

2026

PROPUESTA DE DESARROLLO



hp

By Ing. Gerardo Carrillo Mendoza

24-3-2026

Para alcanzar una madurez técnica acelerada en un suelo de **Migajón Arcilloso** como el reportado en el estudio, es fundamental transitar de una nutrición básica a una de precisión. El análisis muestra deficiencias críticas que bloquean el desarrollo metabólico de algunas variedades a incorporar.

A continuación, se presentan los elementos de la tabla periódica que deben incorporarse y cómo actúan para comprimir el ciclo de vida del agave:

1. Elementos Primarios: Los Pilares del Peso Industrial

- **Fósforo (P):** El estudio lo reporta como **No Detectado (ND)**. Es el elemento más urgente para el enraizamiento inicial y la transferencia de energía (ATP). Sin él, la planta no tiene la fuerza estructural para madurar en 5 años.
- **Potasio (K):** Clasificado como **Extremadamente Pobre (23.15 ppm)**. Es el "transportador" de los azúcares hacia el núcleo de la piña. Su incorporación es vital para elevar los grados Brix y el peso de la bola en el último tercio del ciclo.
- **Nitrógeno (N):** Presente en nivel **Medio (26.9 ppm)**. Se debe incorporar de forma moderada para mantener el crecimiento de las pencas (biomasa) sin debilitar los tejidos ante plagas.

2. Elementos Secundarios: Reguladores del pH y Estructura

- **Calcio (Ca):** Indispensable en suelos con **pH ligeramente alcalino (7.7)**. Ayuda a fortalecer las paredes celulares, permitiendo que las pencas soporten un crecimiento acelerado sin doblarse.
- **Magnesio (Mg):** Es el átomo central de la clorofila. Su incorporación asegura que la
- planta maximice la fotosíntesis nocturna (CAM), fundamental para la fijación de carbono reportada en especies como *Agave angustifolia*.
- **Azufre (S):** Ayuda a acidificar ligeramente el entorno de la raíz en suelos con altos **Carbonatos Totales (20.8%)**, desbloqueando otros nutrientes que el agave necesita para no estancarse.

3. Microelementos: Catalizadores del Metabolismo CAM

Debido a la alta fijación de CO₂ que buscas (similar a las tasas de 30 μmol m⁻² s⁻¹ observadas en condiciones óptimas), estos elementos actúan como "encendedores" biológicos:

- **Hierro (Fe) y Manganeso (Mn):** Suelen bloquearse en suelos con pH de 7.8. Son vitales para la síntesis de enzimas que procesan el ácido málico durante la noche.
- **Zinc (Zn):** Fundamental para la síntesis de auxinas (hormonas de crecimiento) que permiten que la planta de 45 cm pase a tamaño de cosecha en el tiempo récord propuesto.

- **Boro (B):** Trabaja en conjunto con el Potasio para la translocación de azúcares hacia la piña en el año 4 y 5.

Estrategia de Incorporación Sugerida

Dada la textura arcillosa y la baja disponibilidad de agua aprovechable (11.3%), la incorporación de estos elementos debe ser preferentemente a través de **quelatos orgánicos o bioles enriquecidos**. Esto evita que elementos como el Fósforo vuelvan a quedar atrapados por los carbonatos del suelo.

Al corregir estas carencias químicas, se eliminan los frenos nutricionales, permitiendo que el metabolismo de la planta opere a su máxima capacidad genética para alcanzar la madurez en 5 años.

Para bajar el pH de **7.7 (Ligeramente Alcalino)** a un nivel de **6.0 (Ligeramente Ácido)** en un suelo de textura **Migajón Arcilloso** con altos carbonatos (20.8%), se requiere una estrategia de acidificación técnica. En suelos arcillosos, el pH es más difícil de cambiar debido a su "capacidad de amortiguamiento" (buffer), por lo que el proceso debe ser gradual.

Aquí tienes las recomendaciones agronómicas para lograr esa mejora:

1. Incorporación de Azufre Elemental (S)

El azufre es el corrector de pH más efectivo y económico para grandes superficies. Al aplicarse, las bacterias del suelo (*Thiobacillus*) lo oxidan y lo convierten en ácido sulfúrico, lo que reduce el pH.

- **Dosis estimada:** Para un suelo arcilloso, se requieren aproximadamente **150 a 200 g por metro cuadrado** (1.5 a 2 toneladas por hectárea) para bajar un punto de pH.
- **Aplicación:** Debe incorporarse en los primeros 15-20 cm del suelo meses antes de que la planta alcance su etapa de mayor demanda nutricional.
- **Nota:** El cambio no es inmediato; toma de 3 a 6 meses dependiendo de la humedad y temperatura del suelo.

2. Uso de Fertilizantes de Reacción Ácida

En lugar de usar fuentes neutras, debes privilegiar elementos que ayuden a mantener el pH bajo durante tus aplicaciones trimestrales:

- **Sulfato de Amonio:** Es una fuente de Nitrógeno que tiene una fuerte reacción acidificante en el suelo.
- **Sulfato de Potasio:** Ideal para tu suelo (que está "Extremadamente Pobre" en Potasio), ya que ayuda a nutrir la planta mientras contribuye a desplazar los carbonatos.

- **Fosfato Monopotasio:** Ayuda a bajar el pH localmente en la zona de la raíz (rizosfera).

3. Aplicación de Materia Orgánica Acidificante

Dado que tu suelo tiene 3.32% de Materia Orgánica, puedes potenciar este valor con insumos que tengan un pH bajo:

- **Turba (Peat Moss):** Tiene un pH natural de 3.5 a 4.5. Mezclarla en la cepa al momento de plantar ayudará a crear un microambiente ácido para el agave.
- **Ácidos Húmicos y Fúlvicos:** Aplicarlos mediante el riego ayuda a quelatar los nutrientes que se bloquean en pH alto (como el Hierro y el Zinc) y amortigua la alcalinidad de los carbonatos (20.8%).

4. Gestión de los Carbonatos Totales

Tu análisis reporta **20.8% de Carbonatos**, lo cual es "Alto". Los carbonatos actúan como un imán que neutraliza cualquier ácido que apliques.

- **Recomendación:** No intentes bajar el pH de toda la hectárea de forma agresiva. Es más eficiente y económico realizar "**acidificación de banda**" o localizada en el cajete del agave. Esto crea una zona de confort de pH 6.0 justo donde están las micorrizas y las raíces.

5. Beneficio Directo para tus Variedades

Llevar el pH a 6.0 tendrá los siguientes efectos en tu meta de 5 años:

- **Desbloqueo del Fósforo (ND):** En pH 6.0, el fósforo deja de estar atrapado por el calcio y se vuelve soluble.
- **Absorción de Microelementos:** El Hierro, Zinc y Manganeseo estarán disponibles al 100%, evitando clorosis (amarillamiento) y acelerando el metabolismo CAM.
- **Salud Radicular:** El ambiente ligeramente ácido favorece el crecimiento de las micorrizas que inoculaste, permitiendo una exploración radicular más profunda en el suelo arcilloso.

Advertencia Agronómica: Monitorea el pH cada 6 meses. Si bajas de 5.5, podrías liberar aluminio o manganeso en niveles tóxicos para el agave. El rango de 6.0 a 6.5 es el "punto dulce" para la productividad agroindustrial.

Para alcanzar la meta de maduración en **5 años** en un suelo de tipo **Migajón Arcilloso** con las limitantes detectadas (Fósforo no detectado y Potasio extremadamente pobre), el calendario debe ser riguroso.

A continuación, presento el cronograma operativo diseñado para las variedades *salmiana*, *tepextate*, *cupreata*, *duranguensis* y *americana*, optimizado para el aprovechamiento de microorganismos y la corrección del pH.

CALENDARIO DE MANEJO INTEGRAL (CICLO 5 AÑOS)

FASE 1: ESTABLECIMIENTO Y DESBLOQUEO (Año 1)

Objetivo: Corregir el "hambre" de Fósforo y adaptar la raíz al suelo alcalino (pH 7.7).

- **TRIMESTRE 1 (Marzo - Plantación):**
 - **Microorganismos:** Inoculación en cepa con **Micorrizas** (para capturar el Fósforo bloqueado) y **Bacillus subtilis**.
 - **Suelo:** Aplicación de **Azufre elemental** localizado (para iniciar la bajada de pH hacia 6.0).
 - **Fertilización:** Mezcla de compost con **Roca Fosfórica**.
 - **TRIMESTRE 2 (Junio - Lluvias):**
 - **Biofertilizante:** Aplicación de **Biol enriquecido con Magnesio** (para activar clorofila).
 - **Foliar:** Ácidos fúlvicos para quelatar microelementos bloqueados por el pH.
 - **TRIMESTRE 3 (Septiembre):**
 - **Refuerzo:** Lixiviado de lombriz diluido.
 - **TRIMESTRE 4 (Diciembre):**
 - **Protección:** **Trichoderma** al suelo para prevenir hongos por humedad invernal en el suelo arcilloso.
-

FASE 2: EXPANSIÓN DE BIOMASA (Años 2 y 3)

Objetivo: Maximizar la fijación de Carbono y el tamaño de las pencas.

- **TRIMESTRE 1 (Marzo):**
 - **Nitrógeno:** Aplicación de **Sulfato de Amonio** (fuente nitrogenada de reacción ácida para seguir bajando el pH).
- **TRIMESTRE 2 (Junio):**
 - **Mantenimiento:** Reinoculación de **Bacillus subtilis**.
 - **Labor: Deshije total.** Es crítico para que la energía no se desvíe.
- **TRIMESTRE 3 (Septiembre):**

- **Estructura:** Aplicación de **Silicio** (tierra de diatomeas) para endurecer la cutícula contra el picudo.
- **TRIMESTRE 4 (Diciembre):**
 - **Enmienda:** Incorporación de materia orgánica acidificante (Peat moss o estiércol solarizado).

FASE 3: ACUMULACIÓN Y ENGORDE DE PIÑA (Años 4 y 5)

Objetivo: Compensar la pobreza de Potasio (23.15 ppm) para elevar los grados Brix.

- **TRIMESTRE 1 (Marzo):**
 - **Potasio:** Aplicación intensiva de **Sulfato de Potasio** orgánico. El potasio moverá los azúcares de las pencas a la piña.
- **TRIMESTRE 2 (Junio):**
 - **Microelementos:** Aplicación de **Boro y Zinc** (fundamentales para la maduración del Tepextate y Durangensis).
- **TRIMESTRE 3 (Septiembre):**
 - **Densidad:** Última aplicación de lixiviado de cenizas (fuente natural de potasio).
- **TRIMESTRE 4 (Diciembre - Año 5):**
 - **Maduración Técnica: ESTRÉS HÍDRICO TOTAL.** Suspender cualquier auxilio de agua. El suelo arcilloso retendrá lo suficiente para que la planta concentre inulinas antes de la jima.

NOTAS TÉCNICAS PARA LA OPERACIÓN:

1. **Monitoreo del pH:** Dado que estamos aplicando azufre y fertilizantes ácidos para llegar a **pH 6.0**, se debe realizar una prueba rápida de pH en campo cada 6 meses.
2. **Manejo de Carbonatos (20.8%):** Las aplicaciones de ácidos fúlvicos en cada trimestre son innegociables; son las que "engañan" al suelo para que no bloquee el hierro y el fósforo.
3. **Variedad Tepextate:** Por su lentitud natural, en el **Año 3**, esta hectárea específica debe recibir una dosis doble de aminoácidos foliares para evitar que entre en latencia.
4. **Registro de Carbono:** Este calendario es la prueba de "adicionalidad" para tus **Bonos de Carbono**. Cada aplicación orgánica suma valor a la certificación ambiental