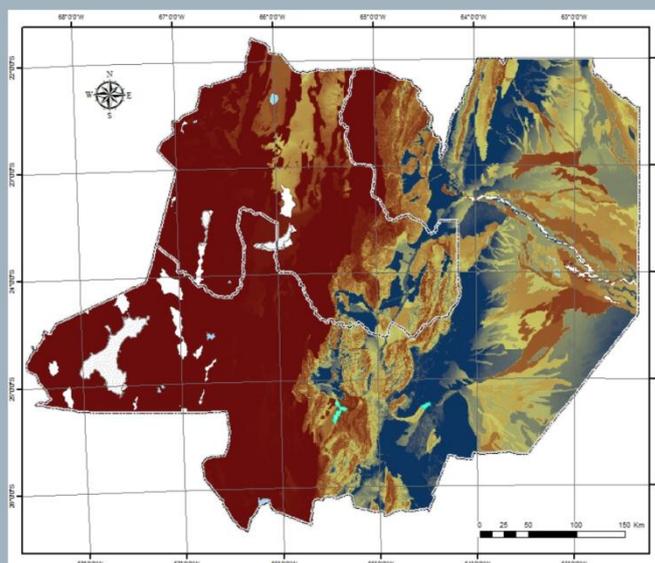


# Evaluación de tierras mediante métodos paramétricos

Ajuste del sistema índice de productividad (IP) y su aplicación mediante herramientas SIG para las provincias de Salta y Jujuy

Morales Poclava, C; Sobral, R; Nakama, V; Volante, J ; Bianchi, A



Evaluación de tierras mediante métodos paramétricos : ajuste del sistema índice de productividad, IP, y su aplicación mediante herramientas SIG para las provincias de Salta y Jujuy / Cecilia Morales Poclava ... [et al.]. - 1a ed. - Salta : Ediciones INTA, 2015.  
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online  
ISBN 978-987-521-662-4

1. Índice de Productividad. 2. SIG. 3. Salta - Jujuy. I. Morales Poclava, Cecilia  
CDD 551

# **EVALUACIÓN DE TIERRAS MEDIANTE MÉTODOS PARAMÉTRICOS**

**Ajuste del sistema Índice de productividad (IP) y su aplicación  
mediante herramientas SIG para las provincias de Salta y Jujuy.**

Morales Poclava, C; Sobral, R; Nakama, V; Volante, J; Bianchi, A.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

2015

## Índice General

1 . Introducción .....	1
2. Métodos utilizados en evaluación de tierras .....	3
2.1 Métodos de evaluación cualitativos .....	3
2.2 Métodos de evaluación paramétricos .....	4
2.3 Métodos de evaluación cuantitativos .....	6
3. Evaluación de tierras en el Noroeste Argentino .....	6
4. Objetivos .....	7
5. Materiales y métodos.....	8
5.1 Área de estudio .....	8
5.2 Geología y geomorfología. ....	8
5.3 Hidrología.. ....	9
5.4 Sistemas productivos.....	11
5.5 Determinación del IP por región climática. ....	12
5.6 Modelos paramétricos según región climática.....	14
5.7 Ajuste del sistema índice de productividad .....	17
6. Resultados.....	26
7. Conclusiones .....	31
Bibliografía .....	33

## Índice de Tablas

Tabla 1. Rango de Índice de Precipitación Efectiva.....	19
Tabla 2: Rango de valores de pendiente en porcentaje.....	19
Tabla 3. Rango de IP para Profundidad efectiva .....	20
Tabla 4. Rango de IP para drenaje .....	21
Tabla 5. Rango de IP para salinidad.....	21
Tabla 6. Rango de IP para alcalinidad.....	22
Tabla 7. Rango de IP para materia orgánica. ....	22
Tabla 8. Rango de IP para Textura del horizonte superficial .....	23
Tabla 9. Rango de IP para Textura del horizonte sub-superficial. ....	23
Tabla 10. Rango de IP para pedregosidad .....	24

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa geomorfológico de las provincias Salta y Jujuy .....	9
Figura 2. Cuencas hídricas de la región del NOA .....	11
Figura 3. Zona Agroeconómicas Homogéneas (ZAH). ....	12
Figura 4. Regiones y sub-regiones climáticas de la Provincia de Salta .....	16
Figura 5. Regiones y sub-regiones climáticas de la Provincia de Jujuy .....	17
Figura 6. Hoja de cálculo para determinación de IP en base a variables edáficas. ....	25
Figura 7. Metodología aplicada para obtener raster IP de variables edáficas. ....	25
Figura 8. Metodología para cálculo de IP cartográfico.....	26
Figura 9. IP en función a característica climática que integra el IP ajustado .....	27
Figura 10. IP en función a característica topográfica que integra el IP ajustado .....	28
Figura 11. IP en función a variables edáficas que integra el IP ajustado.....	29
Figura 12. IP ajustado a nivel de unidad cartográfica. ....	30

## Agradecimientos

Al Ing Agr. José Luis Arzeno por los valiosos aportes realizados.

Al Laboratorio de teledetección y SIG de la EEA Salta por el aporte de las fotografías utilizadas en la portada de este escrito.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los recursos naturales de manera sustentable requiere de la aplicación de diversos procedimientos que aporten información sobre las alternativas de uso que es posible desarrollar en el terreno, para ello es necesario considerar a los recursos naturales desde una perspectiva amplia e integradora (SAGPYA, 1995).

Por lo general, el uso agrícola de las tierras se efectúa en base a un manejo tradicional, a las recomendaciones de los servicios de extensión o por extrapolación de resultados experimentales. Sin embargo, en distintos ámbitos la incorporación de tierras para la agricultura fue realizada sin estudios previos que indiquen el o los usos más apropiados y sus efectos sobre el medio ambiente, pudiendo ocasionar pobreza, degradación ambiental, explotación económica ineficiente y pérdida de recursos naturales como suelo y agua (FAO, 2000, Rossiter, 1990).

La evaluación de tierras es el proceso de determinación y predicción de su comportamiento cuando es utilizada con fines específicos, involucrando la ejecución e interpretación de mediciones y los estudios de diversas características ambientales tales como geomorfología, suelos, vegetación, clima, entre otros, a fin de identificar y poder comparar sus posibles usos en términos de aplicabilidad de los objetivos de la evaluación (Van Leeuwen et al., 2001).

Desde este punto de vista se requiere diferenciar los términos suelo y tierra. El suelo es el cuerpo tridimensional que ocupa la parte superior de la corteza terrestre, con propiedades resultantes de las interacciones del clima, los organismos vivientes, el material parental y el relieve, a lo largo de un período de tiempo. Un suelo se distingue de otros de acuerdo a las características internas y externas como pendiente, microtopografía y pedregosidad de la superficie, entre otras (Richters, 1995).

Tierra se define de acuerdo a FAO como “un área de la superficie terrestre que se puede delinear, abarcando todos los atributos de la biósfera inmediatamente por encima y por debajo de su superficie, incluyendo el clima en la zona cercana a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica, las capas sedimentarias cercanas a la superficie y las reservas de aguas subterráneas asociadas a las mismas, las poblaciones de flora y fauna, las formas de colonización de la población humana y los resultados físicos de la actividad humana anterior y actual, terrazas, estructura para reserva o drenaje de aguas, caminos, construcciones, etc.”

En los últimos tiempos esta definición se amplió incorporando series de tiempo de los atributos de la tierra, debilitando la exigencia de que estos sean estables o predeciblemente cíclicos.

La evaluación comprende el análisis de las cualidades y limitaciones de las unidades de tierra en relación a un posible uso o no uso. El valor relativo de estas características se estandarizan en función de aquellos, generalmente las características físico – químicas se pueden analizar cuantitativamente, mientras que ciertas características ambientales requieren una evaluación cualitativa (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Food y Agriculture Org., 2001). La determinación de la aptitud, definida para un uso y una unidad territorial, constituye la base para la posterior planificación y gestión del conjunto de usos posibles para la totalidad del territorio (FAO, 2003; Santé Rivera y Crecente Maseda, 2005).

La evaluación de tierras se origina ante la necesidad de efectuar una valoración numérica de capacidad productiva de la tierra en función a propósitos específicos, tratando de predecir objetivamente el comportamiento del suelo para un uso definido (de la Rosa, 2008):

Las primeras aproximaciones formales y sistémicas se originaron durante la década de los treinta en Estados Unidos, por la ocurrencia de drásticos eventos de erosión conocidos como '*dust bowl*' (Venegas, 2007). Desde entonces, los sistemas de evaluación han evolucionado desde métodos empíricos enfocados en considerar algunas propiedades edáficas hacia valoraciones más cuantificadas y precisas (Debelis, 2003; Santé Rivera y Crecente Maseda, 2005), variando desde una fase subjetiva e incluso anecdótica a una disciplina científica bien estructurada y sistémica, con complejas metodologías interpretativas.

En los últimos años, se ha incorporado la utilización de avanzadas tecnologías de la información y de las comunicaciones, como ser base de datos, sistemas de información geográfica, modelación computacional, inteligencia artificial, aplicaciones web, entre otras. El uso integrado de estas tecnologías permite el análisis de una gran cantidad de información acerca de recursos agroclimáticos, uso de la tierra, e incluso considerando escenarios ante variaciones en el clima (de la Rosa, op cit).

## 2. MÉTODOS UTILIZADOS EN EVALUACIÓN DE TIERRAS

### 2.1 Métodos de evaluación cualitativos

Existe una serie de metodologías, modelos y programas desarrollados bajo un enfoque cualitativo, entre los que se destacan los siguientes:

#### Clasificación por Capacidad de uso (USDA)

El sistema de evaluación de suelos USDA – LCC (Land Capability Classification) es el de mayor difusión y más ampliamente utilizado y adaptado. Este sistema desarrollado por Klingebiel y Montgomery (1961), en el Departamento de Agricultura de Estados Unidos-USDA fue la principal herramienta para formular los usos más adecuados del territorio y las recomendaciones sobre prácticas de conservación del suelo. Se orienta, principalmente, a objetivos agrícolas en zonas templadas, con sistemas de labranza y subsidios propios de países desarrollados. Desde el punto de vista metodológico es simple y no incluye evaluación económica (Sharma, 1992).

Este sistema define 8 clases de capacidad de uso, iniciando por una primera clase óptima (Clase I) sin limitaciones para usos agrícolas intensivos y clases subsecuentes que incorporan progresivamente la intensidad de las limitaciones y el riesgo de deterioro del suelo, hasta llegar a la clase VIII, que presenta serias limitantes o riesgos que restringen su uso a reserva natural, recreación o paisajístico (León, 1994).

Luego el sistema define las sub-clases en base a cuatro limitantes: erosión (e), exceso de humedad (w), limitaciones a nivel radical (s) y clima (c). En este sistema el uso agrícola es reservado para las mejores tierras, dándose especial importancia a los riesgos de erosión y a la necesidad de conservar la potencialidad del suelo (de la Rosa, 2008).

#### Clasificación de tierras para usos bajo riego (USBR)

Esta metodología establece 5 clases en términos de aptitud para la agricultura de regadío. Las 3 primeras se consideran aptitud aceptable, la cuarta apta para un uso especial, y la quinta no apta. El criterio básico para establecer esta clasificación es la “capacidad de pago” que pueden tener las tierras para introducir y mantener la técnica del riego.

La predicción de la “capacidad de pago” se realiza en base a ciertas características del perfil del suelo, del drenaje y de la topografía (de la Rosa, 2008). Además considera algunos atributos económicos, especialmente sobre costos financieros de la sistematización y rentabilidad de la explotación.

### Esquema de Evaluación de Tierras (FAO)

Este sistema es un marco metodológico basado en la comparación entre las cualidades de las unidades de tierras y los requerimientos de un uso específico (FAO, 1976). Asimismo puede ser implementado a diferentes escalas, y para una amplia gama de usos de la tierra. Es un sistema abierto, que requiere ser desarrollado en cada caso. No establece jerarquías entre los distintos usos y se basa en aptitudes y no en limitaciones (Debelis, 2003).

El esquema se caracteriza por su generalidad y aplicabilidad en cualquier lugar del mundo, puede de ser fácilmente adaptado, y expandido con técnicas analíticas nuevas. Es un sistema flexible, apoyado en directivas (guidelines) para crear evaluaciones de tierra para usos específicos (FAO, 2003).

### **2.2 Métodos de evaluación paramétricos**

En los métodos paramétricos, la relación entre la productividad y las características de la tierra se expresan como factores ponderados en una función matemática simple. El objetivo de los mismos es que factores numéricos, generalmente valores de características de la tierra, sean combinados para alcanzar una sola variable numérica final (Rossiter, 1994).

Según Riquier y otros autores (1974), los métodos paramétricos presentan las siguientes características:

- Evaluación independiente: a cada una de ellas se les asigna un valor numérico en función de su influencia sobre la capacidad productiva de los suelos.
- Combinación: mediante operaciones matemáticas, de los diferentes valores numéricos obtenidos, generando una puntuación final que se incluye en una escala continua de valoración, por regla general de 0 a 100. Estos índices se incorporan, posteriormente, en un número reducido de clases.

Desde 1930 se han desarrollado diversas propuestas de carácter paramétrico que, paulatinamente, han incorporado un mayor número de factores para cuantificar la capacidad productiva de medio edáfico. Mientras unos sistemas son muy poco conocidos, restringidos al ámbito local o regional, otros son aceptados internacionalmente como el índice de Storie y el sistema de Riquier, Bramao y Cornet (Vidal y Díaz, 2002).

#### Índice de Storie o índice de la tierra.

Es un índice multiplicativo desarrollado en Estados Unidos, con el objetivo de expresar una ponderación para una zonificación de suelos o para una tasación. Es un índice que expresa la influencia conjunta de los factores de suelos sobre la productividad de cultivos, en el cual se asigna a cada factor de suelo un porcentaje de un valor ideal para luego multiplicarlos (FAO, 2003).

#### Sistema Riquier, Bramao y Cornet

Estos autores plantean que la capacidad de uso de la tierra puede expresarse de forma más correcta en términos de productividad, definiéndola como la capacidad del suelo para producir una cantidad de producto de un determinado cultivo por hectárea y año. La productividad se expresa como porcentaje respecto a la productividad óptima, entendida como el rendimiento del mismo cultivo en un suelo sin limitaciones (Vidal y Díaz, 2002).

El sistema establece para tres usos (pastos, cultivos agrícolas y plantas de enraizamiento profundo) un "índice de productividad" y un "índice de potencialidad". El primero refleja numéricamente la capacidad actual de un suelo para obtener un rendimiento en un determinado cultivo, independientemente de los factores económicos que puedan condicionar el desarrollo de ciertas orientaciones productivas.

El segundo índice expresa numéricamente la productividad potencial de los suelos una vez incorporadas todas las enmiendas necesarias, previamente determinadas e incluyendo las más costosas, que permitan superar los factores (edáficos, fisiográficos y/o ambientales) que afectaban a los rendimientos (Riquier et al., 1971).

### **2.3 Métodos de evaluación cuantitativos**

Los sistemas anteriormente mencionados operan en base a datos recolectados para unidades cartográficas de los mapas de suelo. Actualmente los diversos datos que se colectan en el espacio y en el tiempo, permiten realizar estimaciones cuantitativas de la relación entre suelos y uso, especialmente para la relación entre la productividad y los factores edáficos, climáticos y de manejo. Para ello se ha desarrollado una gran cantidad de modelos de simulación, basados en el concepto de sistemas analíticos. Algunos modelos integran la información física con la información económica, pero la mayoría está orientado a la cuantificación de procesos físicos, relacionando algunas variables geo-bio-edáficas con la productividad o tolerancia ambiental (FAO, 2003).

Los modelos en general, requieren de mucha información sobre el nivel de manejo de cada cultivo y las especificaciones de los insumos dentro de estos. El rendimiento está estimado en base a promedios de largo plazo y considerando su variabilidad. Otro uso de los modelos es para predecir la respuesta de las cualidades del suelo. La principal limitante de estos modelos es que requieren datos muy detallados y que sólo han sido probados en áreas muy específicas. Sin descartar su importancia, estos no son siempre aplicables por falta de conocimiento e información cuantificada, siendo su ventaja principal la posibilidad de estimar la producción de cualquier cultivo en cualquier lugar, previa calibración y validación (FAO, 2003).

## **3. EVALUACIÓN DE TIERRAS EN EL NOROESTE ARGENTINO**

En Argentina se registra un intenso proceso de deforestación relacionado a la expansión de la frontera agrícola (Montenegro et al., 2005). La deforestación es un proceso que ocurre por pulsos asociados a momentos favorables, relacionados con los precios de los productos agrícolas, los cambios tecnológicos o del contexto socio-político (Montenegro et al., 2004). En el NOA y el NEA, esta expansión se ha producido en diversos frentes, principalmente en los bordes de la región Chaco Semiárido. En las provincias de Salta y Jujuy se ha localizado especialmente en la región de Yungas y Umbral al Chaco (Grau et al., 2005). A lo largo del tiempo la continuidad espacial existente entre ambas regiones se ha visto afectada de manera progresiva por la fragmentación de la vegetación original determinadas por las actividades humanas, incrementando en la última década por el avance la frontera agropecuaria y la ausencia de planificación del sector forestal (Somma et al., 2011).

La agricultura industrial implementada ha sido muy exitosa en incrementar la producción de granos, sin embargo, dicha expansión afecta la capacidad de los ecosistemas de proveer servicios, representando una amenaza directa para algunos pueblos aborígenes y criollos dado que provoca el desalojo de las comunidades y elimina el hábitat que ocupan (Paruelo et al., 2011).

Sumado a los factores económicos que impulsan la expansión de la agroindustria, en 2007 el proceso de deforestación fue influenciado por la incertidumbre generada ante los cambios políticos a producirse durante un año electoral, tanto a nivel provincial (en el caso de la provincia de Salta) como nacional y la vigencia de la Ley Nacional de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos (Ley N° 26331) causando un notable incremento de solicitudes por parte de productores e inversionistas, como también convocatorias de audiencias para la deforestación de más de 130 mil ha (Leake y de Ecnomo, 2008).

En Argentina, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, por intermedio del proyecto PNUD ARG 85/019, financió y encomendó al INTA la realización del Atlas de Suelos del país. Entre los diferentes objetivos, se realizó la evaluación de tierras mediante dos metodologías: *cualitativa*, de acuerdo a la clasificación por Capacidad de Uso (USDA) y *paramétrica* por el Índice de Productividad (IP) propuesto por Riquier, Bramao y Cornet adaptado a las condiciones de Argentina (SAGyP – INTA, 1990).

En este marco, los participantes del proyecto de la región NOA efectuaron el ajuste de las cartas de suelos del área a escala 1:500000, y contribuyeron a la definición, ajuste y aplicación de las fórmulas establecidas para el cálculo del Índice de Productividad, con sus respectivas tablas para cada parámetro.

De acuerdo a la regionalización climática realizada para el NOA, la provincia de Salta y Jujuy abarcan 3 regiones climáticas, difiriendo el modelo para el cálculo de IP en cada una, variando la tabla de ajuste de los parámetros edáficos.

#### **4. OBJETIVOS**

Actualizar el sistema IP para su aplicación en las provincias de Salta y Jujuy, estableciendo una fórmula única de cálculo, manteniendo los cultivos de referencia soja, maíz y sorgo a secano, y el nivel de manejo medio a alto.

Evaluar la productividad de las unidades de tierra de las provincias de Salta y Jujuy a escala de reconocimiento, basados en el sistema unificado y ajustado mediante herramientas SIG.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

En Noviembre de 2007 el Congreso Nacional de la República Argentina sancionó la ley N°26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, por la cual todas las provincias debían realizar un plan de ordenamiento territorial de sus bosques.

En los estudios de planificación del territorio es necesario considerar las respuestas a las opciones de uso de la tierra y sus potencialidades. Ante esta situación, se planteó la necesidad de unificar los modelos de IP desarrollados para el Atlas de suelos (SAGyP-INTA, 1990) a fin de contar con un único sistema de IP para las provincias de Salta y Jujuy obteniendo valores numéricos continuos y comparables entre sí en todo el territorio del NOA.

### 5.1 Área de estudio.

Las provincias de Salta y Jujuy se ubican entre las coordenadas 21° 46' y 26° 23' de latitud Sur y 62° 31' y 38° 31' de longitud Oeste, abarcando una superficie de 209000 km<sup>2</sup> aproximadamente. Presentan una amplia gama de condiciones ambientales, económicas y sociales que condicionan el desarrollo de diversos sistemas de producción (Piccolo et al., 2008).

### 5.2 Geología y geomorfología

Según Igarzabal (1991) las provincias de Salta y Jujuy comparten un relieve de similares características, resultantes de una común morfo-estructuración a partir de la movilidad de la Orogenia Andica. Esta dio origen a la predominancia de un dominio montañoso que decrece en altura hacia el este y da paso finalmente a un ambiente de llanura, a partir de los acarrees fluviales. Este último dominio solo está presente en la provincia de Salta.

Una desigual deformación de los terrenos afectado por el diastrofismo andino, se traduce en relieves que se adecuan a los estilos tectónicos resultantes, conformando geoformas cambiantes que tuvieron al escurrimiento como modelador dominante (Figura 1)



De esta forma, la mayor parte del agua disponible resulta parcialmente utilizable para riego y/u otros usos, a menos que se construyan obras de regulación que permitan aprovechar los caudales que escurren en épocas de crecidas.

Paralelamente, las condiciones de inestabilidad de suelos, las fuertes pendientes e intensidad de precipitaciones y la desprotección forestal en la cuenca alta, son factores que favorecen al transporte de sedimentos hacia las obras de infraestructura hidráulicas, viales y las zonas productivas. Esta problemática obliga a revisar y replantear antiguos proyectos hidráulicos y/o buscar nuevas alternativas de aprovechamiento con emplazamientos de obras de infraestructura capaces de mitigar el impacto ocasionado hasta el presente (Paoli et.al., 2011).

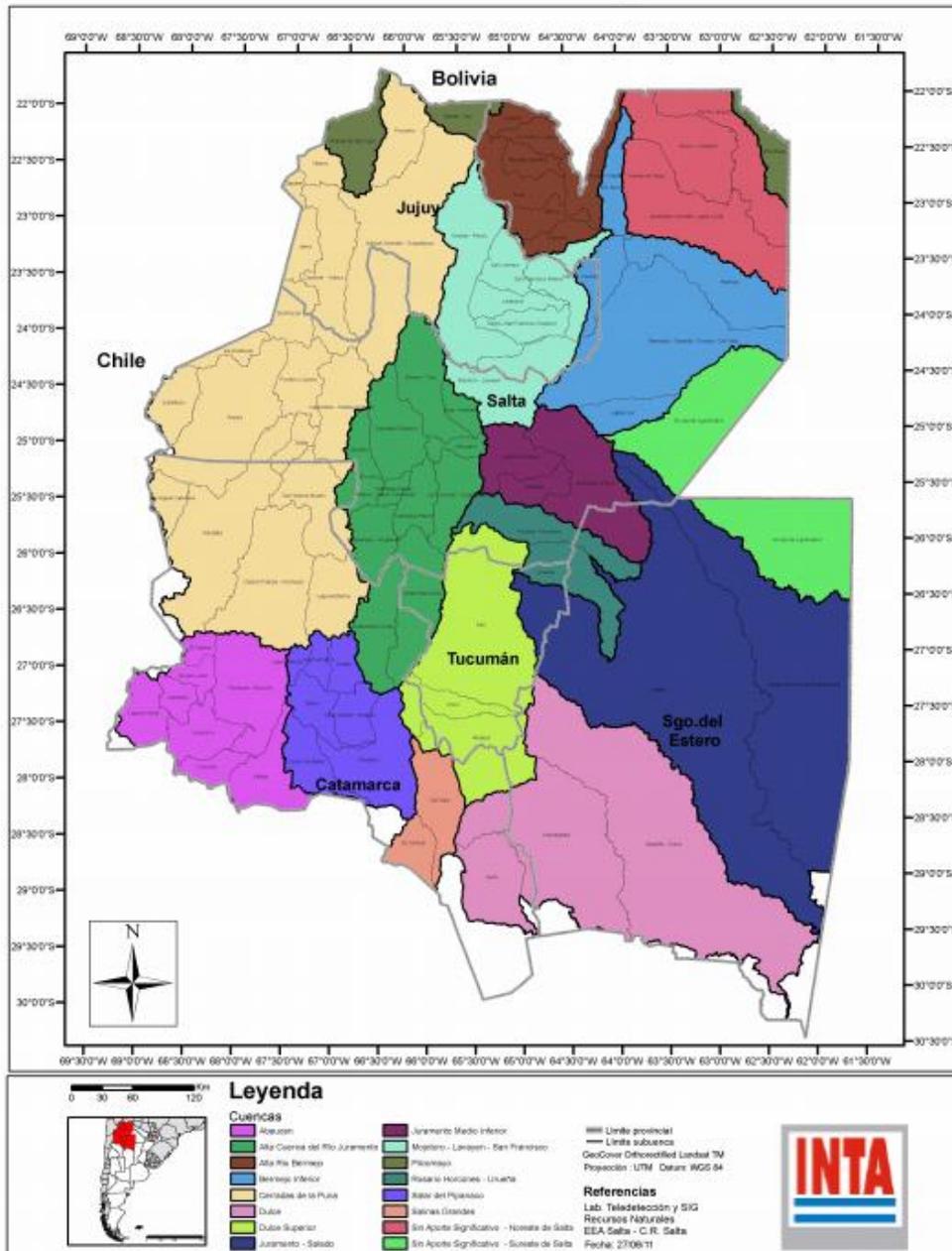


Figura 2. Cuencas hídricas de la región del NOA (Fuente: Paoli et al., 2011).

#### 5.4 Sistemas productivos.

La ocurrencia de climas tropicales y subtropicales, la variación de precipitaciones que se manifiestan en un rango de 150 mm a 2000 mm anuales, las variaciones ambientales y la existencia de riego en importantes áreas, permiten el desarrollo de una diversidad de producciones agrícolas y ganaderas: poroto, tabaco, hortalizas, citrus, palta, mango, papaya, banano, frutales de carozo, soja, maíz, trigo, caña de azúcar, vacunos, caprinos, camélidos y ovinos entre las principales (Piccolo et al., 2008).

En función a los sistemas de producción se pueden diferenciar 7 zonas agroeconómicas homogéneas (Figura 3).

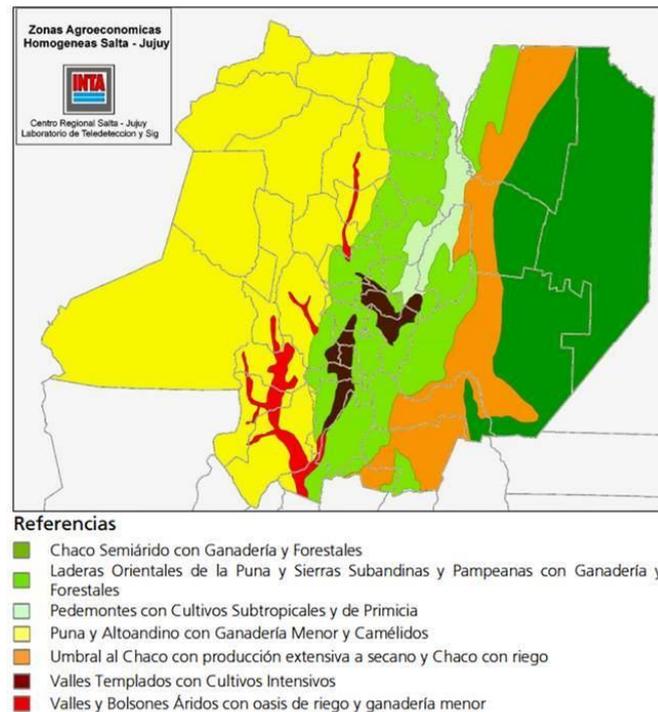


Figura 3. Zona Agroeconómicas Homogéneas (ZAH). (Fuente: Piccolo et al., 2008)

### 5.5 Determinación del IP por región climática.

En el Atlas de suelos (SAGyP-INTA 1990) el relevamiento se realizó a escala 1:500000 siendo la unidad cartográfica asociaciones y/o complejos, y la unidad taxonómica a nivel de Subgrupo

El cálculo del índice de productividad se efectuó regionalizando climáticamente al país a fin de contar con áreas de cierta homogeneidad dentro de la cual tienen validez las distintas fórmulas desarrolladas por Nakama y Sobral, 1987. Las provincias de Salta y Jujuy abarcan las regiones climáticas III, IV y VIII.

Cada uno de los parámetros que forman parte de la fórmula se definió y desarrolló en rangos que varían de 10 a 100, seleccionando variables que surgieron a partir de la consulta con especialistas de las distintas unidades de INTA (Nakama y Sobral, 1987).

### **Región Climática III:**

Esta región abarca las regiones naturales: Valles templados, Selva y Pastizales de altura, sierras con vegetación de Chaco y Bosque de Transición, Piedemontes húmedos y Umbral al Chaco.

En esta región climática se toman las precipitaciones como elemento de diferenciación de las subregiones climáticas, reconociéndose zonas de montaña y zonas de llanura.

**Subregión A:** Es zona de montaña en la que las precipitaciones superan los 1400 mm anuales.

**Subregión B:** Es zona de montaña con precipitaciones comprendidas entre 1400 y 800 mm anuales.

**Subregión C:** Es zona de montaña con precipitaciones inferiores a 800 mm anuales.

**Subregión D:** Es zona de montaña con precipitaciones superiores a 800 mm anuales.

**Subregión E:** Es zona de llanura con precipitaciones comprendidas entre 800 y 650 mm anuales.

**Subregión F:** Es zona de llanura con precipitaciones inferiores a 650 mm anuales.

### **Región climática IV**

Esta región abarca las regiones naturales de Montaña en Puna y Prepuna, Valles y Bolsones Puneños, y Valles y Quebradas Áridos. Se diferencian cuatro subregiones:

**Subregión A:** es ambiente de llanura con valores de precipitación entre 400 y 600 mm anuales, se le asigna el índice 100.

**Subregión B:** Incluye el área con temperaturas medias de 12° a 17°C y precipitaciones inferiores a 200 mm anuales, a la que se le asigna para el cálculo del IP el índice 75.

**Subregión C:** Incluye el área con temperaturas medias menores a 12°C y precipitaciones superiores a 200 mm anuales, a la que se le asigna el índice 50.

**Subregión D:** Incluye el área con temperaturas medias menores a 12°C y precipitaciones inferiores a 200 mm anuales, a ella se le asigna el índice 25.

### **Región climática VIII:**

Esta región abarca las regiones naturales de Montaña en Puna y Prepuna, Valles y Bolsones puneños, y Valles y Quebradas áridos.

**Subregión A:** Incluye el área con temperaturas medias de 12° y 17°C y precipitaciones superiores a 200 mm anuales, a la que se le asigna para el cálculo del IP el valor o índice 100.

**Subregión B:** Incluye el área con temperaturas medias de 12° y 17°C y precipitaciones inferiores a 200 mm anuales, a la que se le asigna para el cálculo del IP el índice 75.

**Subregión C:** Incluye el área con temperaturas medias menores a 12°C y precipitaciones superiores a 200 mm anuales, a la que se le asigna el índice 50.

**Subregión D:** Incluye el área con temperaturas medias menores a 12°C y precipitaciones inferiores a 200 mm anuales, a ella se le asigna el índice 25.

### **5.6 Modelos paramétricos según la región climática**

Región III<sup>(1)</sup>

$$IP=H*D*Pe*Ta*Tb*S*N*MO*P*Pg$$

<sup>(1)</sup> los cultivos considerados referenciales para esta región son soja, maíz, sorgo y poroto, con nivel de manejo medio a alto.

Región IV<sup>(2)</sup>

$$IP=H*D*Pe*Ta*Tb*S*N*MO*Pg$$

<sup>(2)</sup> Para la región IV, la producción de referencia es el uso ganadero extensivo y forestal extractivo (carbón y leña) con un nivel de manejo bajo.

Región VIII<sup>(3)</sup>

$$IP=H*D*Pe*Ta*S*N*MO*P*Pg$$

<sup>(3)</sup> como referencia se toma lo siguiente, campo natural de pastoreo, ganadería ovina y camélida. Pastura artificial: pasto llorón (*Eragrostis cívula*). El nivel de manejo es bajo. Cultivos solo riego en valles y quebradas (alfalfa, maía, trigo, papa, frutales).

En donde:

IP: Índice de Productividad (por unidad taxonómica de suelo)

H: Condición climática

D: drenaje

Pe: profundidad efectiva

Ta: textura superficial

Tb: textura subsuperficial

S: salinidad

N: alcalinidad

MO: materia orgánica

P: pendiente

Pg: pedregosidad

La provincia de Salta abarca todas las subregiones de la región III, la subregión A de la región IV, y las subregiones B, C y D de la región VIII (Figura 4)

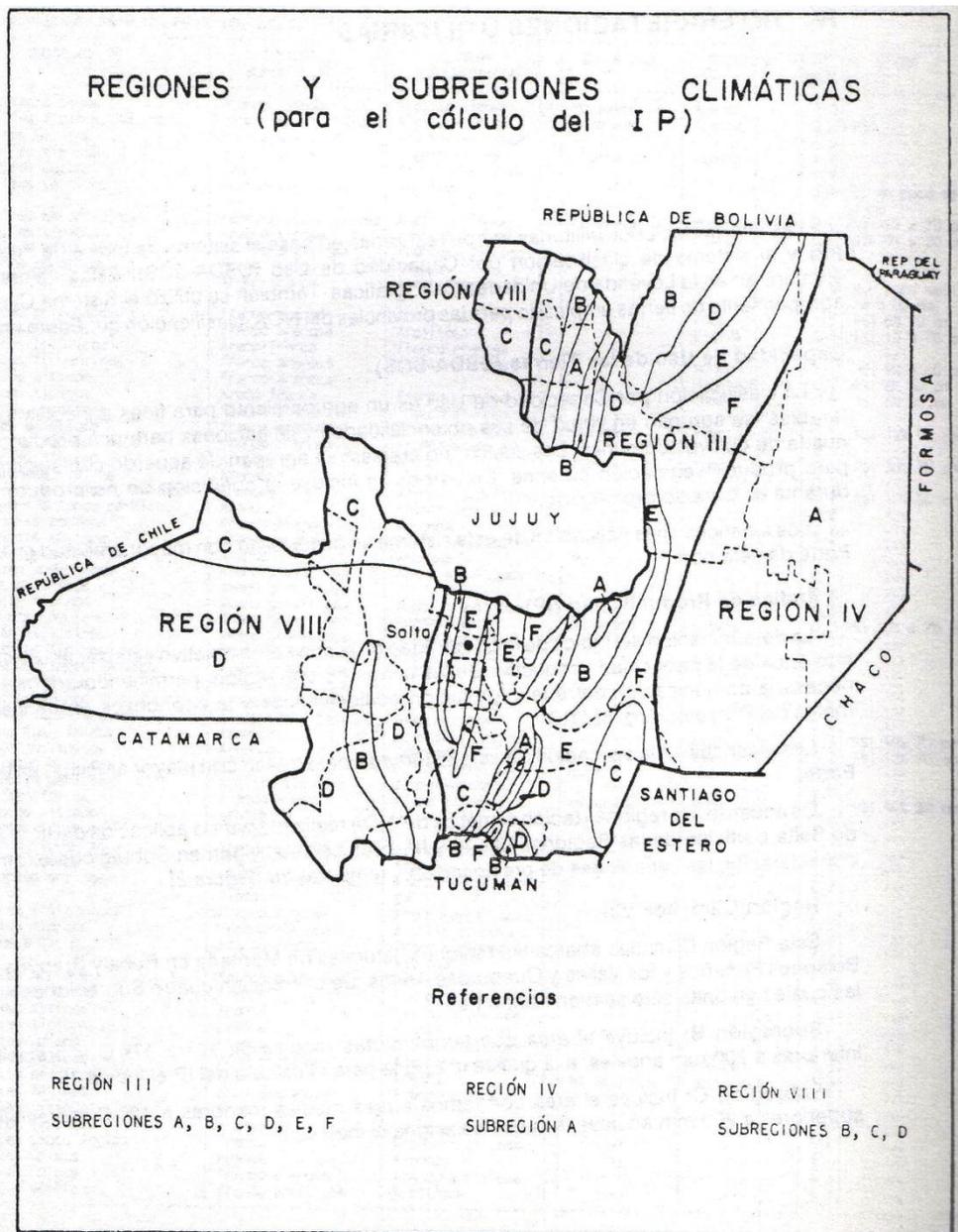


Figura 4. Regiones y sub-regiones climáticas de la Provincia de Salta (Fuente: SAGyP-INTA, 1990)

La provincia de Jujuy abarca todas las subregiones de la región III, y las subregiones A y C de la región VIII (Figura 5)

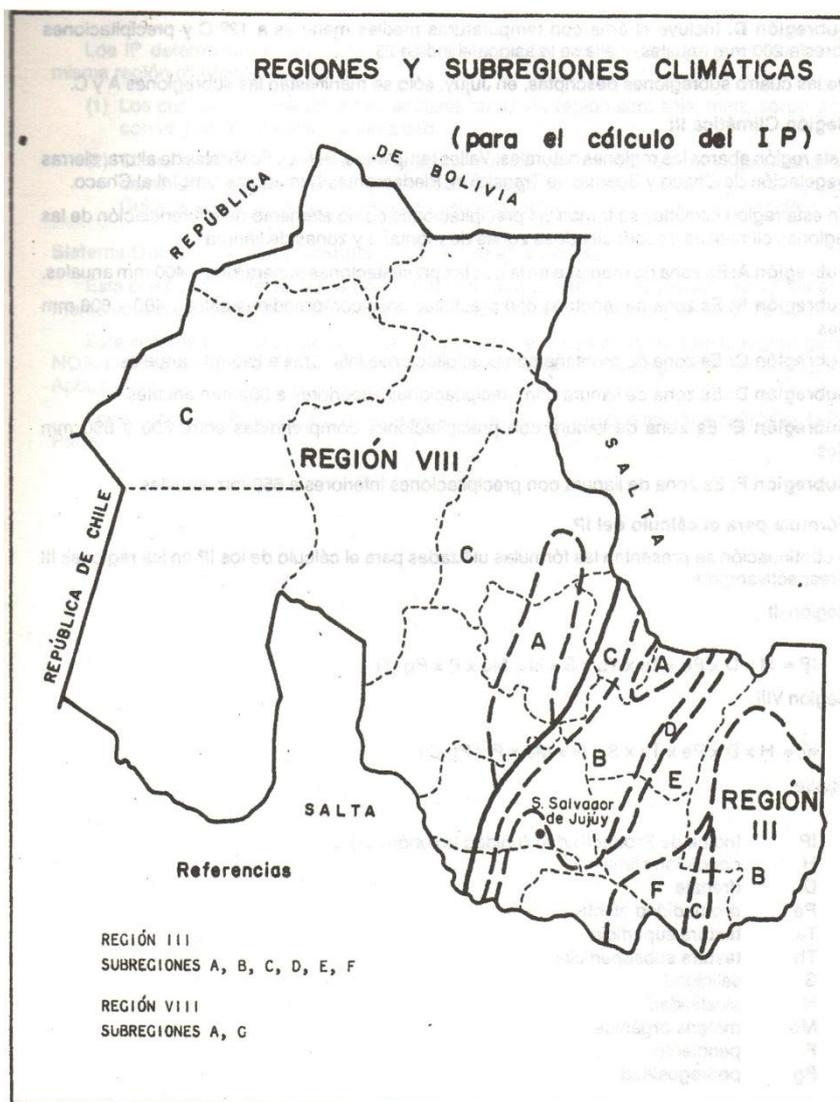


Figura 5. Regiones y sub-regiones climáticas de la Provincia de Jujuy (Fuente: SAGyP-INTA, 1990)

Con esta metodología, se asigna un único valor de IP por subregión y los valores no son comparables entre sí a lo largo de las provincias de Salta y Jujuy.

### 5.7 Ajuste del sistema índice de productividad.

Considerando la información actualmente disponible referente a clima, topografía, cartas de suelos junto al uso de herramientas informáticas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se propone ajustar el sistema IP a un único sistema considerando como cultivos de referencia soja, maíz y sorgo con nivel de manejo medio a alto.

La unificación del sistema y el ajuste de los rangos de los parámetros que forman parte del modelo se efectuó a partir de la consulta con especialistas de la temática obteniendo el siguiente sistema IP ajustado.

Ecuación única de IP:

$$IP = H \times D \times PEf \times Ta \times Tb \times Sa \times Alc \times MO \times Pd \times Pg \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

H: condición climática, D: drenaje, PEf: profundidad efectiva, Ta: textura superficial, Tb: textura subsuperficial, Sa: salinidad, Alc: alcalinidad, MO: materia orgánica, Pd: pendiente, Pg: pedregosidad.

La información edafoclimática se manejará en 2 formatos, vectorial, en el caso de las variables edáficas, y raster, en el caso de pendiente y condición climática.

El valor de IP se representará en un raster con celdas de 90 metros de lado, en un sistema de referencia espacial Transverse Mercator Faja 4 y Datum WGS 84.

#### Condición climática (H).

Desde el punto de vista climático, no toda el agua que precipita penetra de manera efectiva en el suelo, sólo un porcentaje de la misma puede ser utilizada por el cultivo ya que se producen pérdidas por escorrentía, evaporación y por percolación profunda. La precipitación efectiva se refiere a la fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas (Dastane, 1978).

En el sistema ajustado se analizó la Condición Climática (H) mediante el índice de precipitación efectiva (PE) propuesto por Thornwhaite, de amplia aplicación en los Estados Unidos y readecuado para lograr mapas digitales en base a la información cartográfica existente (Bianchi y Yañez, 1992).

(Ecuación 2)

$$PE \text{ index} = \sum_1^{n=12} 115(P/T - 10)^{10/9} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

PE index: índice de Precipitación efectiva

P: precipitación media mensual en mm.

T: Temperatura en °C

n: meses

La estandarización de los datos se realizó en función a rangos definidos (Tabla 1).

Tabla 1. Rango de Índice de Precipitación Efectiva.

PEindex	Coeficiente de IP
de 6 a 24	20
de 24 a 28	40
de 28 a 30	60
de 30 a 34	70
de 34 a 50	90
de 50 a 300	100

#### Pendiente (P).

El cálculo de la pendiente se realizó a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) provisto por Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA con celdas de 90 metros de lado (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/spanish.htm>).

La estandarización de los datos se realizó en función a rangos definidos (Tabla 2).

Tabla 2: Rango de valores de pendiente en porcentaje.

Clase de pendiente	Coeficiente de IP
0- 0.5 % llana	1
0.5 – 1 % suave	0.95
1 -3 % moderada	0.90
3 -10 % fuerte	0.70
10 -25 % muy fuerte	0.50
25 -45 % escarpada	0.20
Más de 45 % muy escarpada	0.10

### Características edáficas

Para el análisis de las variables edáficas (D, PEf, Ta, Tb, Sa, Alc, MO, Pd, Pg), se tomó como información base cartografía de suelos a escala 1:250000 (INTA – UNSa, 2009) donde la unidad cartográfica es a nivel de asociación y la unidad taxonómica a nivel de series diferenciando dominantes, subordinadas e incluidas.

Las variables edáficas se analizaron a nivel de unidad taxonómica mediante una planilla de cálculo, y con una posterior ponderación, obteniéndose un único valor por unidad cartográfica.

La profundidad efectiva es una característica que se refiere al espesor en cm del perfil del suelo hasta donde pueden explorar las raíces de la vegetación natural o los cultivos comunes de la región o hasta un contacto lítico o paralítico, capa de agua freática, pan de arcilla, cambio textural abrupto o cualquier característica química excluyendo sales y sodio.

El factor profundidad efectiva (PEf) representa el volumen de suelo donde las raíces de los cultivos realizan la absorción de nutrientes, agua e intercambio gaseoso (Nakama y Sobral, 1987). Se propone asignar valores del índice según Tabla 3.

Tabla 3. Rango de IP para Profundidad efectiva.

Rango de profundidad efectiva (cm)	COEFICIENTE DE IP
Mayor de 75	1
75 -50	0.90
50 - 25	0.50
Menor de 25	0.20

El drenaje (D) se refiere a la rapidez o facilidad con la que el agua es eliminada del suelo. Es una condición propia del perfil que es estimada en base a observaciones y relación con la permeabilidad, el escurrimiento, el relieve y otras consideraciones ambientales (evapotranspiración, microrelieve, pendiente). Se propone asignar valores del índice según Tabla 4.

Tabla 4. Rango de IP para drenaje.

Clase de drenaje	Coficiente de IP
Bien drenado	1
Moderadamente bien drenado	0.90
Algo pobremente drenado (imperfecto)	0.80
Algo excesivamente drenado	0.70
Pobremente drenado	0.50
Excesivamente drenado	0.50
Muy pobremente drenado	0.30

La salinidad ( $S_a$ ) se refiere al contenido de sales solubles hasta una profundidad de 75 cm. La cantidad de sales es medida directamente por la conductividad eléctrica (en dS/m) en el extracto de saturación a 25°C. Esta propiedad tiene un marcado efecto sobre los cultivos a través de la toxicidad de ciertos iones y el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo, que restringe el consumo de agua de las planta (Nakama y Sobral, 1987). Se propone asignar valores del índice según Tabla 5.

Tabla 5. Rango de IP para salinidad.

Niveles de salinidad (promedio hasta 90 y 100 cm) dS/m a 25°C	Coficiente de IP
Mas de 8	0.40
6 – 8	0.50
4 – 6	0.60
2 – 4	0.80
Menos de 2	1

La alcalinidad (Na) considera el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil y la profundidad en cm donde se registran esos valores. El exceso de sodio en el suelo determina condiciones inadecuadas al desarrollo de las plantas (pH elevado) y altera las características físicas del perfil

(dispersión de la arcilla) disminuyendo la permeabilidad y el intercambio gaseoso. (Nakama y Sobral, 1987). Se propone asignar valores del índice según Tabla 6.

Tabla 6. Rango de IP para alcalinidad.

Niveles de PSI (promedio hasta los 90 y 100 cm)	Coefficiente de IP
Menos 10% 0-20 cm y menos de 15% 20 – 50 cm	100
Menos 10% 0-20 cm y menos de 15% 50 – 100 cm	100
Menos 10% 0-20 cm y más de 15% 20 – 50 cm	50
Menos 10% 0-20 cm y más de 15% 50 – 100 cm	70
10 -15% 0-20 y menos de 15% 20 – 50 cm	80
10 -15% 0-20 y menos de 15% 50 – 100 cm	80
10 -15% 0-20 y más de 15% 20 – 50 cm	30
10 -15% 0-20 y más de 15% 50– 100 cm	60
Mas 15% 0-20 cm y menos de 15% 20 – 50 cm	20
Mas 15% 0-20 cm y menos de 15% 50 – 100 cm	20
Mas 15% 0-20 cm y más de 15% 20 – 50 cm	20
Mas 10% 0-20 cm y más de 15% 50 – 100 cm	20

La Materia Orgánica (MO) está referida al contenido en porciento del carbono oxidable multiplicado por el factor 1,724 presente en el horizonte superficial. La provisión de materia orgánica influye principalmente en la estabilidad estructural del suelo y en la intensidad y calidad de los procesos biológicos que controlan la disponibilidad de nutrientes para la vegetación (Nakama y Sobral, 1987). Se propone asignar valores del índice según Tabla 7.

Tabla 7. Rango de IP para materia orgánica.

Rango de % de materia orgánica	Coefficiente de IP
Mólico más de 2 % de MO	1
Mólico 1 – 2%	0.95
Ocrico más de 1%	0.90
Ocrico menos de 1%	0.70

La textura del horizonte superficial (Ta) corresponde a la composición granulométrica del horizonte superficial del perfil de suelo, clasificada según la escala utilizada en las normas de reconocimiento del suelo, la influencia de la textura superficial se manifiesta en la facilidad de laboreo, susceptibilidad al “planchado” o encostramiento, retención de la humedad, germinación y enraizamiento de plántulas (tabla 8). Se propone asignar valores del índice según Tabla 8.

Tabla 8. Rango de IP para Textura del horizonte superficial.

Textura del horizonte superficial	Coficiente de IP
Arenoso	0.60
Areno franco	0.60
Franco arenoso	0.80
Franco	1
Franco limoso	1
Limoso (más de 75% de limo)	0.90
Franco arcilloso	0.90
Franco arcillo limoso	0.90
Franco arcillo arenoso	0.90
Arcillo arenoso	0.90
Arcillo limoso	0.70
Arcilloso	0.70

La textura sub-superficial (Tb) considera a la composición granulométrica del horizonte sub-superficial, clasificada según la escala utilizada en las normas de reconocimiento de suelos. Ha sido tomada debido a su acción sobre la capacidad de retención de humedad del suelo y sobre el crecimiento radicular (Nakama y Sobral, 1987). Se propone asignar valores del índice según Tabla 9.

Tabla 9. Rango de IP para Textura del horizonte sub-superficial.

Textura del horizonte sub-superficial	Coficiente de IP
Arenoso	0.60
Areno franco	0.60
Franco arenoso	1
Franco	1

Franco limoso	1
Limoso (más de 75% de limo)	1
Franco arcilloso	1
Franco arcillo limoso	1
Franco arcillo arenoso	1
Arcillo arenoso	0.90
Arcillo limoso	0.90
Arcilloso	0.80
Arcillo limoso con arcilla expandible	0.80
Sin horizonte	1

La pedregosidad (Pg) es una fase que corresponde a la presencia de clastos de más de 25 cm de diámetro y a los afloramientos rocosos. Los grados definidos están basados en las diferentes condiciones que presentan los suelos con esta limitante en cuanto a dificultades para la labranza (Nakama y Sobral, 1987). Se propone asignar valores del índice según Tabla 10.

Tabla 10. Rango de IP para pedregosidad.

Pedregosidad (%)	Coefficiente de IP
0- 3%	1
3 -15 %	0.90
15 -50 %	0.60
50 -90 %	0.30
Mas de 90 %	0.20

Con los rangos definidos para cada característica, en la hoja de cálculo se procedió a estimar los valores de IP en base a variables edáficas (Figura 6).

Se multiplicaron las variables D, Pe, Ta, Tb, Sa, PSI, MO y Pg correspondiente a cada serie que compone una asociación (Figura 6a). Se consideró el porcentaje de participación de la serie en la asociación para realizar la ponderación (Figura 6b). Para cada asociación, se sumaron los valores

ponderados de las series que la componen (Figura 6c) obteniendo un valor de IP edáfico por asociación.

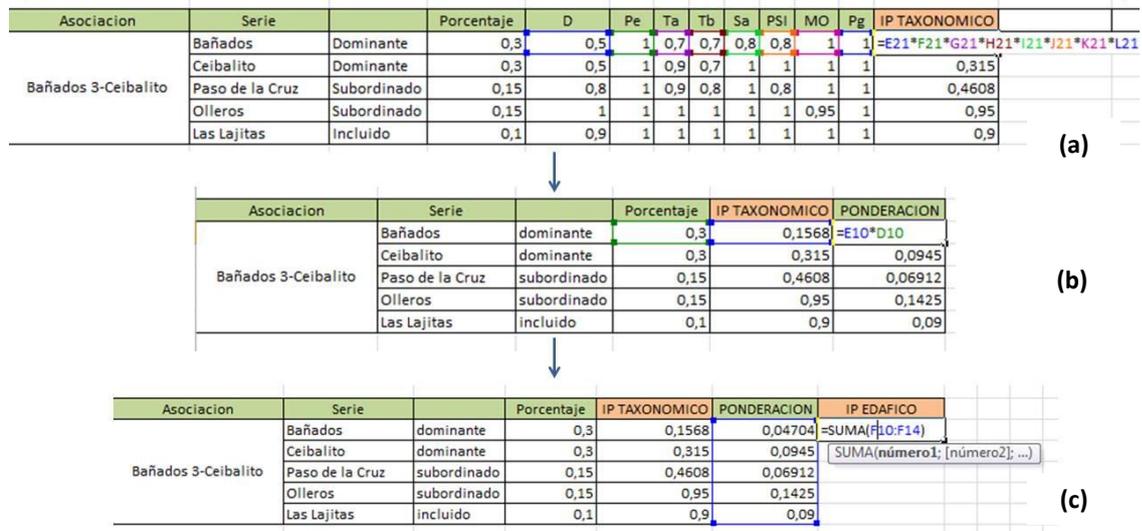


Figura 6. Hoja de cálculo para determinación de IP en base a variables edáficas.

Estos valores se articularon al vector correspondiente al mapa de suelos, para luego convertirlo en un raster con celdas de 90 metros de lado.

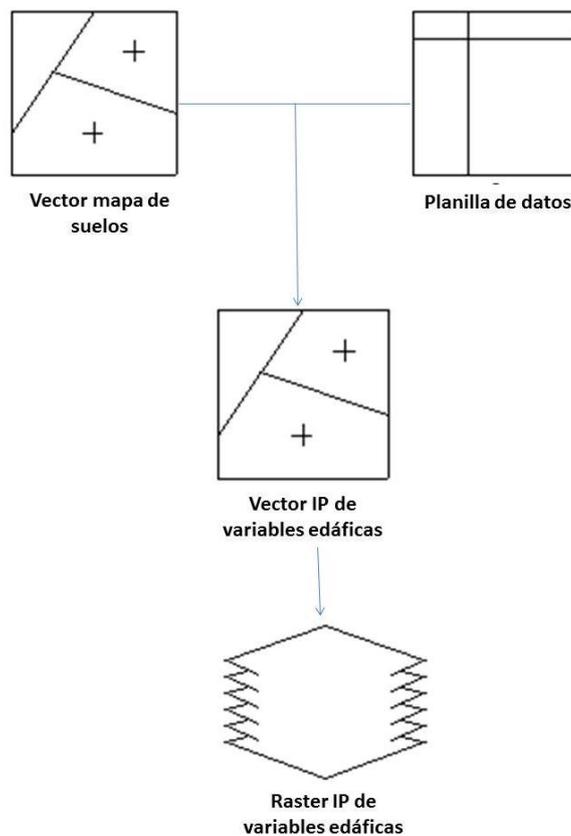


Figura 7. Metodología aplicada para obtener raster IP de variables edáficas.

Una vez definido el raster de las variables edáficas, se multiplicó con los datos de clima y pendiente, obteniendo el IP cartográfico (Figura 8).

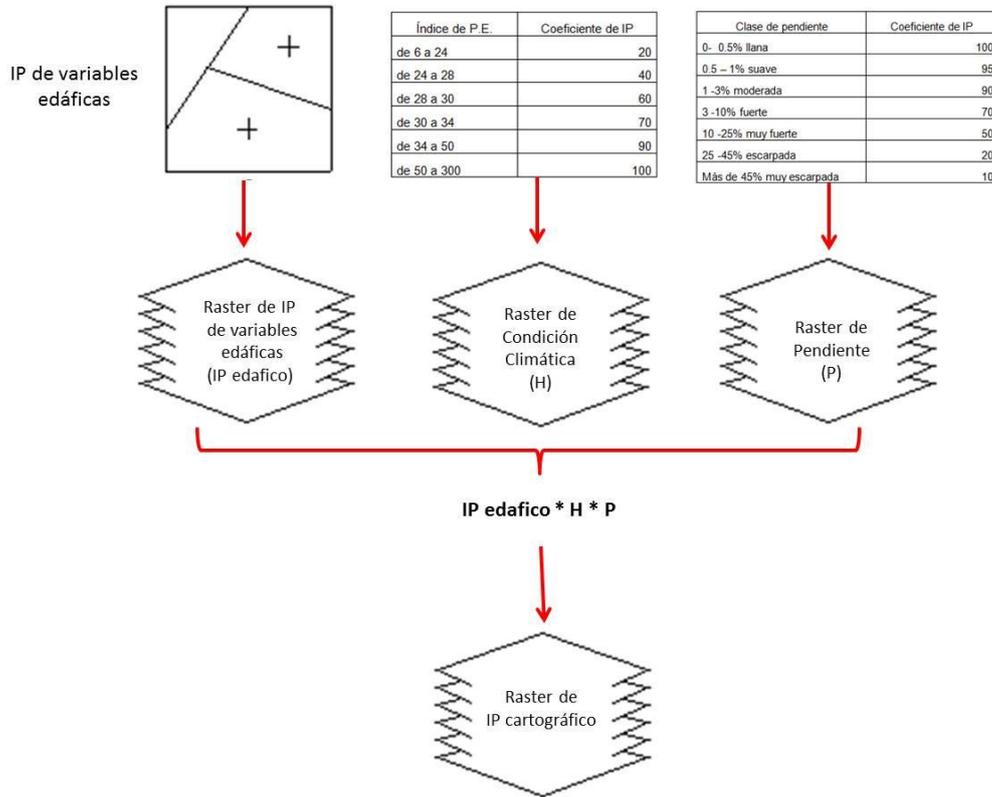


Figura 8. Metodología para cálculo de IP cartográfico.

## 6. Resultados

Al aplicar el modelo ajustado por medio de herramientas SIG se obtienen los siguientes resultados:

# Valores de IP por Condición Climática.

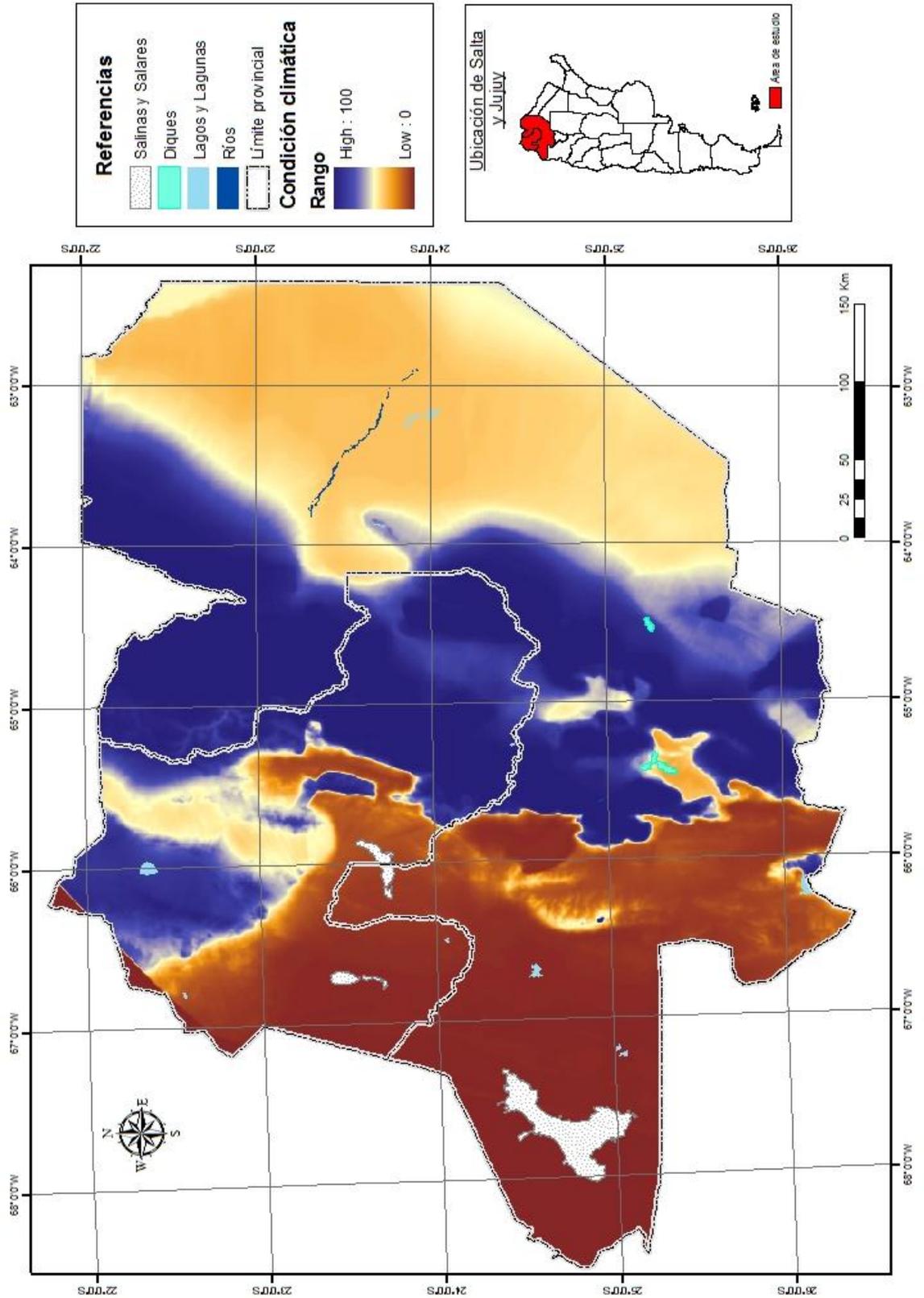


Figura 9. IP en función a característica climática que integra el IP ajustado.

# Valores de IP. Características topográficas.

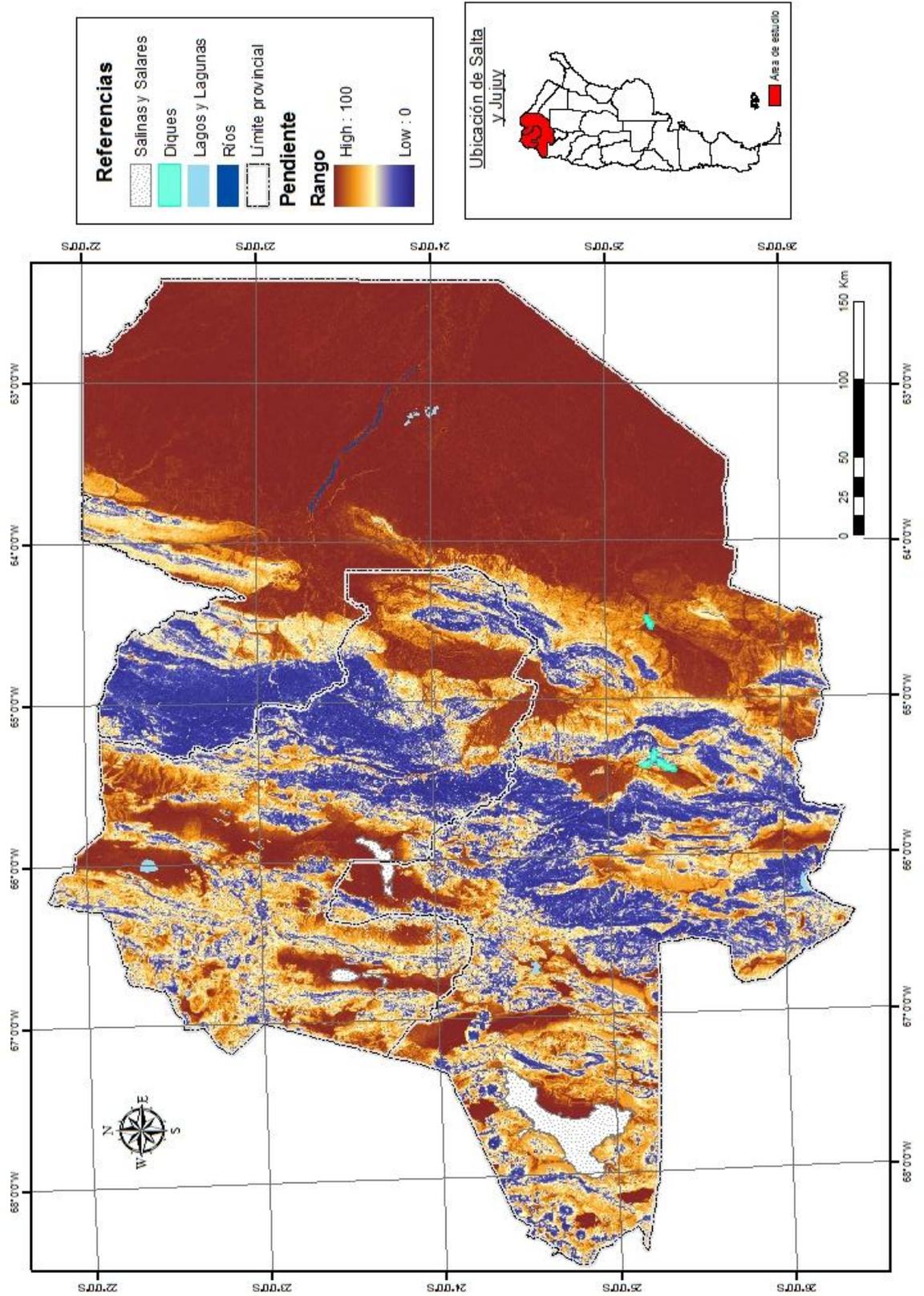


Figura 10. IP en función a característica topográfica que integra el IP ajustado

# Valores de IP para variables edáficas

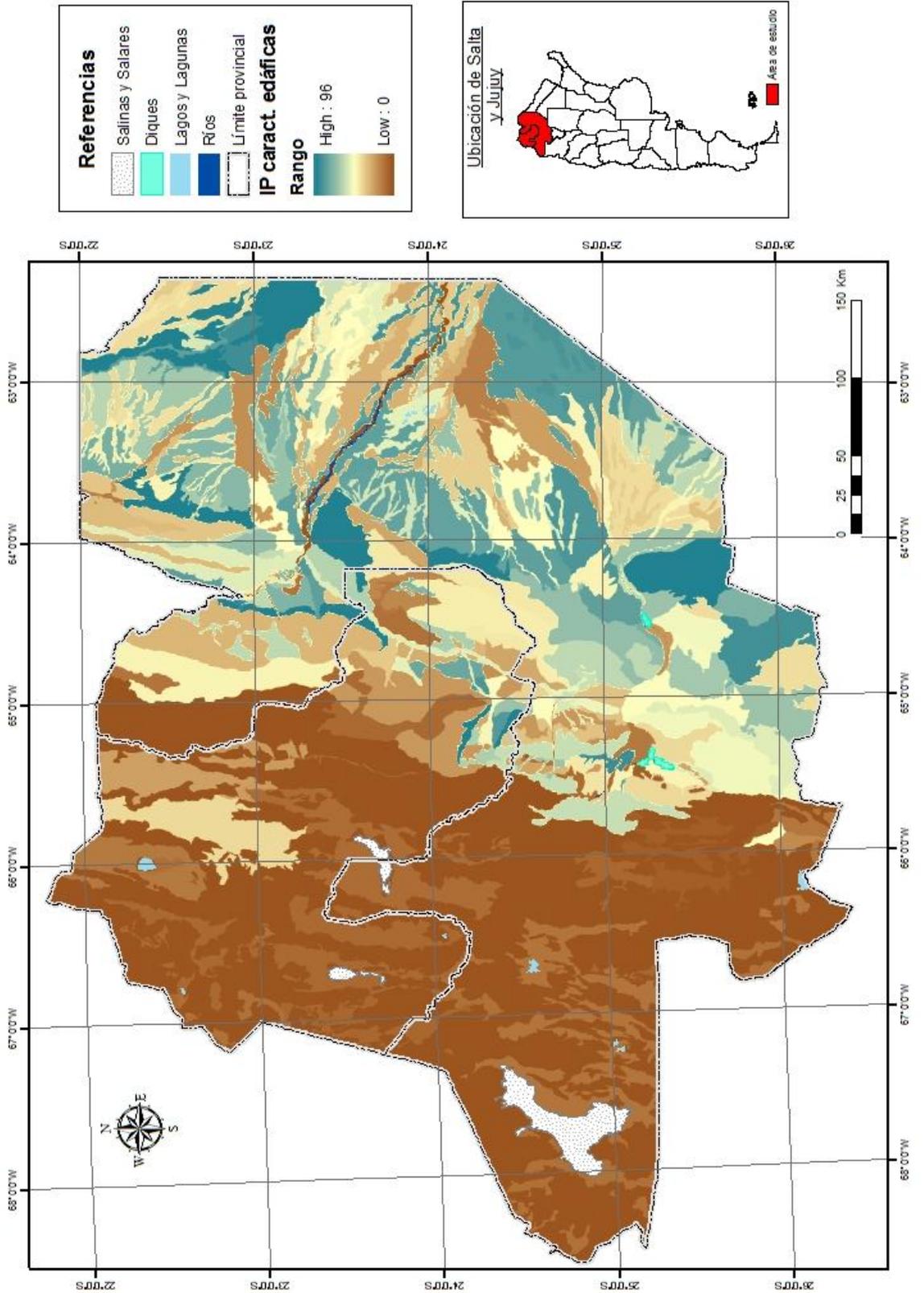


Figura 11. IP en función a variables edáficas que integra el IP ajustado.

# Valores de IP por unidad cartográfica

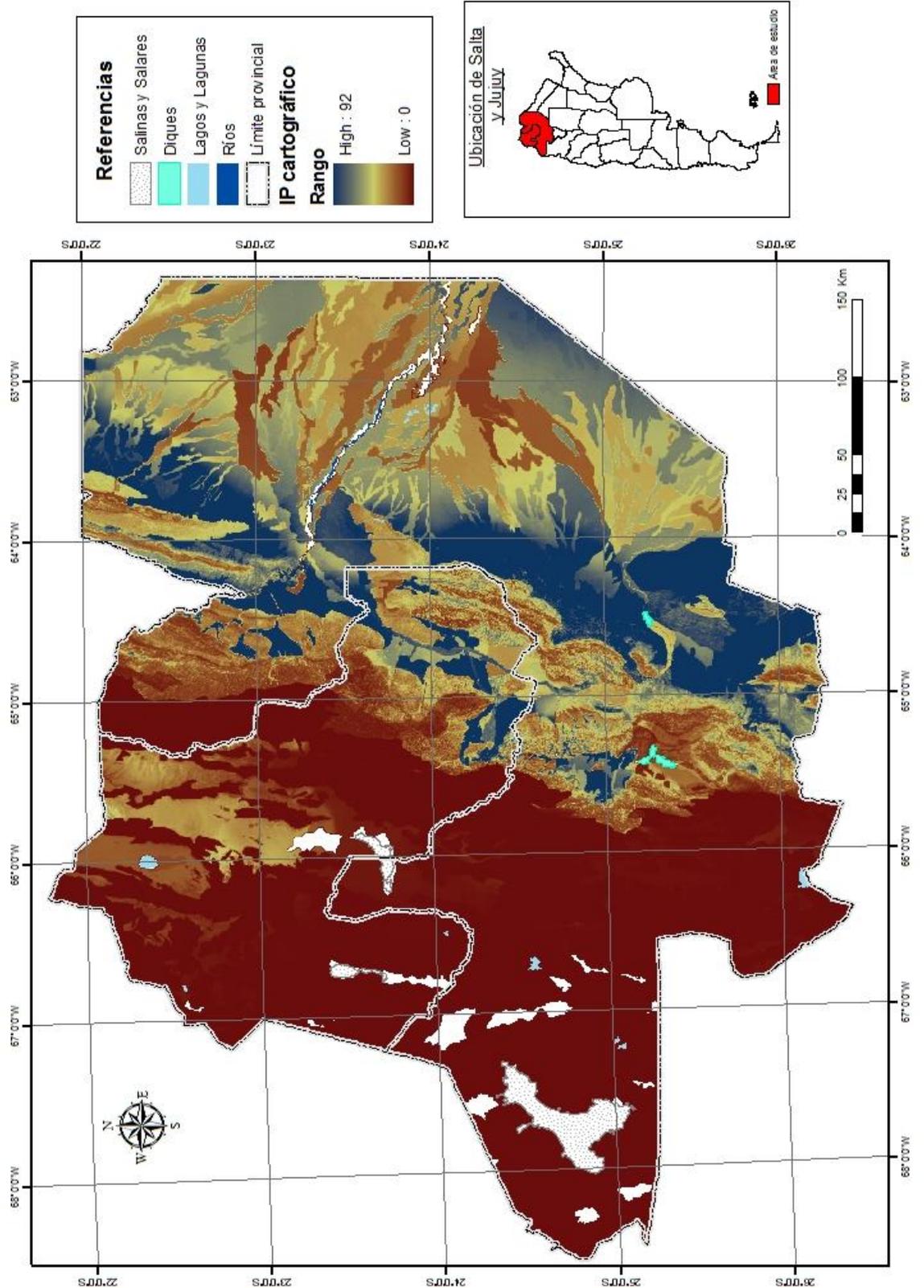


Figura 12. IP ajustado a nivel de unidad cartográfica.

Al realizar el cálculo de IP mediante el modelo ajustado (Figura 11) observamos que los valores que se encuentran en un rango de 60 a 90 se los podrían definir como “tierras con alta a muy alta productividad”, se encuentran ubicados en las zonas con suelos de texturas de medias a finas, dominados principalmente por órdenes Molisoles y Alfisoles. Considerando las variables climáticas y topográficas observamos que los valores altos se concentran en zonas con precipitaciones superiores a los 500 mm anuales y con pendientes inferiores al 1%.

Estos valores de IP reflejan la capacidad productiva de los distintos sectores, los cuales al contar con las características necesarias para el desarrollo de los cultivos de referencia, representan el actual polo agropecuario.

Los valores en el rango de 30 a 60, se los define como “tierras con moderada productividad”, representan a tierras que en caso de ser destinadas para el cultivo de soja y maíz bajo seco, demandan otro tipo de prácticas de manejo que considere uso de enmiendas, fertilizantes, prácticas conservacionistas, entre otras.

Los valores de IP menores a 30, se los define como “tierras con baja productividad”, indican que no es conveniente el desarrollo de las actividades analizadas, tanto desde el punto de vista ambiental como económico. Estas áreas se ubican en suelos de incipiente desarrollo, con texturas media gruesa a gruesa, de manera que naturalmente tienen baja fertilidad y mayor susceptibilidad a la erosión. Además, las precipitaciones son inferiores a 500 mm, por lo que la actividad no debería realizarse bajo seco.

## **7. CONCLUSIONES**

El IP resulta un método de sencilla aplicación y fácil interpretación, viéndose fortalecido al ajustarlo a nivel regional, al introducir parámetros más representativos y adecuar sus umbrales críticos a las condiciones agroclimáticas locales.

El desarrollo de una fórmula única permite disponer de valores comparables en todo el ámbito regional, lo cual facilita su aplicación a distintos objetivos de planificación u ordenamiento territorial. Los sectores caracterizados como “tierras con alta a muy alta productividad” son aquellos donde se podrían desarrollar las actividades agropecuarias con mayores posibilidades, sin embargo las áreas con condición hídrica de régimen ácuico presentarían disminuciones de rendimientos debido a los excesos de precipitaciones.

En los sectores caracterizados como “tierras con moderada productividad” el desarrollo de actividades productivas se ve comprometida por los altos valores de evapotranspiración, siendo estos superiores a las precipitaciones incluso en las épocas de plena lluvia.

En los sectores caracterizados como “tierras con baja productividad” no es aconsejable el desarrollo de las actividades analizadas. En ellos sería necesario en principio implementar el riego complementario y medidas de manejo de niveles altos de complejidad ya que se tratan de suelos muy sueltos, de texturas gruesas y muy susceptibles a degradarse ya sea por erosión, compactación y/o salinización.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amengual, R. E., Cerezo, C. E., Paoli, H. P., Sciortino, J. B. 1995: Plan hídrico provincial, una propuesta para su desarrollo. Administración general de aguas de salta.
- Bianchi, A. R., y Yañez, C. E. 1992. Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Salta, Argentina*. Segunda Edición.
- Dastane, N. G. 1978. Effective rainfall in irrigated agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Papers (FAO)*.
- Debelis, S. 2003. Evaluación de Tierras. FCA. UNLZ. En [http://www.produccion-animal.com.ar/suelos\\_ganaderos/15-evaluacion\\_de\\_tierras.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/15-evaluacion_de_tierras.pdf)
- De la Rosa, D. 2008. Evaluación agro-ecológica de Suelos para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi Prensa, 404 pp
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de Tierras y Aguas de la FAO*, (8).
- FAO, 2003. Evaluación de tierras con metodologías FAO. Documento de trabajo. Proyecto regional "Ordenamiento territorial rural sostenible". (Proyecto GCP/RLA/139/JPN). Santiago, Chile.
- Grau, H; Gasparri, N y Aide, T. 2005. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environmental Conservation* 32:140-148.
- <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/spanish.htm>
- Igarzábal, A. P., 1991. Morfología de las Provincias de Salta y Jujuy. Rev. del Inst. de Geol. y Min. N° 8. Universidad Nacional de Jujuy.
- SAGyP-INTA, 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. SAGyP Proyecto PNUD ARG 85/019.
- INTA – UNSA, 2009. Adecuación a un sistema de información geográfica del estudio "Los suelos del NOA (Salta y Jujuy); Nadir A.-Chafatinos T. , 1990".
- Klingebiel, A y Montgomery, P. 1961. Land capability Classification. USDA Agricultural Handbook 210, Washington, DC: US Government Printing Office. 21p.
- Leake, A y de Ecnomo, M. 2008. La deforestación de Salta. 2004 – 2007. Fundación ASOCIANA. Editorial Milor, Salta, Argentina.
- León Pérez, C. 1994. Evaluación de tierras en la cuenca superior del río Reventazón, Costa Rica: aplicación de un sistema automatizado – ALES- y un sistema de información geográfica –IDRISI-. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 240 p.

Montenegro, C; Gasparri, I; Manghi, E; Strada, M; Bono, J; Parmuchi, E. 2004. Informe sobre deforestación en Argentina. Buenos Aires, UMSEF Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal, Dirección Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Montenegro, C; Strada, M; Bono, J; Gasparri, I; Manghi, E; Parmuchi, E y Brouver, M. 2005. Estimación de la pérdida de superficie de bosque nativo y tasa de deforestación en el norte de Argentina. Buenos Aires, UMSEF Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal, Dirección Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Nakama, V y Sobral, R. 1987. Índice de Productividad. Método paramétrico para la evaluación de tierras. Secretaría de Agricultura, ganadería y Pesca – INTA. Documento del Proyecto PNUD Arg. 85/019. Buenos Aires.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, y la Alimentación (Eds.). (2001). *Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural* (No. 5). Food y Agriculture Org..

Paoli, H., Elena H., Mosciaro J., Ledesma F., Noé Y. 2011 "Caracterización de las cuencas hídricas de las provincias de Salta y Jujuy." *SIGCSSJ v1-2009, INTA-EEA Salta, Cerrillos, Argentina*.

Paruelo, J; Verón, S; Volante, J; Seghezzi, L; Vallejos, M; Aguias, S; Amdan, L; Baldassini, P; Ciuffolif, L; Huykman, N; Davanzo, B; González, E; Landesmann y Picardi, D. 2011. Elementos conceptuales y metodológicos para la evaluación de impactos ambientales acumulativos (EIAAc) en bosques subtropicales. El caso del este de Salta, Argentina. En: *Ecología Austral* 21: 163 – 178. Asociación Argentina de Ecología.

Piccolo, M. A., Giorgetti, M., y Chavez, D. 2008. Zonas agroeconómicas homogéneas. Salta-Jujuy. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales, (7). Ed INTA. Buenos Aires. AR. 115 p.

Riquier J. 1974. A Summary of Parametric Methods of Soil and Land Evaluation. En: FAO, *Approaches to Land Classification*. Soils Bulletin 22. FAO, Rome.

Riquier, J; Bramao, D; y Cornet, J. 1971. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity (first approximation). Soil Resources, Development and Conservation service Land and water Development Division. FAO.

Richters, E. J. 1995. *Manejo del uso de la tierra en América Central: hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra* (No. 28). Agroamerica.

Rossiter, D. G. 1990. ALES: a framework for land evaluation using a microcomputer, Revista Soil use and management, Volume 6, Number 1.

Rossiter, D. 1994. Notas del curso: "Evaluación de tierras". Parte 7. Universidad de Cornell. Facultad de Agricultura y Ciencias de la Vida.

SAGPyA: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires (Argentina). 1995. Programa para el Manejo de la Tierra y el Agua. Cambio Rural. Lineamientos para el levantamiento de suelos del predio rural. Sub-secretaría de Producción Agropecuaria y Mercados. Buenos Aires (Argentina). 55 p

Santé Rivera, I y Crecente Maseda, R; 2005. Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales. Geofocus (artículos) nº 5, pág 40-68. ISSN: 15785157.

Sharma, P. 1992. Material de apoyo al curso de evaluación y planificación del uso de la tierra. CATIE.

Somma, D., Volante, J., Lizarraga, L., y Boasso, M. 2011. Aplicación de análisis multicriterio-multiobjetivo como base de un sistema espacial de soporte de decisiones para la planificación del uso sustentable del territorio en regiones forestales. caso de estudio: los bosques nativos de la provincia de salta. *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, Herramientas Y Aplicaciones Para El Ordenamiento Territorial. INTA, Buenos Aires, Argentina, 409-440.*

Van Leeuwen, A., Köbrich, C. G., y Maino, M. 2001. Programación lineal para la elaboración de escenarios óptimos de uso de la tierra. *Un método para el ordenamiento territorial basado en la evaluación de tierra con estudios de caso de Brasil y Chile. Food and Agriculture Organization (FAO). Santiago, Chile.*

Venegas, R. 2007. Aptitud territorial: Una aproximación hacia la Planeación y el Ordenamiento del Territorio. Baja California: Universidad Autónoma de baja California. Editorial Universitaria – Mexicali.

Vidal, C. A., y Díaz, J. S. (2002). *Orientaciones de uso agrario: una metodología para la planificación de usos del suelo en la Comunidad Valenciana* (Vol. 5). Editorial CSIC-CSIC Press.

El IP es un índice que permite estimar la productividad potencial de los suelos en función a una serie de parámetros ambientales relacionados mediante un modelo matemático multiplicativo.

Para su aplicación, en Argentina se definieron regiones climáticas homogéneas con diferentes modelos de estimación del índice en cada una.

Las provincias de Salta y Jujuy se dividieron en 3 regiones y a su vez en subregiones, de manera que los valores de índice de productividad no resultan comparables entre sí.

Este trabajo propone establecer un único modelo para el cálculo del índice de productividad, considerando los principales cultivos anuales de la zona desarrollados a secano (soja, maíz y sorgo) con un nivel de manejo medio a alto.

Además, evaluar la productividad de las unidades de tierra aplicando el IP unificado mediante herramientas SIG.

ISBN 978-987-521-662-4



Ministerio de  
Agricultura, Ganadería y Pesca  
Presidencia de la Nación