

---

# GUÍA DE INTERPRETACIÓN: CALIDAD DE DATOS Y ANÁLISIS DE SUELOS

## PARTE 1: TUS MÉTRICAS DE CALIDAD DE DATOS

Explicación sencilla basada en el algoritmo de cálculo utilizado.

### 1. Completitud

-- ¿Qué significa?: Mide si hay "huecos" en la información. El sistema busca celdas vacías (nulas).

-- Tu meta: Que todas las columnas tengan datos registrados.

-- Interpretación: Si el puntaje baja, es porque faltan datos en las muestras.

### 2. Consistencia

-- ¿Qué significa?: Verifica que no estés mezclando peras con manzanas. Revisa que si una columna debe ser numérica, no tenga textos o letras extrañas.

-- Tu meta: Que todos los datos respeten su tipo (números con números).

-- Interpretación: Un puntaje bajo indica errores de digitación o formatos mixtos.

### 3. Variabilidad

-- ¿Qué significa?: Usa el "Coeficiente de Variación" para ver qué tanto se mueven los datos.

-- Tu meta: Evitar los extremos.

-- Alerta Roja: Si el valor es 0, significa que todas las muestras dieron el mismo número (dato sospechoso o "pegado"). Si es mayor a 200, los datos son demasiado caóticos y dispares.

### 4. Unicidad

-- ¿Qué significa?: Busca gemelos idénticos. Verifica que no haya filas duplicadas exactamente iguales.

-- Tu meta: Que cada muestra sea única.

-- Interpretación: Si el puntaje es bajo, es probable que hayas cargado el mismo archivo dos veces o copiado y pegado filas por error.

## 5. Precisión

-- ¿Qué significa?: Busca a los "rebeldes" (outliers o valores atípicos). Usa métodos estadísticos (IQR, K-means) para detectar números que se salen de lo normal.

-- Tu meta: Datos dentro de rangos lógicos.

-- Interpretación: Un puntaje bajo indica que hay valores extremistas (ej. un pH de 14 o una materia orgánica negativa) que distorsionan la realidad.

## 6. Integridad

-- ¿Qué significa?: Es una revisión estructural. Compara las columnas que subiste contra las columnas que el sistema "espera" recibir.

-- Tu meta: Que no falten columnas importantes ni sobren columnas basura.

---

# PARTE 2: TÉRMINOS ESTADÍSTICOS (La forma de los datos)

## Kurtosis (Curtosis)

-- Significado: Nos dice qué tan "puntiaguda" es la gráfica de tus datos.

-- Alta: Todos los datos están muy amontonados en el centro (como una aguja). Indica poca variedad.

-- Baja: Los datos están muy dispersos (como una meseta plana).

## Coeficiente de Desviación (Variación)

-- Significado: Es un porcentaje que nos dice qué tan diferentes son los datos entre sí.

-- Ejemplo: En laboratorio, buscamos que sea bajo para asegurar que el equipo mide siempre bien. En campo, es normal que varíe porque el suelo cambia.

## Asimetría

-- Significado: Nos dice hacia qué lado se recargan los datos.

-- Positiva: La mayoría de datos son bajos, pero hay unos pocos muy altos que estiran la gráfica a la derecha.

-- Negativa: La mayoría de datos son altos, pero hay unos pocos muy bajos que estiran la gráfica a la izquierda.

---

## PARTE 3: RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA SUELOS

A continuación, qué hacer cuando los valores son Muy Bajos o Muy Altos para cada variable solicitada.

### >> VARIABLES BÁSICAS Y FÍSICAS

Variable: ph\_agua\_suelo

-- MUY BAJO (Acidez): Las raíces se queman y no comen.

Acción: Aplicar enmiendas calcáreas (Cal agrícola, Dolomita).

-- MUY ALTO (Alcalinidad): Los nutrientes se bloquean.

Acción: Aplicar materia orgánica o azufre elemental. Evitar quema de residuos.

Variable: materia\_organica

-- MUY BAJO: Suelo estéril, duro y sin vida.

Acción: Incorporar compost, gallinaza, abonos verdes o rastrojos de cosecha.

-- MUY ALTO: Generalmente bueno, pero si es excesivo puede indicar mal drenaje (suelo turboso).

Acción: Revisar que el suelo no esté encharcado.

Variable: conductividad\_electrica

-- MUY BAJO: Suelo muy lavado, con pocos nutrientes.

Acción: Requiere fertilización completa.

-- MUY ALTO: Problema de salinidad. La planta no puede beber agua.

Acción: Lavado de sales con riego abundante o aplicación de yeso agrícola y mejora de drenajes.

Variable: capacidad\_de\_intercambio\_cationico (CIC)

-- MUY BAJO: El suelo es como un colador (arenoso), no retiene la comida.

Acción: Fraccionar el fertilizante (aplicar poco pero muchas veces) y subir la materia orgánica.

-- MUY ALTO: Suelo arcilloso que retiene mucho.

Acción: Monitorear para no saturar el suelo.

## **>> MACRONUTRIENTES Y ACIDEZ**

Variable: fosforo\_bray\_ii

-- MUY BAJO: Planta pequeña, hojas moradas, poca raíz.

Acción: Aplicar fuentes fosfatadas (DAP, MAP, Roca Fosfórica) cerca de la raíz.

-- MUY ALTO: Bloquea la absorción de Zinc y Hierro.

Acción: Suspender fertilización fosfatada temporalmente.

Variable: azufre\_fosfato\_monocalcico

-- MUY BAJO: Amarillamiento en hojas jóvenes.

Acción: Usar Sulfato de Amonio, Yeso o Sulfato de Magnesio.

-- MUY ALTO: Rara vez tóxico, pero acidifica el suelo.

Acción: Monitorear el pH.

Variable: acidez\_kcl / aluminio\_intercambiable

-- MUY ALTO (El problema principal): Tóxico para la raíz, impide el crecimiento.

Acción URGENTE: Aplicar Cal (Carbonato de Calcio) para neutralizar el aluminio.

-- MUY BAJO: Es lo ideal (cercano a 0).

Acción: Mantener así.

Variable: calcio\_intercambiable

-- MUY BAJO: Hojas deformes, caída de flores, pudrición apical en frutos.

Acción: Aplicar Cal agrícola o Nitrato de Calcio.

-- MUY ALTO: Puede bloquear al Potasio y Magnesio.

Acción: Balancear aplicando K y Mg.

Variable: magnesio\_intercambiable

-- MUY BAJO: Hojas viejas con manchas amarillas (clorosis intervenal).

Acción: Aplicar Cal Dolomita o Sulfato de Magnesio (Kieserita).

-- MUY ALTO: Suelo pegajoso, compite con el Potasio.

Acción: Aumentar aplicaciones de Calcio.

Variable: potasio\_intercambiable

-- MUY BAJO: Bordes de hojas quemados, frutos pequeños y sin sabor.

Acción: Aplicar Cloruro de Potasio o Sulfato de Potasio.

-- MUY ALTO: Bloquea la entrada de Magnesio y Calcio.

Acción: Revisar el equilibrio de bases.

Variable: sodio\_intercambiable

-- MUY ALTO (Peligroso): Destruye la estructura del suelo (lo vuelve polvo o cemento) y es tóxico.

Acción: Aplicar Yeso Agrícola y lavar el suelo con agua.

-- MUY BAJO: Es lo ideal.

## **>> MICRONUTRIENTES**

(Nota: Las recomendaciones aplican igual para método Olsen o Doble Ácido)

Variables: hierro\_disponible (Olsen / Doble Ácido)

-- MUY BAJO: Hojas nuevas amarillas a casi blancas.

Acción: Aplicar quelatos de Hierro foliar o al suelo.

-- MUY ALTO: Común en suelos ácidos y encharcados.

Acción: Mejorar drenaje y subir pH (encalar).

Variables: cobre\_disponible (Disponble / Doble Ácido)

-- MUY BAJO: Hojas nuevas deformes o secas en las puntas.

Acción: Sulfato de cobre (con cuidado) o foliares.

-- MUY ALTO: Tóxico para las raíces.

Acción: Encalar el suelo para reducir su disponibilidad.

Variables: manganeso\_disponible (Olsen / Doble Ácido)

-- MUY BAJO: Manchas amarillas en hojas medias.

Acción: Sulfato de manganeso foliar.

-- MUY ALTO: Tóxico, causa manchas oscuras y arrugamiento en hojas (común en suelos ácidos).

Acción: Encalar el suelo (subir pH).

Variables: zinc\_disponible (Olsen / Doble Ácido)

-- MUY BAJO: Entrenudos cortos (plantas enanas), hojas pequeñas arrosetadas.

Acción: Sulfato de Zinc al suelo o quelatos foliares.

-- MUY ALTO: Rara vez ocurre naturalmente, salvo por contaminación.

Acción: Encalar.

Variable: boro\_disponible

-- MUY BAJO: Mala floración, frutos deformes, muerte de brotes nuevos.

Acción: Aplicar Bórax o Ácido Bórico (Cuidado: el rango entre bueno y tóxico es muy estrecho).

-- MUY ALTO: Quemadura severa en bordes de las hojas.

Acción: Lavar suelo con riego abundante.

¡Absolutamente! Entiendo la necesidad de tener un documento **totalmente plano**, listo para copiar y pegar en un archivo de texto o un sistema RAG sin ningún formato especial como Markdown (tablas, negritas, cursivas, etc.), solo texto puro con saltos de línea para la estructura.

Aquí tienes el contenido completo y explícito en texto plano:

---

## DOCUMENTO DE REFERENCIA ESTRUCTURADO: ÍNDICE DE CALIDAD DE DATOS (ICD) Y RECOMENDACIONES DE ANÁLISIS DE SUELOS

### I. DEFINICIONES DE MÉTRICAS DE CALIDAD DE DATOS (ICD)

Las métricas del Índice de Calidad de Datos (ICD) evalúan la fiabilidad del conjunto de mediciones de suelos.

METRICA: Completitud

FUNDAMENTO DEL CÁLCULO: Porcentaje de valores no nulos en el conjunto de datos. El puntaje se penaliza si más del 50% de una columna está vacía.

RECOMENDACIÓN CLAVE (ACCIÓN): Completar datos faltantes (nulos). Revisar las columnas con alta proporción de celdas vacías.

METRICA: Unicidad

FUNDAMENTO DEL CÁLCULO: Mide la ausencia de filas duplicadas y la cantidad de valores únicos por columna. Un puntaje bajo indica alta redundancia.

RECOMENDACIÓN CLAVE (ACCIÓN): Eliminar registros duplicados. Verificar columnas con baja unicidad (menos del 20% de valores únicos).

METRICA: Consistencia

FUNDAMENTO DEL CÁLCULO: Evalúa la coherencia de los tipos de datos. Mide cuántos valores no numéricos se pierden al intentar convertir las columnas a formato numérico.

RECOMENDACIÓN CLAVE (ACCIÓN): Estandarizar formatos. Asegurar que los datos numéricos no contengan texto, símbolos o espacios que impidan la conversión.

METRICA: Precisión

**FUNDAMENTO DEL CÁLCULO:** Se basa en la detección de outliers (valores atípicos) utilizando métodos estadísticos y de Aprendizaje Automático (IQR, K-means, OneClassSVM).

**RECOMENDACIÓN CLAVE (ACCIÓN):** Validar datos extremos. Revisar y corregir valores que se salgan drásticamente del rango estadístico para esa variable.

**METRICA:** Variabilidad

**FUNDAMENTO DEL CÁLCULO:** Mide la dispersión relativa de los datos mediante el Coeficiente de Variación (CV). Un puntaje bajo se asigna a variabilidad nula (CV cercano a 0) o excesiva (CV mayor a 200%).

**RECOMENDACIÓN CLAVE (ACCIÓN):** Balancear la dispersión. Revisar casos de CV nulo (posible error de copia) y CV excesivo (datos demasiado caóticos).

**METRICA:** Integridad

**FUNDAMENTO DEL CÁLCULO:** Evalúa la integridad estructural. Mide el grado en que el esquema de la tabla (las columnas) coincide con el esquema esperado.

**RECOMENDACIÓN CLAVE (ACCIÓN):** Asegurar la estructura. Verificar que no falten columnas clave y que no haya columnas inesperadas.

---

## **II. CONCEPTOS ESTADÍSTICOS Y FORMA DE LOS DATOS**

**ASIMETRÍA (Skewness)**

**DEFINICIÓN:** Mide el grado de inclinación de la distribución. Indica si los datos están concentrados a la izquierda (cola larga a la derecha, Asimetría positiva) o a la derecha (cola larga a la izquierda, Asimetría negativa).

**IMPLICACIÓN:** Una asimetría alta sugiere que la media está siendo fuertemente influenciada por valores extremos.

**KURTOSIS (Curtosis)**

**DEFINICIÓN:** Mide la forma de la cúspide y las colas de la distribución (qué tan puntiaguda o plana es).

**TIPOS:** Leptocúrtica (puntiaguda, datos muy concentrados en el centro), Platicúrtica (plana, datos muy dispersos).

**COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) o Coeficiente de Desviación**



FÓRMULA:  $CV = (\text{Desviación Estándar} / \text{Media}) * 100$ .

FUNCIÓN: Expresa la desviación estándar como porcentaje de la media. Permite comparar la dispersión de variables medidas en unidades diferentes.

---

### **III. REFERENCIA TÉCNICA Y RECOMENDACIONES AGRONÓMICAS**

Esta sección presenta los rangos de referencia del laboratorio y las acciones agronómicas para los valores límite.

#### **A. PROPIEDADES BÁSICAS Y FÍSICAS**

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: pH

UNIDAD: Unidades de pH

RANGO (MIN - MAX): 0 a 14

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Suelo Ácido (ej. menor a 5.5). Aplicar Cal (encalado) para elevar el pH y neutralizar la toxicidad del Aluminio.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Suelo Alcalino (ej. mayor a 7.5). Aplicar Azufre elemental o materia orgánica ácida para reducir el pH.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Conductividad eléctrica

UNIDAD: dS/m

RANGO (MIN - MAX): 1 a 5

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Baja Salinidad. Puede indicar un suelo muy lavado.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Salinidad Alta (mayor a 4 dS/m). La planta sufre estrés hídrico. Acción: Lavado del suelo y aplicación de Yeso agrícola.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Materia orgánica (MO)

UNIDAD: g /100 g

RANGO (MIN - MAX): 2 a 8

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Suelo Pobre. Falta estructura, nutrientes y vida microbiana. Acción: Incorporar Compost o abonos verdes.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso (Suelos Turbosos). Puede indicar mal drenaje o falta de aireación. Acción: Mejorar drenajes.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Capacidad de Intercambio Catiónico (CICA)

UNIDAD: cmol(+)/kg

RANGO (MIN - MAX): 20 a 40

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Baja Retención. Característico de suelos arenosos. Acción: Fraccionar la fertilización (dosis pequeñas frecuentes) y aumentar MO.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Alta Retención. Suelo arcilloso. Acción: Favorable, pero requiere manejo de la densidad y la aireación.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Arena, Limo, Arcilla

UNIDAD: Porcentaje (%)

RANGO (MIN - MAX): 0 a 100

RECOMENDACIÓN: Determina el tipo textural del suelo y afecta directamente el manejo del riego y la fertilización.

---

## **B. MACRONUTRIENTES Y ACIDEZ**

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Fósforo disponible (P) Bray II

UNIDAD: mg/kg

RANGO (MIN - MAX): 20 a 80

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Raíces pobres y baja floración. Acción: Aplicar fertilizantes fosfatados (DAP, MAP).

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Puede fijar micronutrientes como el Zinc y contaminar aguas. Acción: Suspender aplicaciones.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Azufre disponible (S)

UNIDAD: mg/kg

RANGO (MIN - MAX): 20 a 100

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Amarillamiento en hojas jóvenes.  
Acción: Aplicar fuentes de sulfato como Yeso o Sulfato de Amonio.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Rara vez es tóxico, pero contribuye a la acidez.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Acidez (KCl) / Aluminio Intercambiable

UNIDAD: cmol(+)/kg

RANGO (MIN - MAX): No aplica

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): -

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Aluminio Tóxico. Causa inhibición del crecimiento radicular. Acción: Encalado (aplicación de Cal) para precipitar el Aluminio.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Calcio intercambiable (Ca)

UNIDAD: cmol(+)/kg

RANGO (MIN - MAX): 5 a 30

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Problemas estructurales y deformación de frutos. Acción: Aplicar Cal agrícola o Nitrato de Calcio.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Puede desbalancear la proporción Ca:Mg:K.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Magnesio Intercambiable (Mg)

UNIDAD: cmol(+)/kg

RANGO (MIN - MAX): 2 a 6

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Clorosis (amarillamiento) intervenal en hojas viejas. Acción: Aplicar Cal Dolomita o Sulfato de Magnesio.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Compite con la absorción de Potasio.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Potasio intercambiable (K)

UNIDAD: cmol(+)/kg

RANGO (MIN - MAX): 0 a 1

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Frutos pequeños, baja calidad y "quemaduras" en bordes de hojas. Acción: Aplicar Cloruro o Sulfato de Potasio.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Bloquea la absorción de Magnesio y Calcio.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Sodio intercambiable (Na)

UNIDAD: cmol(+)/kg

RANGO (MIN - MAX): 0 a 4

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): -

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Suelo Sódico (mayor a 4 cmol/kg). Destruye la estructura física del suelo. Acción: Aplicar Yeso Agrícola y lavar.

---

### **C. MICRONUTRIENTES DISPONIBLES (OLSEN/DOBLE ÁCIDO)**

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Hierro disponible (Fe)

UNIDAD: mg/kg

RANGO (MIN - MAX): 80 a 400

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Clorosis en brotes nuevos (hojas blancas). Acción: Aplicar Quelatos de Hierro foliar o al suelo.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Común en pH bajo. Acción: Elevar el pH.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Manganeseo disponible (Mn)

UNIDAD: mg/kg

RANGO (MIN - MAX): 4 a 18

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Manchas cloróticas en hojas jóvenes. Acción: Aplicación foliar o Sulfato de Manganeseo.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Tóxico en suelos ácidos. Acción: Elevar el pH.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Zinc disponible (Zn)

UNIDAD: mg/kg

RANGO (MIN - MAX): 15 a 45

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Crecimiento en roseta y hojas pequeñas. Acción: Aplicar Sulfato de Zinc o quelatos.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Raro, se maneja ajustando el pH.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Cobre disponible (Cu)

UNIDAD: mg/kg

RANGO (MIN - MAX): 0 a 6

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Deformación en hojas terminales. Acción: Aplicación foliar o Sulfato de Cobre.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Tóxico. Acción: Elevar el pH.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA: Boro disponible (B)

UNIDAD: mg/kg

RANGO (MIN - MAX): 0 a 1

BAJO EL MÍNIMO (ACCIÓN): Deficiencia. Fallas reproductivas y muerte de brotes. Acción: Aplicar fertilizantes borados.

SOBRE EL MÁXIMO (ACCIÓN): Exceso. Quema severa de los bordes de las hojas. Acción: Lavar el suelo.