



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

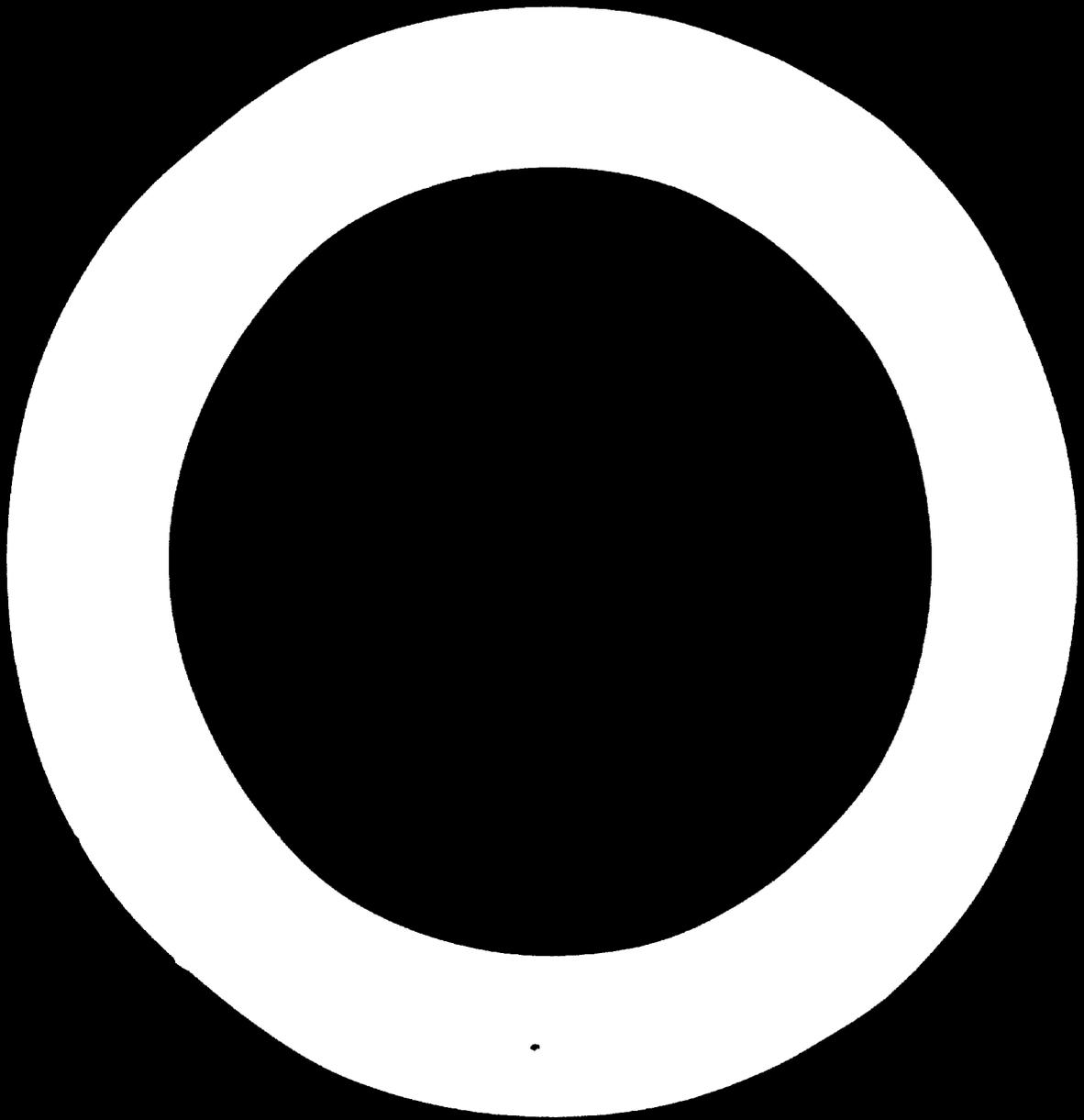
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper quality standard, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.



Programme des Nations Unies pour le développement

PROGRAMME POUR LE DEVELOPPEMENT
DE LA PRODUCTION DE PROTEINES D'ORIGINE VEGETALE

DP/MEX/72/002

MEXICO

Rapport technique: Conditions de culture et de récolte des algues
spirulina maxima à Sosa Texcoco, S.A.

Etabli pour le Gouvernement mexicain par
l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel,
organisation chargée de l'exécution pour le compte du
Programme des Nations Unies pour le développement

D'après l'étude de M. Emanuel Goldenberg,
ingénieur chimiste

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
Vienne, 1976

Les appellations utilisées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays ou territoire, ou de ses autorités ni quant au tracé de ses frontières.

La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.

Ce rapport a été reproduit tel quel.

TABLE DES MATIERES

<u>Chapitre</u>	<u>Page</u>
<u>RESUME</u>	5
I. <u>INTRODUCTION</u>	6
II. <u>ACTIVITES</u>	8
III. <u>ETAT ACTUEL DU PROJET-DISCUSSION</u>	8
3.1. La culture.....	8
3.2. L'homogénéisation du milieu de culture.....	10
3.2.1. Les hélices.....	12
3.2.2. La roue à aubes.....	13
3.2.3. Les pompes.....	14
3.3. La carbonatation du milieu de culture.....	16
3.3.1. Carbonatation au niveau des filtres et de l'espace sous-jacent.....	17
3.3.2. Carbonatation dans une tour à remplissage	18
3.3.3. Utilisation des diffuseurs en carbone fritté immergés dans un canal.....	19
3.4. Conditions nécessaires pour augmenter la concentration en algues.....	19
3.5. Estimation du prix de revient de l'algue spiruline et de sa décoloration.....	20
3.6. Implication financière des objectifs du projet.....	24
IV. <u>AVANCEMENT DU PROJET</u>	25
4.1. Implication d'ordre techno-économique.....	27
4.2. Implication de l'organisation et du management...	27
4.3. Implication du personnel de SOGA TEXCOCO.....	28

	<u>Page</u>
V. <u>RECOMMANDATIONS</u>	29
5.1. Recommandations concernant le personnel	29
5.2. Recommandations concernant l'usine existante...	29
5.3. Recommandations concernant la nouvelle usine ..	34
 <u>ANNEXES</u>	
I. "Job description"	37
II. Personnel affecté au projet.....	39
Investissements du Gouvernement/ONUDI/PNUD	
III. Bibliographie	42
IV. Les installations.....	46
V. La culture (estimation de la croissance journalière)..	50
VI. L'homogénéisation.....	57
VII. La carbonatation.....	70
VIII. La concentration algale.....	80
IX. Estimation du prix de revient.....	82
X. Estimation du coût de la nouvelle usine.....	84
XI. Facteurs influençant la qualité du produit fini.....	87
XII. Recommandations incluses dans le rapport préliminaire ..	89

R E S U M E

Ce rapport résume l'ensemble des études effectuées à SOSA TEXCOCO, S.A. depuis le 13 juillet 1975, date de ma nomination, et qui concernent:

- Les conditions actuelles de la culture des algues
- Les problèmes posés par l'homogénéisation du milieu de culture
- Les problèmes posés par la carbonatation du milieu de culture
- Les conditions nécessaires pour augmenter la concentration des algues dans ce milieu
- L'évaluation du prix du procédé

Des recommandations ont été faites en vue d'améliorer la qualité du produit et le rendement, à savoir le contrôle chimique et bactériologique du milieu de culture et du produit fini. L'évaluation du prix du procédé a été faite ainsi que des suggestions pour la construction de la future usine.

I. INTRODUCTION

L'algue spirulina est une algue bleu-verte microscopique, multicellulaire, qui croît dans des eaux alcalines contenant du bicarbonate de sodium.

Elle contient des protéines (60 à 70 %) des lipides des carbohydrates, des pigments (chlorophylle, phycocyanine, carotènes, xanthophylles), des sels, certaines vitamines (C, B, B₂, B₆, et B₁₂) de la cellulose (0,5 à 0,6 %) et de l'eau.

Dès 1968, SOSA TEXCOCO, S.A., compagnie mexicaine, dont la principale activité était la production du carbonate de sodium, a entrepris avec la coopération de l'INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, l'étude de la culture, de la récolte et du process de cette algue à des fins alimentaires.

Une unité pilote de 100 kg/jour fut construite en 1970 et différentes études ont été effectuées sur:

- La valeur nutritionnelle de l'algue
- Sa toxicologie
- Son utilisation comme composant alimentaire pour les humains et pour les animaux

De ces études (voir annexe 3), il est apparu que la spirulina maxima a une haute valeur nutritionnelle, qu'elle pouvait

être utilisée comme composant alimentaire pour les humains et les animaux et que sa teneur en pigments valorisables, tels que les xanthophylles, est relativement élevée. Les essais toxicologiques de courte et longue durée n'ont démontré aucune toxicité particulière et les essais bactériologiques effectués sur le produit et le milieu de culture n'ont pas pu mettre en évidence la présence de pathogènes.

Suite à l'intérêt manifesté par les autorités mexicaines pour l'utilisation de cette algue à des fins alimentaires, le PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement) a mis sur pied un programme d'assistance qui se concrétise par l'envoi des divers experts ONUDI (Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel) et par un contrat pour l'étude de la décoloration des algues avec un centre de recherche canadien.

L'unité pilote d'une capacité de 1 tonne/jour, inaugurée en avril 1973 a produit durant l'année 1974 - 147,8 tonnes et durant les onze premiers mois de 1975 - 234,3 tonnes d'algues sèches dont la quasi totalité a été vendue au Japon.

Actuellement, on prévoit de porter la capacité à 6 tonnes/jour. Ceci implique non seulement la construction d'une nouvelle usine mais aussi l'aménagement de nouveaux bassins, la recherche de nouveaux marchés et surtout la formation d'un personnel qualifié.

II. ACTIVITES

Notre activité a consisté en l'étude des conditions de culture, de la récolte, et du process actuel, ainsi que des facteurs pouvant avoir une influence sur la culture, sur la qualité du produit et le rendement.

Une estimation du prix de revient du procédé a été faite ainsi que des suggestions concernant l'amélioration de la qualité et du rendement d'une part, et la construction de la nouvelle usine d'une capacité de 5 tonnes/jour d'autre part.

Afin d'éviter qu'on ait à se reporter à des travaux antérieurs, notre rapport préliminaire a été partiellement reproduit et complété dans les diverses annexes.

III. ETAT ACTUEL DU PROJET-DISCUSSION

3.1. La culture

L'étude des conditions de culture de l'algue spirulina maxima à SOSA TEXCOCO (voir annexe 5) montre qu'on peut atteindre un rendement de 10 g/m² par jour durant une bonne partie de l'année. Néanmoins, pour obtenir, voire dépasser ce chiffre, un contrôle réel du milieu serait nécessaire.

Actuellement, seul le dosage de quelques ions est effectué périodiquement sur le bassin de culture et le réajustement des éléments nutritifs est fait de manière peu

satisfaisante (voir graphiques annexe 5). Pour cette raison et d'autres plus techniques, nous n'avons pas été en mesure d'étudier comparativement, dans les conditions du bassin de culture, une composition du milieu mis au point par l'I. F. P. (Institut Français du Pétrole) qui dans d'autres conditions a donné d'excellents résultats. Cette composition, qui fait partie d'un "Know how" a été communiquée de longue date à SOSA TEXCOCO.

De l'unique analyse plus ou moins complète qui nous a été communiquée le 13/11/75, on peut conclure qu'une partie des éléments nutritifs et en particulier tous les oligo-éléments dosés sont légèrement en défaut.

Néanmoins, vu les rendements actuels, une étude comparative de longue durée serait nécessaire avant de modifier le milieu existant.

Etant donné le problème posé par l'approvisionnement en eau potable pour compenser les variations de niveau du milieu de culture dues à l'évaporation et à l'infiltration, SOSA TEXCOCO a opté pour l'utilisation des eaux résiduelles à cette fin. Ceci impliquerait un contrôle chimique et bactériologique rigoureux qui à ce jour n'est pas encore effectué ni sur le bassin de culture, ni sur les eaux résiduelles (voir recommandations).

En considérant les conditions de culture actuelles, les facteurs pouvant avoir la plus grande influence sur ce milieu, en plus de son contrôle chimique, sont l'homogénéisation, la carbonatation ainsi que l'augmentation de sa concentration en algues.

3.2. L'homogénéisation du milieu de culture

L'homogénéisation du bassin de culture est à notre avis un problème très important et conditionne dans une grande mesure tous les autres facteurs précédemment cités (voir annexe 6).

Actuellement, il n'y a pas d'homogénéisation réelle, le bassin étant soumis aux effets du vent et d'un faible courant dû au rejet des filtres (500 à 750 m³/heure), courant qui de surcroît, suit des voies préférentielles.

Etant donné la profondeur moyenne du bassin (80 à 85 cm) et l'étendue de celui-ci (10 hectares, longueur 500 m) le choix des moyens susceptibles de créer cette homogénéisation se trouve très limité.

En effet, pour que le moyen utilisé soit efficace, il faut qu'il produise non seulement une forte agitation, mais aussi un courant horizontal suffisamment fort et profond pour pouvoir mettre en mouvement une bonne partie de la

masse du liquide. Ce n'est qu'à ce prix qu'on pourra s'affranchir des effets du vent qui parfois arrive à inverser les sens du courant sur des profondeurs appréciables (voir annexe 6 tab.1).

Néanmoins, cette homogénéisation peut être une arme à double tranchant et son utilisation sans discernement pourrait avoir de graves conséquences. En effet la température du milieu de culture est un facteur limitatif de la croissance: à des températures inférieures à 17-18 °C, la croissance diminue fortement.

La profondeur moyenne du bassin étant importante - l'énergie solaire absorbée crée une certaine stratification de températures. Selon les conditions, la différence de température entre 5 et 30 cm de la surface, peut atteindre 2 à 7 °C, et entre la surface et 30 cm, 10 à 15 °C.

Il s'ensuit que l'homogénéisation du bassin, qui - constitue un très grand volant thermique, devra être effectuée de manière à ne pas baisser la température des couches supérieures inconsidérément. On la fera en fonction de la température ambiante, de la formation des plaques d'algues, et au moins durant les périodes de la journée où cette température et celle du milieu de culture sont égales.

D'autre part, au point de recirculation du bassin (voir annexe 6 fig. 5 détail A), l'homogénéisation devra se faire 24 heures sur 24.

Un des buts de cette recirculation est d'augmenter la concentration dans la zone de rejet des filtrats de manière à ne pas se trouver dans des conditions de croissance latente, (voir annexe 8).

Parmi les moyens qu'on peut utiliser pour effectuer cette homogénéisation, on peut citer les hélices à axe horizontal, les roues à aubes ainsi que l'usage de divers types de pompes.

3.2.1. Les hélices

Les hélices à axe horizontal (type traction marine) travaillant à poste fixe, conviennent particulièrement bien à cet usage. Outre une très bonne homogénéisation capable de désagréger les plaques d'algues en cours de formation sur des surfaces très grandes, le courant produit présente des caractéristiques très intéressantes (voir annexe 6 tab. 1, 2 et 3).

D'autre part, l'équipement utilisé (moteurs hors-bord) présente plusieurs avantages:

- a. Ils ne rompent pas les algues
- b. Ce sont des unités construites en grande série, donc de prix relativement bas.
- c. Toutes les parties immergées sont construites avec des alliages résistants à la corrosion.
- d. Sur certains modèles, la substitution du moteur électrique au moteur à explosion est facile à réaliser.

De plus, ce sont des unités très légères, d'installation facile, dont l'entretien serait réduit à celui du moteur électrique et à des contrôles périodiques du niveau d'huile ou de graisse dans le réducteur immergé.

3.2.2. La roue à aubes

La roue à aubes, solution très valable pour des bassins de petite surface et de faible profondeur (15 à 20 cm, voir photo annexe 6) nécessiterait dans le cas du bassin de culture de SOSA TEXCOCO, des dimensions assez importantes. En effet, son efficacité n'est maximale que lorsque l'aube se trouve perpendiculaire au sens du courant, ce qui, à moins d'adopter un système

d'aubes à angle variable, nous conduirait à des roues de très grand diamètre. Etant donné les dimensions et le poids de tels ensembles ainsi que l'instabilité du fond du bassin, leur emploi semble peu indiqué. Néanmoins, pour vérifier le bien fondé de ces hypothèses, une roue à aubes est en cours de construction à l'usine.

3.2.3. Les pompes

Les pompes paraissent être le moyen le moins adéquat pour homogénéiser le bassin. Deux systèmes sont à prendre en considération, à savoir l'utilisation directe des pompes en tant que moyen d'homogénéisation (a), ou l'utilisation du courant créé par le pompage et le retour de la saumure des filtres à cette fin (b).

a. L'utilisation directe des pompes, pour pouvoir être efficace nécessiterait des pompes de très grand débit travaillant à faible pression et faible vitesse de rotation, de manière à ne pas rompre les algues. En effet, nous avons essayé comparativement, dans un bassin de 100 m² et de 70 m³ de capacité, un moteur hors-bord de 4 CV et une pompe centrifuge de type Barnes, qui avec un moteur de 15 CV tournant à 1450 tours/mn, a un débit de 88 m³/heure.

Les résultats montrent qu'avec le moteur hors-bord, les plaques d'algues en cours de formation sont mieux décomposées et que surtout il n'y a pas rupture des algues, même après de longues périodes d'utilisation (6 heures par jour durant 2 mois). L'essai avec la pompe centrifuge a dû être arrêté après 2 heures, environ 30% des algues ayant été rompues.

b. L'utilisation du courant créé par le pompage et le rejet de la saumure revenant des filtres a été proposée par SOSA TEXCOCO. L'idée serait de diviser le bassin de manière à avoir un canal très étroit et long, et de poser des parois perpendiculaires immergées afin d'obtenir un courant accéléré, d'environ 15 cm d'épaisseur.

A notre avis, ce système ne répondrait pas aux besoins du bassin pour les raisons suivantes:

- La décomposition et l'homogénéisation des plaques d'algues en cours de formation est due à des courants tourbillonnaires et non à un courant laminaire, même rapide, comme celui qui serait créé.

- Le réajustement en éléments nutritifs se faisant -
dans la saumure revenant des filtres, la nappe du
courant en mouvement s'appauvrirait au fur et à -
mesure de son avancement dans le bassin. En effet
pour obtenir un courant rapide et sans voies préféren-
tielles, les parois immergées devront toucher les -
parois du canal. On obtiendrait ainsi un certain -
nombre de petits "bassins" immergés, dont l'unique
source d'éléments nutritifs serait celle obtenue par -
diffusion à partir de la nappe du courant en question.
Il s'ensuit que vers la fin du parcours, à l'endroit -
où la concentration algale sera la plus forte, la -
concentration en éléments nutritifs sera la plus faible,
par suite de leur consommation et de la dite diffusion.
De plus, le courant obtenu, de faible épaisseur, pour-
rait être gravement perturbé par des forts vents -
contraires.

Le seul grand avantage de ce système serait d'obtenir
une stratification des températures très favorables à
la croissance des algues.

3.3. La carbonatation du milieu de culture

Le problème posé par la carbonatation du milieu de -
culture est celui de l'apport d'un élément nutritif indispensable

d'une part et de la régulation du pH d'autre part (voir annexe 7).

Ce problème est temporairement résolu par l'apport régulier d'une solution de bicarbonate de sodium, apport qui risque à longue échéance de modifier la salinité du bassin.

Pour effectuer cette carbonatation, trois systèmes ont été envisagés, à savoir:

- L'échange au niveau des filtres à plan incliné
- L'échange dans une tour à remplissage
- L'échange utilisant des diffuseurs en carbone fritté -
immergés dans un canal.

3.3.1. Carbonatation au niveau des filtres et de l'espace sous-jacent .

Notre but était de carbonater les très grands volumes de liquide mis en circulation lors de la filtration avec un minimum d'investissement et de dépense énergétique. Pour cela, on a utilisé le fait qu'une toile serrée, en l'occurrence la toile du filtre, est peu perméable à un gaz à une pression très voisine de la pression atmosphérique, tant qu'elle reste couverte d'une fine pellicule de liquide.

Avec quelques aménagements de l'espace sous-jacent au filtre (voir figures annexe 7), nous avons obtenu un réacteur très simple qui permet, avec des temps de séjour très courts (4 à 5 sec), d'absorber jusqu'à 84% du CO₂ d'un gaz de four à chaux (38% en volume) et 31% du CO₂ d'un gaz de cheminée (10% en volume).

Des études effectuées, il apparaît d'ores et déjà, qu'au prix d'une dépense relativement faible, on peut modifier le système actuel de manière à pouvoir absorber journellement la quantité de CO₂ nécessaire au milieu de culture (1,8 tonnes de CO₂ par tonne d'algue sèche).

3.3.2. Carbonatation dans une tour à remplissage

L'étude effectuée avec une petite tour de carbonatation par SOSA TEXCOCO (voir annexe 7 p. 2) montre que pour avoir des taux d'absorption comparables à ceux obtenus précédemment, sans provoquer des phénomènes d'engorgement, il faut que le temps de rétention du liquide soit supérieur à 76 sec.

Il s'ensuit qu'en plus de l'énergie de pompage, des tours de très grandes dimensions seraient nécessaires pour assurer l'absorption de 1,8 tonne/jour de CO₂.

3.3.3. Utilisation des diffuseurs en carbone fritté immergés dans un canal

Ce système, étudié et breveté par l'I. F. P. en tant que gazo-siphon, a un taux d'absorption qui peut atteindre 90% du CO₂ d'un gaz dont la teneur initiale est de 10%. Néanmoins ce système qui travaille en légère pression (0,4 à 0.5 bars) - nécessite des installations et des servitudes qui dans le cas de SOSA TEXCOCO peuvent s'avérer être relativement coûteuses.

3.4. Conditions nécessaires pour augmenter la concentration en algues

En supposant la composition du milieu de culture - adéquate, la condition nécessaire pour augmenter la concentration en algue nous semble être, en premier lieu, l'arrêt temporaire de l'exploitation du bassin. En effet le bassin A₁, d'une superficie de 130 hectares, qui n'est pas actuellement en exploitation, a vu passer sa concentration entre le 8/8/75 et le 13/10/75 de 128 ppm à 290 ppm (voir annexe 8).

A ces concentrations, l'homogénéisation devient indispensable non seulement pour rompre les plaques d'algues en cours de formation, mais aussi pour empêcher une sédimentation des

algues qui, à la longue, forment un tapis mucilagineux, très difficile à décomposer et à remettre en suspension.

D'autre part, nous n'avons pas pu établir à ce jour, une relation directe entre une concentration en algues plus ou moins homogène et la formation des plaques. Néanmoins, nous avons pu remarquer à plusieurs reprises un début de formation de plaques à des concentrations allant de 90 à 120 ppm par des temps très chauds, à forte radiation solaire, en l'absence de vent. Ceci indiquerait que le phénomène régissant la formation des plaques est directement lié aux conditions atmosphériques telles que la luminosité, la température ambiante, celle de la couche superficielle de l'eau ainsi que le vent, plutôt qu'à une concentration déterminée. Dans ces conditions, un courant laminaire de 15 cm d'épaisseur n'aura aucun effet sur les plaques en cours de formation à moins qu'il atteigne des vitesses telles que le vent relatif créé soit suffisant pour les décomposer, ce qui semble exclu.

3.5. Estimation du prix de revient de l'algue spiruline et de sa décoloration.

D'après une estimation du prix de revient de l'algue (voir annexe 9) effectuée sur une production de 99255 kg produits en 122 jours, il apparaît que ce prix est de l'ordre de 22 pesos/kg.

Actuellement, toute la production est vendue au Japon à des prix allant de 37,5 à 62,5 pesos Kg. A ce propos nous aimerions attirer l'attention sur le fait que la dépendance d'un client unique, dans le sens large du terme, est une chose très dangereuse. La prospection et la diversification du marché sont à notre avis une nécessité absolue. Avec la nouvelle unité de production, on risque de saturer un marché bien spécifique, dont un des acheteurs au moins extrait déjà les pigments.

Néanmoins, la spiruline dont on espère pouvoir ramener le coût avec la nouvelle usine, à 16 - 17 pesos/kg ne pourra être compétitive en tant que protéine qu'à un prix égal ou inférieur à celui de la protéine de soya (15,5 pesos/kg, concentrat à 80% de protéine).

Une évaluation du coût de la purification des algues a été faite par la RPC (Research and Productivity Council - Canada). Cette évaluation a montré qu'une unité pilote d'une capacité de 1 tonne/jour conçue de manière à obtenir une protéine de spiruline de haute qualité, aussi peu colorée que possible, présenterait un bilan négatif même après la valorisation des xanthophylles extraites.

Pour que cette opération soit rentable, nous pensons que le but à rechercher devrait être l'extraction spécifique des pigments valorisables, sans rechercher une décoloration complète.

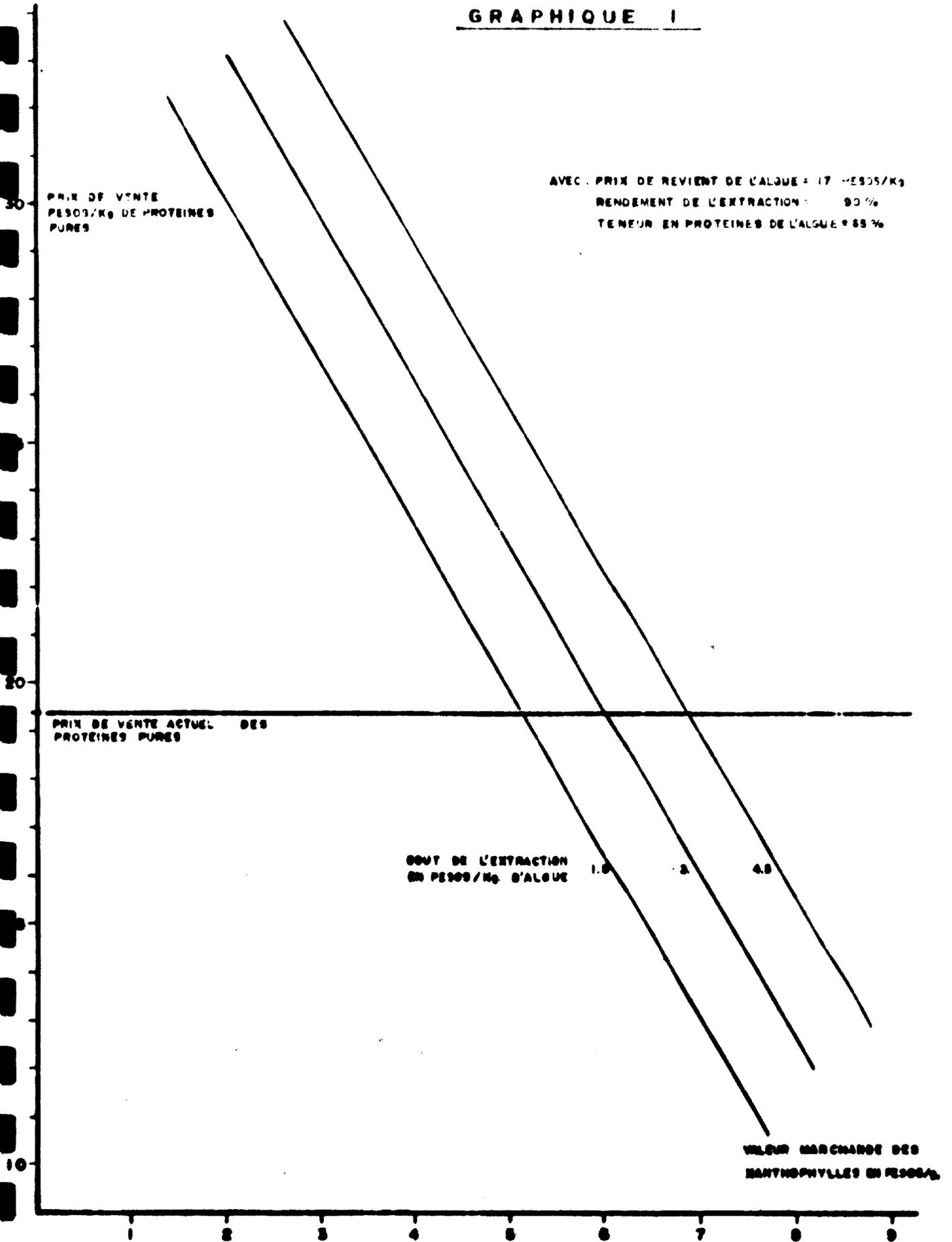
L'extraction devrait donc pouvoir être effectuée en une seule étape, avec un solvant spécifique, autorisé par la PAG (Protein Advisory Group des Nations Unies) tel que l'hexane ou l'heptane qui, de plus, ont un point d'ébullition relativement bas, ce qui facilite le séchage.

L'évolution du prix de vente de la protéine pure est donnée en fonction de la valeur marchande des xanthophylles, du coût de l'extraction et du pourcentage de protéine dans l'algue brute par la relation et le graphique qui suivent:

$$A = 1,3 \frac{B + C - 1,9 D E}{F}$$

- Avec: A= prix de vente de la protéine pure pesos/kg
B= prix de revient de l'algue brute pesos/kg
C= coût de l'extraction pesos/kg d'algue brute
D= rendement de l'extraction
E= valeur marchande des xanthophylles pesos/kg
F= % de protéine dans l'algue brute
1,9= valeur moyenne de la teneur en xanthophylles g/kg d'algues séchés par atomisation
1,3= taux de rentabilité

GRAPHIQUE 1



Le prix du produit de synthèse de Hoffman La Roche se situant à environ 7,4 pesos/g, il apparaît que la protéine pure ne serait compétitive que si le coût de l'extraction était selon le rendement et la teneur en protéines de l'algue brute, de l'ordre de 1,5 à 3 pesos/kg.

Le coût de l'extraction des xanthophylles de la fleur des morts par l'hexane serait d'après la DE SMET MEXICO, S.A. de l'ordre de 1,5 à 2,5 pesos/kg de produit brut.

D'autre part, une extraction avec un solvant organique aura aussi l'avantage de stériliser le produit, stérilisation qui peut ne pas être atteinte lors du séchage dans un atomiseur, où la température des particules peut atteindre 80 à 90 °C durant 3 à 5 secondes.

3.6. Implication financière des objectifs du projet

Lors d'une étude effectuée à SOSA TEXCOCO en août 1975, le coût de la nouvelle unité, d'une capacité de 5 tonnes/jour a été estimé, en première approximation à 34560000 pesos (voir annexe 10)

Cette estimation ne tient pas compte de la nécessité de construire et d'équiper un laboratoire "algues", ni des dépenses afférentes à l'homogénéisation et à la carbonatation du milieu de culture.

Par ailleurs la part allouée aux imprévus, frais divers et démarrage semble bien petite: 20% au lieu de 9,5% seraient plus proches de la réalité. Compte tenu de l'inflation, le coût de cette unité serait actuellement plus proche de 45000000 pesos que du chiffre indiqué précédemment.

IV. AVANCEMENT DU PROJET

C'est grâce à l'énergie et à l'opiniâtreté d'une, voir de plusieurs personnes, que le projet de l'algue spiruline a vu le jour dans des conditions qui ne lui étaient pas toujours favorables, et les progrès accomplis sont nombreux. Les efforts pour aller de l'avant ont été multipliés et les délais d'exécution écourtés. C'est ainsi que de toutes les recommandations faites jusqu'à maintenant (voir annexe 12), trois seulement n'ont pas encore été suivies d'effet, à savoir:

- La pose d'une canalisation reliant le filtre à bande à un filtre à plan incliné afin de recycler les algues non récupérées en fin de chaîne de récolte. En effet, il est prévu d'intégrer ce filtre aux unités de filtration de la nouvelle usine près du bassin de culture. Il est donc inutile de poser plus de 2 km de canalisations pour une période de quelques mois.

- L'achat d'un luxmètre et d'un thermomètre enregistreur a été demandé afin de pouvoir chiffrer l'énergie lumineuse totale reçue ainsi que la température du bassin. Etant donné les sommes impliquées, cette acquisition se fera dès que le crédit attribué à la construction de la nouvelle usine sera débloqué.
- Notre demande d'effectuer régulièrement l'analyse chimique et bactériologique du milieu de culture et des eaux résiduaires n'a pas encore été suivie d'effet.

Par contre, il faut signaler l'achat d'un atomiseur d'une capacité de 1 tonne/jour (coût environ 3000000 pesos) livrable en avril/mai 1976 et dont l'influence, jointe à celle d'une introduction automatique d'antioxydant, ne manquera pas de se faire sentir sur la qualité du produit fini.

De même, la construction d'un deuxième bassin de culture de 10 hectares vient d'être terminée et l'aménagement du premier en vue de son homogénéisation d'après le schéma de la fig. 5 (annexe 6) est en cours.

Néanmoins, pour que ce projet puisse atteindre les dimensions qu'il mérite, il faudrait qu'on tienne compte des implications d'ordre techno-économique, de l'organisation et du management ainsi que de celles d'une partie du personnel.

4.1. Implication d'ordre techno-économique

L'unité pilote d'une capacité de 1 tonne/jour a démontré la viabilité du projet, tout au moins en ce qui concerne l'utilisation de la spiruline pour des usages particuliers qui d'ailleurs ne nous sont pas tous bien connus.

Ceci dit, il semble peu probable qu'avec l'augmentation de la production, on puisse continuer à maintenir longtemps les prix à leur niveau actuel et tôt ou tard il faudra se tourner vers l'utilisation des algues comme composant alimentaire pour les humains et les animaux (voir 3.5.). A ce sujet, il serait hautement souhaitable qu'avec la construction de la nouvelle usine, un effort particulier soit fait pour satisfaire aux normes d'hygiène relatives aux produits alimentaires, normes qui concernent aussi bien les installations, le process que le personnel.

4.2. Implications de l'organisation et du management

Les problèmes d'organisation sont nombreux et peuvent s'expliquer par le fait que les apports et responsabilités des différents départements; production, recherche et développement sont peu ou mal coordonnés.

Il s'ensuit que souvent par manque de communication ou de coordination, un travail identique soit fait dans deux départements différents ou que des décisions contradictoires soient prises.

La seule solution à ce problème serait la nomination d'un directeur de projet à temps complet qui assumerait toutes les responsabilités techniques aussi bien qu'administratives devant la direction de SOSA TEXCOCO.

4.3. Implication du personnel de SOSA TEXCOCO

Il est de notre devoir de constater, avec regret, que toutes les suggestions, faites journellement au département de recherche au sujet de l'exploitation quotidienne des données recueillies, n'ont pas reçu de suite.

Actuellement on se contente de recueillir les données et d'en faire la compilation, et non de les analyser et encore moins de les exploiter. Ceci se traduit, d'une part, par des "études" et des dépenses souvent inutiles, et d'autre part, par des délais extrêmement longs avant l'obtention de certains résultats qui, par ailleurs, sont peu fiables (voir tab. et graph. annexe 5).

Par contre, le département production donne toute satisfaction et est en progrès constant.

V. RECOMMANDATIONS

Les recommandations qui suivent, ont trois aspects différents, selon qu'elles concernent les problèmes du personnel, ceux de l'usine existante et ceux de la future usine. Dans chaque groupe, elles ont été traitées dans l'ordre de priorité décroissante.

5.1. Recommandations concernant le personnel

- Etant donné le problème posé par le département recherche (voir 4.3.) il est extrêmement urgent de réorganiser complètement l'équipe actuelle en lui adjoignant des éléments nouveaux, nationaux ou étrangers si besoin est, et dans le travail desquels on pourra avoir une confiance absolue.
- Afin de résoudre les problèmes d'organisation et de définir les responsabilités des différents départements (voir 4.2.) et en particulier de ceux du département recherche, la nomination d'un directeur à temps complet qui assumerait toutes les responsabilités, techniques et administratives, serait hautement souhaitable.

5.2. Recommandations concernant l'usine existante.

Construction et équipement d'un laboratoire algues

En premier lieu nous recommandons la construction

et l'équipement d'un laboratoire spécifiquement destiné au projet algues, prévu pour répondre à l'extension future du projet. Ce laboratoire aura pour tâche de contrôler le processus de la matière première entrant à l'usine (c'est à dire sels, eaux résiduaires etc.) jusqu'au produit fini sortant de l'usine.

Ce contrôle devrait comporter:

Sur la matière première

- L'analyse des macro et oligoéléments ainsi qu'une recherche des contaminants tel que Hg, Pb, As, Cd etc. (pour chaque livraison).

- L'analyse chimique et bactériologique (y compris la recherche des hydrocarbures, des pesticides et des détergents) avant chaque réajustement du niveau du bassin de rétention des eaux résiduaires (voir plus loin)

Sur le bassin de culture

- Le contrôle chimique et bactériologique

- Le contrôle de la concentration en biomasse et en éléments nutritifs.

- L'étude des différents paramètres physiques: la radiation solaire, la température du milieu de culture, les pertes par évaporation et par infiltration, la vitesse des courants et l'homogénéisation.

- L'inspection sanitaire pour éliminer les algues mortes ou tout autre corps flottant (cadavres des rongeurs etc), qui peuvent servir de support aux insectes et à leurs larves.

Sur le processus proprement dit:

- Le contrôle de l'application des normes d'hygiène alimentaire (personnel et locaux).

Sur le produit fini:

- Contrôle chimique: protéines, lipides, carbohydrates, cendres, humidité, xanthophylles, carotènes, contaminants tels que Hg, Pb, As, Cd etc., ainsi que hydrocarbures, pesticides et détergents.
- Contrôle bactériologique
- Contrôle physique: Recherche des débris organiques, larves etc.

Une fois toutes ces conditions remplies, le produit pourra être vendu avec un label de qualité.

Aménagement des bassin d'eaux résiduaires.

- Afin de prévenir toute possibilité de pollution, et disposer en même temps d'un volume d'eau suffisant pour compenser l'infiltration et l'évaporation durant quelques jours, voire quelques semaines, les bassins de rétention des eaux résiduaires devront être divisés en deux parties inégales, la petite partie faisant office de sas de contrôle. Le pompage d'un

bassin à l'autre se ferait uniquement après que le contenu du bassin ait subi de façon satisfaisante les contrôles précédemment décrits.

Homogénéisation du milieu de culture.

- L'homogénéisation modulée du bassin est indispensable, ne serait-ce que pour éviter les grandes pertes en biomasse dues à la formation des plaques, pertes estimées à plusieurs centaines de tonnes/an sur le bassin A₁. Pour obtenir cette homogénéisation, le moyen le plus adéquat nous semble être l'emploi des hélices type traction marine de 30 à 40 cm de diamètre et tournant à des vitesses de l'ordre de 800 à 1000 tours/min (voir fig. 5 annexe 6).

Modulation du pompage en fonction de la concentration en algues

- La concentration algale qui devrait pouvoir être maintenue à 250 - 300 ppm, est un des facteurs qui conditionne l'économie du process. Etant donné que durant la saison froide la croissance diminue, le pompage devra être ajusté de manière à ce que la concentration ne descende pas à moins de 110 à 120 ppm. Au printemps, il devra être maintenu assez bas, aussi longtemps que nécessaire, afin de permettre d'atteindre à nouveau les valeurs indiquées ci-dessus.

Carbonatation du milieu de culture

- Etant donné les résultats obtenus lors des essais de carbonatation (voir annexe 7), il serait intéressant de faire d'ores et déjà une étude économique des différents procédés. Il est à signaler que la carbonatation au niveau des filtres à plan incliné ainsi que celle effectuée dans la tour à remplissage n'ont pas encore atteint leurs performances maximales et sont susceptibles d'être améliorées.

Introduction de fertilisants

- Afin d'éviter les effets d'un "front" de fertilisants ainsi que la précipitation des carbonates de Fe, Ca et Mg, il serait souhaitable d'ajouter les éléments nutritifs en solution diluée sur 24 heures, et non sous forme concentrée en un laps de temps relativement court, comme c'est le cas actuellement. De plus, on pourrait complexer les ions qui précipitent à l'EDTA.

Modification des déversoirs de filtrat

- La vitesse du liquide à la sortie des canalisations qui ramènent les 18000 m³ de saumure des filtres, est de l'ordre de 1,50 m/sec. L'immersion des sorties de ces tubes a notablement diminué la mousse qui couvrait auparavant 2 hectares environ. Néanmoins, nous pensons qu'on

pourrait encore diminuer la formation de la mousse en réduisant la vitesse du liquide à la sortie, c'est à dire en passant d'un régime turbulent à un régime laminaire. On pourrait obtenir ce résultat soit à l'aide d'une paroi à fente immergée qui limiterait un bassin de déversement, soit en soudant des sorties dont les ouvertures seraient en forme d'entonnoirs aplatis. Dans les deux cas, les ouvertures devront présenter une faible hauteur et une très grande largeur.

5.3. Recommandations concernant la nouvelle usine

Nombre de bassins à construire

- Lors d'une réunion de travail, la question a été posée s'il fallait construire un seul bassin de 50 hectares ou plusieurs plus petits. Nous aimerions insister sur le fait que les problèmes d'homogénéisation, de carbonatation ainsi que de réajustement en éléments nutritifs sont déjà suffisamment amples sur un bassin de 10 hectares pour ne pas avoir besoin de les multiplier par 5.

D'autre part, avoir 5 bassins isolés, ayant chacun son circuit de pompage et de retour de saumure, constituerait une garantie dans le cas où l'un d'entre eux serait pollué ou contaminé, possibilité qu'on ne peut pas exclure.

Modification des filtres à plan incliné

- Actuellement, les filtres à plan incliné ont la forme d'un rectangle de 3 m de long et 0,90 m de large. Ils travaillent sur 2/3 de leur longueur et environ 60% de leur surface.

Nous pensons que des filtres de forme trapézoïdale ayant 2 à 2,2 m de long, 0,90 m de large en haut et 0,50 m en bas, auraient une meilleure efficacité. D'autre part, les filtres disposés en cercle permettraient d'effectuer un lavage par bras tournant, ce qui simplifierait de beaucoup le système actuel et éviterait la rupture des toiles.

De même il serait souhaitable d'augmenter le nombre de filtres d'un quart. Ceci permettrait d'une part d'effectuer le nettoyage des toiles par roulement sans arrêter les unités et, d'autre part, de mettre les filtres supplémentaires en service lorsque le milieu de culture filtre mal, probablement à cause de la matière organique en suspension. Dans ces conditions, il se pourrait que l'emploi des filtres rotatifs soit inutile.

Modification du désintégrateur

- La limitation de la capacité de l'atomiseur commandé par SOSA TEXCOCO à 1 tonne/jour de produit sec est due

à sa capacité d'évaporation, qui à son tour dépend de la teneur en eau de l'alimentation et de la teneur en eau de l'algue. Il nous semble qu'il serait avantageux d'éliminer plus d'eau à la filtration et de fluidifier ensuite la pâte obtenue par une désintégration plus poussée que celle actuellement effectuée. Ceci aurait pour résultat d'augmenter notablement la capacité de l'atomiseur.

Remerciements.

- Ce travail a été grandement facilité par l'aide et l'attitude amicale du personnel technique et administratif de SOSA TEXCOCO, S.A. Néanmoins il n'aurait pas pu être mené à bien sans l'aide continuelle de Mr. Hubert Durand-Chastel, directeur de la société, Mr. Anselmo Carretero, le coordinateur du projet, Mr. Nestor Sánchez Pluma, chef du département production et Mr. Jean Marie Francart, coopérant français, aux quels j'adresse mes plus vifs remerciements.

Annexe I

JOB DESCRIPTION

DP/MEX/72/002/11-04/06

POST TITLE Spirulina Algae Production Expert

DURATION Six months

DATE REQUIRED As soon as possible

DUTY STATION Mexico City, with travel to country areas

PURPOSE OF PROJECT To assist the Sosa Texcoco S.A. in the production of Spirulina Algae of a steady acceptable quality and yield in the Caracol Basin and other applicable sites.

DUTIES The expert is expected to carry out the following duties:

1. study the prevailing conditions (water, climate - or otherwise) under which Algae Spirulina is presently produced;
2. study and identify the most favourable conditions for the production of Spirulina Algae of optimum quality and yield;
3. determine measures to be applied and action to be taken for the production of increased quantities of Spirulina Algae of a steady high quality and yield, initiate and supervise tests and other implementation activities in co-operation with Sosa Texcoco S.A.;
4. estimate the financial implications resulting from the recommendations mentioned under paragraph 3) above and in close co-operation with Sosa Texcoco and the UNIDO experts attached to this project, evaluate the cost situation in connexion with the purification costs and the market price in order to maintain the project's economic feasibility.

QUALIFICATIONS Biologist or Bio-Chemist with knowledge and experience in Spirulina Algae production.

LANGUAGE English; Spanish desirable

.../..

BACKGROUND
INFORMATION

Sosa Texcoco, one of the largest producers in Mexico of sodium carbonate, observed green-blue algae growing naturally in the huge basin on the site of the former Lake Texcoco which is used for the solar concentration of sodium salts. Investigations carried out by Sosa Texcoco in co-operation with the Institut Français du Pétrole indicated that the algae are possibly the Spirulina species from the old Aztec age, closely resembling the Spirulina indigenous to Chad, which has been studied by the Institut Français du Pétrole. It has been identified by Bourrelly as Spirulina gentleri J. de Tene and its protein content is high (approximately 65 per cent). Consequently, Sosa Texcoco's management became interested in producing Spirulina on an industrial scale and exploiting it as a source of protein. Leading Mexican authorities of the National Institute for Nutrition in Mexico hold naturally grown Spirulina in high esteem as a food source, and the Departamento de Comercio y Transferencia de Tecnología, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) supports the idea from the standpoint of national nutrition improvement. At present, Spirulina grows quite naturally and uncontrolledly in one sector of sodium salts. The Spirulina sector has a surface area of 100 hectares, and the growth rate has been estimated at more than 1 g/m² per day. The company is also considering extending the Spirulina cultivation sector to an area of 300 hectares, corresponding to a productive capacity of three tons of Spirulina daily. The Spirulina grown in the basin form a dilute suspension, which after pre-concentration through a nylon cloth filter is passed through a vacuum filter and dried with a drum dryer. The Spirulina powder thus produced contains a high amount of protein and is greenish brown due to its high content of pigment which makes the Spirulina powder useful as a chicken feed component. The Mexican authorities undertook to establish a pilot plant producing one ton of Spirulina protein powder daily. This pilot plant entails an investment of approximately 1,69 million pesos to be drawn from Mexican national funds. UNIDO will provide assistance for a controlled production of Spirulina Algae of a steady high quality and yield in addition to the assistance progressing in pilot plant purification operations and marketing aspects.

NO CANDIDATES REQUIRED AT THIS TIME

Annexe II

	PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO			FORMULARIO E-1 PERSONAL DEL ORGANISMO
	INFORMACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD DEL PROYECTO	Nº DEL PROYECTO MEX/72/002 E/01/37	ORGANISMO UNIDO	

PUESTO NO.	DESCRIPCIÓN DEL PUESTO	NOMBRE DEL TITULAR Y NACIONALIDAD	FECHA DE LLEGADA (MES Y AÑO)		FECHA DE SALIDA (MES Y AÑO)	
			PRE VISTA	EFFECTIVA (EST.)	PRE VISTA	EFFECTIVA (EST.)
11-04	Expert en production de l'algue spiruline	GOLDENBERG Emanuel	6/1975	7/1975	12/1975	1/1976

OBSERVACIONES:



PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO

INFORME SOBRE
LA MARCHA
DEL PROYECTO

Nº DEL PROYECTO
MEN/72/002
E/01/87

ORGANISMO
UNIDO

PERIODO DEL INFORME
7/1975-1/1976

FORMILARIO E-2
PERSONAL
DEL GOBIERNO

PUESTO NO	DESCRIPCION DEL PUESTO	NOMBRE DEL TITULAR	COMP O PARC	ASIGNACION DEL CARGO (MES Y AÑO)	
				PRE VISTA	EFFECTIVA (EST.)
	Coordinateur du projet	Ing. Anselmo Carretero	parc		1/1974
	Chef du departement developpement	Ing. Alberto Urbina	parc		1/1971
	Chef du departement production	Ing. Nestor Sánchez Pluma	comp		2/1975
	Chef du departement recherche	Ing. Claudio Santillán Sánchez	comp		10/1974

OBSERVACIONES: Avant de remplir ses fonctions actuelles (voir 4.3.)
le chef du département recherche a été successivement
coordinateur du projet ainsi que chef des départements
production et recherche.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO

INFORME SOBRE
LA MARCHA
DEL PROYECTO

Nº DEL PROYECTO
MEX/72/002
1/01/57

ORGANISMO
UNIDO

PERIODO DEL INFORME
7/1975-1/1976

FORMULARIO D
INSUMOS
DEL PROYECTO

INSUMOS DEL PNUD/ORGANISMO

	DURANTE EL PERIODO		ACUMULADOS	
	PROYECTADOS	ACTUALES	PROYECTADOS	ACTUALES
Expertos (meses hombre)	7	6	13	13
Contratos (miles de \$ E.E.UU.)	30	30	60	60
Fondo recibido (miles de \$ E.E.UU.)	--	--	--	--
Becas (meses hombre)	--	--	--	--

INSUMOS DEL GOBIERNO

Personal de contraparte (meses hombre)	6	6	25	25
Personal de apoyo (meses hombre)	12	12	50	50
Equipo recibido (miles de \$ E.E.UU.)	20	20	230	230
Edificios, terrenos (miles de \$ E.E.UU.)	--	--	50	50
Apoyo en efectivo (miles de \$ E.E.UU.)	6	6	30	30
Otros (especificar)	48	48	60	60

Essais et modifications

OBSERVACIONES

Avant le démarrage du programme d'assistance du PNUD, SOSA TEXCOCO a dépensé plus de \$ U.S. 250000 sur le projet. Actuellement les frais d'équipement (atomiseur commandé) s'élève a \$U.S.240000 batiments non compris.

BIBLIOGRAPHIE

Liste non exhaustive des références bibliographiques traitant de la valeur nutritionnelle de la spirulina, de sa toxicologie et de son utilisation comme composant alimentaire pour les humains et les animaux.

1. - BORIES G. et Coll. (1973)
Les hydrocarbures aliphatiques des algues spirulines: nature, étude de leur métabolisme chez le rat. Détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques (3,4 benzopyrène) dans les algues spirulines produites et traitées suivant différents procédés.
Colloque sur la valeur Nutritionnelle des Spirulines. Paris.
2. - BOUDENE C. (1973)
Algues Spirulines. Etude des aliments et des substances toxiques.
Colloque sur la Valeur Nutritionnelle des Spirulines. Paris.
3. - BUJARD et Coll (1970)
Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (Spirulina) and their possible use in Food Formulations, 3^d. International Congress of Food Sc. and Technol. Washington.

- 4.- **BURGES H. et Coll. (1971)**
Utilisation of the Algae Spirulina as a Protein Source
Nutr. Report. Intern. (4) (1) 31-43
- 5.- **CALET C. (1973)**
Résumé du Rapport d'activité pour l'année 1972
Colloque sur la Valeur Nutritionnelle des Spirulines. Paris.
- 6.- **CLEMENT G. (1970)**
Une algue à haute teneur en protéines
Sci. Prog. Decou. (Juillet)
- 7.- **DURAND-CHASTEL H. (1970)**
Alimento para el Mañana
1er. Simp. Mundial de Zonas Aridas. México, D.F.
- 8.- **DURAND-CHASTEL H. et CLEMENT G. (1972)**
The Spirulina Algae, food for tomorrow
9th Int. Congress of Nutrition, México.
- 9.- **FEVRIER C. (1973)**
Etat d'avancement des travaux sur l'utilisation des algues
spirulines dans l'alimentation des porcs.
Colloque sur la Valeur Nutritionnelle des Algues Spirulines.
Paris.

10. - FOREN M.C. et Coll. (1973)
Sur les stérols et alcools triterpéniques d'une
cynophycée: *Spirulina Platensis*, Geitler.
C.R. Acad. Sc. Paris, 274 pp 122 à 136 .

11. - GALVAN M. (1973)
Expérimentation clinique avec les Spirulines
Colloque sur la Valeur Nutritionnelle des Algues Spirulines.
Paris.

12. - GUTTON M. (1970)
Etude sur poulet jaune des algues spirulines
Compte rendu de l'essai T 134 - T 135 UFAC. France.

13. - JACQUET M. (1973)
Examen microbiologique des Spirulines
Colloque sur la Valeur Nutritionnelle des algues Spirulines.
Paris.

14. - LECLERC (1970)
Etude microbiologique sur des cultures de Spirulines
Inst. Pasteur Lille.

15. - PFROMMER A. et Coll (1970)
Rapport NR-R 3193 TNO, Zeist HOLLANDE.

16. -

SAUTIER C. et Coll (1973)

Acceptabilité et utilisation des Spirulines chez l'homme

Colloque sur la Valeur Nutritionnelle des Algues Spirulines.

Paris.

LES INSTALLATIONS

Le bassin de culture

Les Spirulines croissent à l'état naturel dans les bassins de stabilisation A1, A2, A3, qui forment la ceinture extérieure de l'évaporateur solaire de la SOSA TEXCOCO.

Le bassin de production de l'unité pilote, d'une superficie de 10 hectares et d'un volume d'environ $8,6 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ a été obtenu en construisant une paroi en plaques de polyester armé de fibre de verre de 500 mètres de long dans le bassin A1 (Fig. 1) dont la superficie initiale était de 140 hectares.

Un deuxième bassin, adjacent, de même superficie vient d'être terminé, et l'aménagement intérieur du premier en vue de l'homogénéisation est en cours.

Les variations de niveau dues à l'évaporation et à l'infiltration sont compensées par l'apport périodique d'eaux résiduelles.

La chaîne de récolte

Les algues, séparées de leur milieu de culture par filtration sont lavées et désintégrées. Elles sont séchées, soit à l'aide d'un séchoir à rouleaux et ensuite broyées, soit par atomisation. Enfin elles sont conditionnées dans des fûts métalliques ou des sacs en papier à trois épaisseurs. Dans les deux cas le revêtement en contact direct avec l'algue est en polyéthylène.

Ces différentes opérations se font dans deux unités distinctes, l'unité externe et l'unité interne (fig. 2), le séchage par atomisation étant sous traité par un établissement spécialisé.

PLANO DEL CARACOL

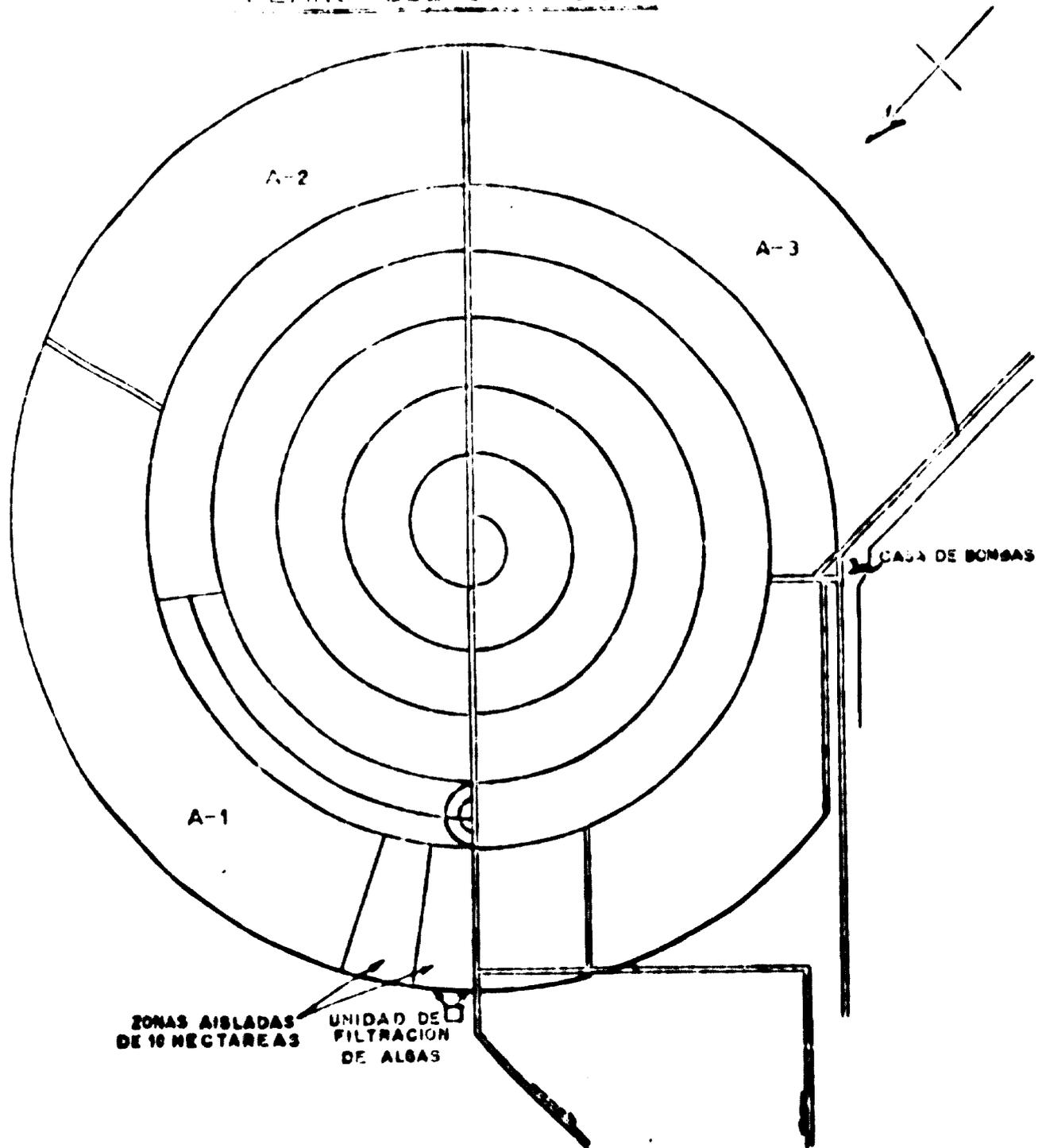
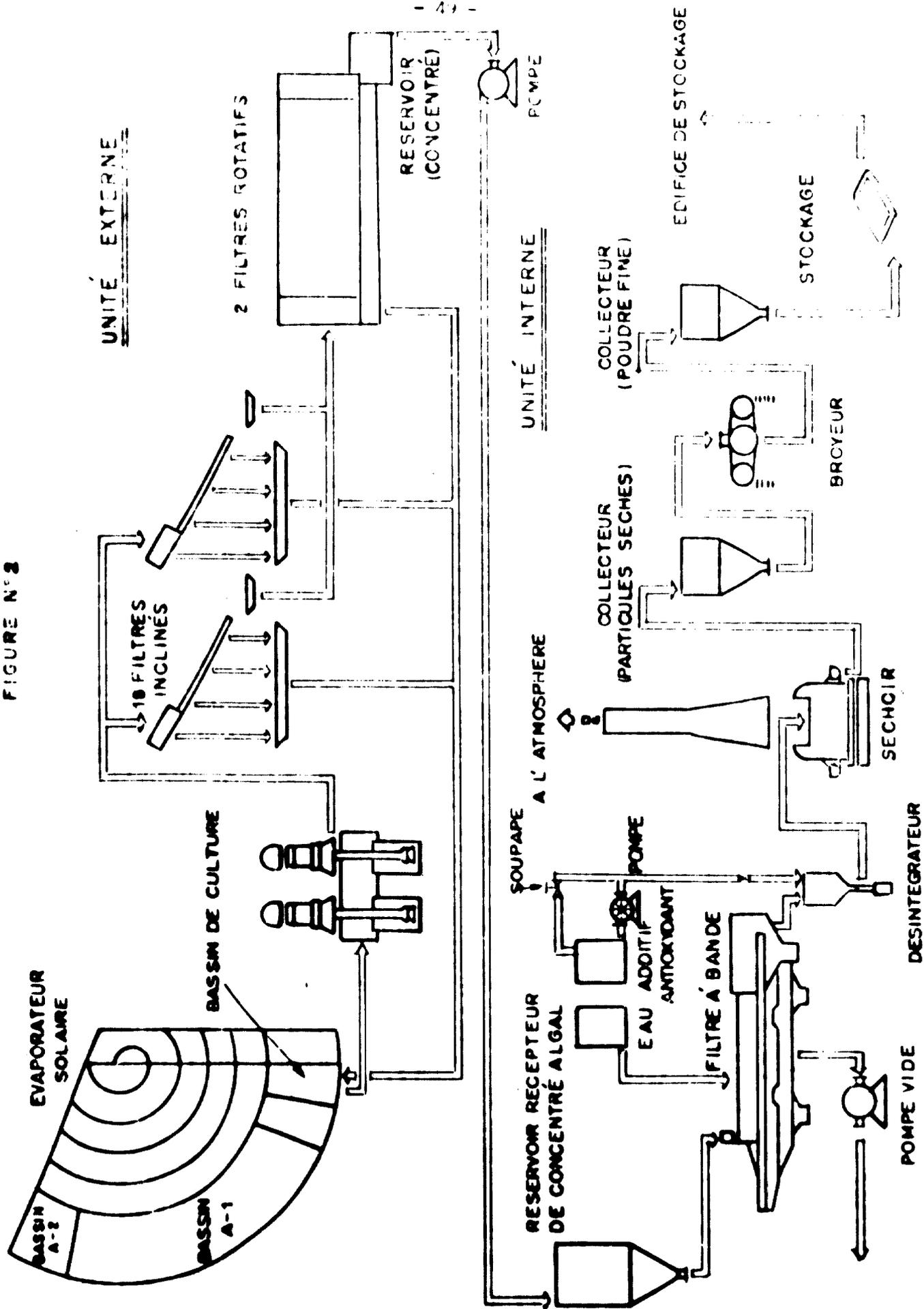


FIG. 1

FIGURE N° 2



LA CULTURE

Caractéristiques du milieu de culture

Les algues spirulina croissent en suspension dans un milieu alcalin dont les caractéristiques chimiques varient continuellement (voir graph. joints) et qui le 16/10/75 étaient les suivantes:

Dosages effectués régulièrement	p p m	Dosages demandés dès le 17/7/1975 ***	p p m
Cl ⁻	5200	Na	5150
HCO ₃	1500	K	520
CO ₃ ²⁻	2250	{ B Mn Jn Cu Mo V Cr Ni Co Ti W	**
* N(NO ₃)	18,5		0,1
N org. et ammoniacal	22,1		A ₅ { 0,41
S O ₄ ²⁻	460		0,064
* P O ₄ ³⁻	70,7		**
* Fe ⁺⁺	0,30		**
* Ca ⁺⁺	10,90		**
* Mg ⁺⁺	8,35		B ₈ { 0,009
			0,016
			**
		**	
pH= 10 à 22°C			
Salinité totale= 20,4 g/l			

- * ions ajustés régulièrement
- ** dosages non encore effectués
- *** résultats reçus le 13/11/75

A₅ et B₈= Oligo éléments indiqués par ARNON D.I. (1958)
Amer. Jour. Bot 25 332-25

La concentration en algues varie de 60 à 170 ppm, selon l'en-
droit et la stratification. Les algues peuvent s'accumuler à la sur-
face en formant des plaques, de superficie et d'épaisseur variable,
qui se déplacent au gré des vents.

Estimation de la croissance journalière

Une estimation de la croissance a été effectuée sur une pério-
de de 66 jours du 8/8/75, date à laquelle le bassin de 10 hectares
a été isolé, jusqu'au 13/10/75 de la manière suivante:

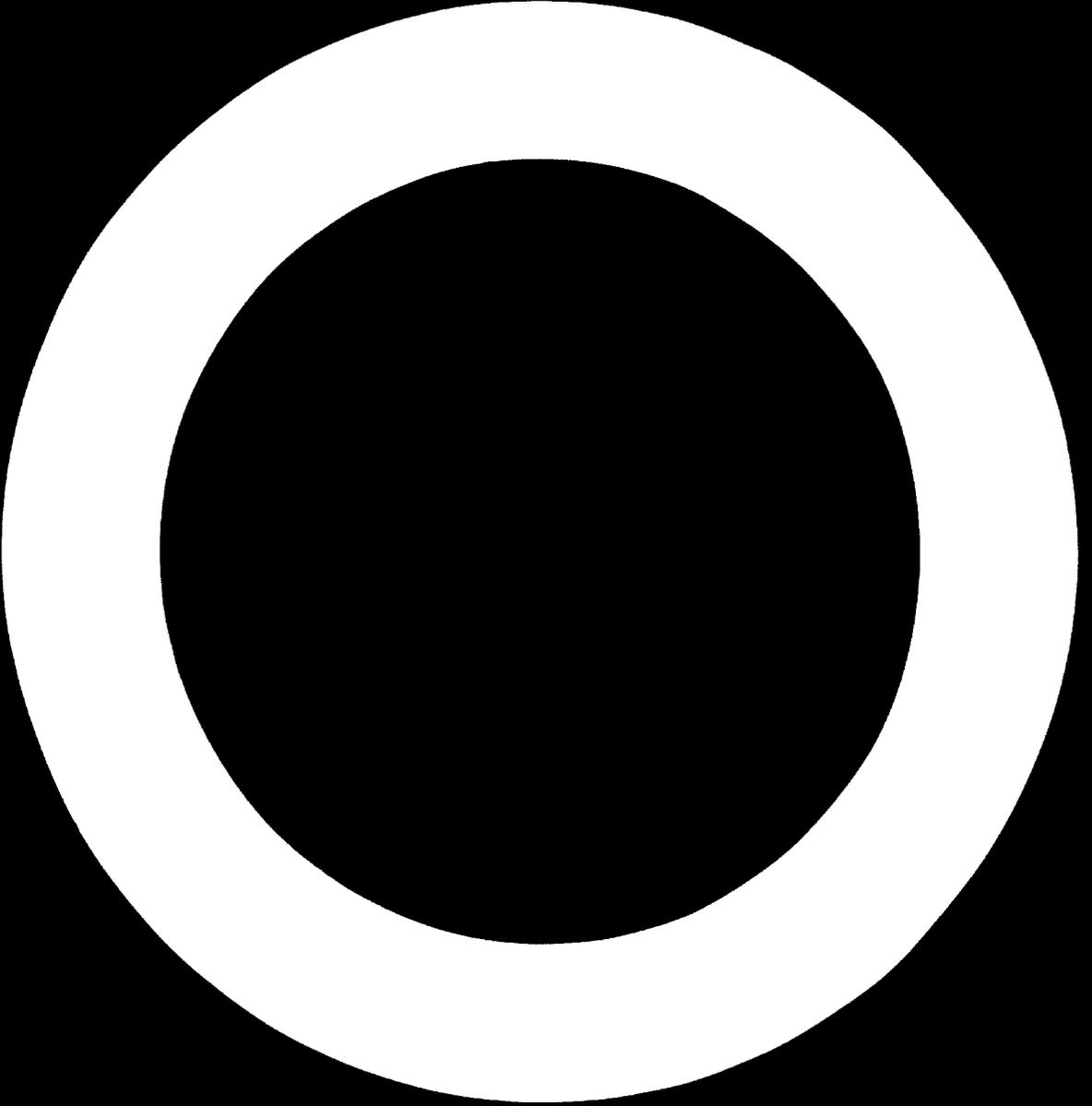
Concentration algale moyenne au 8/8/75	117 mg algues sèches/l
Concentration algale moyenne au 13/10/75	129 mg algues sèches/l

Durant cette période, la température moyenne du bassin a été
de 18° C et la production estimée du bassin d'environ 65000 kgs qui
se décomposent comme suit:

- Production d'algues sèches	49630 kgs
- Pertes estimées à 30% de la production en algues sèches	14890
- Différence entre la concentration initiale et finale du bassin de 10 hectares	<u>980</u>
Production totale	65500 Kgs

Soit une croissance journalière moyenne de l'ordre de 0,9 g/m².

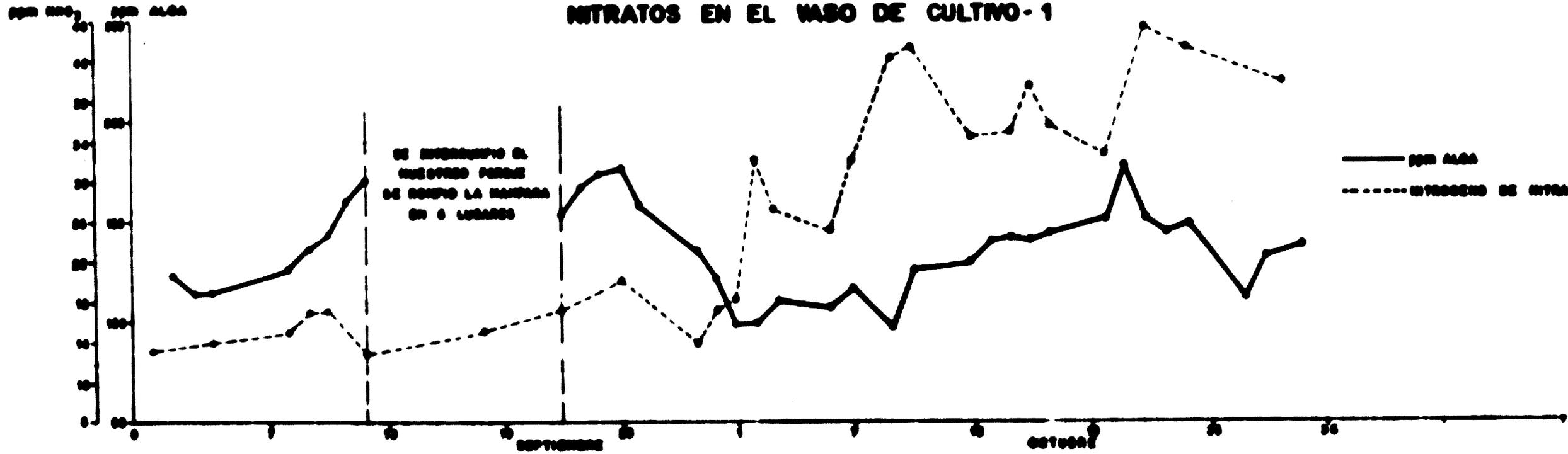
Dans ces conditions, et sous réserve de réaliser l'investissement nécessaire, le potentiel de production des bassins A₁, A₂, et A₃ (500 hectares) de SOSA TENCOCO serait de 50 tonnes/jour durant une bonne partie de l'année.



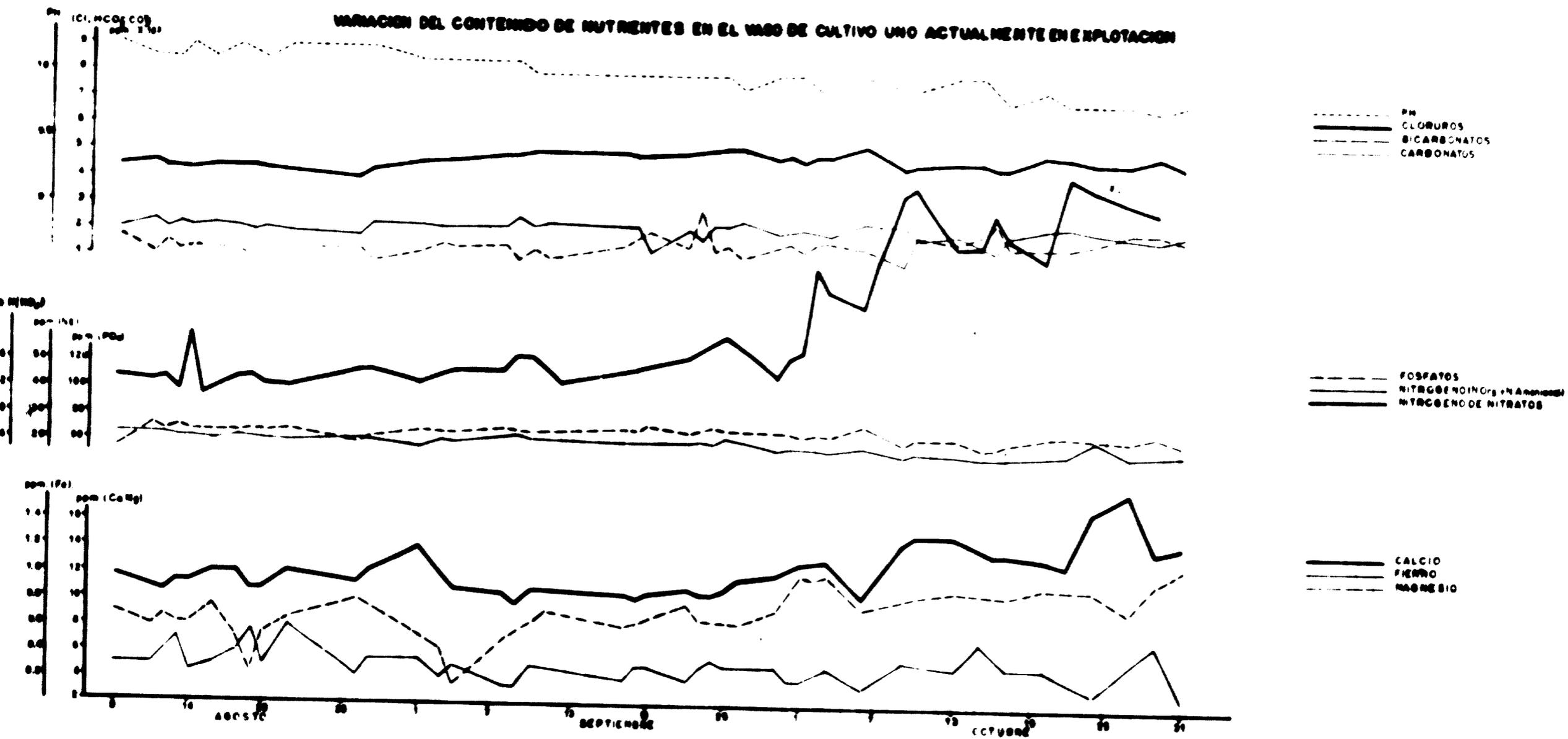
ESTRATIFICACION VERTICAL EN EL VASO DE CULTIVO - 1



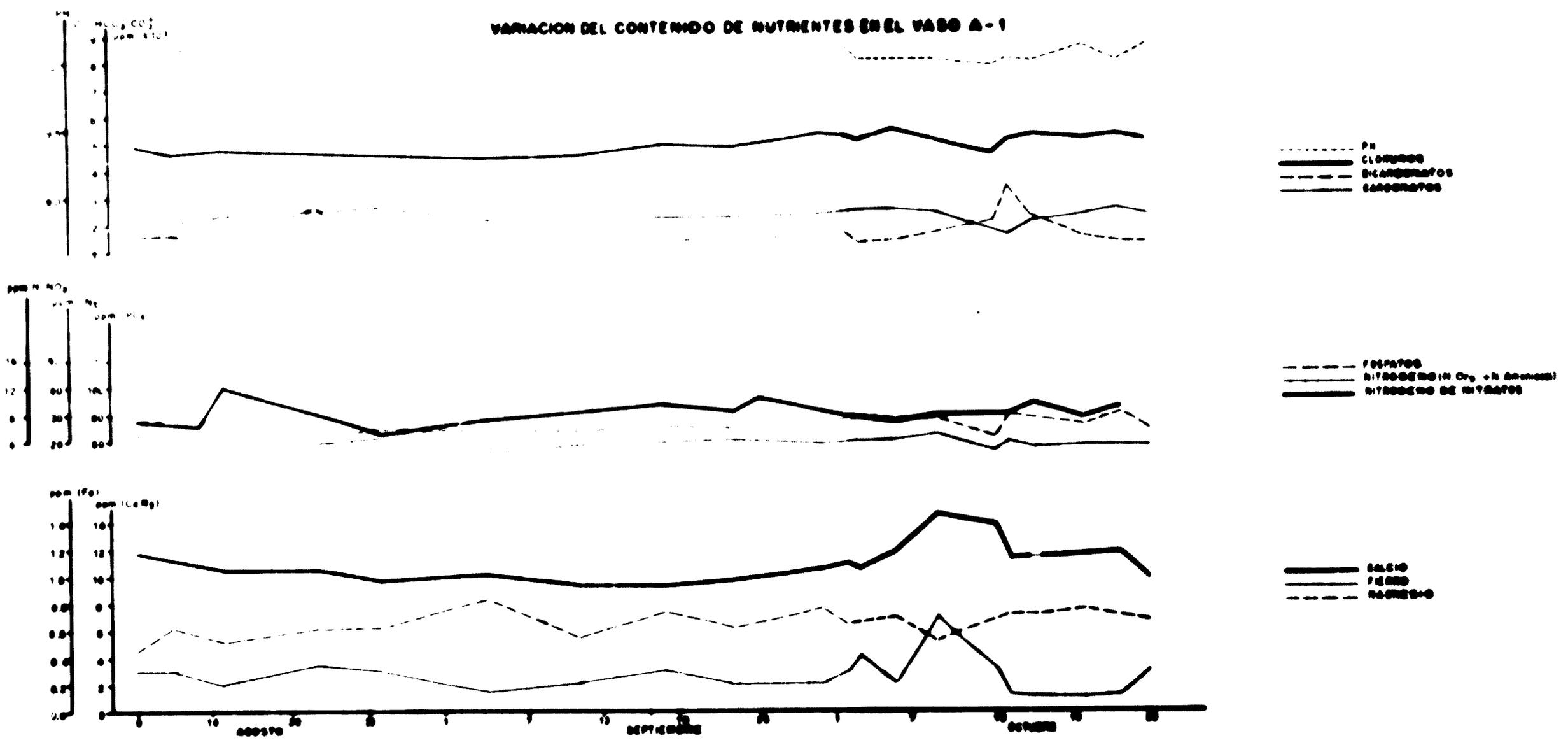
VARIACION DE LA BIOMASA CON RESPECTO AL CONTENIDO DE NITROGENO NITRATOS EN EL VASO DE CULTIVO-1

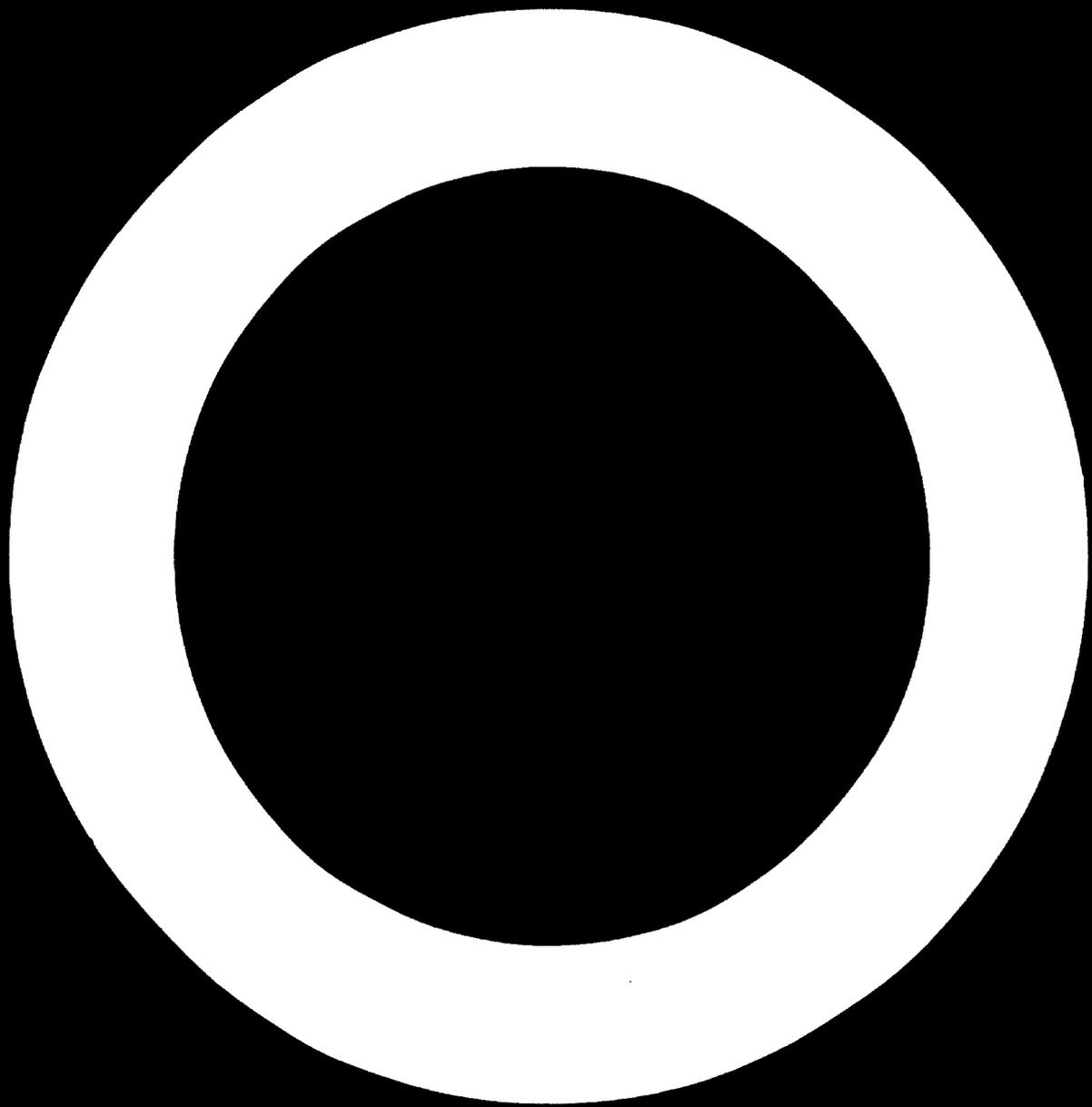


VARIACION DEL CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL VASO DE CULTIVO UNO ACTUALMENTE EN EXPLOTACION



VARIACION DEL CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL VASO A-1





L'HOMOGENEISATION

Le but recherché était d'obtenir une homogénéisation par la mise en circulation du bassin de culture, car sans homogénéisation:

- La diffusion des éléments nutritifs est lente
- L'augmentation locale de la concentration nous expose à la formation de plaques d'algues qui se décomposent et polluent le bassin.
- La saumure revenant des filtres (12000 à 18000 m³/jour) dilue la zone de déversement qui de ce fait peut se trouver à une concentration inférieure à la concentration C_A (voir annexe 8), donc dans une période de latence.
- La concentration en algues à la station de pompage peut diminuer jusqu'à 60% de sa valeur initiale lorsque le vent souffle en sens contraire du courant créé par celle-ci.

Les essais ont consisté en l'utilisation des moteurs hors-bord disposés à 10 et 30 mètres d'une paroi de manière à ce que le courant produit soit parallèle à celle-ci. Les figures 1, 2, 3 et 4 montrent l'emplacement des moteurs dans le bassin ainsi que la forme des courants obtenus en fonction de leur nombre et de la proximité d'une paroi. Les courants obtenus sont fonction de la durée de marche des moteurs.

Essais avec hélices de vitesse

Les essais ont consisté en l'utilisation de deux moteurs hors-bord, dont les caractéristiques sont les suivantes:

Marque	Johnson
Puissance	20 cv
Régime maximum	5500 tour/mn
Réduction	12/21
Diamètre de l'hélice	9 pouces
Nombre de pales	3
pas	10 pouces

Durant toutes les mesures le vent soufflait à une vitesse de 9,3 à 11,3 m/sec dans le sens contraire du courant.

Le courant produit présente les caractéristiques résumées dans le tableau 1 .

Outre une très bonne homogénéisation obtenue sur une largeur d'environ 40 mètres, capable de désagréger les plaques d'algues en cours de formation, le volume d'eau mis en mouvement est d'environ 6000 m³. Les moteurs étant à poste fixe, la vitesse du courant obtenue à leur régime maximum n'est pas celle pour laquelle ce type d'hélice a été calculée et elles cavitent par moment, avec déperdition d'énergie.

Essais avec hélice de traction

L'essai a consisté en l'utilisation d'un seul moteur hors-bord dont les caractéristiques sont les suivantes:

Marque	British Sea Gull
Puissance	6,5 cv
Régime maximum	4000 tour/mn
Réduction	12/48
Diamètre de l'hélice	28 cm
Nombre des pales	5
pas	-

Les résultats obtenus avec ce moteur placé à 10 mètres de la paroi (fig. 4 position 1) et utilisé aux 3/4 de son régime maximum, car pratiquement neuf, sont résumés dans le tableau 2.

On obtient une très bonne homogénéisation sur une largeur de 8 à 10 mètres. Le volume d'eau mis en mouvement est d'environ 2000 m³ et l'hélice ne cavite pas.

Essais comparatifs d'une pompe et d'un moteur hors-bord

Moteur hors-bord utilisé:	Marque	Johnson
	Puissance	4 cv
	Régime maximum	4500 tour/mn
	Réduction	12/25
	Diamètre de l'hélice	7 1/2 pouces
	pas	6 pouces
	Nombre des pales	3

Pompe centrifuge utilisée:

Marque	BARNES
Débit	88 m³/h
Moteur électrique	15 cv
Vitesse de rotation	1450 tour/mn

Canalisations:

Diamètre	3 pouces
Longueur côté aspiration	6 m
Longueur côté refoulement	10 m

Le tableau 3 résume les résultats obtenus dans un bassin de 70 à 75 cm de profondeur et 100 m² de superficie.

TABLEAU 1

VITESSES OBTENUES APRES 1h40 DE MARCHE DES MOTEURS

Distance des Moteurs	90 m		120 m		150 m		175 m	
	F	S	F	S	F	S	F	S
Distance de la paroi								
10 m **	122	145	52	37	52	24	39	*
20 m	159	145	49	69	33	33	20	*
30 m **	83	145	63	26	18	54*	18	*

F = Vitesses obtenues à 15 cm du fond, exprimées en mm/sec

S = Vitesses obtenues à 15 cm de la surface, exprimées en mm/sec

Profondeur totale = 85 cm

* = Courant de sens contraire du au vent

** = Lors du rapport préliminaire les données correspondantes aux mesures effectuées à 10 et 30 m ont été inversées par suite d'une erreur de transcription.

TABLEAU 2

VITESSES OBTENUES APRES 1h40 DE MARCHE DU MOTEUR

Distance du moteur	75 m		90 m		150 m		175 m	
	F	S	F	S	F*	S	F*	S
Distance de la paroi								
5 m	76	103	54	95	50	86	36	86
10 m	88	70	54	93	69	86	43	88

Les vitesses sont exprimées en mm/sec

F = vitesses obtenues à 15 cm du fond

F* = vitesses obtenues à 30 cm du fond, le courant à 15 cm étant trop faible pour être mesuré

S = vitesses obtenues à 15 cm de la surface

Profondeur totale = 85 cm

TABLEAU 3

VITESSES OBTENUES EN FONCTION DU TEMPS DE MARCHE

Durée de marche	5'		10'		15'		30'	
	F	S	F	S	F	S	F	S
Moteur hors-bord	186	199	184	198	188	202	186	202
Pompe Barnes *	155	213	169	207	175	198	176	202

- F - Vitesses obtenues à 15 cm du fond, exprimées en mm/sec
 S - Vitesses obtenues à 15 cm de la surface, exprimées en mm/sec
 * = Homogénéisation arrêtée après 2 heures, environ 30% des algues ayant été rompues.

Dans tous les cas les mesures de vitesses ont été effectuées à l'aide d'un moulinet de marque A. OTT Type 2, dont l'enregistreur digital est déclenché par un système électromagnétique.

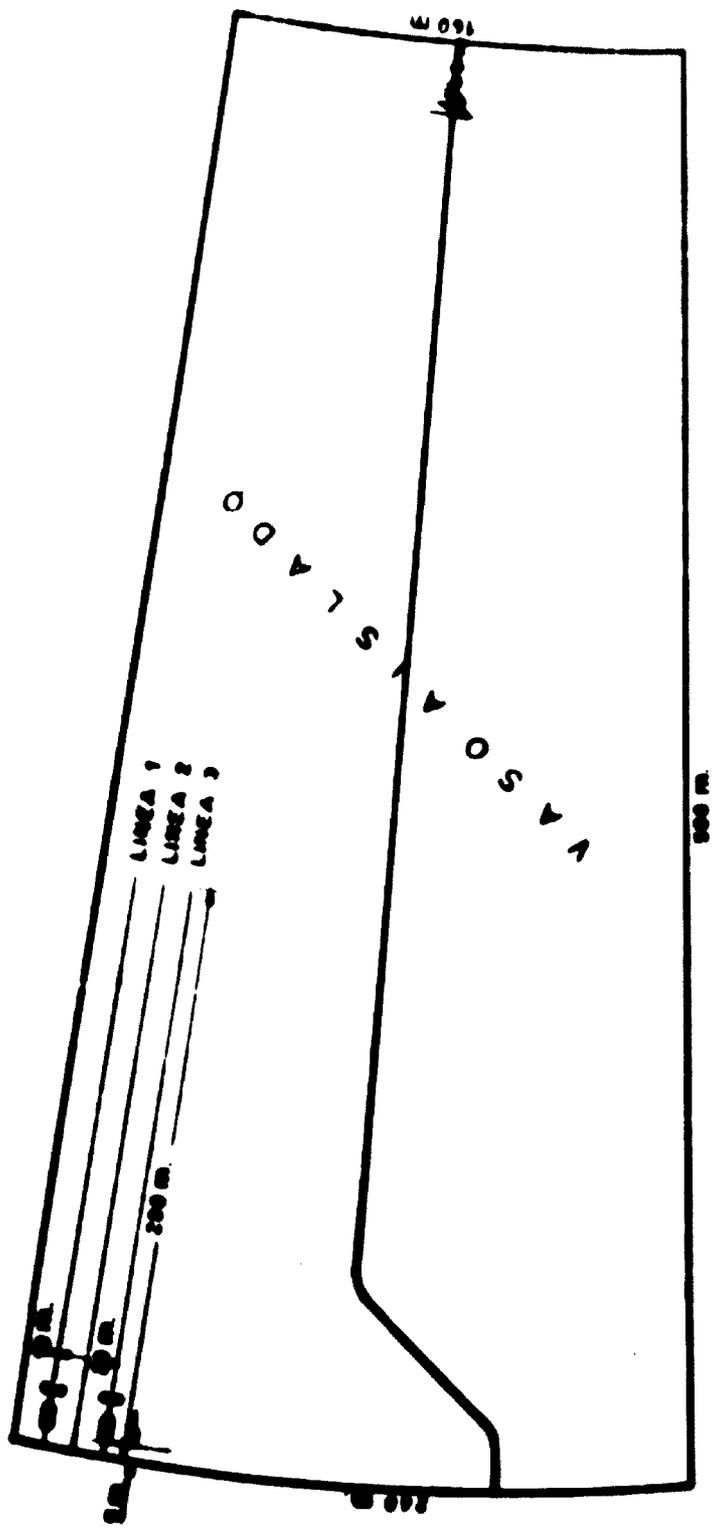
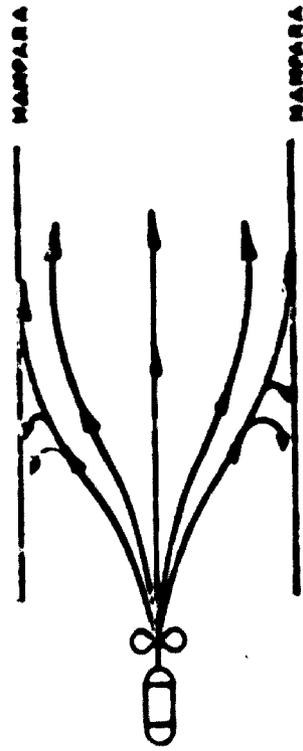


FIGURA 1

FLUJO CON MAMPARAS



FLUJO SIN MAMPARAS

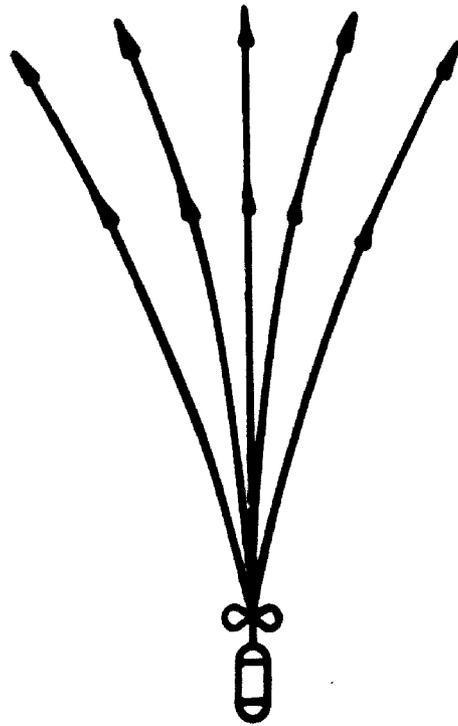


FIGURA 2

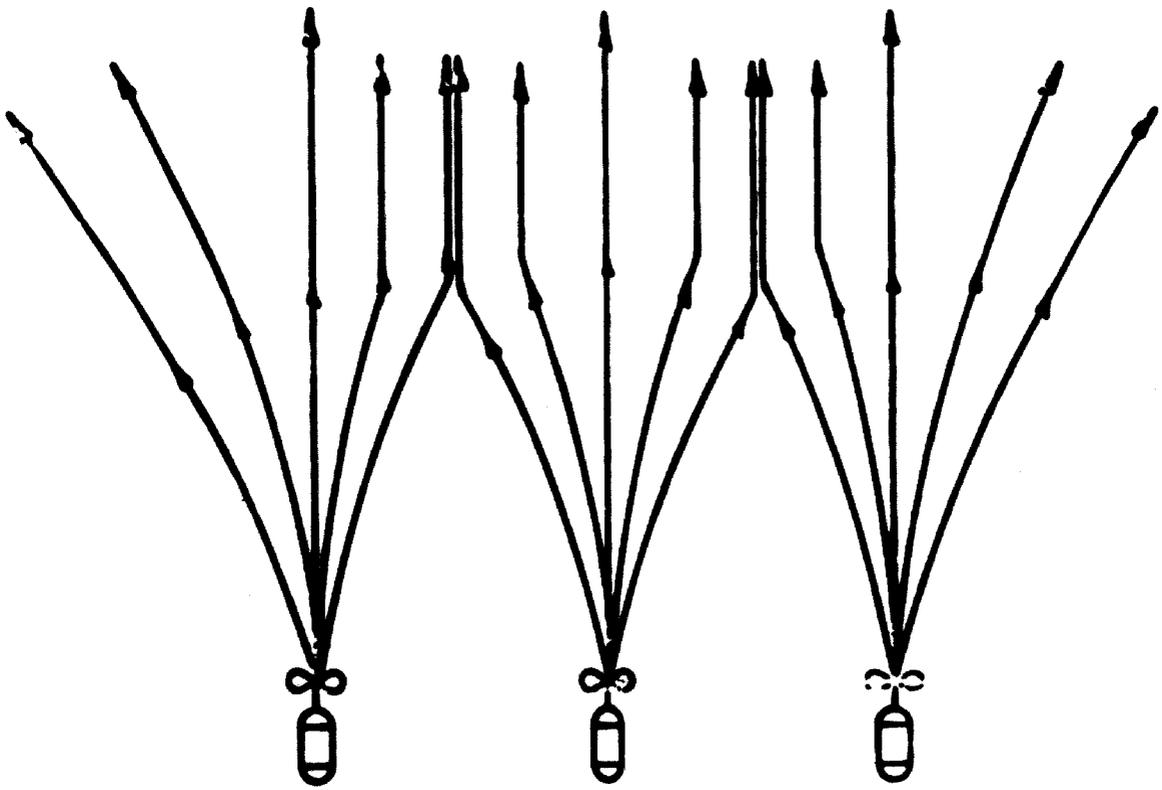


FIGURA 3

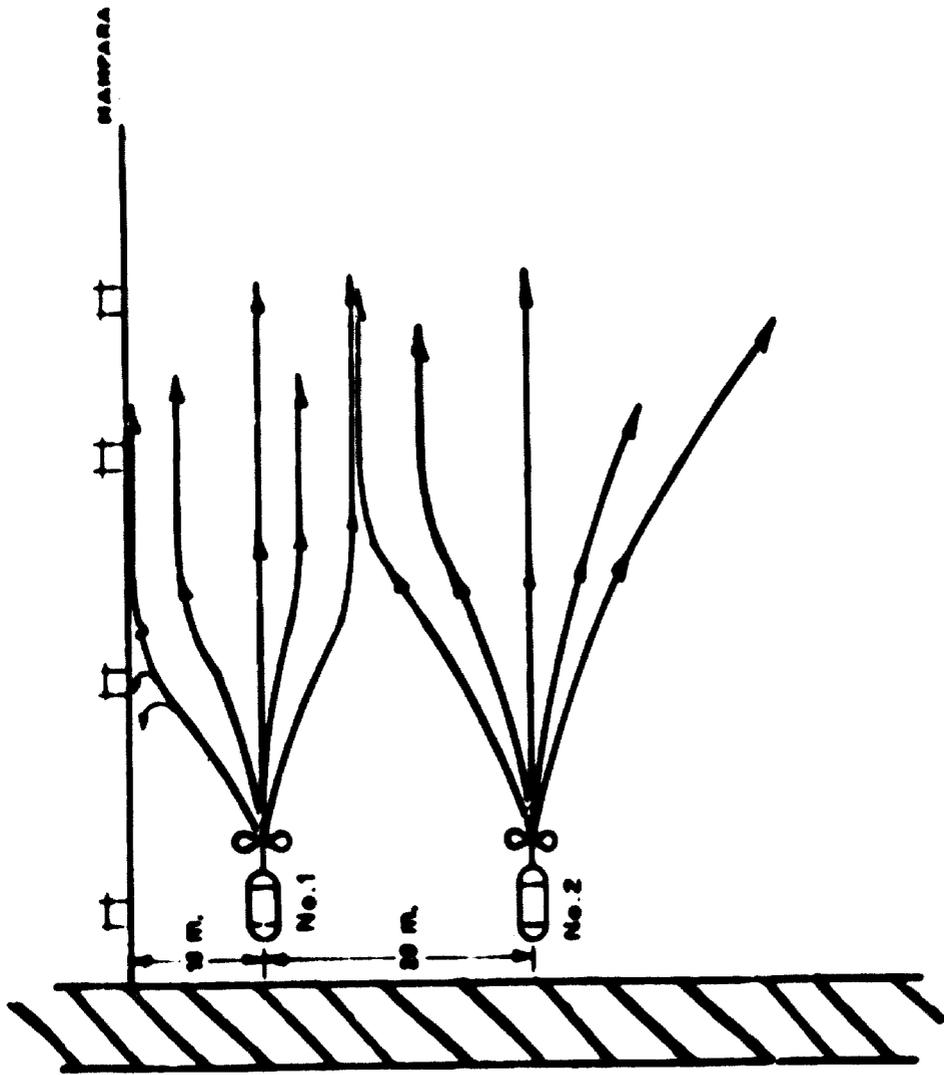


FIGURA 4

ZONA AISLADA DEL VASO A1 CON MAMPARAS PARA AUMENTAR LA HOMOGENEIDAD

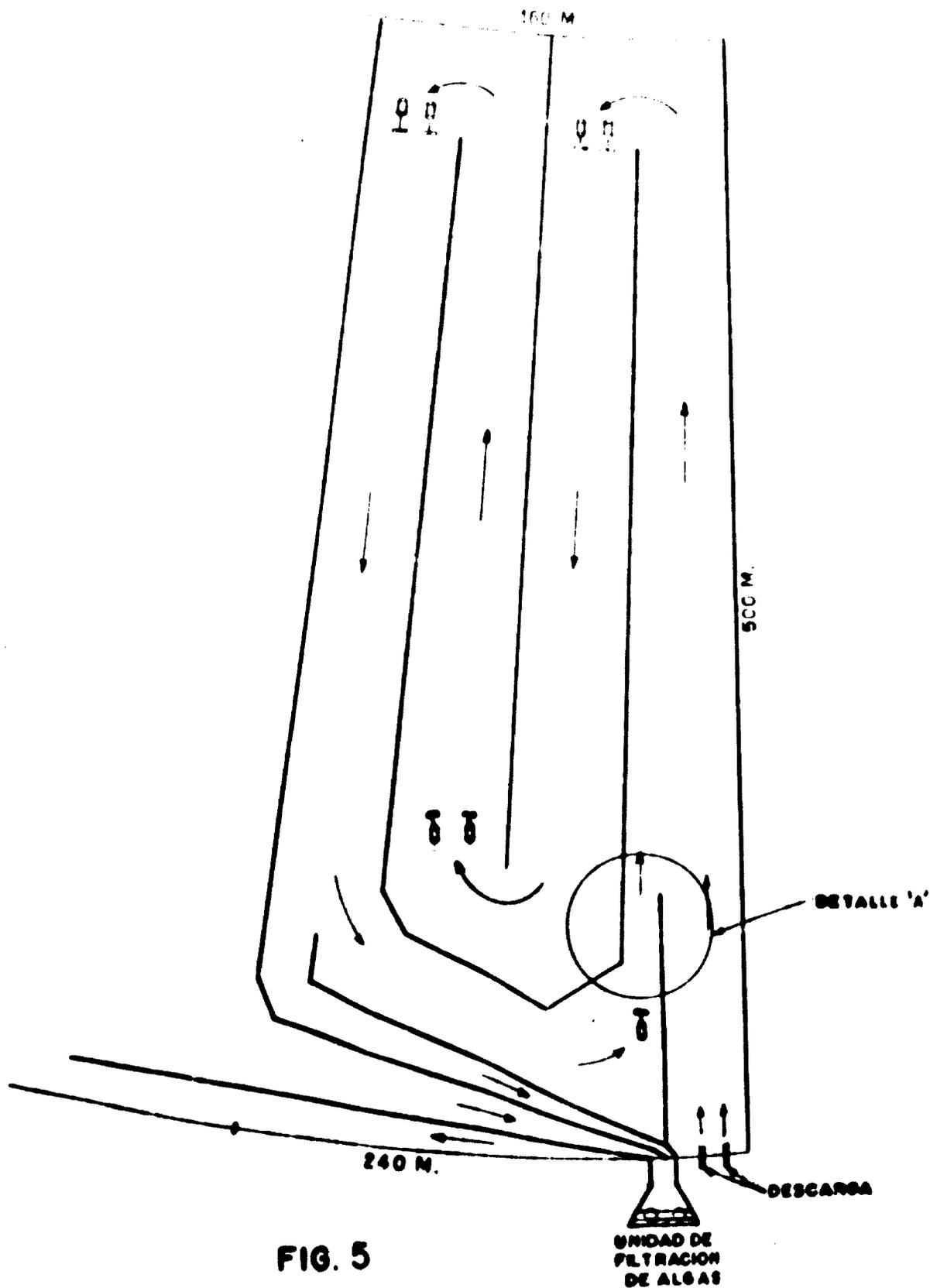
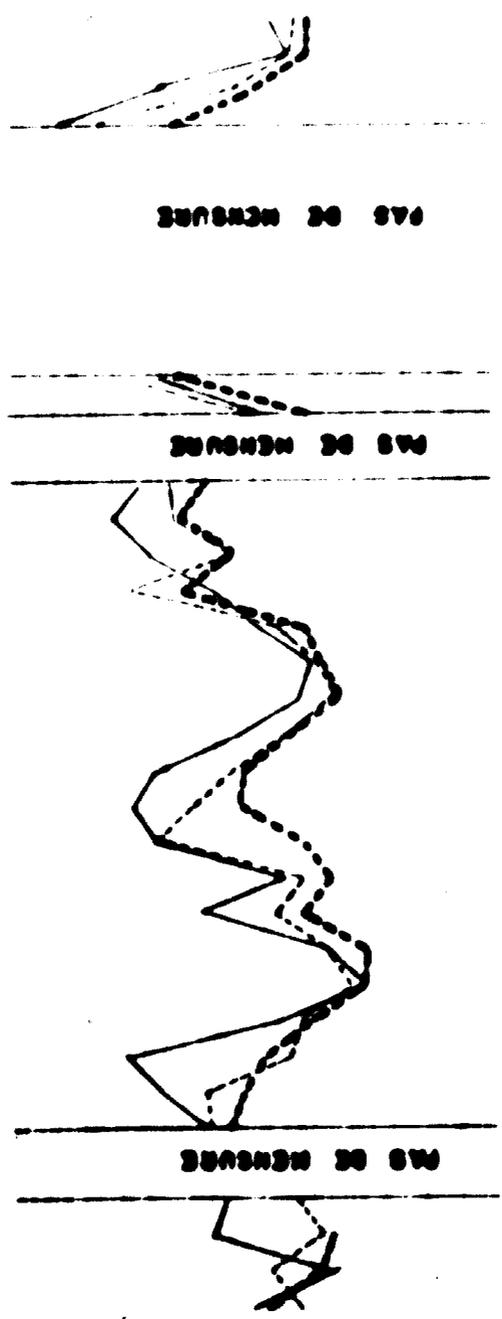


FIG. 5

TEMPERATURE DE LA ZONE DE 10 HECTARES

——— AMBIANTE
 - - - 10 CM.
 - - - 30 CM.

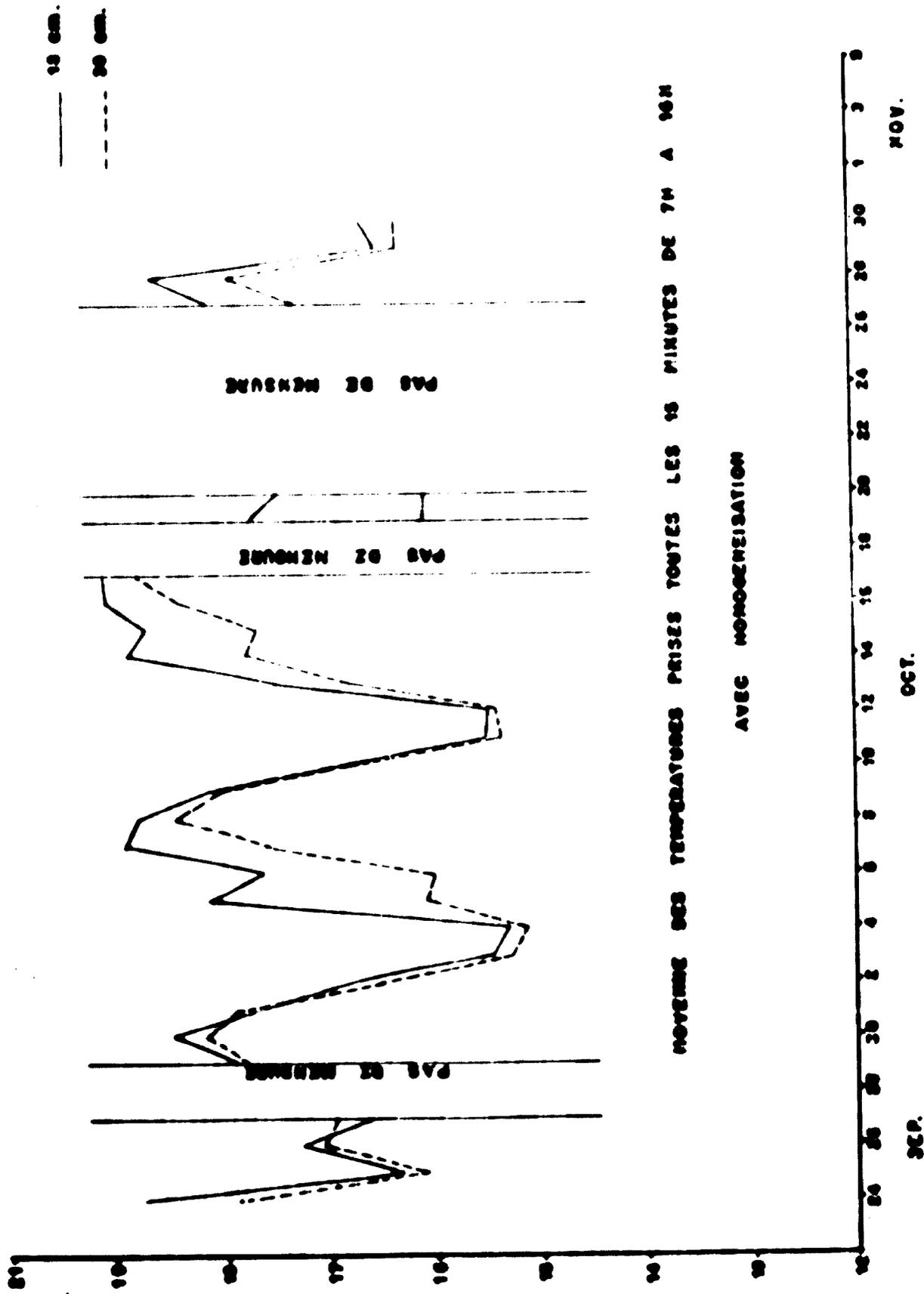


MOYENNE DES TEMPERATURES PRISES TOUTES LES 10 MINUTES DE 7H A 18H

SANS HOMOGENEISATION

30
 28
 26
 24
 22
 20
 18
 16
 14
 12
 10
 8
 6
 4
 2
 0

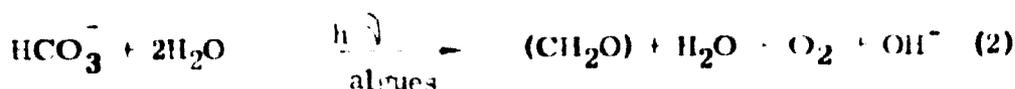
TEMPERATURE DE LA ZONE DE CARBURATION DE 100 m²



Annexe VII

LA CARBONATATION

La teneur de l'algue sèche en carbone étant de l'ordre de 43 à 50% en poids, l'apport de cet élément sous forme de CO_2 est indispensable à la bonne croissance d'après les réactions:



Par ailleurs la culture d'algues étant détruite ^à pH 11,3 environ, le CO_2 a pour rôle d'abaisser le pH, dont l'augmentation est due d'une part à la formation d'ions OH^- d'après la réaction (2) et d'autre part à l'assimilation de NO_3^- qui s'accompagne aussi d'un dégagement d'ions OH^- .

De plus les solubilités de certains éléments nutritifs, en particulier les carbonates et phosphates de Ca, Mg et Fe ont tendance à diminuer quand le pH augmente.

Pour essayer d'effectuer la carbonatation nous avons utilisé dans un cas un filtre à plan incliné et son espace sous-jacent et dans l'autre une tour à remplissage.

* SYRETT P.J. (1962)

Dans "Physical and Biochem of algae" chap. 10, 171 - 88
Levin R.A. ed Acad. Press.

1. Carbonatation effectuée au niveau des filtres à plan incliné

Les meilleurs résultats obtenus en régime continu avec l'appareil schématisé dans les figures qui suivent - sont résumés dans le tableau 1.

2. Carbonatation effectuée dans une tour à remplissage

Le liquide utilisé pour alimenter cette tour est celui revenant des filtres à plan incliné, l'alimentation en gaz se faisant à contre-courant. Le tableau 2 résume les résultats obtenus avec des mélanges de gaz semblables à ceux du tableau 1.

TABLEAU 1

CARBONATATION AU NIVEAU DES FILTRES A PLAN INCLINE

	CO ₂ alimenté en % volume			
	100	38	38	10
L = liquide l/mn	200	200	200	200
L' = liquide g/mn	203000	204522	204522	204522
G = gaz l/mn	14,2	76	46,7	165,6
G' = gaz g/mn	21,5	89,6	55,1	171,6
(Na ₂ CO ₃) initial en g mol/l	0,0415	0,0480	0,0480	0,0480
(NaHCO ₃) initial en g mol/l	0,0192	0,0345	0,0345	0,0345
L' / G'	9442	2283	3712	1192
CO ₂ alimenté g/mn	21,5	47,5	26,5	23,6
CO ₂ absorbé en %	98	77,7	84	31
CO ₂ absorbé en g/mn	21,1	36,9	22,3	7,31
CO ₂ absorbé en Kg/15000m ³ liq.	1583	2767,5	1657	548
pH initial	-	9,81	9,81	9,81
pH final	-	9,76	9,77	9,79
T ° du liquide en °C	19,5	17,5	17,5	17,5
durée de la réaction en sec.	4-5	4-5	4-5	4-5

Pression d'alimentation en CO₂/air = la pression atmosphérique

Pression de sortie du gaz du réacteur = la pression atmosphérique

Bases de calculs: $D_{air}^{20\text{ °C}}$ = 0,9867 g/l a 0,05 bars

$D_{air}^{17\text{ °C}}$ = 1,512 g/l a 0,05 bars

TABLEAU 2

CARBONATATION DANS UNE TOUR A REMPLISSAGE

	CO ₂ alimenté en % volume :		
	100	12,3	10
L = liquide l/mn	18,6	16,7	16,7
L' = liquide g/mn	18879	16950	16950
G = gaz l/mn	5,6	39,5	33,5
G' = gaz g/mn	8,7	41,6	40,05
(NaCO ₃) initial en g mol/l	0,0412	0,0393	0,0390
(NaHCO ₃) initial en g mol/l	0,0254	0,0295	0,0296
L' / G'	2170	407,5	423
CO ₂ alimenté en g/mn	8,7	7,3	5,77
CO ₂ absorbé en %	90,4	26,5	37,7
CO ₂ absorbé en g/mn	7,87	1,94	2,17
CO ₂ absorbé en Kg/15000 m ³ liq.	6350	1742	1950
pH initial	-	9,80	9,80
pH final	-	9,73	9,71
T ° du liquide en ° C	20,5	19,5	19,5
durée de la réaction en secondes	<u>72</u>	<u>80</u>	<u>80</u>

Pression d'alimentation en CO₂/air = 0.05 bars

Pression de sortie = la pression atmosphérique

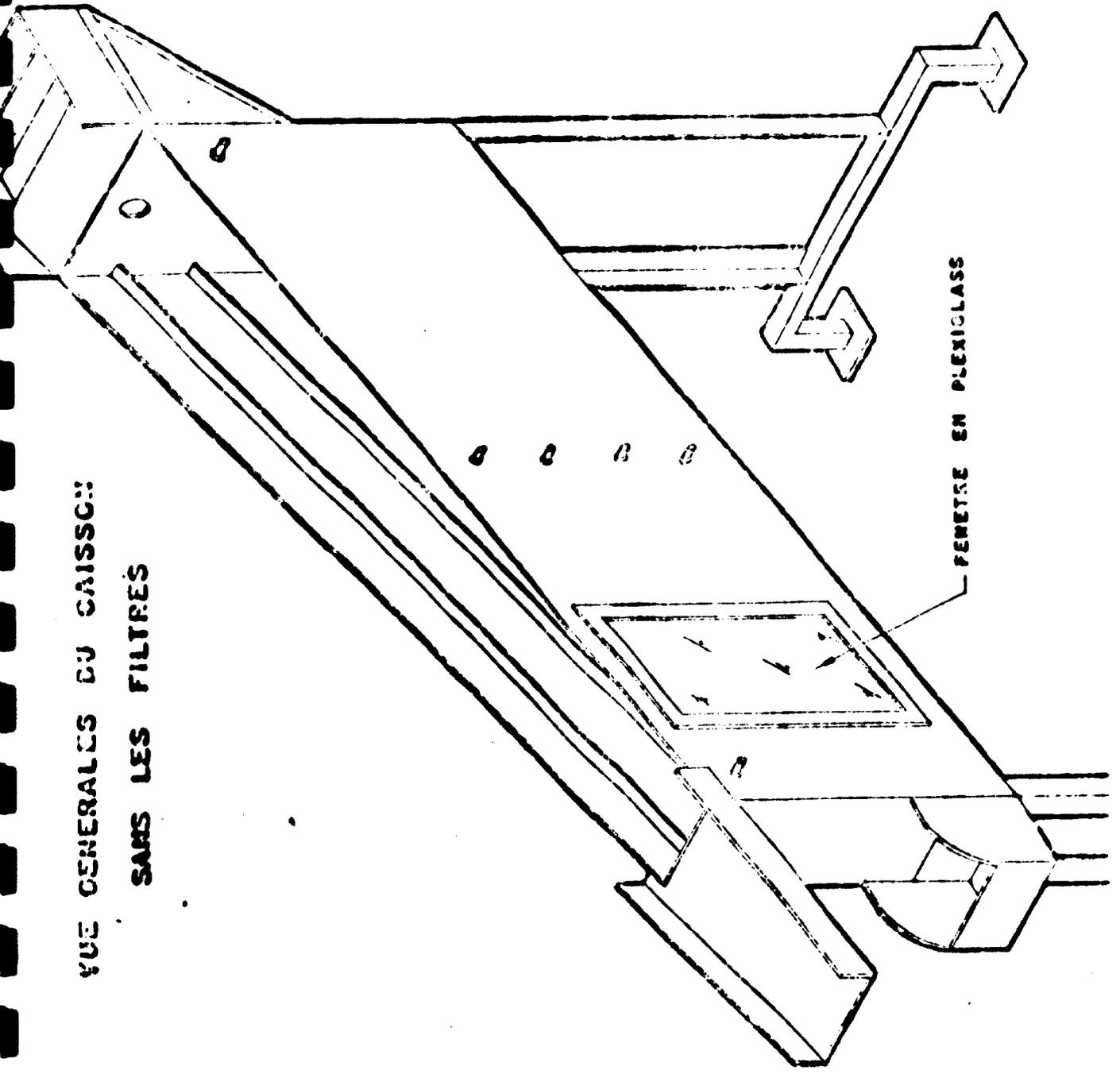
Bases de calculs: $D_{\text{air}}^{20^{\circ}\text{C}} = 0,9867 \text{ g/l a } 0.05 \text{ bars}$
 $D_{\text{air}}^{20^{\circ}\text{C}} = 1,512 \text{ g/l a } 0.05 \text{ bars}$

Les caractéristiques de la tour sont les suivantes:

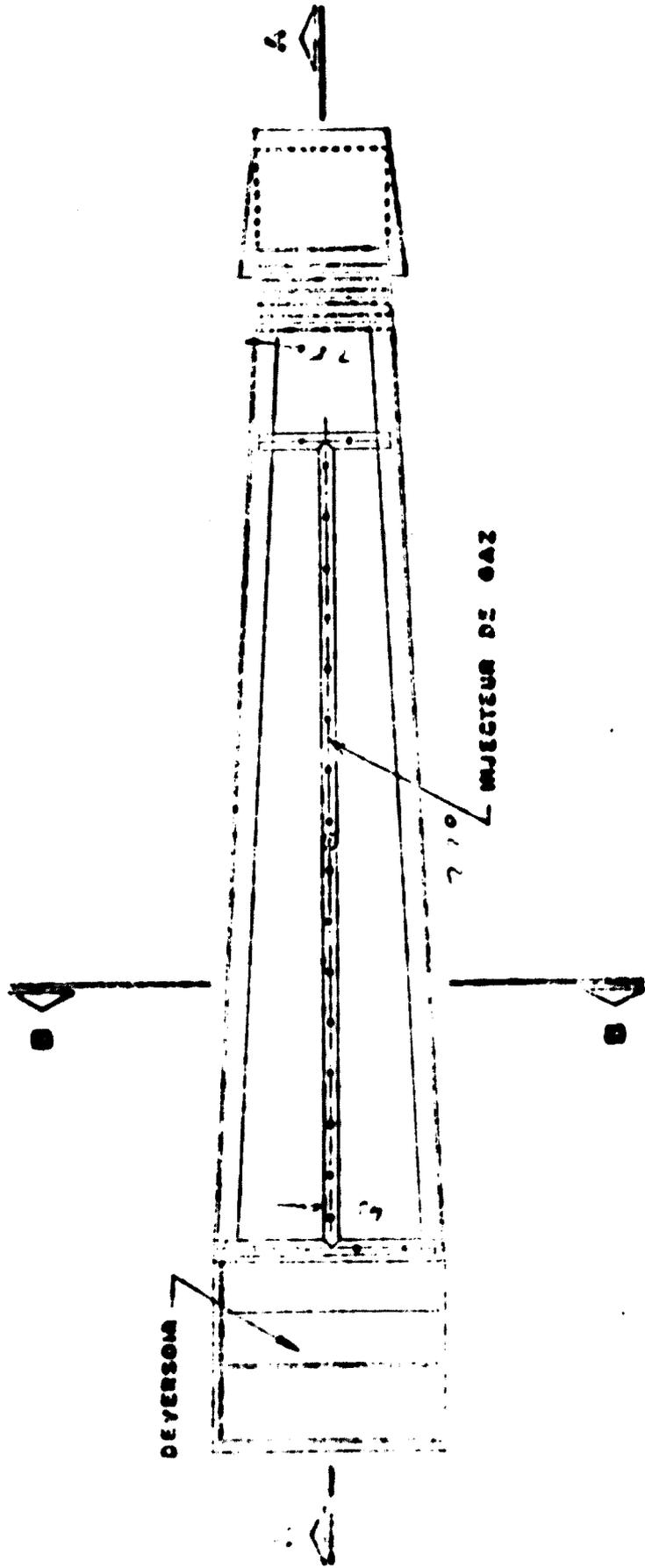
Hauteur	4 pieds
Diametre intérieur	6 pouces
Hauteur de remplissage	3 pieds
Remplissage	anneaux Rasching 3/4 pouce
Pression de travail	0,04 kg/cm ²

Dans tous les cas les mesures de l'absorption de CO₂ ont été effectuées a l'aide d'un appareil Orsat.

**VUE GÉNÉRALES DU CAISSON
SANS LES FILTRES**



VUE DE DESSUS DU CAISSON
SANS LES FILTRES



ALIMENTATION
DU LIQUIDE

SORTIE
GAZ

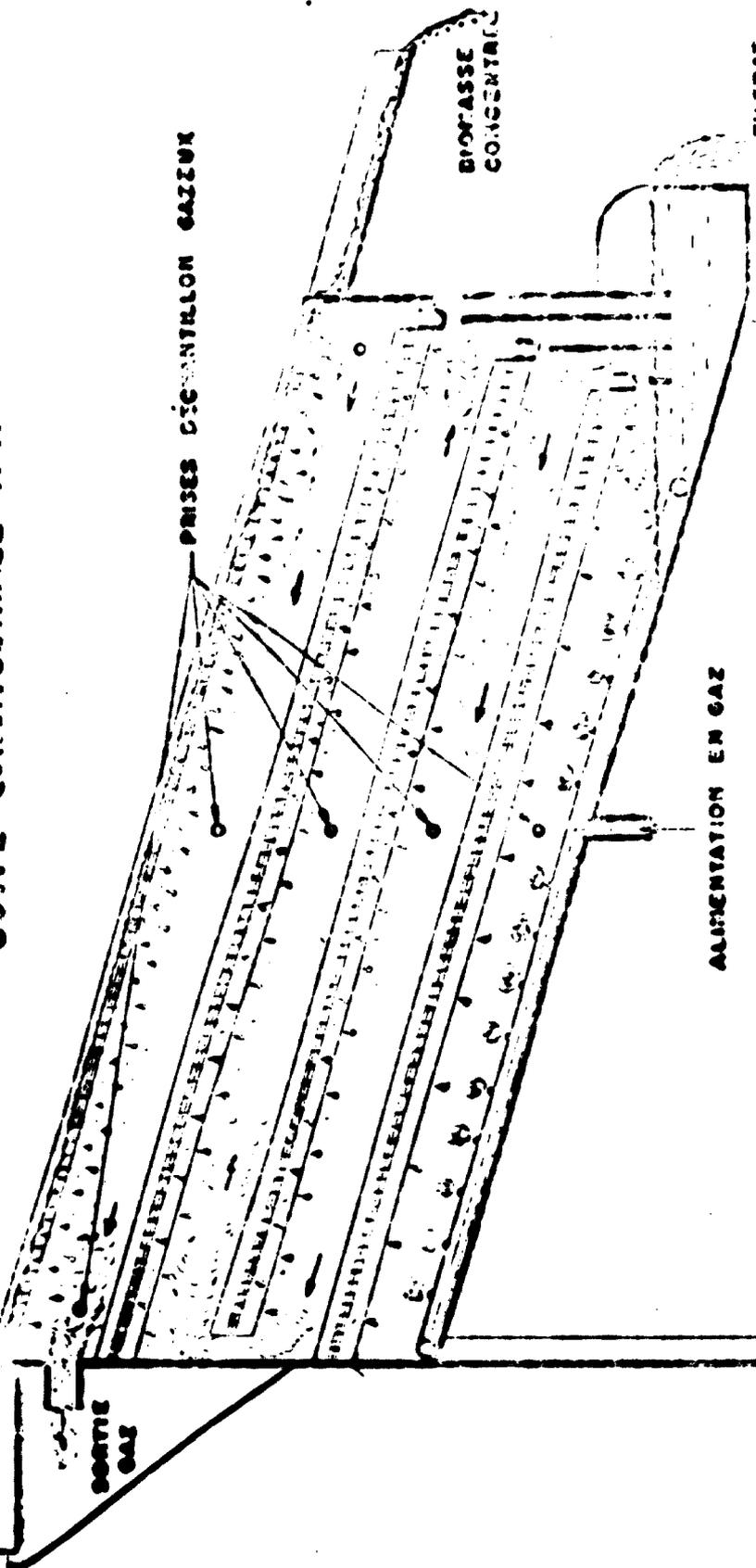
COUPE LONGITUDINALE A-A

PRISES D'ENTRÉE EN GAZ

BIOFASSE
CONCENTRÉE

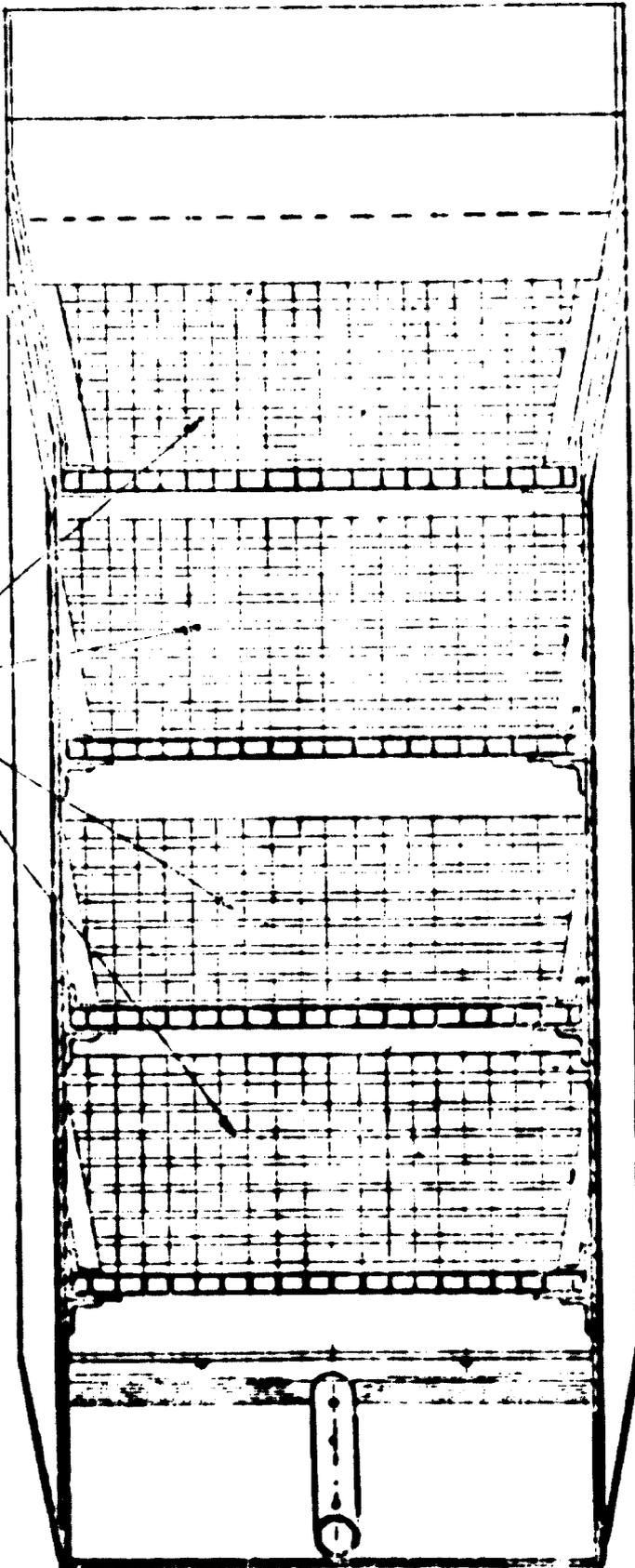
ALIMENTATION EN GAZ

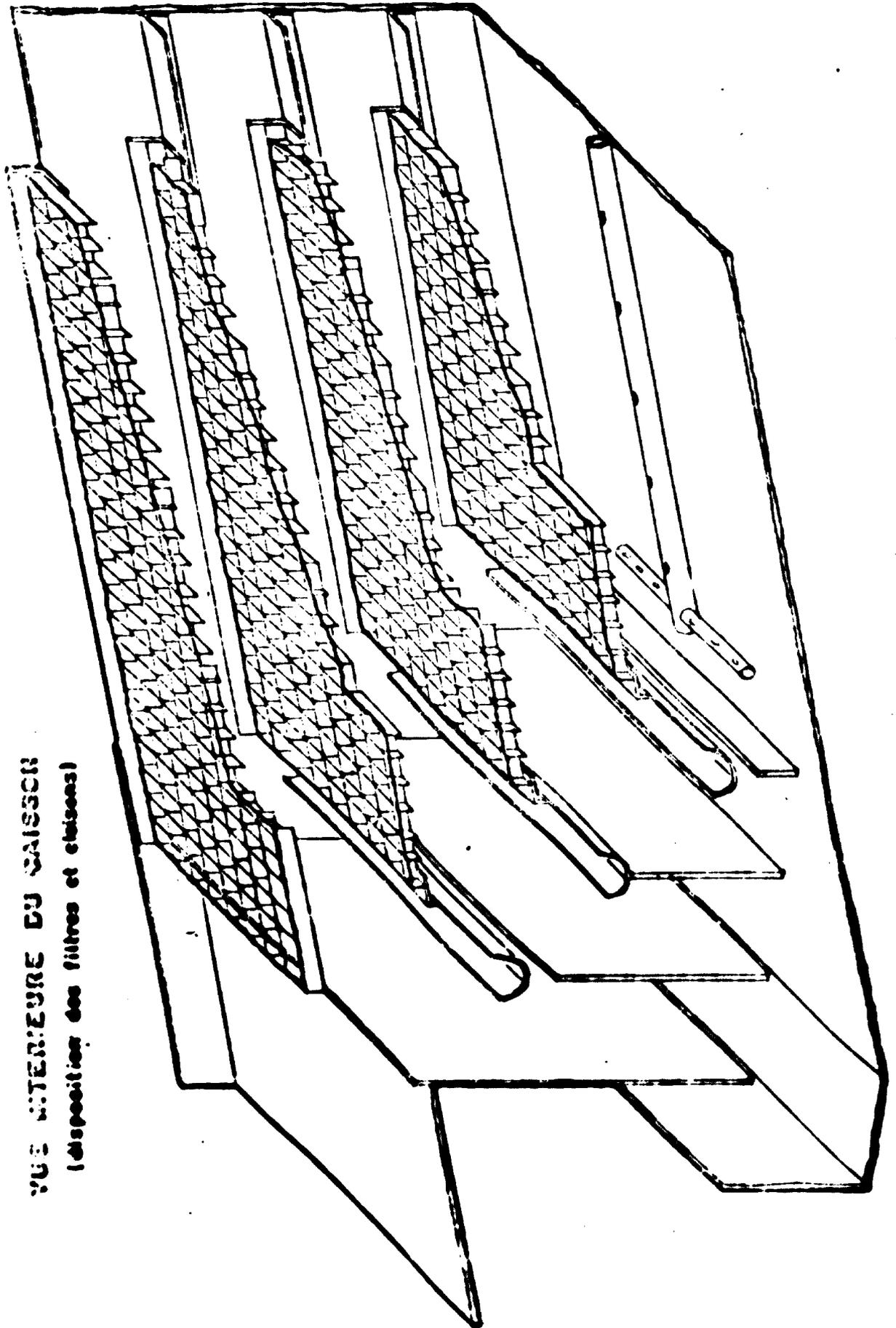
FILTRAT
CARBONÉ



COUPE 2-3

FILTRES



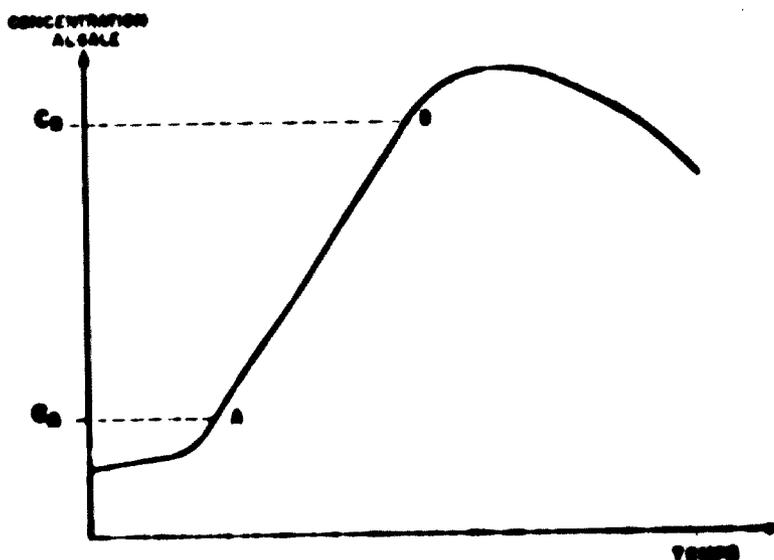


VUE INTERIEURE DU CAISSON
(disposition des filtres et cloisons)

Annexe VIII

LA CONCENTRATION ALGALE

Cette concentration conditionne directement la production et les dimensions de l'unité de récolte, c'est à dire les investissements et les frais de fonctionnement. La courbe théorique de croissance d'une culture de spirulina maxima à la forme suivante:



Le domaine de croissance linéaire entre C_A et C_B dépend des conditions de culture.

Dans notre cas, ces concentrations sont assez difficiles à déterminer, les conditions météorologiques étant changeantes. Néanmoins, on peut d'ores et déjà dire que, sans homogénéisation les concentrations

C_A et C_D se situent respectivement aux alentours de 70 - 80 ppm et de 270 - 300 ppm en algue sèche par litre. A des concentrations inférieures à celles indiquées, l'algue sédimente tandis qu'au voisinage des concentrations supérieures, on constate la formation des nombreuses plaques qui s'accompagnent aussi d'une sédimentation d'algues.

Annexe IX

ESTIMATION DU PRIX DE REVIENT D'UNE TONNE D'ALGUES

SPIRULINES PRODUITE A SOSA TEXCOCO, S.A.

I. BASES DE CALCUL

1.1.	Jours de travail	122	
1.2.	Production totale en Kg	99255	Kgs
1.3.	Moyenne journalière (3x8 heures) en Kg	813,5	Kgs
1.4.	Investissement fixe en pesos	3300000	\$

II. COUT DIRECT

2.1.	<u>Eléments nutritifs (sels, sauf NaHCO₃)</u>	3567	\$
2.2.	<u>Salaires: départements production et recherche</u>		
	17 ouvriers	2221	\$
	13 ingénieurs	2675	\$
2.3.	<u>Entretien:</u>		
	main d'oeuvre + matériel, estimés d'après les facturations des ateliers d'électricité et mécanique	2000	\$
2.4.	<u>Fournitures 15% de l'entretien</u>	431	\$
2.5.	<u>Les utilités</u>		
	Eau 230 m ³ / tonne	402	\$
	Electricité 1635 kWh/tonne	441	\$
	Vapeur 10 tonnes / tonne	322	\$
		137766	\$

III. COUT INDIRECT

3.1.	<u>Charges sociales</u> 48% de 2.2.	2830	\$
3.2.	<u>Amortissement</u> 35% par an de 1.4.	3486	\$
3.3.	<u>Assurances</u> 3/1000 de 1.4. par tonne jour	33	\$
3.4.	<u>Frais de commercialisation</u>	2000	\$
		<hr/>	
		8349	\$
	T O T A L	<u>22104</u>	pesos

Soit un prix de revient de 22,1 pesos/kg, prix actualisé au 1/12/75.

Annexe X

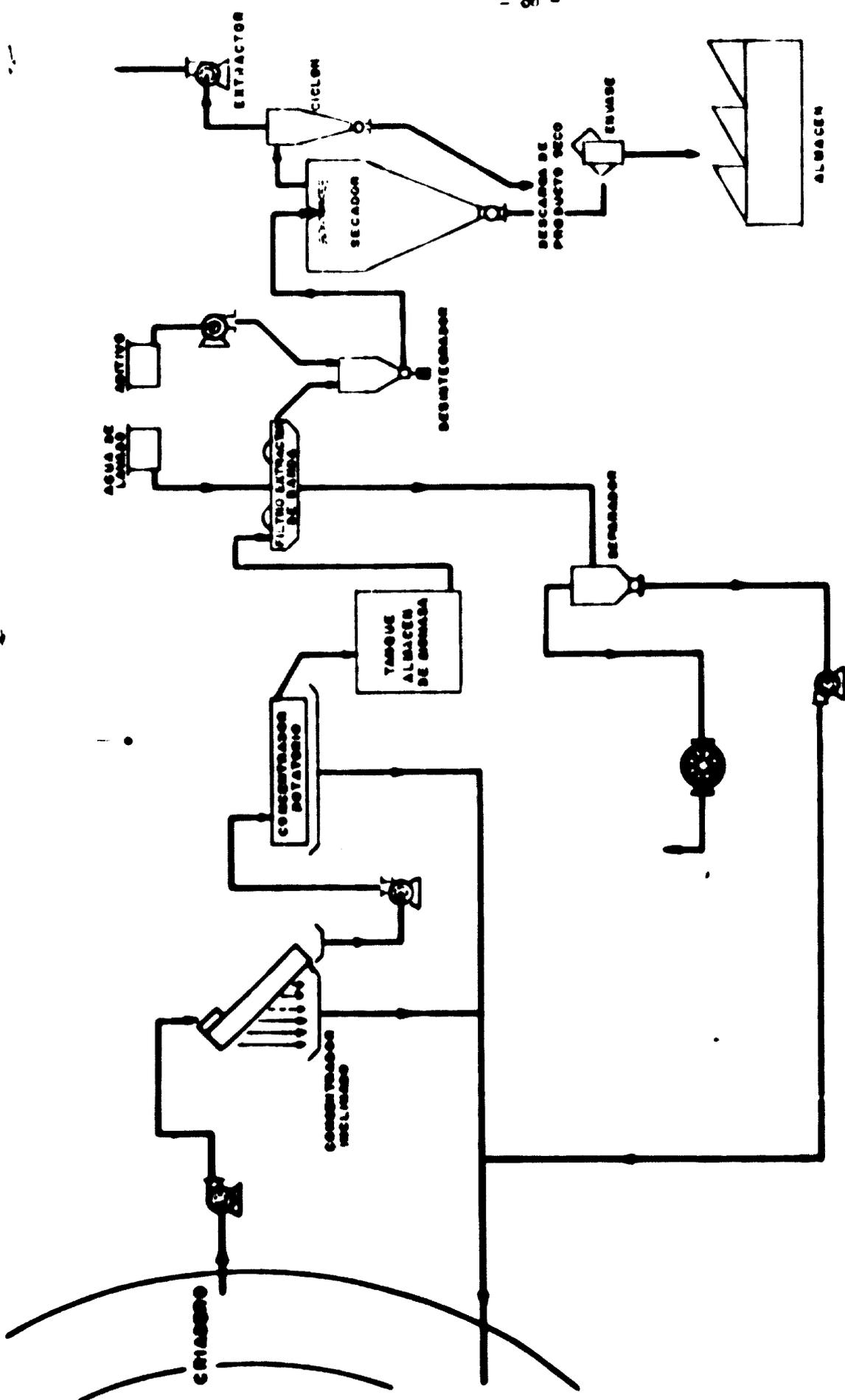
ESTIMACION PRELIMINAR DEL COSTO FISICO DE LA PLANTA DE S/T/D DE SERPULINA

1	<u>Costo de Adquisición de Equipo</u>		
1.1	Acondicionamiento de 5 vasos de 10 Has. cada uno, con láminas de fibra de vidrio y asbesto, - - - - -	\$	750 000,00
1.2	Bombas verticales con motores, para manejo de biomasa inicial y licores filtrados, - - - - -	"	1 100 000,00
1.3	Preconcentradores (tamices inclinados y rotativos), - - -	"	1 100 000,00
1.4	Filtro de banda, incluyendo motores y bomba de vacío, -	"	2 500 000,00
1.5	Secadores tipo Spray, - - - - -	"	10 000 000,00
1.6	Desintegrador, - - - - -	"	290 000,00
1.7	Envasadora y montacargas, - - - - -	"	400 000,00
2	Instalación y montaje, - - - - -	"	4 850 000,00
3	<u>Tuberías y accesorios, - - -</u>		
3.1	Criadero, - - - - -	"	1 310 000,00
3.2	Preconcentración, - - - - -	"	500 000,00
3.3	Filtración y secado, - - - - -	"	400 000,00
			<u>\$ 16 140 000,00</u>
			" 4 850 000,00
			" 2 210 000,00

4	<u>Instalaciones eléctricas</u>		
4.1	Subestación, incluyendo líneas de transmisión,	\$ 1 500 000,00	
4.2	Alumbrado, - - - - -	" 150 000,00	\$ 1 650 000,00
5	Acondicionamiento de terrenos, - - - - -	" 200 000,00	" 200 000,00
6	Cimentaciones, cárcamos, estructuras, soportes y plataformas, - - - - -	" 2 000 000,00	" 2 000 000,00
7	<u>Edificios</u>		
7.1	Planta, - - - - -	" 4 000 000,00	
7.2	Almacén, - - - - -	" 500 000,00	" 4 500 000,00
8	Costos de arranque, otros gastos e imprevistos, - - - - -	" 3 000 000,00	" 3 000 000,00

COSTO TOTAL FISICO DE LA PLANTA: -

" 34 550 000,00
 =====



SOSA TEXCOCO, S. A.

PLANTA DE S/D DE ALGA SPHULLA
 DIAGRAMA DE FLUJO

Annexe XI

FACTEURS INFLUENCANT LA QUALITE DU PRODUIT FINI

Outre l'influence des éléments nutritifs et, de l'azote en particulier, ces facteurs sont essentiellement le réglage du filtre à bande, l'addition d'antioxydant et le mode de séchage.

1. Influence du réglage du filtre à bande.

La vitesse du filtre à bande doit être réglée en tenant compte de l'alimentation (débit et concentration), afin que le gâteau obtenu soit d'une épaisseur suffisante pour ne pas présenter de voies préférentielles à l'eau de lavage, tout en restant perméable à celle-ci.

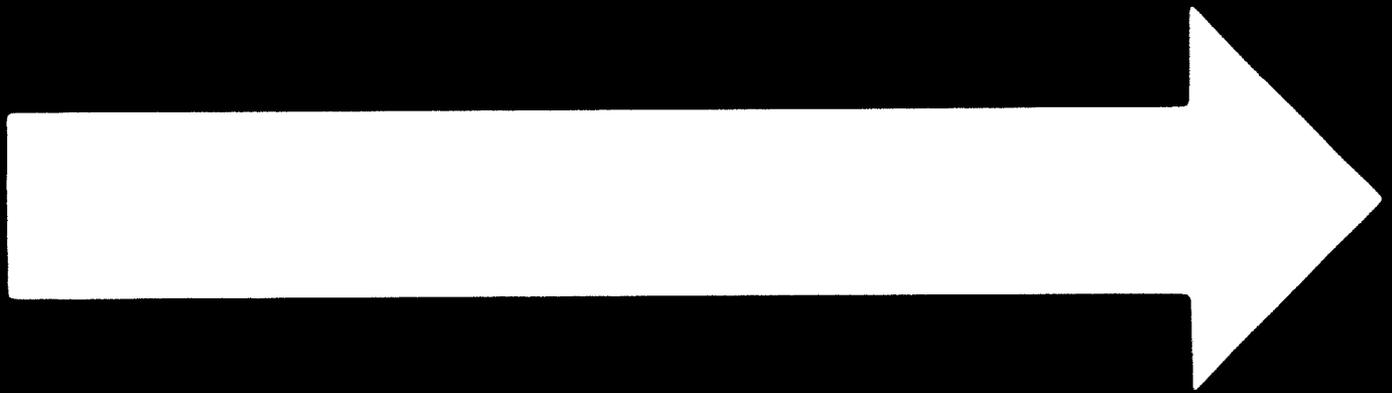
2. Influence de l'antioxydant sur la teneur en pigments

La teneur en pigments de l'algue sèche est sujette à de très grandes variations en fonction des conditions de séchage et de stockage (atmosphère inerte ou non, lumière, durée).

Un antioxydant, en l'occurrence l'isoascorbate de sodium, est additionné avant le séchage afin de limiter ces variations qui dans certains cas, peuvent réduire la teneur en xanthophylles à 20% du taux initial en quelques mois.

3. Influence du séchage

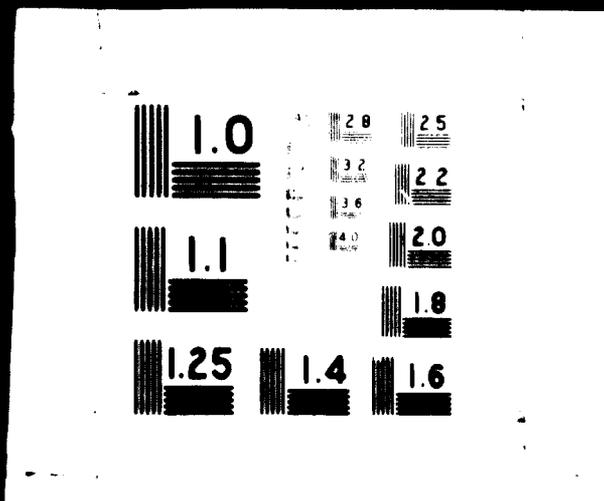
Les teneurs suivantes en protéines, xanthophylles et humidité ont été observées en fonction des moyens de séchage mis en oeuvre:



76. 05. 20

2 OF 2

06960



	<u>Protéines</u> g%	<u>Xanthophylles</u> g%	<u>humidité</u> g%
Algues fraîches	-	0,230	-
Algues séchées par atomisation (*)	64 - 68	0,185	4 - 5
Algues séchées sur rouleaux (*)	62 - 65	0,085	7 - 9

(*) Algues stabilisées avant séchage

On peut donc penser que la grande différence de prix de vente entre l'algue séchée sur rouleaux (37,5 pesos/kg) et celle séchée par atomisation (62,5 pesos/kg) est directement liée à leur teneur en xanthophylles.

- 7 -
Annexe XII

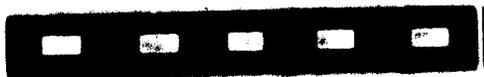
RECOMMANDATIONS INCLUSES DANS LE RAPPORT PRELIMINAIRE

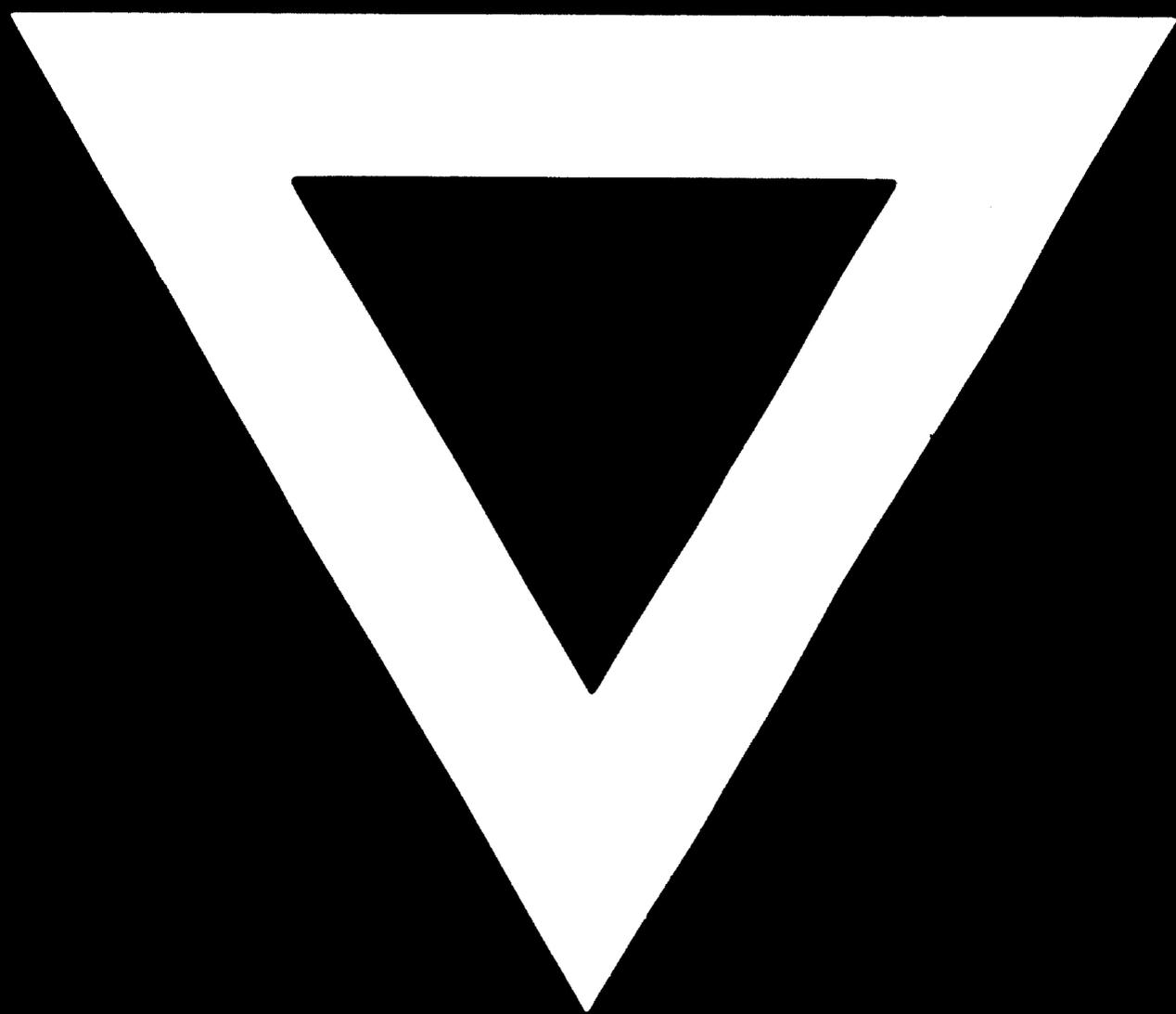
Lors de la présentation de notre rapport du 30/9/75 nous avons été amenés à recommander dans l'ordre:

- L'utilisation des moteurs hors-bord pour l'homogénéisation du bassin de culture selon le schéma de la fig. 5 (annexe 6).
En effet, les essais effectués dans ce sens ont été très encourageants et doivent être poursuivis.
- L'utilisation des filtres à plan incliné et de l'espace sous-jacent pour effectuer la carbonatation du milieu de culture. Les essais préliminaires effectués avec du CO₂ pur ayant donné des résultats encourageants, l'étude systématique avec différents mélanges de CO₂/air devra être effectuée.
- L'achat d'un atomiseur d'une capacité d'une tonne-jour qui, malgré son prix d'achat élevé, (environ 3000000 pesos) se justifie par la différence du prix de vente des algues (voir annexe 11/2), et par la diminution des pertes au moment du séchage qui, actuellement, sont estimées à 10-15% de la production.
- La réparation du variateur de vitesse du filtre à bande (voir annexe 11/1) et la pose d'une canalisation reliant ce dernier à un filtre à plan incliné afin de recycler les algues non récupérées en fin de chaîne de récolte. En effet, ceci aura pour résultat -

d'éviter la pollution au voisinage de l'unité de filtration ainsi que de diminuer les pertes qui, à ce stade, sont de l'ordre de 20-25% de la production.

- Le montage d'un système d'introduction automatique d'antioxydant, ce qui permettrait une plus grande constance de la qualité du produit.
- L'achat d'un luxmètre et d'un thermomètre enregistreur afin de pouvoir chiffrer l'énergie lumineuse totale reçue, ainsi que la température moyenne du bassin. Ces paramètres étant des facteurs limitatifs de la croissance, leur connaissance permettra une meilleure appréciation de l'influence d'autres facteurs.
- D'effectuer régulièrement l'analyse chimique et bactériologique du milieu de culture et des eaux résiduaires.





76. 05. 20