para ese mismo período. La pérdida de Ca para el periodo de observación, está comparada solamente con una tercera parte del total anual del calcio aplicado al suelo y que corresponde a un período de 4

meses. Se puede concluir aquí que las pérdidas de Ca y Mg son el doble de lo que se aplica en el período, esto indica que una gran cantidad de estos elementos procede del suelo original. En ese mismo período (4 meses) se perdió la mitad del K aplicado y también se perdió la cuarta parte del N aplicado. En el caso del K, se puede asumir que una cantidad relativamente importante proviene del suelo original y que las concentraciones tanto en el río como en el punto 10 son altas también.

Cuando se compara la pérdida corregida con la cantidad aplicada, se puede ver que los porcentajes de pérdida del fertilizante oscilan entre un 15 y un 18%.

Es importante enfatizar aquí lo siguiente: El promedio diario de precipitación para los 4 meses de observación es igual a 15,5mm. Si se considera que el área de drenaje es igual a 13 ha. y el caudal diario promedio fue de 2690 m se puede obtener un promedio diario de caudal por área de 20,7 mm./día. Esto podría significar que durante los 4 meses existió una diferencia neta de 634mm. Si se pudiere considerar la evapotranspiración, este valor podría ser aún más alto. Esto indica que el promedio de caudal diario está seriamente sobreestimado (2690 m/d) o que el área de drenaje está subestimado. Una tercera posibilidad es que el punto de medida de la estación meteorológica de "Los Diamantes", diera un valor subestimado de la precipitación real. Los errores en la estimación del caudal diario promedio, pueden deberse a errores durante la medición, errores debidos al asumir que una sola medida representa el caudal diario o errores introducidos por el uso de un modelo de regresión lineal para estimar el caudal promedio diario.

Es posible que el error en el cálculo del promedio del caudal diario es mucho más pequeño que el posible error cometido al estimar el caudal individual.

Probablemente el mayor error se dió en la estimación del área de drenaje. En el supuesto de que no hubo evapotranspiración, (la cual puede ser mayor de 3mm diarios para esta zona), esto significaría que toda la precipitación causó el caudal, y si no hay cambio en el contenido de agua del suelo y suponiendo que el caudal estimado (2690 m³/d) es correcto, se puede calcular que el área de drenaje tiene que ser igual a 17,4 ha. Existen ahora dos posibilidades: La parte del área que no se tomó en cuenta puede estar dentro de la plantación o bien puede estar fuera de la misma. Una combinación de ambas también puede ser posible. En el caso de que el área en cuestión esté fuera de la plantación, sería necesario adaptar o corregir los datos de pérdida total en la tabla 17. Para el nitrato, que está viniendo principalmente del suelo fertilizado, esta corrección es necesaria. Si el área está localizada dentro de la plantación, se deberían corregir tanto los datos de pérdidas totales como las pérdidas corregidas de la tabla 17. La corrección de los datos puede hacerse dividiendo por 17,4 hrs. en lugar de 13hrs. Esto significaría que las pérdidas calculadas del fertilizante por área serían más pequeñas.

Hasta aquí se describe el cálculo de la pérdida relativa de fertilizante para un período de 4 meses. Sería aún más interesante extrapolar estos datos a un período de un año. Como la lixiviación total está correlacionada con los volúmenes de agua que pasan a través del suelo (función de la precipitación), podría usarse la relación entre caudal y la pérdida total junto con el promedio de caudal diario estimado para un período de 1 año. Sin embargo, esta relación no fue estudiada ni en el

período seco ni el comienzo del período húmedo, los cuales pueden llegar a presentar un comportamiento diferente del período húmedo en que se llevó a cabo este estudio.

4.3 Pérdidas de ethoprop y terbufos

El terbufos es usado como un nematicida bajo el nombre comercial de Counter, tiene una baja solubilidad en agua (5ppm) y una alta afinidad por la materia orgánica (coeficiente de partición n-octonal agua 4796). La persistencia del terbufos es relativamente baja con una vida media en el suelo estimada entre 9 y 27 días. Una medida de concentración fue realizada el día 28 de agosto 1991, pero probablemente la misma fue hecha mucho tiempo después de la aplicación.

El ethoprop también es usado como un nematicida bajo el nombre comercial de Mocap. Su solubilidad en agua es mucho más grande (750 ppm). Inmediatamente después de iniciada la aplicación éste nematicida en el área de estudio, la concentración en el agua fue medida en los puntos 10 y 11 durante 6 días consecutivos. Al mismo tiempo, el caudal fue medido en el punto 11. Los resultados se presentan en la tabla 18, Fig. 14 y 15. El primer día la concentración fue muy alta, pero la misma disminuye muy rápidamente durante 5 días restantes.

La pérdida total de ethoprop para el período de observación pudo ser estimado con el dato de la tabla 18, y fue igual a 0,0592Kg. Esto significa que, si el área de drenaje es de 13 ha., la pérdida relativa de ethoprop durante el período de observaciones fue solamente un 13% de la cantidad aplicada. Esta pequeña pérdida puede deberse al hecho de que no hubo precipitación durante los días que siguieron a la aplicación y por la probable afinidad por la materia orgánica. Durante éste periodo de observación esa falta de precipitación, causó una disminución exponencial del caudal como puede verse en la Fig.15. Un comportamiento similar puede observarse en la Fig. 14. para las concentraciones de ethoprop. medidas en los puntos 10 y 11. La alta concentración en el primer día, podría deberse a que en ese momento el contenido de agua en el suelo era muy alta producto de la fuerte precipitación presentada los días anteriores a la aplicación del nematicida, favoreciendo así una rápida disolución y translocación a través del perfil del suelo y hasta las aguas de drenaje. Otra posibilidad que se pudo dar sería la contaminación con ethoprop, al ser aplicado en plantas que estaban sembradas muy cerca de los canales. Una combinación de ambas alternativas también pudo ser posible.

5. Conclusiones y recomendaciones

Las concentraciones observadas en las aguas de drenaje de la bananera Los Diamantes fueron relativamente constantes: (K; 3,8 - 4,6ppm, Ca: 10,5 - 15,5 ppm, Mg: 4,6 - 6,1 ppm y NO : 4,6 - 5,2 ppm) mientras el caudal medido varió mucho. Esto indica que las pérdidas totales están altamente correlacionadas con el mismo. Un estudio similar fue llevado a cabo en una bananera situada en el cantón de Siquirres (Gonzalez, 1989), revelando resultados similares. El promedio de la concentración de NO (4,4 ppm) fue parecido, mientras las concentraciones medias de Ca (36 ppm) y Mg (12 ppm) fueron más altas y la concentración media de K (1,3 ppm) fue una poco más pequeña. Las diferencias pueden deberse a que los suelos bananeros

del cantón de Siquirres tienen una mayor cantidad de Ca y Mg en forma soluble que los suelos donde se efectuó el ensayo (Guápiles). A pesar de que los suelos de Guápiles poseen un menor contenido de K, las pérdidas fueron mayores, lo anterior puede explicarse en razón de que los suelos de Siquirres tienen un contenido mucho mayor de arcillas en las cuales este elemento puede ser fijado con mayor fuerza. Lo contrario sucede en el suelo de Guápiles que es de una textura más liviana.

En el caso del nitrato los datos son muy similares lo que hace pensar que ambas pérdidas provienen principalmente del fertilizante aplicado.

Al comparar los datos de concentración obtenidos en las muestras de agua con las normas de calidad de agua potable, se puede concluir que las concentraciones están aún por debajo de los límites máximos. La Organización Mundial de la Salud (Anónimo, 1981) propone como límites para Ca 20ppm, Mg 30ppm y NO₃ 25 ppm. Para el K, La Comunidad Europea tiene un límite máximo de concentración de 12ppm.

El cálculo de las pérdidas relativas para la cantidad de fertilizantes aplicado es presentado en la tabla 17. Debido a que el punto 10 no fue el mejor punto de referencia, estos cálculos son solamente aproximados. Aun así, se puede concluir que probablemente la pérdida relativa de los elementos del fertilizante, están entre 20 y 30% para el período observado. Debe aclararse en este punto que las pérdidas no se deben exclusivamente al fertilizante. También la desnitrificación o volatilización de amonio son formas posibles de pérdida del fertilizante (Fassbeuder H.W., 1987).

Para calcular la pérdida relativa del fertilizante por lixiviación, la concentración de algunos elementos y los caudales tienen que ser medidos en un tiempo regular. Es muy clara la importancia que tiene la buena localización de los puntos de medición para que el área de drenaje pueda ser determinada en buena forma. Cuando el suelo sea muy permeable y gran parte del caudal viene del flujo subterráneo la instalación de pisómetros debe ser contemplada.

No todos los elementos medidos provenían del fertilizante, sino que algunos provenían del suelo original. Para calcular las cantidades que realmente vienen del fertilizante, técnicas con elementos marcados deberían ser utilizadas. Otras técnicas que se pueden utilizar consisten en localizar un punto en la parte superior de la cuenca, el área alrededor de este sitio debería permanecer sin fertilización durante un largo tiempo, eso aseguraría que la medición de la concentración de los elementos en el agua de drenaje provenga solamente del suelo original y no del fertilizante. Además permitiría que dicho punto se encuentre dentro de la plantación bajo las mismas condiciones excepto la aplicación del fertilizante. La diferencia con la concentración del agua muestreada en el punto más bajo de la cuenca o área del drenaje dará como resultado el contenido de elementos perdidos del fertilizante en el agua de drenaje. Esta técnica solamente puede ser utilizada si la calidad del agua en el punto inicial (superior) es homogénea o estable a través de varios muestreos previos.

Para poder hacer una buena estimación de las pérdidas anuales, deben

hacerse observaciones durante el período seco, el inicio del período húmedo y todo el período húmedo, ya que estas tres fases pueden presentar un comportamiento diferente. Especialmente al inicio del período húmedo, donde una fuerte pérdida de elementos acumulados durante el período seco puede ser esperada. Así mismo la relación entre la precipitación y el caudal tiene que ser establecida para los tres períodos.

Las pérdidas observadas de nematicida fueron muy bajas, los cambios rápidos en la concentración de ethoprop de un día para otro, indican que inmediatamente después de la aplicación del nematicida, la concentración debe ser medida frecuentemente para poder llevar a cabo una mejor cálculo de las pérdidas totales. Se puede concluir finalmente que la aplicación de nematicidas con una baja persistencia y alta afinidad por la materia orgánica es probablemente menos dañina para el medio ambiente, especialmente cuando se presenta un período seco después de la misma, lo cual sin embargo, no es un comportamiento normal de la precipitación en el área de estudio.

Referencias

Anónimo (1981). "Agricultural compendium for usual development in the tropics and subtropics", Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

Fassbender Hans W. (1987). "Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina" Elemer Bornemisza, 2da. ed. rev.-. San José, Costa Rica; IICA, 1987, c 1975.

González Villalobos, L. (1989). "Determinación de las pérdidas de oniones y cationes en el agua de drenaje subterráneo en un suelo bananero"; tesis: Escuela de fitotécnica, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.