

# Plan de rehabilitación en áreas explotadas del yacimiento de bauxita en la serranía Los Pijiguaos

Rómulo Guerra<sup>1</sup> y Hely Socorro M.<sup>1</sup>

## Resumen

El yacimiento de bauxita está localizado en el extremo noroccidental del distrito Cedeño, estado Bolívar y tiene una extensión de 16 km<sup>2</sup>. El yacimiento se considera la mineralización desarrollada en el tope de suelos lateríticos aluminicos, cuya roca madre es el Granito de El Parguaza.

El Plan de Rehabilitación de las áreas explotadas consta de dos (2) programas paralelos. El ensayo de revegetación artificial se basa en los estudios sobre germinación, cobertura y competencia de especies de gramíneas (*Brachiaria humidicola*, *B. decumbens*, *B. Vizatha* y *Melínis minutiflora*), bajo diferentes tratamientos de espesor de capa orgánica y en ausencia de ésta. El estudio sobre revegetación del ecosistema del bosque tropical es sobre la determinación del contenido de semillas en muestras de suelo superficial del bosque primario y secundario con la finalidad de predecir en cierta medida la sucesión secundaria de especies de plantas en ecosistemas intervenidos, en base a la germinación de los propágulos y no en la cantidad de semillas por ser de difícil identificación taxonómica.

Las semillas se colectarán en muestras de suelo previamente zonificados (4 parcelas de 100 m<sup>2</sup> c/u y la germinación se efectuará sobre bandejas en umbráculos ubicados en la serranía.

## Abstract

A large bauxite deposit (area 16 km<sup>2</sup>) is located 520 km west of Ciudad Bolívar, in Los Pijiguaos, in the El Parguaza Granite. During exploitation, two rehabilitation programmes shall be carried out, on the basis of planting the gramineous *Brachiava* species.

## INTRODUCCION

Con el objeto de mitigar el impacto ambiental ocasionado por la operación de extracción de mineral de bauxita en la serranía Los Pijiguaos, se ha diseñado un Plan de Rehabilitación que tiene como finalidad aminorar la erosión hídrica sobre las áreas deforestadas, y consecuentemente la contaminación de los caños presentes en las microcuencas intervenidas.

## CARACTERISTICAS DEL YACIMIENTO

El yacimiento de bauxita Los Pijiguaos está localizado en el extremo norte de la serranía del mismo nombre, situada en la parte noroccidental del dis-

trito Cedeño, estado Bolívar, entre las longitudes de 66°40' 30" y 66° 46' 55" y las latitudes 6° 26'30" y 6° 32' 30"N. Se halla a 500 km en dirección sur de Caracas y 520 km en dirección suroeste de ciudad Guayana.

La ubicación del yacimiento está determinada por su accesibilidad y naturaleza. El yacimiento fue reconocido en la primera área prospectada, la cual es el extremo norte de la serranía, debido a que presenta las más fáciles condiciones de acceso desde la planicie contigua, esto en relación a las condiciones selváticas de toda la serranía Los Pijiguaos. El segundo carácter distintivo del yacimiento es su ubicación en el tope en forma de meseta de dicha serranía, por su carácter de suelo residual.

<sup>1</sup>CVG Bauxita Venezolana BAUXIVEN. Presentado a las I Jornadas de Geología Ambiental, Puerto Ordaz, 4-7 mayo 1989.

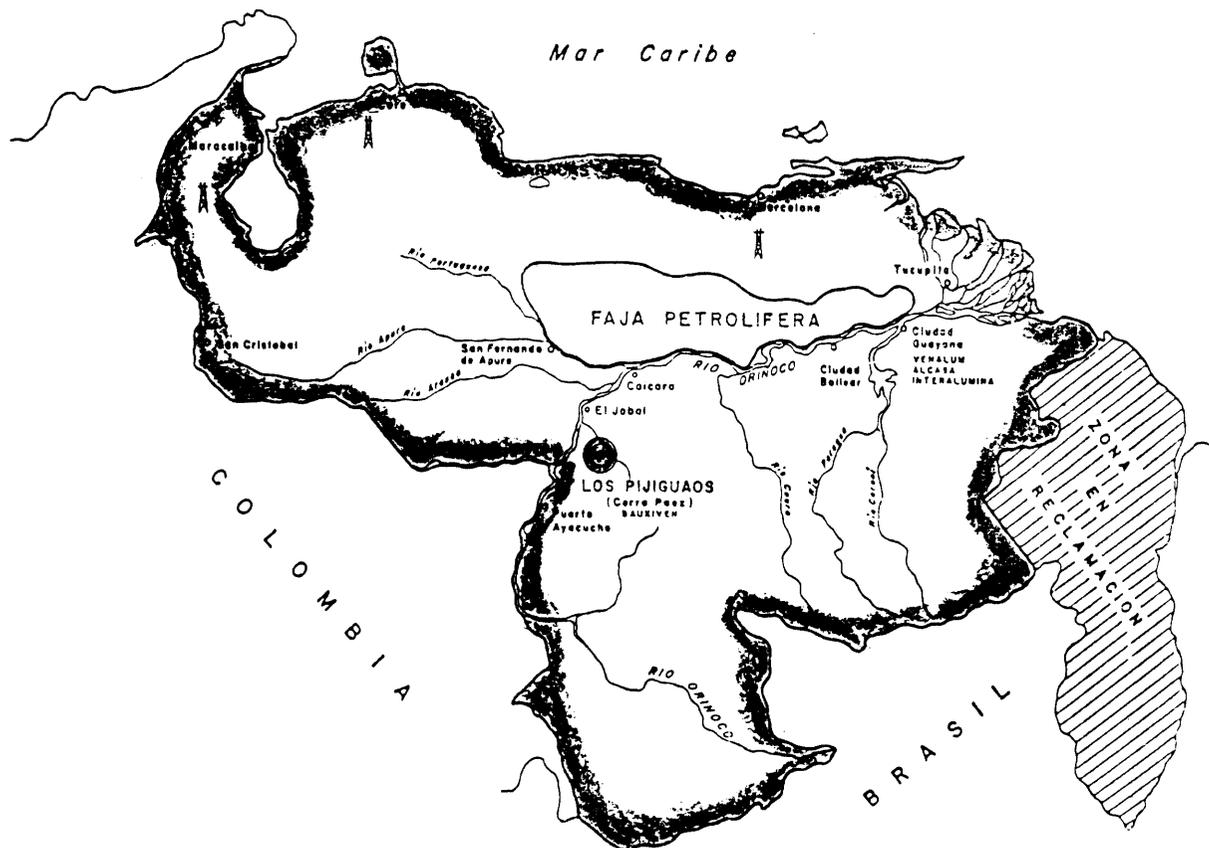


FIGURA 1 - Croquis de localizaciones del Yacimiento Cerro Páez, Los Pijiguaos.

### Dimensiones y Geometría

El yacimiento tiene una extensión de 16 km<sup>2</sup>. esta área es la parte norte de la zona de reservas probables. Sus dimensiones máximas son 11 km en dirección N-S y 5,5 km en dirección E-O.

Debido a que la exfoliación granítica dómica determina los bordes de la serranía, el yacimiento posee una forma redondeada, compuesta por lóbulos interconectados, que se extienden y ramifican desde el eje de la serranía, constituyendo el remanente de un relieve muy erosionado y disectado, con numerosos acantilados y laderas muy pendientes que se originan cerca de la divisoria de aguas. El relieve se asocia al diastrofismo que afecta las superficies de erosión antiguas reconocidas en la serranía.

El ordenamiento de la geometría complicada del relieve en forma de meseta lobada, fue hecho a través de la subdivisión del yacimiento en nueve (9) bloques (figura 2).

### CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

#### Geología Regional

El enmarcamiento geológico regional del área del yacimiento se basa en los estudios realizados en la zona del río Suapure, el cual limita a la serranía de Los Pijiguaos por el este. Las unidades estratigráficas presentes pertenecen a la provincia de Cuchivero y se ordenan de la manera siguiente (MENDOZA, 1972):

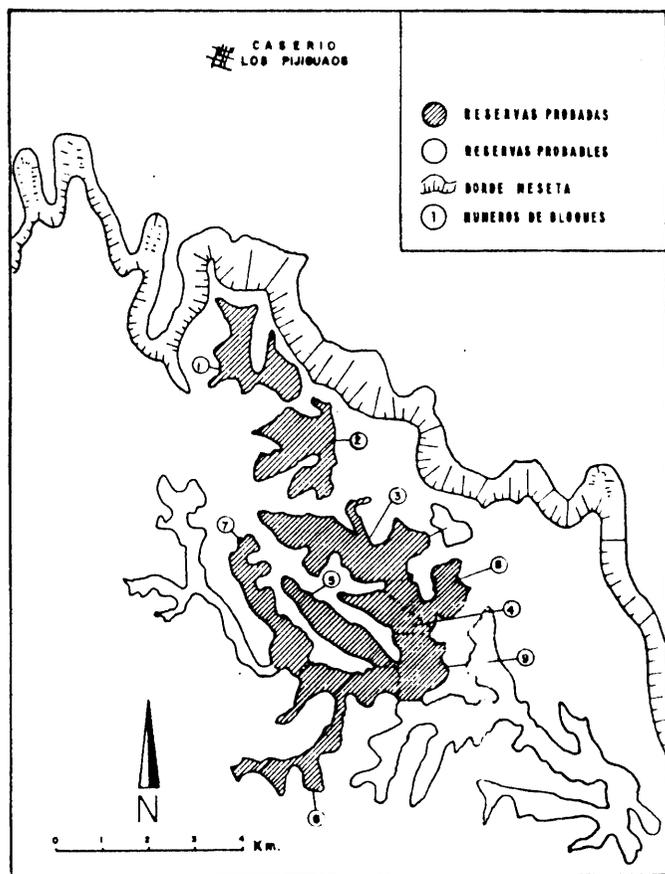


FIGURA 2 - Localización de las reservas probadas y probables.

GRUPO RORAIMA

Discordancia

Grupo Suapure Granito de El Parguaza  
Granito de Los Pijiguaos

Superggrupo  
Cedeño  
(Precámbrico)

Grupo Cuchivero Granito de San Pedro.  
Granito de Santa Rosalía.  
Formación Caicara.

Discordancia

PRE - CEDEÑO

El yacimiento en forma de meseta tiene una elevación aproximada de 600 m, formando así parte del área prospectiva de 350 km<sup>2</sup> de "terrazas" o mesetas asociadas a la peneplicie de Nuria, presente en las serranías de Los Pijiguaos, El Parguaza y La Cervatana. También son consideradas prospectivas las

"terrazas" situadas a 400 m (150 km<sup>2</sup>) y a 1000 m (50 km<sup>2</sup>), correspondiente a las superficies de erosión "Nivel Intermedio" y "Kamarata", respectivamente MENENDEZ y SARMENTERO, 1985).

Estas áreas prospectivas respecto a bauxita y en cuyo extremo noroeste incluyen al yacimiento de Los Pijiguaos, han sido identificadas a través de estudios fotogeológicos correspondientes a la fase II de la exploración.

**Reservas**

Las mencionadas reservas posibles se han medido en los 5000 millones de toneladas Alusuisse. Estudio de factibilidad de la bauxita de Los Pijiguaos, 1979), asignadas a áreas con las mismas características del yacimiento en base a los estudios fotogeológicos y que a la vez, están sostenidas por la roca madre del depósito o rocas ígneas graníticas correlativas.

En el área prospectada de 30 km<sup>2</sup>, que incluyen al yacimiento en su porción norte, fue realizada la campaña de perforación exploratoria, desarrollada a lo largo de los ejes de los lóbulos del depósito con un interespaciamiento de 250 m, lo cual permitió el reconocimiento de 500 millones de toneladas de bauxita como reservas probables, con un tenor mínimo de 48% de alúmina y un contenido máximo de sílice total de 10%. Las reservas probadas que definen al yacimiento, fueron reconocidas usando un mallado de 100 x 100 m y están compuestas por 177 millones de toneladas de bauxita de 49,5% de tenor 9,3% de contenido de sílice total y un espesor de 7,6 m, como cifras promedio MENENDEZ y SARMENTERO, op. cit.).

**Secuencia Geológica**

El yacimiento se reconoce como un grupo de horizontes ubicados en el tope de lateritas aluminicas. Los horizontes lateríticos pueden contener un segundo nivel de mineralización bauxítica hacia la parte media.

Infrayacente, a la cubierta vegetal o directamente en la superficie del terreno, se reconoce una zona superior concrecionaria, dura, de aspecto ferruginoso. La bauxita se presenta frecuentemente con carácter botroidal (superficies esféricas compuestas) y textura porosa o pisolítica; hacia abajo conserva su color ocre o rojizo, pero su granulometría disminuye al tamaño arcilloso. Esta bauxita es de tipo gibsítico y presenta la siguiente composición mineralógica:

- a) Gibsita :60-80%
- b) Cuarzo :10% (promedio).
- c) Hematita :5-10%.
- d) Goetita 5%
- e) Bohemita - Trazas
- f) Caolinita - Trazas

Por debajo de los horizontes bauxíticos superiores se halla una zona arcillosa intermedia moteada, cuyo tope está marcado por el aumento en la proporción de caolinita (hasta 45%). En ella se presentan con abundancia pisolitos de bauxita, cuarzo y mica fina (muscovita tipo sericita).

En la base de esta zona intermedia arcillosa puede presentarse un segundo horizonte bauxítico, cuyo espesor es bastante menor a la zona superior (Bloque [4] del yacimiento).

Hacia abajo, suprayaciendo a la roca granítica muy alterada y fracturada (regolito), se reconoce una zona arcillosa inferior compuesta por arcilla (caolinita), cuarzo y mica. Esta zona arcillosa se caracteriza por tener un arreglo pseudo-rapakivi, lo cual se presenta texturalmente en el regolito y en la roca granítica fresca (MENENDEZ y otros, 1985).

### **Roca Madre del Yacimiento**

La presencia de un arreglo pseudo-rapakivi en la zona arcillosa inferior, se considera una característica granítica reliquia, cuya presencia típica en la roca fresca va degradándose a través del regolito. Esta caracterización tan común en el estudio de horizontes de suelos, implica que la roca fresca infrayente es la roca madre del suelo en cuestión.

El yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos se considera la mineralización desarrollada en el tope de suelos lateríticos alumínicos, cuya roca madre es el Granito de El Parguaza. Estos suelos se desarrollaron en la superficie de erosión Nuria durante el Mioceno Inferior y la totalidad de los horizontes lateríticos y bauxíticos, muestran unas características geoquímicas que permiten identificar como roca madre la formación granítica mencionada

### **PLAN DE REHABILITACION AMBIENTAL**

El programa de rehabilitación se basa en la explotación planificada del yacimiento, teniendo un sentido de avance identificado en base a las áreas totalmente explotadas.

El sentido de avance seleccionado en el área de explotación temprana (sector uno [1] del bloque [2], es de sur a norte y en sentido contrario a las agujas del reloj). En este sector se distinguen las distintas zonas en base al interespaciamento del mallado de prospección de evaluación, desde una zona de máxima densidad de información (interespaciamento de 6,25 mt), hasta una zona de interespaciamento de 25 mt.

Las distintas actividades se ordenan de manera convencional y son las siguientes:

1. Deforestación total.
2. Remoción del suelo.
3. Extracción hasta lograr un piso operativo por encima de la base del yacimiento.
4. Extracción del material remanente hasta realizar el piso definitivo, tan cerca como sea posible de la base del yacimiento.
5. Modificaciones del piso definitivo para preparar el área a revegetar.
6. Reinstalación de la capa rica en materia orgánica sobre el área a revegetar.
7. Rehabilitación: revegetación y luego reforestación.

El piso definitivo se desarrolla sobre la zona moteada infrayacente al yacimiento.

### **Plan de Prevención antes de la extracción del mineral**

#### **Sistema de deforestación**

La deforestación inicial tiene como objeto permitir el paso de los equipos de perforación a través del bosque para evaluar el yacimiento. La madera extraída es utilizada por la Empresa y por los Contratistas en la ejecución de los trabajos de construcción. Las deforestaciones se realizan bajo el sistema de picas. Estas se encuentran distanciadas 25 m unas de otras desde su eje y tienen 5 m de ancho; su longitud es variable y se orientan en función de la pendiente de la serranía. Todo con la finalidad de frenar el material arrastrado desde la superficie de las picas hasta los surcos de agua en la temporada de lluvias.

### Sistema de almacenamiento de manto orgánico

Apertura de zanja y hoyos como primer volumen de explotación. Ahondar dentro del sector determinado por la programación, para luego almacenar dentro de aquel la totalidad del manto orgánico extraído de ese mismo sector por explotar. Con este sistema la pérdida de material sería mínima y su posterior extensión se realizaría con menor grado de dificultad.

Construcción de terrazas con el manto orgánico extraído de la superficie por explotar en la periferia del área deforestada, de modo que toda aquella pueda ser sembrada con especies de crecimiento etolonífero para la retención del material arrastrado. El agua, mediante este proceso elemental de filtración, será más limpia, llegará a los cauces colectores después de pasar por disipadores que neutralizarán su acción erosiva.

Las dimensiones de las terrazas estarán en función de la pendiente de la ladera, la precipitación de la zona y la superficie por aforar.

Reubicación inmediata del manto superior de un nuevo sector por explotar a un área ya explotada, y comenzar con la actividad de extensión de tierra para la futura reforestación.

### Plan de reforestación

#### Ensayo de revegetación artificial

La ejecución de los planes de reforestación o revegetación, se iniciará en la próxima temporada de lluvias (Mayo 89), con un ensayo sobre germinación, cobertura y competencia de tres (3) especies de gramíneas, dos (2) de ellas de crecimiento estolonífero y una de desarrollo en forma de macolla. Las especies de crecimiento estolonífero forman sobre el suelo un colchón de vegetal que impide el impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie, evitando de esta manera el fraccionamiento del suelo y su erosión; por otra parte, este tipo de vegetación ejerce la función de factor formador de suelo al contribuir con la adición de materia orgánica al sustrato, lo cual desencadena a su vez, procesos biológicos que conllevan a cambios en la estructura del suelo.

Según el análisis de suelo realizado sobre el piso operativo, se recomienda la práctica de encalado (adición de cal) como medida para aumentar el pH del suelo el cual es de 5.3, esta práctica se realizará para incorporar al suelo Carbono y Calcio los cuales se encuentran en niveles deficitarios, además se incorpora al suelo fertilizante fórmula completa 12-24-12, para aumentar la fertilidad de los suelos, a razón de 300 kg/Ha.

### Diseño del Ensayo

Especies : **Brachiaria humidicola**  
**Brachiaria bizantha**  
**Melinis minutiflora**

Tratamientos: Espesor del manto orgánico  
1-2 cm de espesor  
2-4 cm de espesor  
3-6 cm de espesor

Superficie de ensayo = 35.000,00 m<sup>2</sup>

Número de parcelas = 17 parcelas.

Superficie de parcela = 1.770.00 m<sup>2</sup>

El diseño estadístico escogido para la evaluación del ensayo es de bloques al azar. Además se tomarán siembras en conjunto de todas las especies sobre tratamiento, con la finalidad de competencia de las plantas. Cada tratamiento tendrá su testigo (sin semillas introducidas), se utilizará una parcela como testigo, sin tratamiento alguno y se realizará la siembra de cada una de las especies directamente sobre el piso desnudo, esto con la finalidad de conocer la capacidad de la bauxita con adición de fertilizantes de sostener plantaciones de gramíneas (figura 3).

T A+B+C	T A	T B	T C	T
T <sub>3</sub> A	T <sub>3</sub> B	T <sub>3</sub> C	T <sub>3</sub> A + B + C	
T <sub>2</sub> B	T <sub>2</sub> C	T <sub>2</sub> A	T <sub>2</sub> A + B + C	
T <sub>1</sub> C	T <sub>1</sub> A	T <sub>1</sub> B	T <sub>1</sub> A + B + C	

#### TRATAMIENTOS

T - TESTIGO (PISO OPERATIVO)  
T<sub>1</sub> - 4 CM. DE PROFUNDIDAD DE SUELOS  
T<sub>2</sub> - 6 CM. DE PROFUNDIDAD  
T<sub>3</sub> - 8 CM. DE PROFUNDIDAD

#### ESPECIES

A - BRACHIARIA HUMIDICOLA  
B - BRACHIARIA BIZANTHA  
C - MELINIS MINUTIFLORA

FIGURA 3 - Diseño gráfico del ensayo de revegetación.

Los ensayos sobre asociaciones de gramíneas y leguminosas se ejecutarán en la medida en que se exploten áreas en forma definitiva.

### Preparación de terreno

Escarificación del terreno con la finalidad de aumentar su capacidad de almacenamiento de humedad y aireación.

Construcción de canales superficiales de drenaje para aforar el excedente de aguas de lluvias hacia los colectores de La Mina.

División de la superficie, sobre la cual se realizará el ensayo, en parcelas experimentales.

Extensión de la capa orgánica o manto superficial.

Siembra de gramíneas.

Nota: Las parcelas estarán divididas una de otras por camellones de un (1) m de ancho por 0.4 m de altura máxima, además sobre la superficie del ensayo se construirá una vía de servicio que colinde con todas las parcelas.

### Desarrollo de ensayo

Las observaciones se realizarán semanalmente y se registrarán los siguientes datos:

Fecha de siembra  
Porcentaje de germinación  
Período de germinación  
Fecha de Floración  
Longitud de plantas  
Velocidad de crecimiento  
Cobertura  
Número de inflorescencia por m<sup>2</sup>  
Capacidad de competencia - Observación cualitativa  
Plagas y enfermedades

### Evaluación

Los resultados obtenidos en este ensayo serán presentados a finales de la temporada de sequía del año 1991, y servirán de base a la futura revegetación de La Mina.

Cabe señalar que en investigaciones recientes realizadas en países desarrollados (EEUU, Francia, Canadá, Alemania), se están deforestando bosques bajo sistemas de quemas para desarrollar coberturas de gramíneas, dado que este tipo de ecosistema impide la degradación de los suelos, mitigando de esta manera la contaminación de los ríos por sedimentos provenientes de las cuencas arborizadas por bosques antiguos.

### Maquinarias y Equipos

Payloader (1)  
Camiones de Volteo (2)  
Patrol (1)  
Tractor Agrícola (1)  
Rastra de Levante Hidráulico (1)  
Sembradora - Abonadora (1)  
Surcadora (1)

### Insumos

Semillas de las especies mencionadas 25 kg c/u  
Fertilizante fórmula completa 300 kg

### Mano de Obra

Operadores de la Maquinaria  
Supervisor (1)  
Obreros (2)

## CRONOGRAMA DE EXPLOTACION Y REVEGETACION

AÑO	ZONAS DE EXPLOTACION	ZONAS POR REVEGETACION	PRODUCCION (TON.)
1989	ZONA 4, SECTORES 1 y 4	ZONAS 1, 2 y 3, SECTOR 1	8.000.000
1990	ZONA 4, SECTORES 1 y 4		1.600.000
1991	ZONAS 4 y 5 SECTORES 1 y 4		2.600.000
1992	ZONA 6, SECTORES 6 y 7	ZONAS 4 y 5, SECTORES 1 y 4	4.100.000
1993	SECTORES 3, 7 y 8	SECTOR 6	5.600.000

## **Estudio sobre revegetación del bosque tropical**

Paralelamente a la investigación sobre cobertura de gramíneas en áreas intervenidas totalmente en la operación minera de Bauxivén, se realizarán estudios ecológicos sobre regeneración del bosque, en la serranía de Los Pijiguaos.

El desarrollo de este tipo de investigación nos permitirá entender mejor el proceso de sucesión secundaria, proceso ecológico caracterizado por los cambios que se suceden en un ecosistema, después de una perturbación natural o antrópica hasta llegar a su estado estable.

En los estudios sobre la problemática de la regeneración de bosques tropicales, existen corrientes opuestas en el sentido de lo predecible o no del curso que puede tomar la sucesión de especies en un determinado medio físico. En el segundo caso están los trabajos en que después de estudiar un bosque húmedo subtropical por doce (12) años, encuentran que en los estados pioneros, la sucesión no tiene dirección y que los patrones de distribución de las especies en el bosque podrían estar determinadas por discontinuidades ambientales, pero que esto puede deberse a factores al azar (Wedd, et al [1972] Australia). En el primer caso se propone que conociendo los factores gatillo de la germinación de especies locales, es posible predecir las especies que aparecerán en las primeras etapas, e inclusive conociendo la tasa de crecimiento de las diferentes especies, predecir hasta cierto punto cual será al rumbo que tome la sucesión en los primeros estados (Kellman y Adames 1970, Belice y Filipinas) (Guevara y Gómez-Pompa 1974 México).

El objetivo principal de nuestra investigación es conocer en forma precisa las condiciones necesarias para la germinación de las semillas presentes en el suelo del bosque primario y secundario, y las condiciones en las cuales se desarrollan las plántulas.

Este contenido de semillas condiciona el potencial florístico de la foresta y está formado por especies representativas de la vegetación actual, especies de etapas sucesionales anteriores y especies de vegetación que aunque nunca han estado presentes en el área, forman parte del potencial debido a su capacidad de dispersión.

El conocimiento sobre lactancia y viabilidad de las semillas es importante ya que se ha encontrado que la mayoría de las semillas de árboles tropicales tienen una viabilidad muy corta. Esto implica la búsqueda de las causas que originan este fenómeno y el hallazgo de sistemas que permitan conservar la via-

bilidad de las semillas por un período de tiempo más prolongado así como también la metodología más precisa para acelerar la germinación.

Los principales tipos de latencia son:

### **Latencia Exógena**

Relacionada con las propiedades del pericarpio o del tegumento de la semilla. Para suponer este estado se utilizan métodos físicos: remojo en agua fría y agua caliente o hirviendo, métodos químicos o tratamiento con ácido, el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) es el más empleado, y métodos mecánicos o escarificación de las semillas el cual consiste en romper o desgastar la cubierta externa de las semillas utilizando tambores rotatorios o bien cortándola parcialmente a mano.

### **Latencia Endógena**

Determinada por las propiedades del embrión o del endosperma (morfológica o fisiológica). Este tipo de quiescencia se ataca utilizando sustancias químicas como el Peróxido de hidrógeno, nitrato potásico óxido rojo de cobre y óxido de zinc, existen algunas semillas que responden bien al tratamiento con diversos compuestos orgánicos, específicamente ácido cítrico y ácido tartárico. Otro método es la estratificación que consiste en almacenar las semillas en un medio húmedo, por ejemplo: turba o arena, con el fin de mantener su viabilidad y superar la latencia, en esta técnica se pueden utilizar temperaturas próximas a congelación y/o caliente.

### **Latencia Doble**

Para superar ésta, se hace necesario someter las semillas a un tratamiento que haga permeable el tegumento y estimule en el embrión los cambios que son esenciales para la germinación.

Luego de efectuado el tratamiento más recomendable se realiza sobre la semilla una aplicación de insecticida y/o fungicida para el control de enfermedades y daños.

Otro tipo de tratamiento debe hacerse sobre las semillas asexuales (estacas de madera dura, semidura, blanda, herbáceas, de hoja con yema y de hoja), generalizando, se les puede aplicar lesiones a las estacas sobre la superficie de enraizamiento y si son especies de difícil o lenta producción de raíces, una aplicación de hormonas (ácido indolbutírico) acelerará el proceso.

## Método

Se delimitarán cuatro zonas de muestreo las cuales tendrán  $100 \text{ m}^2$  cada una, divididas en 16 subcuadros de  $6,25 \text{ m}^2$ ; dos ubicados en zonas con vegetación de selva primaria y dos (2) en zonas de vegetación secundada.

El muestreo se realizará cada seis (6) semanas a partir del primero (1ero.) de Junio de 1988, tomándose una muestra de  $7.500 \text{ cm}^3$  es decir  $25 \text{ c}$ , x  $12 \text{ cm}^2$  de profundidad, de cada uno de los 16 subcuadros, y el número total de muestras por cuadro será de 16.

La escogencia del método de germinación para evaluar el contenido de semillas en el suelo fue debido a la dificultad que existe en identificar las especies por semilla, además por ser este un método utilizado en otros países (México), para investigaciones similares, esto nos permitirá en el futuro intercambiar información de manera más sencilla con los ecólogos quienes se encuentran estudiando los procesos de regeneración de ecosistemas.

Las muestras de suelo se transportarán en bolsas de polietileno, debidamente cerradas para evitar la contaminación, hacia un invernadero en el cual se construirán semilleros cuyo fondo estará lleno de vermicultita para conservar la humedad, en el sustrato y facilitar el transplante de las especies. Cada muestra se extenderá de manera individual sobre una bandeja o semillero y existirán semilleros testigos (sin suelo) para comprobar la pureza de las muestras; el período de germinación será de seis (6) semanas, realizándose actividades paralelas de métodos de germinación directamente sobre semillas colectadas de muestras de suelo cernidas para tal fin.

El proceso de transplante de especies desde el semillero a bolsas o directamente en el suelo nos permitirá tener mayor conocimiento sobre el sistema de siembra a utilizar en la futura reforestación de las áreas intervenidas.