

Índices de Suficiencia de Nitrógeno (ISN) con Franjas de Referencia

Puesta a punto de los procesos de Refertilización nitrogenada utilizando NDRE e Índices de Suficiencia de Nitrógeno (ISN)



El ajuste de la fertilización N en etapas avanzadas del cultivo es una estrategia que ayuda a un uso más eficiente e inteligente de insumos.

- Esta estrategia de fertilización en la región pampeana y litoral es ideal en años Niños ya que se esperan buenas lluvias que ofrecen una "solución" al principal factor limitante de los rendimientos: el agua.
- En años húmedos, el rendimiento es mayor y, por ende, la demanda de nitrógeno se incrementa. Usar el Índice de Suficiencia de Nitrógeno en un año Niño es una de las herramientas más seguras y eficientes para ajustar la fertilización nitrogenada en tiempo real, ya que el agua permite capitalizar cada kilo extra de rendimiento.
- La clave del éxito radica en asegurar franjas de referencia bien anchas a la siembra y priorizar el uso del índice NDRE sobre el NDVI clásico cuando los cultivos empiecen a cerrar el surco.

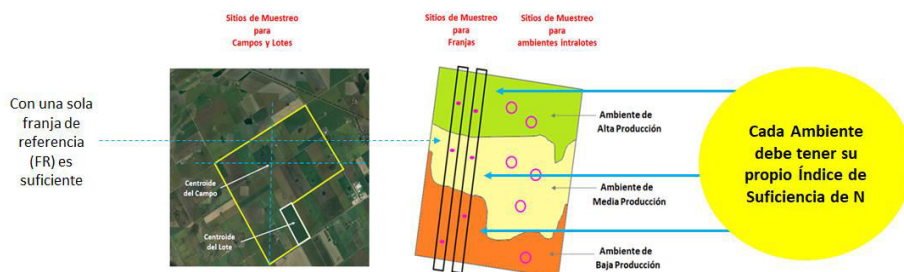
Aquí reseñamos una secuencia de actividades para optimizar las refertilizaciones

1. Caracterización ambiental del lote

- Realizar una ambientación del lote antes de implementar la metodología.
- Identificar sectores con limitaciones permanentes (por ejemplo, presencia de tosca, bajos, salinidad u otras restricciones), ya que pueden alterar la interpretación de los índices espectrales.
- Si estos ambientes no pueden evitarse durante la instalación del ensayo, deberán identificarse y excluirse posteriormente del análisis.

2. Instalación de la franja de referencia

- Establecer una franja de referencia que atraviese la mayor cantidad posible de ambientes intralote.
- Dimensiones mínimas recomendadas:
 - **Ancho: 30 m.**
 - **Longitud: 100 m.**
- Aplicar una dosis no limitante de N, de modo que el cultivo exprese su máximo potencial productivo para ese ambiente.
- Esta franja constituirá el patrón de referencia (ISN = 100%) frente al cual se comparará el resto del lote.



El "Secreto" Operativo: **Diseñar la "Referencia"**

Para que el ISN funcione, se necesita que el satélite pueda "ver" claramente la Franja de Referencia.

Ancho de la franja: Si se emplea Sentinel-2 (píxeles de 10x10 metros), la franja rica en nitrógeno a la siembra tiene que tener al menos 30 o 40 metros de ancho. Si es muy angosta, los píxeles satelitales se "mezclarán" con el resto del lote y el cálculo del ISN fallará.

Alternativa (Puntos de Referencia Locales): Si no pudiste hacer la franja físicamente, con las imágenes satelitales podés aplicar un enfoque del sitio o de bloque: buscar las zonas del lote históricamente más productivas o que por relieve retuvieron más nitrógeno, verificar que estén al 100% de potencial (píxeles con los valores más altos del lote) y usarlas estadísticamente como la "referencia natural" para calcular el ISN del resto del campo.

3. Definir los objetivos de las refertilizaciones

Antes de definir la estrategia de refertilización es fundamental establecer cuál es la variable que se busca optimizar.

- **Trigo:** maximizar rendimiento (kg/ha) o incrementar proteína, según el destino comercial.
 - Para aumentar rendimiento, priorizar aplicaciones durante encañazón.
 - Para incrementar proteína, realizar aplicaciones más tardías.
- **Maíz:** el objetivo principal es incrementar rendimiento en grano.

- **Girasol:** evaluar cuidadosamente la estrategia, ya que un aumento en la disponibilidad de nitrógeno puede incrementar el rendimiento, pero **disminuir el porcentaje de aceite**, que suele ser la variable bonificada por la industria.

4. Seguimiento satelital del Lote y Umbrales Críticos

- Complementar el seguimiento satelital con mediciones a campo mediante drones, SPAD u otros sensores de N.
- Es preferible utilizar NDRE, ya que mantiene sensibilidad cuando el canopeo está completamente desarrollado, mientras que el NDVI tiende a saturarse.
- **Umbral crítico:** valores de INS < 0.90-0.95 suelen indicar deficiencia de N y necesidad de fertilización complementaria; por encima de ese umbral, el cultivo no respondería económicamente a N adicional.

$$\text{ISN} = (\text{NDRE de los sitios a evaluar} / \text{valor NDRE de la Franja de referencia}) \times 100$$

$$\text{ISN} = (0,70 / 0,77) \times 100 = 0,90$$

Si el Índice de Suficiencia de N (ISN) es menor a 95% ...
el cultivo ya está "avisando" que falta N

5. Monitoreo de enfermedades fúngicas

- Realizar un seguimiento permanente de enfermedades.
- Aun infecciones incipientes o localizadas en los estratos medios o inferiores del cultivo pueden modificar los valores de NDRE y generar interpretaciones erróneas sobre el estado nutricional.

6. Momento de aplicación

La metodología debe adaptarse a la fisiología y al objetivo productivo de cada especie. Los momentos de evaluación y de refertilización difieren entre los cultivos.

- **Trigo:** refertilizar en **encañazón Z.33**.
El trigo se beneficia enormemente del ISN satelital porque la ventana de corrección es amplia y la respuesta al N en estadios tempranos define directamente el número de espigas por metro cuadrado.
Refertilizar luego de encañazon para aumentar los % de proteína
- **Maíz:** refertilizar **entre V6 y V10**.
En maíz, el ISN satelital es una herramienta excelente para definir la fertilización variable en estadios vegetativos, pero el "reloj" corre más rápido, a diferencia del trigo.
- Siempre que resulte posible sincronizar la aplicación N con las lluvias

7. Dosis N a aplicar en las refertilizaciones

La metodología debe adaptarse a la fisiología y al objetivo productivo de cada especie. Los momentos de evaluación y de refertilización difieren entre los cultivos.

La dosis de nitrógeno varía según diversos factores, como el contenido de nutrientes en el suelo, la cantidad aplicada en la siembra, las lluvias estimadas y el rendimiento esperado.

- Cuanto mejor sea la condición hídrica, mayor será la dosis de fertilización recomendada
- Normalmente, las dosis de refertilización oscilan entre 50 y 100 kilogramos de N por ha.
- Además, se suele agregar azufre en una proporción de 1 a 8 respecto al N para generar interacciones positivas entre los nutrientes
- **Trigo: Dosis de N a aplicar (kg/ha) = (100 - ISN) x K**
El factor **K** representa cuántos kg de N se necesita por cada punto porcentual de diferencia para corregir el lote. En la región pampeana y Uruguay, para trigos de potencial medio a alto, se usan
K = 2: Si el escenario viene con lo justo de agua o el potencial del lote es moderado (ej. objetivo de 3.500 a 4.000 kg/ha de grano).
K = 2.5 a 3: Si el año viene muy bueno de humedad en el perfil y si se apunta a techos altos de rinde (ej. más de 5.000 kg/ha).
- **Maíz: Dosis de N a aplicar (kg/ha)**
ISN > 0.95 → sin respuesta esperada, **no fertilizar**
ISN 0.85-0.95 → dosis moderada (30-50 kg N/ha)
ISN 0.70-0.85 → dosis media (60-90 kg N/ha)
ISN < 0.70 → dosis alta (100+ kg N/ha), aunque acá conviene revisar si la causa es realmente N o alguna otra: compactación/anegamiento