

AHUMADA, RODRIGO JOSE

Uso de la tierra en el valle central de Catamarca. *platas color in. 100%*



75060

2015

75060

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**



Crear... Crear... Crear...

Uso de la tierra en el Valle Central de Catamarca:
efectos sobre el suelo y la vegetación.

Tesis de Maestría.

Maestría en Ciencias Agropecuarias, Mención Gestión Ambiental.

Tesista: Ing. Agr. Rodrigo José Ahumada

**Ing. Agr. Magter. Ricardo Miguel
ZAPATA
Director de tesis.**

**Ing. Agr. Mgter. Carmen
CHOLAKY PEREZ
Co-director de tesis.**

Jurado Evaluador

**Dr. Marcos
KARLIN**

**Dr. Américo
DEGIOANNI**

75060

**Dr. Juan José
CANTERO**

16 de octubre de 2015

02035

75060

MFN:
Clasif:
T_ 1005

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



Uso de la tierra en el Valle Central
de Catamarca: efectos sobre el
suelo y la vegetación.

Tesis de Maestría.

Maestría en Ciencias Agropecuarias, Mención Gestión Ambiental.

Ing. Agr. Rodrigo José Ahumada

AÑO
2015

AGRADECIMIENTOS:

Es mi deseo agradecer a todos los que hicieron posibles esta obra.

Al INTA por brindarme la posibilidad de capacitarme profesionalmente.

Al Sr. Héctor Jaime, por el acompañamiento en las tareas de campo.

A los integrantes de la agencia de extensión rural de Capayán, Ing. Agr. Pablo Sotomayor, Ing. Agr. Érica Guzmán y Tec. Sup. José Fernández por ayudarme en el reconocimiento del territorio.

A mis consejeros de tesis, Ing. Agr. Ricardo Zapata e Ing. Agr. Carmen Cholaky por el apoyo constante en este proceso de construcción y aprendizaje.

A mi director de beca, Ing. RRNN Darío Recalde por facilitarme el camino dentro de la institución.

A los Ing. Agr. Emiliano Quiroga, Ing. Agr. Eugenia de Bustos y al Dr. Marcos Karlin por las observaciones, sugerencias y aportes realizados.

A los tantos amigos y compañeros que conocí durante los cursos de maestría que tornaban amenos los largos días que pasábamos alejados de nuestras familias y los amigos de siempre que estuvieron dándome las fuerzas necesarias para seguir adelante.

y principalmente a mi esposa por el inmensurable apoyo y comprensión brindado todo este tiempo.

Tesis: Uso de la tierra en el Valle Central de Catamarca: efectos sobre el suelo y la vegetación

Dedico el presente trabajo a mi familia Érica, Tomás e Itatí, que me dieron la fuerza necesaria para poder cumplir este objetivo personal. Simplemente gracias.

Tesis: Uso de la tierra en el Valle Central de Catamarca: efectos sobre el suelo y la vegetación

Si agita hoy, con su aleteo, el aire de Pekín, una mariposa puede modificar los sistemas climáticos de Nueva York el mes que viene.

J. Gleick

ÍNDICE GENERAL

Resumen:	XI
Summary	XII
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN	1
1.1. Objetivo general:	6
1.1.1. Objetivos específicos:.....	6
Capítulo 2. MATERIALES Y MÉTODOS:.....	7
2.1. Área de estudio	7
2.1.1. Sitios de muestreo y usos de la tierra	11
2.1.1.1. Bosque nativo (BN):.....	12
2.1.1.2. Desmonte abandonado (DA):	13
2.1.1.3. Cultivos de olivos.....	14
Tecnología utilizada:.....	14
Cultivo de olivo de hasta 2 años de implantación (C2):	15
Cultivo de 5 años de implantado (C5):.....	15
2.2. Caracterización funcional	17
2.2.1. Marcha del IVN en el ciclo anual 2010-2011.....	17
2.2.2. Integral del índice verde normalizado 2010-2011	18
2.2.3. Variación temporal de la IIVN 2000-2012	18
2.2.4. Distribución espacial y temporal del IIVN.....	18
2.2.4.1. Mapa de distribución de la IIVN 2010-2011	19
2.3. Caracterización estructural	20
2.3.1. Relevamiento y muestreo a campo.....	20
2.3.2. Variables registradas:	21
2.3.2.1. Suelo:	22
2.3.2.2. Vegetación:	27
2.4. Análisis de correlación.....	29
2.5. Índice edáfico	29

2.6.	Diseño experimental y análisis estadístico de los datos	30
Capítulo 3.	RESULTADOS	32
3.1.	Caracterización funcional	32
3.1.1.	Marcha del IVN en el ciclo anual 2010 - 2011	32
3.1.2.	Integral del índice verde normalizado 2010-2011	33
3.1.3.	Variación temporal de la IIVN 2000-2012	33
3.1.4.	Distribución espacial y temporal del IIVN.....	35
3.1.4.1.	Mapa de distribución de la IIVN 2010-2011	39
3.2.	Caracterización estructural	41
3.2.1.	Granulometría:.....	41
3.2.2.	Variables indicadoras de calidad de suelo:	42
3.2.3.	Variables de vegetación:	43
3.2.3.1.	Estructura de la vegetación arbórea:	43
3.3.	Análisis de correlación.....	44
3.4.	Índice edáfico:	46
Capítulo 4.	DISCUSIÓN:.....	48
4.1.	Caracterización funcional	48
4.1.1.	Marcha del IVN en el ciclo anual 2010 - 2011	48
4.1.2.	Integral del índice verde normalizado 2010-2011	49
4.1.3.	Variación temporal de la IIVN 2000-2012	50
4.1.4.	Distribución espacial y temporal del IIVN.....	51
4.2.	Caracterización estructural	54
4.2.1.	Granulometría:.....	54
4.2.2.	Variables de suelo:	54
4.2.3.	Variables de vegetación:	59
4.3.	Índice edáfico	63
4.4.	Síntesis	66
Capítulo 5.	CONCLUSIONES	69
Capítulo 6.	BIBLIOGRAFÍA.....	71

Tesis: Uso de la tierra en el Valle Central de Catamarca: efectos sobre el suelo y la vegetación

Capítulo 7. ANEXOS: 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Ubicación del Valle Central de Catamarca.....	8
Figura 2-2: Variación altitudinal y de precipitación media anual en el Valle Central de Catamarca.....	9
Figura 2-3: Distribución espacial de los órdenes y subórdenes de suelo en el Valle Central de Catamarca (Vargas Gil, 1990).	11
Figura 2-4: Bosque nativo del Chaco Árido.....	13
Figura 2-5: Situación de desmonte abandonado.....	14
Figura 2-6: Cultivo de olivos de 2 años de implantado.....	15
Figura 2-7: Situación de olivos de 5 años de implantación.....	16
Figura 2-8: Esquema del área de muestreo en el sistema de cultivos de olivos.....	20
Figura 2-9: Caja recolectora y cuchara de albañilería.....	23
Figura 2-10: Imágenes de la estructura del suelo en relación a las diferentes situaciones de uso estudiadas, formulación y resultado del índice de estructura. IE _{BN} : Bosque nativo; IE _{DA} : desmonte abandonado; IE _{C2} : Cultivo de olivos de 2 años y IE _{C5} : Cultivo de olivos de 5 años.	26
Figura 2-11: Fotografía correspondiente al espesor del mantillo a relevar.	27
Figura 3-1: Evolución del IVN durante el ciclo anual 2010-2011. Inicio del ciclo 12/07/2010, fin del ciclo 13/06/2011. Las barras de color celeste corresponden a la precipitación acumulada cada 16 días. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.	32
Figura 3-2: Integral del índice verde normalizado (IIVN) en el ciclo anual 2010-2011 para los diferentes usos de la tierra, test LSD de Fisher (p<0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre usos de la tierra. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.....	33
Figura 3-3: Variación de la IIVN desde los ciclos anuales 2000 - 2001 hasta 2011-2012. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años; Pp anual = precipitación anual.....	35
Figura 3-4: Integral del índice verde normalizado bloque norte en tres ciclos anuales. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.	36
Figura 3-5: Integral del índice verde normalizado bloque centro en tres ciclos anuales. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.	37

Figura 3-6: Integral del índice verde normalizado bloque sur en tres ciclos anuales. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.....	38
Figura 3-7: Mapa de distribución de la IIVN 2010-2011 en el área bajo estudio.....	40
Figura 3-8: Estructura de la vegetación. Números de individuos arbóreos por unidad de superficie para cada uso de la tierra y bloques clasificados por diámetro a la altura del pecho. N=Norte; C=Centro; S=Sur; BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado	44
Figura 3-9: Representación gráfica de los aportes de cada variable al índice edáfico. FE = Fracción erodible, IE = Índice de estructura, CE = Conductividad eléctrica, COP = Carbono orgánico particulado, COT = Carbono orgánico total, BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos...	47
Figura 4-1: Esquema de los distintos ecosistemas evaluados en función de la IIVN y las variables de suelo y vegetación. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Características generales de la estructura de los suelos en las diferentes situaciones de uso evaluadas.	10
Tabla 2-2: Justificación de las variables seleccionadas	21
Tabla 2-3: Valores relativos de las variables de calidad de la estructura considerada en cada nivel de organización	24
Tabla 2-4: Criterios utilizados en la normalización de las variables.....	30
Tabla 3-1: Ciclos anuales de Integral del índice verde normalizado (IIVN) para las situaciones de uso analizados.	34
Tabla 3-2: Proporción de clases de IIVN 2010 -2011 y superficie ocupada por cada una de ellas en el área de estudio.	39
Tabla 3-3: Análisis granulométrico	41
Tabla 3-4: Valores medios de las variables indicadoras de calidad de suelo analizadas para los diferentes usos de la tierra y resultados estadísticos.....	42
Tabla 3-5: Valores medios y resultados estadísticos de las variables indicadoras de calidad de vegetación analizadas en función de los diferentes usos de la tierra.	43
Tabla 3-6: Análisis de correlación lineal de Pearson	44
Tabla 3-7: Valores reales y normalizados de las variables estudiadas e índice edáfico para las diferentes situaciones de uso de la tierra.	46
Tabla 3-8: Clasificación según valor del índice edáfico	46
Tabla 7-1: Tabla fitosociológica densidad de especies/has.....	82

Resumen:

El hombre modifica los ecosistemas naturales con la finalidad de obtener un beneficio propio, alterando sus propiedades estructurales y funcionales. En Argentina, los ambientes con presencia de bosques nativos (BN) continuamente fueron desmontados para destinarlos a agricultura, ocasionando desequilibrios en los ecosistemas. Los BN de ecosistemas áridos y semiáridos son frágiles y susceptibles a la erosión eólica e hídrica debido a su baja capacidad de resiliencia. En el Chaco Árido catamarqueño se desmontaron grandes superficies de BN para establecer olivares principalmente, pero parte de esta superficie no fueron implantados, convirtiéndose en desmontes abandonados (DA). Por lo tanto el objetivo general que se plantea en el presente trabajo es: "*evaluar el efecto del uso de la tierra sobre el suelo y la vegetación en el Chaco Árido del Valle Central de Catamarca*", así de esta manera poder conocer cómo se modificaron las propiedades estructurales y funcionales del ecosistema. Para ello se seleccionaron los usos: BN, DA, cultivo de olivos de 2 (C2) y 5 años (C5). Para las propiedades estructurales se midieron variables de suelo y vegetación, mientras que en las funcionales se analizaron la variación y la marcha del índice verde normalizado (IVN) y de la integral de índice verde (IIVN). Además se elaboró un índice edáfico que integra en un único valor los resultados de las variables edáficas analizadas. Se encontró que el cambio de uso de la tierra ha modificado el ecosistema original (BN) llevándolos a sistemas de alta y de baja productividad, encontrando en ambos, procesos de degradación. El orden decreciente de calidad edáfica es BN, C5, DA y C2; siendo los últimos dos sistemas los más afectados dónde la mayoría de los índices de suelo, vegetación e IIVN mostraron los peores valores. Los resultados del índice IIVN difieren del índice edáfico en C5, siendo mayor que BN, debido al tipo de manejo del cultivo, dónde prima el crecimiento vegetativo a través de la incorporación de agua y fertilizantes al sistema. En DA, existió un cambio en la composición florística con gran presencia de Brea (*Cercidium praecox*), este ecosistema sin prácticas de conservación adecuadas puede llegar a un nuevo punto de equilibrio diferente que en BN y de menor calidad ambiental. En C2, luego de unos años (C5) mediante la adición de agua y fertilizante mejoran algunas propiedades físicas del suelo y desmejoran las químicas. El presente trabajo pretende ser un insumo de información para la gestión de nuevas políticas públicas territoriales y además de generar nuevas líneas de investigación.

Palabras clave:

Chaco Árido - Índice verde - Índice edáfico - Estructura de la vegetación - Uso de la tierra

Summary

Man modifies natural ecosystems in order to obtain benefits, altering their structural and functional properties. In Argentina, the lands with native woodlands (BN) continually were deforested to be destined to agriculture, causing ecosystems degradation. The BN of arid and semiarid ecosystems are fragile and sensitive to wind- and water-erosion due to its low resilience. In the Arid Chaco region of Catamarca, large areas of BN were removed to establish olive plantations, but some of this area were not implanted, becoming abandoned cleared lands (DA). The overall objective of this work is to "evaluate the effect of land use over the soils and vegetation in the Arid Chaco (Valle Central) of Catamarca" and thus to know structural and functional properties of BN and the modified ecosystems DA, two-years olives (C2) and five-years olives (C5). Soil and vegetation variables were measured as structural properties, whereas the changes in the 'normalized green index'(NDVI) and in the 'integral of the normalized green index' (IIVN) were measured as functional properties. Although, a 'edaphic index' that integrates the results obtained in all soil variables was developed. The results show that the change in land use alters the original ecosystem (BN) leading to high- (C5) or low-productivity (DA, C2) states, both with symptoms of degradation. Soil condition decreased in the sequence BN, C5, DA and C2; the latter two being the most affected sites where most of the soil and vegetation variables and IIVN showed the worst values. The pattern of results of IIVN differs from those of the edaphic index in one point: C5 showed a higher IIVN than BN (due to the type of crop management, irrigation and fertilization). In DA, there was a change in floristic composition with great presence of Brea (*Cercidium praecox*), this ecosystem without appropriate conservation practices can reach a new equilibrium different than in BN and lower environmental quality. In C2, after a few years (C5) by adding some water and fertilizer improve soil physical properties and chemical detract. This thesis aims to provide basic information for land management policies and to generate new lines of research.

Keywords:

Chaco Árido - Green index - Edaphic index - Vegetation structure - Land use

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

En los ecosistemas naturales, la interacción entre los componentes bióticos y abióticos y el flujo de energía y materia que ocurren entre ellos generan bienes y servicios para el ser humano (Odum, 1997; Chapin III, et al., 2002). En la mayoría de las comunidades algunos de estos bienes y servicios pueden adquirir valor de mercado fácilmente como los productos destinados a la alimentación (granos, carne, leche), con fines energéticos (leña), a la construcción (madera), etc.; otros en cambio son consumidos o disfrutados por los seres humanos sin la mediación de transacciones mercantiles, como por ejemplo: mantenimiento de la composición atmosférica, conservación de los suelos, mineralización, purificación de aguas, entre otros aspectos, aunque recientemente existen mecanismos de compensación financiera a los usuarios de las tierras por la conservación de los servicios ambientales que proveen los ecosistemas naturales (Sala & Paruelo, 1997; Gómez-Baggethum & Groot, 2007; Gobbi, 2011).

La estructura original del ecosistema es producto de los factores de estado como ser: clima, material originario, topografía, biota y el tiempo; y el funcionamiento se da por los flujos de energía, proporcionada principalmente por el sol, y la materia (Chapin III, et al., 2002). Cuando el hombre modifica estos ecosistemas naturales con la finalidad de obtener un beneficio propio, altera sus propiedades estructurales y funcionales generando como resultado nuevos tipos de ecosistemas, denominados agroecosistemas o agrosistemas, que son sistemas ecológicos asociados a variables socioeconómicas, que tienen una finalidad de utilidad económica (Sarandón, 2002). Estos cambios en el uso de la tierra impactan y modifican la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas originales, conduciéndolos normalmente a sistemas agropecuarios de alta productividad que generalmente son dependientes de insumos energéticos externos (Guerschman, et al., 2003; Guerschman & Paruelo, 2005; Baldi & Paruelo, 2008). La productividad entendiéndose como productividad primaria neta, hace referencia a la producción de biomasa por área y tiempo, siendo un importante atributo funcional de los ecosistemas (Paruelo, et al., 2000).

Un agroecosistema es aquel ecosistema que se encuentra regulado por el hombre, que mediante el uso de energía externa obtiene uno o varios bienes y servicios que pueden ser exportados del sistema (Montserrat & Villar, 1995). De esta manera el territorio se va fraccionando para ir formando parches con diferentes usos de la tierra siguiendo las necesidades de sus administradores (Gómez Orea, 1992). La

fragmentación de estos territorios aumenta a medida que la demanda global de alimentos y productos primarios crece, produciendo una fuerte presión sobre los recursos naturales que ocasiona una disminución o la eliminación de la vegetación original (Baldi, et al., 2006; Gasparri & Grau, 2009; Yan, et al., 2009).

Muchos de estos sistemas agropecuarios, generalmente, están asociados con procesos de degradación del ecosistema, como por ejemplo: salinización, sodificación, alteración de la estructura edáfica, disminución de la materia orgánica, pérdida de la biodiversidad, entre otros; quedando enmascarados por su alta productividad, lo que vuelve necesario realizar determinaciones de variables indicadoras que revelen la condición o el estado del ecosistema para así poder comprender los procesos que en él ocurren y de esta manera poder establecer prácticas de conservación y/o recuperación del ambiente (Vilche, et al., 2006).

Una manera de detectar y caracterizar estas variables es a través del uso de indicadores de las propiedades estructurales y funcionales de estos sistemas (Chapin III, et al., 2002; Paruelo, 2008).

Dentro de las propiedades estructurales para caracterizar la condición del sistema evaluar la estructura, diversidad y cobertura son atributos importantes que tienen una estrecha relación con la productividad primaria del ecosistema y permite además detectar cambios en el funcionamiento del mismo (Verzino, et al., 2005; Escribano, et al., 2008). A su vez la productividad y la sustentabilidad de los ecosistemas naturales y de los sistemas agropecuarios están determinadas por los efectos interactivos de la calidad del suelo, de los factores ambientales y del manejo (Campitelli, et al., 2010).

La calidad del suelo, es la capacidad del mismo de funcionar dentro de los límites de un ecosistema, que pueda sustentar la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover el desarrollo de plantas y animales sanos, sin el agregado de insumos energéticos extra y para ello es importante contar con índices o indicadores que revelen la condición edáfica evaluada (Sherwood & Uphoff, 2000).

Los indicadores para poder proveer de información útil y comprensible deben cumplir ciertas características como ser: de fácil determinación y medición, para que pueda ser replicado y utilizado por múltiples usuarios; poseer alto grado de agregación, es decir que resuma en una variable otras cualidades o propiedades; que presente variación temporal, esto es para que pueda realizarse un seguimiento temporal de los mismos; y por último deben ser sensibles a los cambios producidos por el uso y el manejo de suelos (Cantú, et al., 2007).

Las propiedades funcionales de un ecosistema, entendiendo por ellas al intercambio de flujos de energía y materia entre la comunidad biótica y la atmósfera, se pueden caracterizar de distintas maneras (Virginia y Wall 2001, citado en Paruelo 2008). Estas características funcionales pueden ser: la productividad primaria neta aérea, la evapotranspiración, el ciclado de nutrientes, sucesión y procesos internos de regulación tales como ciclos reproductivos, fases fenológicas, asignación de recursos, entre otros (Sarandón, 2002; Paruelo, 2008). Algunas de estas características funcionales pueden ser medidas mediante los sensores remotos.

Una manera de estimar la productividad primaria neta aérea (PPNA) es utilizando la variable sintética índice verde normalizado (IVN), que es un buen estimador de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (fPAR) (Alcaraz-Segura, et al., 2009). Por otra parte para estimar la productividad primaria neta aérea anual (PPNAA) se puede utilizar la integral del índice verde normalizado (IIVN) que a su vez es la suma de todos los valores de IVN durante un año (Paruelo, 2008). El índice IIVN ha demostrado ser una herramienta útil como indicadora de degradación de los ecosistemas en diferentes escalas de percepción (Ricotta, et al., 1999; Prince, 2004; Wessels, et al., 2007; Prince, et al., 2009).

La degradación de las tierras, entendiéndose como el deterioro del suelo y de la vegetación por el hombre, provoca una pérdida importante en la productividad de los ecosistemas y esta situación avanza de manera acelerada sobre vastas extensiones de nuestro territorio (Abril & Bucher, 2001; Navonne, et al., 2008).

En Argentina, los suelos con presencia de bosques nativos fueron continuamente desmontados desde hace varias décadas para destinarlos a la agricultura, pero en los últimos 20 años la tasa de desmonte alcanzó valores de aproximadamente 200.000 ha por año y la mayor parte de esta superficie fue destinada a cultivos de granos (Montenegro, et al., 2004; Paruelo & Oesterheld, 2004; Volante, et al., 2005; Boletta, et al., 2006). El desmonte ocasiona importantes desequilibrios en la estructura y en el funcionamiento de los ecosistemas como por ejemplo: aumenta los riesgos de desertificación, afecta la dinámica hídrica, produce disminución de la diversidad biológica, altera las propiedades físicas y químicas del suelo, entre otras (Eva, et al., 2002; Montenegro, et al., 2004; Boletta, et al., 2006; Jobbagy & Santoni, 2006).

El desmonte consiste en la remoción total o parcial de la cubierta vegetal existente y su posterior acondicionamiento y traslado, y en algunos casos en la quema del material removido (FAO, 1992). Esta práctica deja al suelo expuesto a agentes erosivos, ocasionando un aumento en el albedo y consecuentemente un incremento en la evaporación y mineralización, contribuyendo al efecto invernadero y el calentamiento

global (Fullen & Brandsma, 1995; Feddema, 1998; Foley, et al., 2003; Paruelo, et al., 2004; Fernandez, et al., 2012).

La principal limitante en los ecosistemas áridos y semiáridos es el agua, caracterizándose los mismos por su balance hídrico anual negativo, presentándose las precipitaciones como eventos discretos y de manera aleatoria (Noy Meir, 1973). A su vez los ecosistemas áridos son los que poseen mayor grado de susceptibilidad a ser erosionados y son considerados sistemas de baja resiliencia, es decir que poseen escasa capacidad de soportar perturbaciones sin comprometer su propia estabilidad estructural y funcional (Gunderson, 2000; Holm, et al., 2003; Prince, et al., 2009).

En el Chaco Árido argentino una de las principales actividades agropecuarias es la ganadería bovina-caprina extensiva y el manejo inadecuado de esta actividad es una de las principales responsables de los procesos de degradación de los suelos y de la vegetación debido a la presión ejercida por el pisoteo y pastoreo animal (Blanco, et al., 2008). También, dentro de esta región se encuentran procesos de degradación en los sistemas de cultivos intensivos que pueden asociarse a procesos de salinización, sodificación, compactación y pérdida de nutrientes (Hang, et al., 1995; Buschiazzo, et al., 2001; Alderetes Salas, 2011).

En el Chaco Árido del Valle Central de Catamarca el cambio en el uso de la tierra se favoreció por la implementación de la Ley Nacional N° 22.702 de Desarrollo Económico, también conocida como Ley de Diferimiento Impositivo, donde el beneficio radica en la reducción del costo de la carga impositiva en pos de la inversión de capitales en sistemas de producción agrícola (Caeiro, 2009). Aunque esta ley fue dictada en el año 1982 tomó fuerza en la década de los noventa debido a la estabilidad monetaria generada a partir de la Ley de Convertibilidad, provocando un gran interés por parte de personas o grupos de inversionistas en hacer uso de este beneficio impositivo promoviendo la inversión de capitales económicos en la producción de cultivos de olivos lo que generó una fragmentación del paisaje original (Caeiro, 2009).

Existen diversos antecedentes en la bibliografía que evalúan el impacto que ocasiona el desmonte, tala y el sobrepastoreo sobre los bosques primarios, que luego, en algunos casos se convierten en bosques de sucesión secundaria lo que lleva a modificaciones en sus propiedades estructurales, tales como cambio en las relaciones ecológicas de dominancia, alteración de la estructura de la vegetación (Barchuk & del Pilar, 1999; Bonino & Araujo, 2005; Tighe, et al., 2009), pérdida de biodiversidad y productividad (Cingolani, et al., 2008) ocasionando que estos ecosistemas modificados por el hombre puedan encontrar un nuevo punto de equilibrio de menor calidad

ambiental y de menor capacidad de resiliencia (Britos & Barchuk, 2013). También diversos autores evaluaron el impacto del cambio de uso sobre propiedades edáficas, tales como: la dinámica del carbono y la fertilidad química del suelo (Liu, et al., 2010); la pérdida de nutrientes por efectos de erosión eólica en diferentes manejo y usos de la tierra (Buschiazzo, et al., 2001) y la cobertura vegetal del suelo en sistemas olivícolas (Gucci, et al., 2012).

Además, es posible encontrar diversos estudios sobre las propiedades funcionales de los ecosistemas y su distribución espacial, como los mapas de estimación de degradación de los ecosistemas de Prince (2004) para la región sur de África y el trabajo realizado por Blanco et al. (2008) para el ecosistema del Chaco Árido argentino. En ambas situaciones las investigaciones permiten conocer y/o estimar el estado de los ecosistemas a una escala de análisis regional, mediante el uso de sensores remotos. Por otra parte Di Leo et al. (2007) también utilizaron imágenes satelitales de mayor definición espacial para caracterizar la productividad primaria en distintas situaciones geográficas y productivas de la Pampa Húmeda argentina. Estos trabajos ponen de manifiesto la gran potencialidad de las imágenes satelitales en la caracterización y comprensión de los procesos ecosistémicos en diversas escalas de análisis.

Si bien existen antecedentes de investigaciones sobre el impacto del cambio del uso de la tierra para agroecosistemas áridos en ninguno de los casos se aborda de manera integrada el efecto sobre las propiedades estructurales y funcionales de los mismos para el Valle Central de Catamarca. El presente trabajo aborda el estudio de ecosistemas áridos desde algunas de sus propiedades estructurales y funcionales mediante la evaluación de indicadores y la utilización de índices que faciliten la comprensión del efecto que ejerce el uso de la tierra sobre ellos. Esta información es de utilidad no solo para conocer el estado de los ecosistemas, sino que constituye un aporte de conocimiento para la planificación y el desarrollo de los territorios.

1.1. Objetivo general:

Evaluar el efecto del uso de la tierra sobre el suelo y la vegetación en el Chaco Árido del Valle Central de Catamarca.

1.1.1. **Objetivos específicos:**

- ✚ Analizar la evolución del IVN en el período 2010-2011.
- ✚ Estimar y evaluar la IIVN para el ciclo anual 2010-2011 y su evolución en el período 2000-2012 en las situaciones de uso actual de la tierra.
- ✚ Elaborar mapas de distribución espacial de la IIVN.
- ✚ Comparar y analizar las variables de suelo, vegetación e IIVN para los diferentes usos de la tierra en estudio.
- ✚ Desarrollar un índice edáfico para los diferentes usos de la tierra en estudio.

Capítulo 2. MATERIALES Y MÉTODOS:

2.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Valle Central de la Provincia de Catamarca, región incluida en el distrito fitogeográfico del Chaco Árido (Morlans, 1995). El área seleccionada dentro del Valle Central se encuentra ubicada entre los paralelos 28°25' y 29° 30' de latitud sur y los meridianos 65°35' y 66°17' de longitud oeste, rodeada por los cordones montañosos del Ambato y del Ancasti, comprendiendo una superficie aproximada de 5.600 km² (figura 2-1 y figura 2-2).

El Valle Central de Catamarca es una extensa depresión tectónica delimitada al oeste por la Serranía de Ambato-Manchao y al este por la Serranía de El Alto-Ancasti (figura 2-2).

Al norte limita por las estribaciones de las sierras de Fariñango y las sierras Gracianas, al sur el Valle se continúa con los Llanos de La Rioja. El Río del Valle de Catamarca lo recorre en su parte septentrional llegando sus aguas, en períodos normales de precipitación, al puesto de San Carlos de la localidad de Huillapima (figura 2-2); sólo en épocas de crecientes sus aguas pueden llegar un poco más al sur. Sus principales afluentes provienen de la ladera occidental del Ambato (ríos Huañomil, Las Juntas, El Rodeo entre otros). En la mitad sur, el rasgo más destacado es la existencia de una extensa área de barreales o "barriales", que precede a las Salinas Grandes (Morlans, 1995).

La región del Valle Central posee un clima árido, según el índice térmico de Thornthwaite (1948), con precipitaciones promedio que oscilan entre los 300 y 450 mm anuales de ocurrencia estival (figura 2-2), concentrándose el 50% entre los meses de diciembre a febrero, y la evapotranspiración anual varía 1000 y 1200 mm; de mayo a septiembre se presenta la estación seca, que se corresponde con el período con probabilidades de ocurrencia de heladas (Karlin, 2013). Para el mes más cálido, enero, la temperatura media es de 26°C, mientras que la media mensual del más frío, julio, es 10°C (Morlans, 1995).

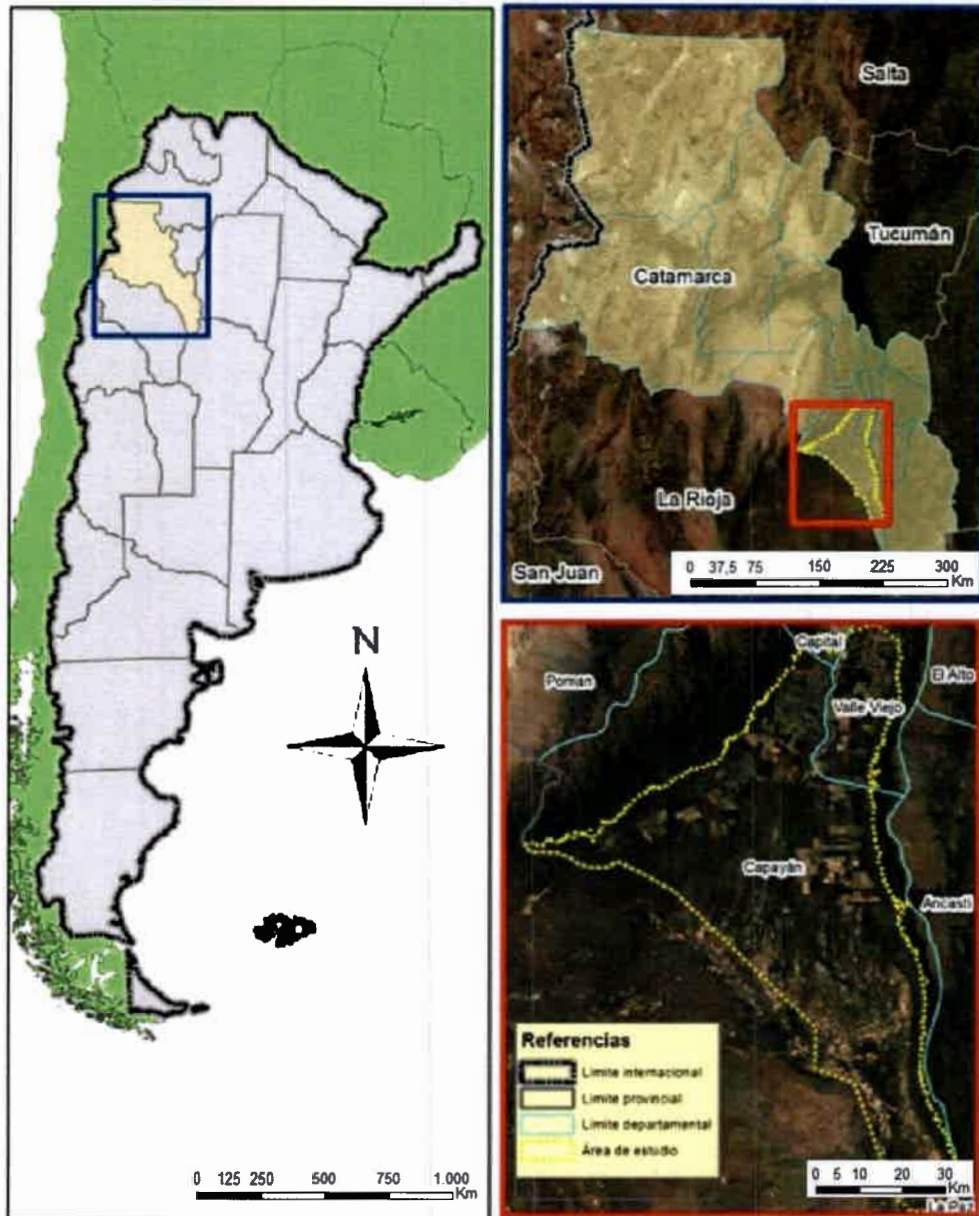


Figura 2-1: Ubicación del Valle Central de Catamarca.

Fuente: Elaboración propia.

La vegetación original corresponde a un bosque abierto dominado por *Aspidosperma quebracho-blanco* y *Prosopis spp.*, con un estrato arbustivo continuo y un estrato herbáceo compuesto por gramíneas perennes, anuales y por dicotiledóneas herbáceas (Morlans, 1995).

Los órdenes de suelos predominantes en esta región son Entisoles y Aridisoles (Vargas Gil, 1990) (figura 2-3).

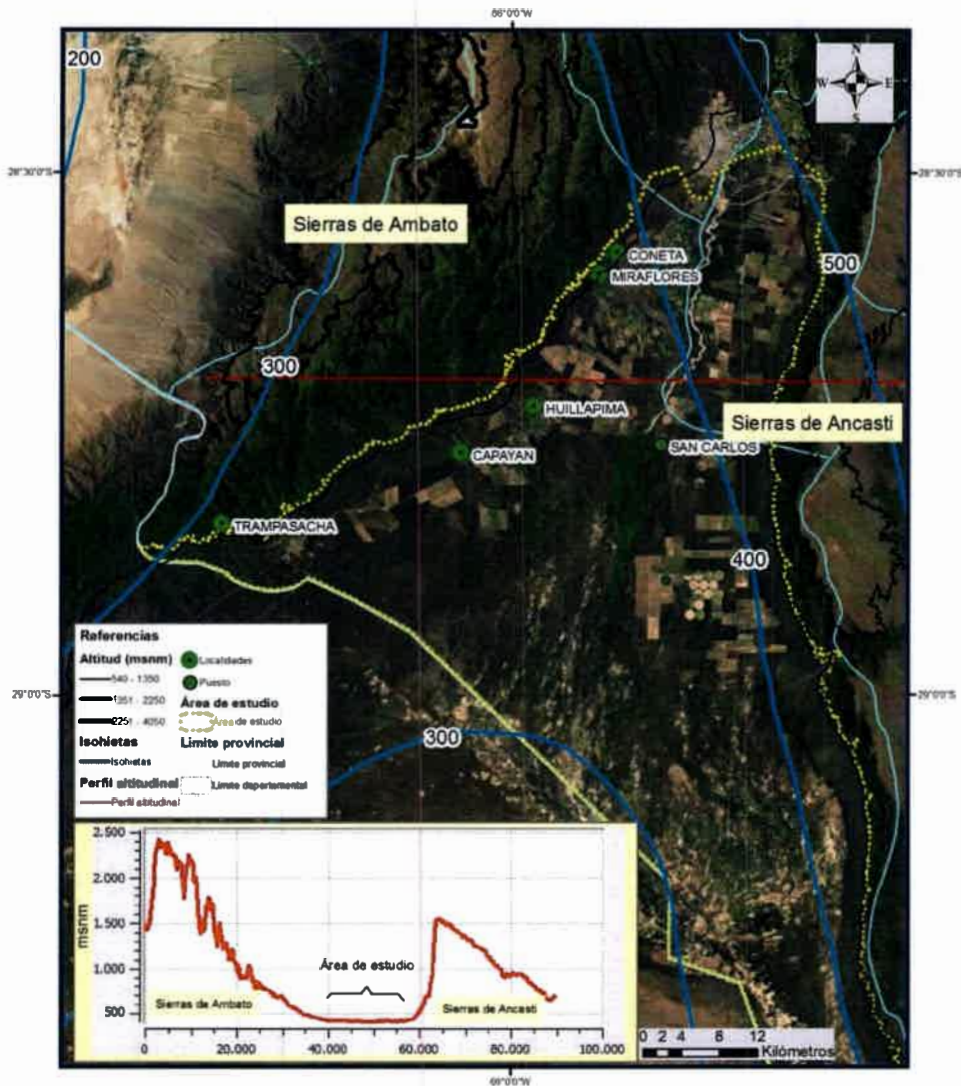


Figura 2-2: Variación altitudinal y de precipitación media anual en el Valle Central de Catamarca.

Fuente: Elaboración propia.

Para el abordaje del presente trabajo se consideró por su extensión y variedad de usos de la tierra en un gradiente climático, el área ocupada por el orden de suelos Entisoles, suborden Fluvents, gran grupo Ustifluvents correspondientes a la unidad cartográfica EKtc-10 según escala 1:500000 (Vargas Gil, 1990). (figura 2-3). Además

fueron separadas del análisis las áreas urbanas y sub urbanas y zonas pedemontanas, estas últimas ecotonales con el Chaco Serrano. Los Entisoles son suelos que se caracterizan por ser de escaso desarrollo pedogenético y presentar valores de materia orgánica, en el primer horizonte, menores al 1%, pudiendo llegar en algunos casos al 2%, generalmente los valores de conductividad eléctrica están por debajo de los 2 dS/m, por lo tanto se pueden clasificar como no salinos, presentando alto riesgo de erosión por su baja estabilidad estructural, la clasificación textural varía en el rango del franco arenoso, franco a franco arcilloso (Vargas Gil, 1990; Alurralde & Agüero, 2012). En la generalidad de los casos analizados, los suelos son profundos, isotrópicos con escasa o nula diferenciación entre horizontes, salvo en la capa superficial, en donde se aprecian variaciones en el color y en la estructura, asociadas a la diferente riqueza de materia orgánica, mantillo y cobertura vegetal presentes en cada una de ellas; se presentan en la Tabla 2-1 características generales de la estructura del suelo encontradas en los sitios de uso de la tierra analizados.

Tabla 2-1: Características generales de la estructura de los suelos en las diferentes situaciones de uso evaluadas.

Nivel de organización estructural y otros criterios de evaluación	BN	DA	C2	C5
Tipo	Granular, migajosa y bloques subangulares	Bloques subangulares en menor medida migajosa	Bloques subangulares y angulares	Bloques subangulares y angulares
Clase	Media a fina	Fina y muy fina	Fina	Gruesa y media
Grado	Con grado moderado	Sin grado y masiva	Sin grado y masiva	Fuerte a moderado y en algunos casos sin grado
Poros	Con presencia	Con presencia	Sin presencia	Con presencia
Observaciones	Evidencias de pastoreo y tala.	Muy variable entre sitios.		Raicillas en gran cantidad

BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.

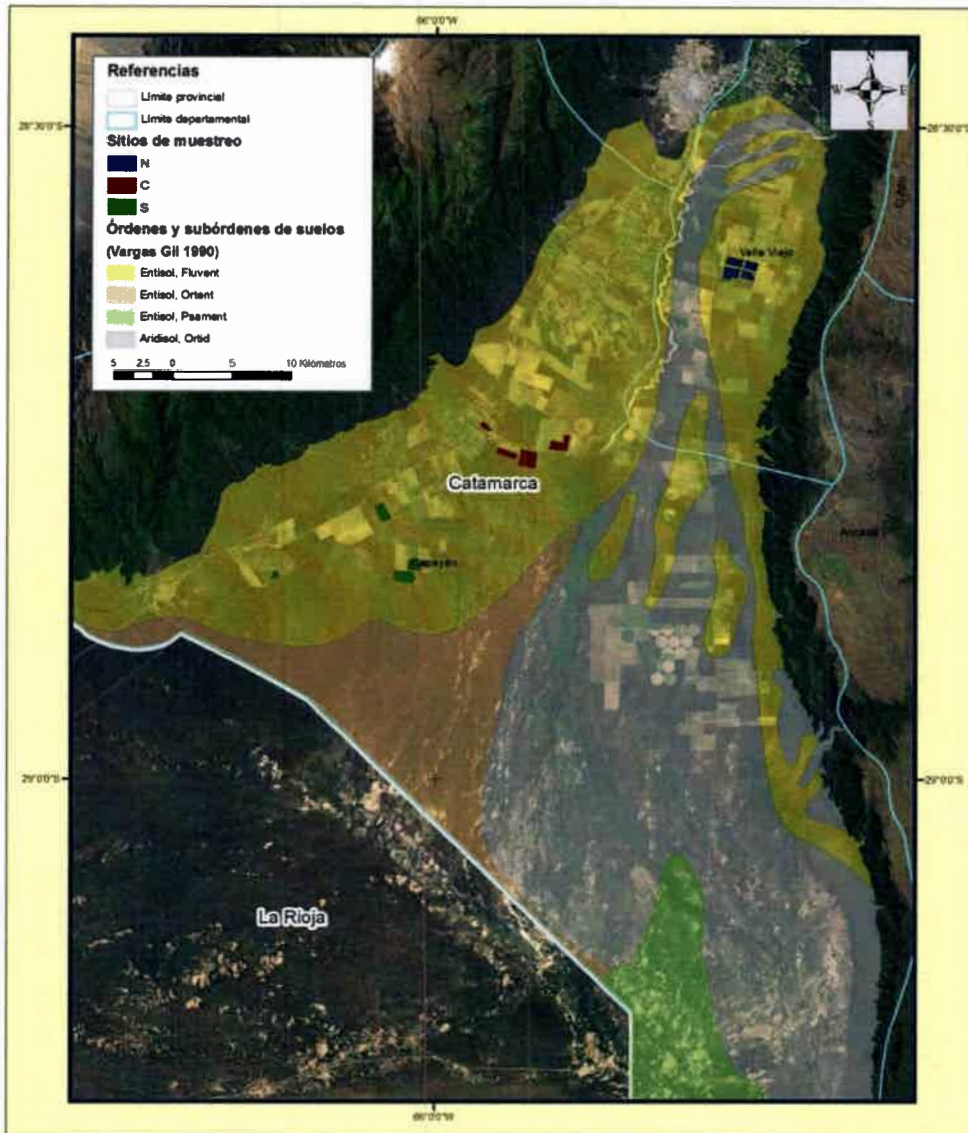


Figura 2-3: Distribución espacial de los órdenes y subórdenes de suelo en el Valle Central de Catamarca (Vargas Gil, 1990).

2.1.1. Sitios de muestreo y usos de la tierra.

En tres latitudes de la región del Valle Central de Catamarca y dentro del área cuyos límites se especificaron precedentemente, se seleccionaron tres sitios de muestreo: sitio 1 Norte (N): a $28^{\circ}36' \text{ LS}$, sitio 2 Centro (C): a $28^{\circ}44' \text{ LS}$ y sitio 3 Sur (S): a $28^{\circ}47' \text{ LS}$ (figura 2-3). Estos sitios estuvieron distanciados convenientemente dado el gradiente climático, en donde las precipitaciones se incrementan a medida que

disminuye la latitud, como indican las isohietas correspondientes a la precipitación media anual (figura 2-2).

Dentro de cada sitio de muestreo se seleccionaron tres situaciones de uso de la tierra que constituyeron las condiciones a evaluar: bosque nativo, desmonte abandonado y cultivo de olivo de hasta dos y de cinco años de implantación.

2.1.1.1. *Bosque nativo (BN):*

Se caracteriza por poseer tres estratos vegetales: estrato arbóreo compuesto principalmente por quebracho blanco, (*Aspidosperma quebracho-blanco*), algarrobo negro (*Prosopis flexuosa*), brea (*Cercidium praecox*), mistol (*Ziziphus mistol*) y tala (*Celtis ehrenbergiana*) entre las especies más abundantes; el estrato arbustivo se caracteriza por tener como especies dominantes a la jarilla (*Larrea divaricata*), alternándose con *L. cuneifolia*; y a la pichana (*Senna aphylla*), además con menor frecuencia se encuentra lata (*Mimozyanthus carinatus*), tintitaco (*Prosopis torquata*), atamisqui (*Capparis atamisquea*), mistol del zorro (*Castella coccinea*), jarilla negra (*Bulnesia foliosa*), entre otras; en zonas poco pastoreadas se encuentran poáceas megatérmicas como: pasto raíz (*Trichloris crinita*), cola de zorro (*Setaria leucopila*), *Pappophorum caespitosum*, Saetilla (*Aristida adscencionis*), pasto plateado (*Digitaria californica*) y pasto del niño (*Sporobolus pyramidatus*); también se encuentra algunas especies de cactáceas como Opuntias (*Opuntia spp*), cardones (*Cereus aethiops*, *Cereus forbesii*) y otras (Cabrera, 1976; Morlans, 1995) (figura 2-4). Otra característica del bosque nativo del Chaco Árido del Valle Central de Catamarca es la presencia de evidencias de tala y pastoreo con diferentes grados de intensidad.



Figura 2-4: Bosque nativo del Chaco Árido

2.1.1.2. Desmonte abandonado (DA):

Corresponde a sitios donde luego del desmonte no se implementó ningún tipo de cultivo ni manejo, estando sujetos a procesos ecológicos de sucesión secundaria del ecosistema. Los desmontes se realizaron entre los años 1996 y 1997. En la figura 2-5 se observa una imagen de esta situación de uso de la tierra. Los desmontes en la generalidad de los casos se realizaron utilizando máquinas topadoras unidas mediante cadenas que eliminan el estrato arbóreo y arbustivo, luego con la pala reticulada de la topadora se procedió al acordonamiento del material vegetal.



Figura 2-5: Situación de desmonte abandonado

2.1.1.3. Cultivos de olivos.

Tecnología utilizada:

La tecnología comúnmente utilizada en el área para el establecimiento del cultivo de olivo (*Olea europea*) consiste en la eliminación del monte nativo original a través del desmonte, de la misma manera descrita en la situación de desmonte abandonado. El período de plantación de los olivos no siempre es posterior al desmonte, en algunos casos luego de pocos años y con una limpieza del "fachinal" se procede a realizar la plantación. Posteriormente se implantan los olivos en un marco de plantación de 7 por 4 metros y entre líneas una pastura de buffel grass (*Cenchrus ciliaris*), todo este sistema se realiza bajo riego presurizado con goteros con agua proveniente de fuentes subterráneas. Además se realiza fertilización con nitrógeno, potasio y azufre a partir del cuarto año de implantado el cultivo con posterior control químico y mecánico de las malezas (Alderetes Salas, 2011).

De este uso se seleccionaron dos estados del olivar.

Cultivo de olivo de hasta 2 años de implantación (C2):

Caracterizado por el cultivo recién implantado, con árboles de no más de 1,5 m de altura con mínima cobertura vegetal de la superficie del suelo tanto entre las líneas de plantación como debajo de la copa de los mismos (figura 2-6) .A lo largo de las líneas de plantación se extiende la manguera de riego y fertilización. La lámina de agua aplicada es de aproximadamente 340 mm/año (Alderetes Salas, 2011)



Figura 2-6: Cultivo de olivos de 2 años de implantado

Cultivo de 5 años de implantado (C5):

Caracterizado por plantas de hasta 3 m de altura, con copa desarrollada, además de la cobertura generada a partir de desechos de poda y desmalezamiento. Entre líneas de plantación generalmente presentan un pastizal de buffel grass (*Cenchrus ciliaris*). La lámina de agua aplicada es de aproximadamente 850 mm/año (Alderetes Salas, 2011) (figura 2-7).



Figura 2-7: Situación de olivos de 5 años de implantación

2.2. Caracterización funcional

A los efectos de registrar el flujo de energía que circula en el ecosistema, el cual se relaciona con su funcionamiento, se utilizó la variable sintética "Índice Verde Normalizado" o "IVN" que es una medida de la actividad fotosintética y de vigor de la vegetación. El IVN se basa en la propiedad que tienen los objetos de poder reflejar la energía incidente en forma de radiación, capaz de captarla. El IVN es la relación entre la fracción roja del visible (R) y la infrarroja cercana (IR) del espectro electromagnético y se calcula como:

$$IVN = \frac{IR - R}{IR + R}$$

donde: IR y R corresponden a la reflectancia en la porción roja e infrarroja respectivamente.

Las células vegetales en condiciones normales dispersan la radiación solar en la región del IR y poca radiación en la región R, pero en situaciones donde la vegetación se encuentre bajo estrés la absorción y la dispersión pueden ser de dirección opuesta y por lo tanto el índice disminuye. Éste índice ha demostrado tener una fuerte relación con la biomasa, el índice de área foliar y la productividad primaria neta área, además de presentar la ventaja de ser sensible y de rápida respuesta frente a cambios en la vegetación (Paruelo, 2008).

Los datos de IVN se tomaron a partir de toda la serie disponible de imágenes MODIS para el período 2000-2012. El sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) es un instrumento de medición que se encuentra en plataformas satelitales que orbitan la superficie terrestre con una frecuencia diaria, adquiriendo imágenes en diversas longitudes de ondas del espectro electromagnético, estos datos son procesados en estaciones terrestres que ofrecen una amplia variedad de productos, entre ellos el IVN. La imagen satelital obtenida tiene una resolución temporal de 16 días, que es la resultante de la selección del mejor píxel dentro de dicho período y una resolución espacial de aproximadamente 250 metros de ancho por píxel.

2.2.1. **Marcha del IVN en el ciclo anual 2010-2011**

Utilizando los valores de índice verde normalizado se realizó una curva de su variación dentro del período 2010-2011 y además se agregaron al gráfico valores de

precipitación acumulados cada 16 días, período correspondiente a la resolución temporal de las imágenes MODIS, para su análisis conjunto.

2.2.2. Integral del índice verde normalizado 2010-2011

Se analizó particularmente el ciclo anual 2010-2011, correspondiente a la época del relevamiento a campo en los usos de la tierra antes mencionados.

2.2.3. Variación temporal de la IIVN 2000-2012

La integral del índice verde es la suma de todos los valores de IVN durante un período de tiempo determinado y es buen estimador de la productividad primaria neta aérea (PPNA) (Paruelo, 2008). En este trabajo el período de tiempo corresponde de julio a junio y se lo denominó *ciclo anual*. Por lo tanto el primer ciclo determinado corresponde al período 2000 - 2001 y el último 2011 - 2012, quedando definidos un total de 12 ciclos anuales de IIVN. Para el análisis de la variación de la IIVN para el período 2000 - 2012 se utilizó toda la serie disponible de imágenes IVN del sensor MODIS.

Para cada unidad experimental se extrajeron los píxeles correspondientes al IVN de MODIS y sus valores se promediaron entre sí. Luego se realizó la integral del índice verde (IIVN) sumando todos los valores de IVN para cada ciclo anual.

Para iguales períodos, se calculó la precipitación anual acumulada y se realizó un análisis en conjunto con los valores de IIVN. Los datos de precipitación fueron obtenidos de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Sumalao y fueron facilitados por Álvarez y Amorena (Datos no publicados).

Para todas las operaciones derivadas de imágenes satelitales se utilizaron los softwares Quantum GIS 1.8.0, Erdas 9.1 (Leyca Geosystems) y ArcGis 9.1 (ESRI).

2.2.4. Distribución espacial y temporal del IIVN

Para la elaboración de los mapas de distribución espacial y temporal del índice IIVN se agruparon los valores de píxeles en 5 clases: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Los criterios para la elección de los rangos fueron: para la clase "media" el valor se determinó analizando la tendencia de todos los ciclos anuales mostrados en la tabla 3-1 para el sistema de referencia BN, donde el rango de valores de píxeles determinado fue de 10 a 12 unidades de IIVN; para las clases "baja" y "alta" se utilizaron rangos de dos unidades de IIVN en orden decreciente para "baja" (8-10) y creciente para "alta" (12-14) respecto del valor de la clase "media" y para las clases "muy baja" (<8) y "muy alta" (>14) se utilizaron los valores extremos inferior y superior

respectivamente, obtenidos del rango de magnitudes de IIVN correspondientes a todas las situaciones de uso analizadas.

Se seleccionaron tres ciclos anuales según el siguiente criterio: ciclo anual 2000-2001, primer año de imágenes MODIS, ciclo anual 2006-2007 período en donde el índice mostró diferencia entre los usos de la tierra (tabla 3-1) y el ciclo anual 2010-2011 corresponde al período donde se realizó el relevamiento a campo. En los tres ciclos anuales se detallaron principalmente los sitios de muestreo, norte, centro y sur.

2.2.4.1. Mapa de distribución de la IIVN 2010-2011

Para la elaboración del mapa de distribución de la IIVN 2010-2011 se utilizaron las cinco clases mencionadas anteriormente, abarcando toda el área de estudio, estimando la superficie para cada clase

2.3. Caracterización estructural

2.3.1. Relevamiento y muestreo a campo.

En cada uno de los tres sitios de muestreo se seleccionaron las situaciones de los usos de la tierra especificadas, dando un total de 12 unidades experimentales (cada una de aproximadamente 25 has). En cada unidad experimental se trazaron cuatro transectas de 30 metros de longitud, distanciadas aproximadamente entre sí a 300 metros, sobre las cuales se realizaron las determinaciones de las variables de vegetación y suelo que se especifican a continuación, dando un total de 48 puntos de extracción de muestras y relevamiento de datos. Particularmente para las variables de suelo en las situaciones de cultivos, el muestreo se realizó entre las filas de plantación a un cuarto de distancia entre las líneas de olivos, evitando de esta manera muestrear sobre la línea del tránsito de maquinarias o sobre la línea de goteros (figura 2-8).



Figura 2-8: Esquema del área de muestreo en el sistema de cultivos de olivos.

2.3.2. Variables registradas:

Los criterios de selección de las variables fueron: sensibilidad a los cambios esperados por el efecto del uso, facilidad de obtención en las condiciones que caracterizan los ambientes estudiados, disposición de equipamientos y la posibilidad de realizar repeticiones. En la tabla 2-2 se sintetizan la justificación y la fuente bibliográfica utilizada.

Tabla 2-2: Justificación de las variables seleccionadas

Variables	Justificación	Fuente
Peso y espesor del manto.	Favorece el incremento de materia orgánica del suelo y genera protección mecánica contra agentes erosivos.	(Chapin III, et al., 2002; Buschiazzo, et al., 2007)
Índice de estructura	La estructura del suelo es un factor importante en la fertilidad física y química de los suelos.	(Ball, et al., 2007)
Fración erodible (%)	A mayor cantidad de partículas de suelo menores a 0,84 mm mayor riesgo de erosión y disminución de fertilidad edáfica.	(Chepil, 1954)
CE (dS/m)	El incremento de CE en el suelo disminuye la fertilidad física y química indicando serios riesgos de salinización.	(González, et al., 2005)
pH	A valor de pH inferior a 5, los procesos de disponibilidad de nutrientes son afectados. Valores superiores a 8,5, pueden indicar sodicidad y alteración de la funcionalidad física y química del suelo.	(González, et al., 2005; Álvarez & Rubio, 2009)
Carbono orgánico total y particulado	Componente fundamental en la estructuración y estabilidad de la estructura. Importante reservorio de nutrientes para la producción de biomasa.	(Chepil, 1954; Conti, 2005; Galantini, 2008)
Cobertura total	Ofrece protección mecánica contra agentes erosivos. Favorece al aporte de materia orgánica a la superficie del suelo, la formación de macroporos y la estabilidad estructural del suelo.	(Buschiazzo, et al., 2007; Ruiz-Colmenero, et al., 2012)
Cobertura arbórea	Tiene marcada influencia sobre la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas. Indicador de deforestación.	(Bregaglio, et al., 1999; Benyon, et al., 2000; Britos & Barchuk, 2008)
Cobertura arbustiva	Protección mecánica al suelo.	(Bregaglio, et al.,

	Aporte de materia orgánica al suelo.	1999; Chapin III, et al., 2002; Buschiazzo, et al., 2007)
	Oferta forrajera para ganadería caprina.	
Cobertura herbácea	Protección mecánica al suelo.	(Chapin III, et al., 2002; Buschiazzo, et al., 2007)
	Aporte de materia orgánica al suelo.	
	Oferta forrajera para ganadería bovina.	
Suelo desnudo	Aumento del albedo.	(Feddema, 1998)
	Desecamiento del suelo.	
	Exposición a agentes erosivos.	
Cobertura de mantillo	Aporte de materia orgánica al suelo.	(Michels, et al., 1995)
	Protección mecánica. Evita la desecación del suelo manteniendo la humedad.	
Índice de diversidad vegetal	Influye en procesos ecosistémicos.	(Chapin III, et al., 2000)
	Provee servicios ecosistémicos.	

2.3.2.1. Suelo:

En cada transecta para las profundidades de suelo de: 0-5 cm y 5-30 cm se tomó una muestra compuesta de 4 submuestras en las que se determinaron las variables químicas y físicas, a excepción de fracción erodible e índice de estructura para las que se tomó una muestra simple.

Determinaciones químicas:

- **pH:** se utilizó el método potenciométrico (Jackson, 1964).
- **Conductividad eléctrica:** se utilizó el método conductimétrico, a partir de la obtención del extracto de pasta saturada (USDA, 1973).
- **Carbono orgánico total y particulada:** se utilizó la metodología LECO (2008), previo a un fraccionamiento físico de la materia orgánica.

Determinaciones físicas:

- **Granulometría:** para la determinación granulométrica se utilizó un analizador de partículas láser. "Laser Particle Sizer Analyssette 22" (Fristch GmbH, 1994).
- **Fracción erodible** (Proporción de partículas menores de 0,84 mm de diámetro): en cada transecta se tomó una muestra de los primeros 5 cm de suelo con la ayuda de una cuchara de albañilería (figura 2-9), las que fueron colocadas en cajas acondicionadas y luego trasladadas al laboratorio. Sobre ellas se aplicó una metodología similar a la propuesta por Colazo y Buschiazzo (2010) utilizando un

tamiz de tipo horizontal al que se le ajustó un tiempo de tamizado de 30 segundos (López, et al., 2007). El tamaño de malla del tamiz es de 0,84 mm.



Figura 2-9: Caja recolectora y cuchara de albañilería

- **Índice de estructura (IE):** se desarrolló una metodología de evaluación visual de la estructura basada en la propuesta por Ball et al. (2007), a partir de la cual realizó una caracterización cualitativa y cuantitativa de la condición estructural del suelo.

Se extrajo la muestra utilizando una pala de 20 cm de ancho por 30 cm de largo con una sola acción de movimiento para intentar evitar la ruptura de la muestra, para luego somerla a una caída libre de aproximadamente 40 cm de altura sobre una superficie plana logrando la ruptura del bloque de suelo según planos de debilidad natural, lo que generó agregados de diferentes formas, tamaños y resistencia. A partir de ello se describieron cuatro niveles de organización: *tipo* y *clase* de estructura, según las normas de reconocimiento de suelos de Etcheverre (1976) y el *grado* de resistencia y la presencia de *poros* o macroporos visibles a simple vista en las caras de ruptura de los agregados según Palma (2000).

Por cada transecta se extrajo una muestra. Con la información recabada se elaboró un índice de estructura de carácter aditivo. Para ello dentro de cada nivel de organización se estableció un ranking de calidad asignando el mayor valor a la mejor condición de la variable considerada. Para obtener un valor relativo de cada variable se dividió el valor asignado en el ranking de calidad por la cantidad de variables presentes en ese nivel. Finalmente para obtener el índice de estructura

se realizó la suma de los valores relativos obtenidos en cada nivel de organización. Los detalles de este índice se muestran en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Valores relativos de las variables de calidad de la estructura considerada en cada nivel de organización

Nivel de organización	Variable	Descripción (forma del bloque o agregado)	Nomenclatura	Ranking	Valor relativo
Tipo					
(Etchevere, 1976)	laminar	Los agregados se ordenan en láminas horizontales	tl	1	0,14
	columnar	Similar a la laminar pero con bordes redondeados	tc	2	0,29
	prismática	Una dimensión es mayor que las dos restantes	tp	3	0,43
	bloques angulares	Los tres planos sensiblemente iguales, bordes rectos y caras rectangulares	ta	4	0,57
	bloques subangulares	Similar a bloques angulares pero con aristas agudas y caras curvas	ts	5	0,71
	migajosa	Agregados de forma irregular, superficie rugosa.	tm	6	0,86
	granular	Forma de esfera imperfecta	tg	7	1,00
Clase					
(Etchevere, 1976)	muy fina		cm	1	0,20
	fina		cf	2	0,40
	muy gruesa		cu	3	0,60
	gruesa		cg	4	0,80
	media		cd	5	1,00
Grado					

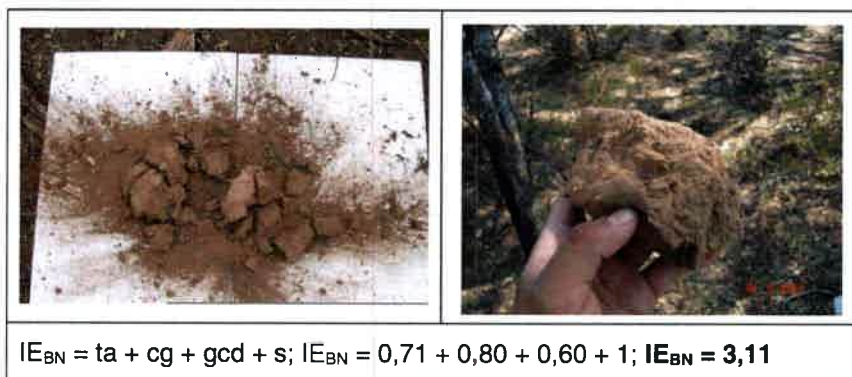
(Palma, 2000)

sin agregación	grano simple	No se forman agregados, granos sueltos con ausencia de elementos finos.	gsg	1	0,20
	masiva	Sin agregados ni espacios porosos.	gsm	2	0,40
	débil	Bajo nivel de organización. Agregados pobremente formados.	gcd	3	0,60
con agregación	fuerte	Agregados bien formados, alto nivel de organización.	gcf	4	0,80
	moderado	Agregados bien formados, se rompen en muchos agregados enteros y algunos rotos.	gcm	5	1,00

Poros

(Palma, 2000)	no	n	1	0,50
	si	s	2	1,00

A modo de ilustración en la figura 2-10 se muestran dos fotografías por cada uso de la tierra evaluado, fórmula del índice de estructura y el resultado del mismo.



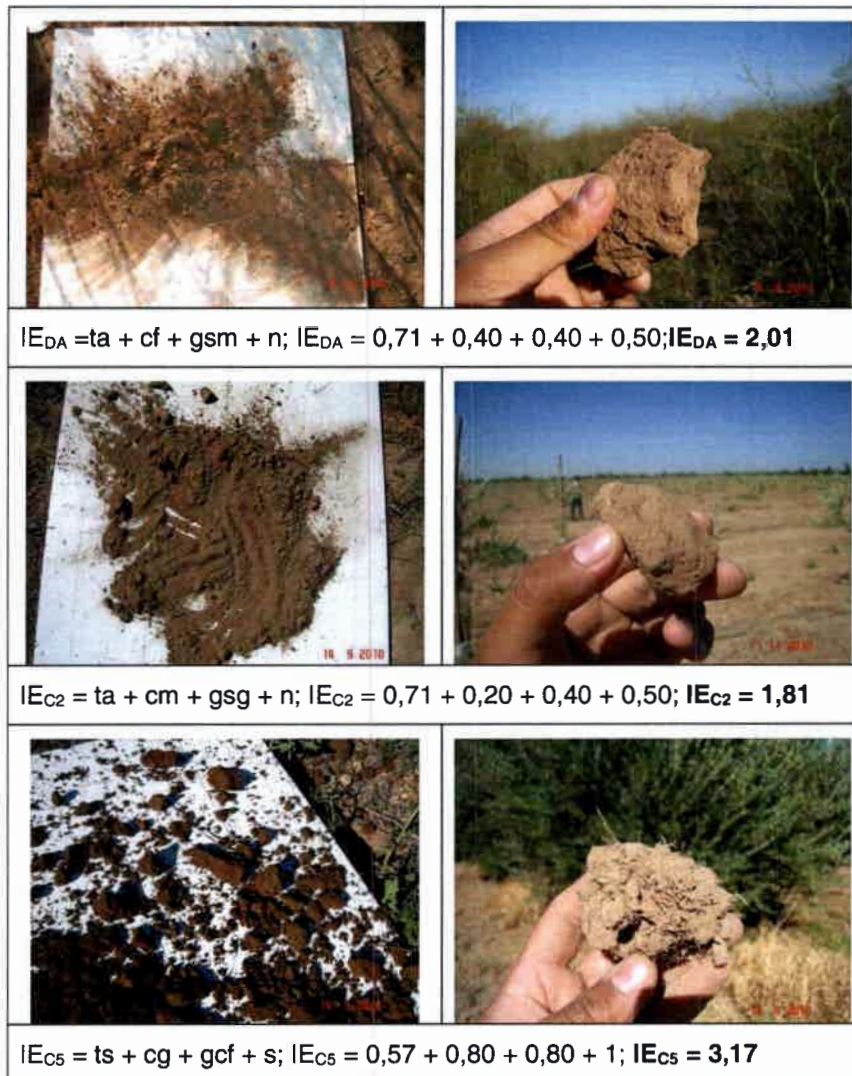


Figura 2-10: Imágenes de la estructura del suelo en relación a las diferentes situaciones de uso estudiadas, formulación y resultado del índice de estructura. IE_{BN} : Bosque nativo; IE_{DA} : desmonte abandonado; IE_{C2} : Cultivo de olivos de 2 años y IE_{C5} : Cultivo de olivos de 5 años.

- **Espesor de la capa de mantillo vegetal superficial:** con la ayuda de una cuchara de albañilería se separó la capa de mantillo vegetal superficial del resto del suelo y se midió su espesor mediante una cinta métrica (figura 2-11). En cada transecta, esta medición se realizó una vez.



Figura 2-11: Fotografía correspondiente al espesor del mantillo a relevar.

- **Peso del mantillo vegetal superficial:** a lo largo de la transecta, cada 5 metros se recolectaron 7 muestras del material orgánico contenido en un rectángulo de $0,25 \text{ m}^2$ de superficie. Dicho material se acondicionó para su traslado a laboratorio donde se secó a estufa a 40°C hasta peso constante para finalmente determinar su peso seco que se expresó en g/m^2 .

2.3.2.2. Vegetación:

Se realizaron transectas de 30 metros de longitud donde se realizaron las determinaciones de las variables de vegetación.

- **Cobertura total:** se registró la proporción de cobertura que genera la canopia vegetal sobre el suelo a partir de la proyección de la copa de todos los componentes vegetales sobre la transecta.
- **Cobertura arbórea:** se registró la proporción de cobertura que genera la canopia vegetal sobre el suelo a partir de la proyección de la copa de los árboles sobre la transecta.
- **Cobertura arbustiva:** se registró la proporción de cobertura que genera la canopia vegetal sobre el suelo a partir de la proyección de la copa de los arbustos sobre la transecta. Ésta variable sólo se registró para los usos de la tierra bosque nativo y desmonte abandonado.
- **Cobertura de mantillo, estrato herbáceo y suelo desnudo:** a lo largo de la transecta se arrojó cada 5 metros un marco de muestreo de $0,5 \text{ m}^2$ y utilizando el método de Daubenmire (1959) se registró el porcentaje de: suelo cubierto por mantillo, vegetación herbácea, gramíneas y suelo desnudo.

- **Índice de diversidad vegetal.** Se realizaron censos de vegetación utilizando el método fitosociológico de Braun Blanquet (1979) relevando la cantidad de especies encontradas por unidad experimental. A partir de estos datos se calculó el índice de diversidad vegetal de Shannon–Wiener, mediante la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

donde:

S= número de especies (riqueza de especies)

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos, es la abundancia relativa de la especie i ; y se calcula como:

$$\frac{n_i}{N}$$

donde:

n_i = número de individuos de la especie y

N = número de todos os individuos de todas las especies.

- **Estructura de la vegetación:** esta variable se determinó en los sitios BN y DA, para caracterizar la vegetación presente. En fajas de 6 m de ancho a lo largo de la transecta se tomaron las mediciones siguiendo la metodología para el estudio de la vegetación descriptos por Matteucci y Colma (1982) y las variables forestales indicadas por Thren (1993). Respecto al estrato arbóreo se valoraron las especies presentes en densidad de individuos, estructura poblacional, clasificaciones diamétricas de árboles y renovabilidad. Para diferenciar renuevos de ejemplares adultos, se tomó como criterio que las especies arbóreas de diámetro a la altura del pecho (DAP) inferior a 5 cm corresponden a renuevos y superior a este valor como adultos.

2.4. Análisis de correlación

Se realizó un análisis de correlación lineal entre todas las variables de suelo y vegetación estudiadas y que presentaron diferencias estadísticas entre los sistemas analizados.

2.5. Índice edáfico

El índice edáfico se estableció a partir de las variables evaluadas ponderando los indicadores en una escala del 0 a 1, en donde 0 es la peor condición y 1 la mejor (Cantú, et al., 2007).

Al normalizar los valores de las variables existen dos situaciones posibles: la primera cuando el valor máximo del indicador se corresponde al valor máximo de la variable y su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$V_n = \frac{(I_m - I_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})}$$

donde:

V_n = valor normalizado de la variable,

I_m = valor de la variable indicadora,

I_{\max} = valor máximo, del conjunto de datos, de la variable indicadora,

I_{\min} = valor mínimo, del conjunto de datos, de la variable indicadora.

La segunda es cuando el valor máximo de la variable indicadora se corresponde a la peor condición de dicha variable y la ecuación para estimar el valor normalizado es:

$$V_n = 1 - \frac{(I_m - I_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})}$$

Particularmente para la variable pH, se tomó como valor óptimo el correspondiente a BN, por lo que para los usos de la tierra BN y DA se utilizó el criterio más es mejor ya que el desmonte puede ocasionar un descenso en el pH por oxidación de la materia orgánica y su posterior lixiviación de bases del perfil (Álvarez & Rubio, 2010) y el valor mínimo de la variable indicadora fue 5; y en el caso de C2 y C5 se utilizó el criterio más es peor debido a que el agua de riego puede incrementar los valores de pH en sistemas de cultivos y el valor máximo de la variable indicadora fue 8,5 (Fernández, 1987; Alderetes Salas, 2011).

El valor del índice edáfico para cada uso de la tierra se obtuvo a partir del promedio de todas los indicadores ponderados previamente. A partir de los valores promedios se

estableció un criterio de clasificación de cinco clases, definidas en iguales intervalos de valor promedio del índice edáfico. Las clases se denominaron, "muy alta calidad" (0,80-1), "alta calidad" (0,60-0,79), "moderada calidad" (0,40-0,59), "baja calidad" (0,20-0,39) y "muy baja calidad" (0-0,19) (ver tabla 3-8).

Los criterios de análisis e interpretación de cada variable se indican en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Criterios utilizados en la normalización de las variables

Variables		Criterio
Índice de estructura		más es mejor
Fracción erodible (%)		más es peor
pH	BN y DA	más es mejor
	C2 y C5	más es peor
CE (dS/m)		más es peor
Carbono orgánico total y particulado		más es mejor
Peso y espesor del mantillo.		más es mejor

2.6. Diseño experimental y análisis estadístico de los datos

Los datos se analizaron mediante modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta a las tres latitudes propuestas (latitudes norte, centro y sur) como bloques o factor de efecto aleatorio y a los usos de la tierra, bosque nativo (BN), desmonte abandonado (DA), cultivo de olivo de 2 (C2) y de 5 años (C5), como factor de efecto fijo. En el caso de la variable de vegetación "cobertura arbustiva", solamente se consideraron los usos de la tierra BN y DA como factor de efecto fijo. Las transectas realizadas en cada sitio se consideraron como submuestras de cada uso de la tierra (Littel, et al., 1996; Di Rienzo, et al., 2008). Las medias de los valores de las variables edáficas y de vegetación correspondientes a los diferentes usos de la tierra evaluados se compararon mediante test de LSD Fisher ($\alpha = 0,05$).

Para analizar la posible interacción usos de la tierra – tiempo, con la variable IIVN, se realizó un análisis de modelos mixtos para mediciones repetidas en el tiempo y posteriormente se analizaron las medias de cada ciclo anual de IIVN mediante análisis de modelos mixtos lineales (Di Rienzo, et al., 2009).

Para establecer posibles relaciones entre las variables registradas, se realizaron análisis de correlación lineal, utilizando como criterios de interpretación el coeficiente de correlación de Pearson (r) y $p < 0,05$ (Di Rienzo, et al., 2009).

Tesis: Uso de la tierra en el Valle Central de Catamarca: efectos sobre el suelo y la vegetación

Para los análisis se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo, et al., 2008; INFOSTAT, 2008).

Capítulo 3. RESULTADOS

3.1. Caracterización funcional

3.1.1. **Marcha del IVN en el ciclo anual 2010 - 2011**

Se analizó la evolución del índice verde normalizado (IVN) a lo largo del período 2010-2011, comenzando el 12 de julio de 2010 y finalizando el 13 de junio de 2011. Dado el régimen de precipitaciones se pueden diferenciar dos períodos, denominados período seco (abril a septiembre) y período húmedo (octubre a marzo) (figura 3-1).

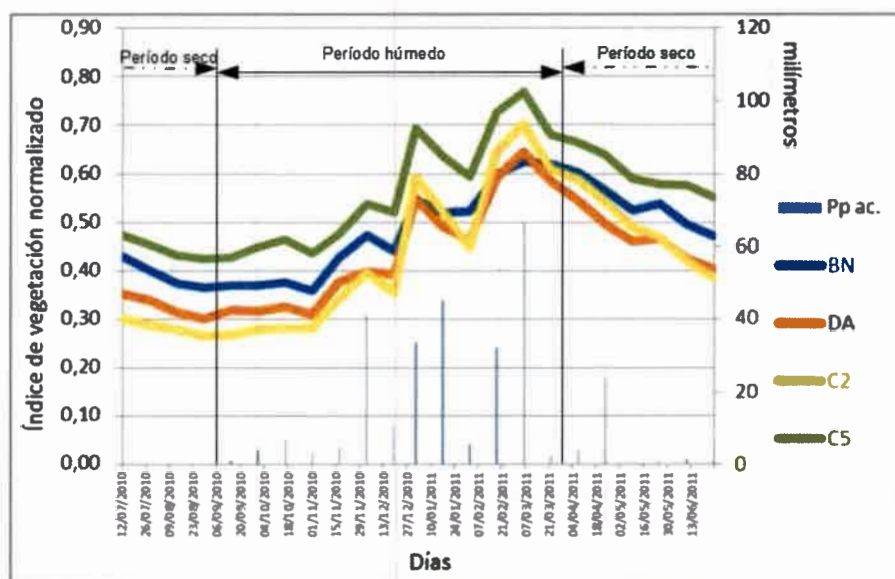


Figura 3-1: Evolución del IVN durante el ciclo anual 2010-2011. Inicio del ciclo 12/07/2010, fin del ciclo 13/06/2011. Las barras de color celeste corresponden a la precipitación acumulada cada 16 días. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.

Durante el período seco el IVN de las observaciones muestra una relación $C5 > BN > DA > C2$ y en el período húmedo con mayor precipitación, la relación es $C5 > C2 > BN > DA$. Otra situación a destacar es que en BN y DA en momentos donde la precipitación es alta los valores de IVN se igualan.

3.1.2. Integral del índice verde normalizado 2010-2011

La IIVN para el ciclo anual 2010-2011 mostró diferencias estadísticamente significativas entre los usos de la tierra evaluadas ($p=0,0029$) (figura 3-2).

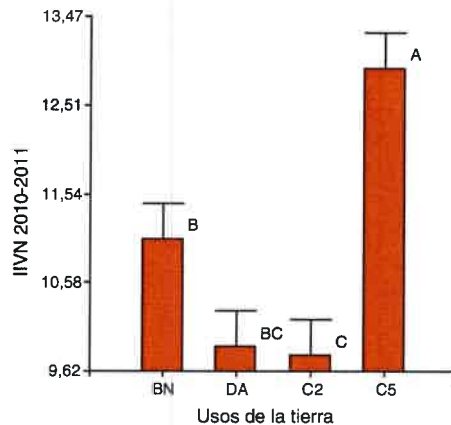


Figura 3-2: Integral del índice verde normalizado (IIVN) en el ciclo anual 2010-2011 para los diferentes usos de la tierra, test LSD de Fisher ($p<0,05$). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre usos de la tierra. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.

El cultivo de olivo de 5 años (C5) presentó los mayores valores de IIVN respecto a los restantes usos de la tierra. La situación de BN presentó una IIVN menor que C5 pero mayor que C2 y DA. El desmonte abandonado es una situación de transición entre C2 y BN y se diferenció marcadamente de C5. El cultivo de 2 años (C2) obtuvo los valores más bajos valores de IIVN.

3.1.3. Variación temporal de la IIVN 2000-2012

Para determinar si la IIVN correspondiente a los distintos usos de la tierra analizados varió a través del tiempo, se realizó un análisis de modelos mixtos para medidas repetidas en el tiempo el cual indicó una interacción positiva entre IIVN y tiempo con un valor de $p<0,001$. A partir de ello se realizó el ANAVA para los 12 ciclos anuales (tabla 3-1) (Los sitios analizados corresponden a los evaluados a campo).

Tabla 3-1: Ciclos anuales de Integral del índice verde normalizado (IIVN) para las situaciones de uso analizadas.

Ciclos anuales	p value	BN	DA	C2	C5	E.E.
2000-2001	0,3073	A	A	A	A	
Medias		11,77	10,02	11,68	9,46	0,96
2001-2002	0,4021	A	A	A	A	
Medias		11,98	10,46	12,02	11,14	0,70
2002-2003	0,1708	A	A	A	A	
Medias		11,67	9,66	11,74	10,81	0,63
2003-2004	0,1747	A	A	A	A	
Medias		10,82	9,06	10,65	9,29	0,60
2004-2005	0,2406	A	A	A	A	
Medias		11,12	9,52	10,88	10,07	0,58
2005-2006	0,2191	A	A	A	A	
Medias		10,75	8,82	10,00	10,22	0,58
2006-2007	0,1096	AB	AB	B	A	
Medias		10,28	8,42	7,57	10,45	0,90
2007-2008	0,0077	AB	BC	C	A	
Medias		11,15	9,63	8,86	12,35	0,53
2008-2009	0,0015	B	C	C	A	
Medias		11,11	9,69	9,03	12,54	0,35
2009-2010	0,0103	AB	BC	C	A	
Medias		10,41	8,08	8,08	11,62	0,54
2010-2011	0,0029	B	BC	C	A	
Medias		11,05	9,89	9,80	12,90	0,39
2011-2012	0,0029	B	C	BC	A	
Medias		10,80	9,36	9,68	12,98	0,42

Letras diferentes dentro de un período indican diferencias estadísticamente significativas entre los usos de la tierra según test LSD de Fisher ($p < 0,05$). BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.

La IIVN no mostró diferencias entre los sitios donde se ubican los usos estudiados en el presente trabajo desde el ciclo 2000-2001 hasta el ciclo 2005-2006, pero a partir del ciclo 2006-2007 comenzaron a existir diferencias entre los usos de la tierra. (tabla 3-1).

En todos los ciclos anuales la IIVN de BN mostró una tendencia similar a las precipitaciones, de la misma manera lo hizo la IIVN de DA pero con valores más bajos respecto de BN (figura 3-3). A su vez la IIVN de C2 presentó una tendencia similar a la IIVN de BN hasta el ciclo anual 2005-2006, luego disminuyó sustancialmente, inclusive por debajo de los valores de IIVN de DA, en los ciclos subsiguientes se incrementa levemente hasta el último ciclo anual analizado donde se iguala a DA. El período de desmonte de la situación C5, está comprendido entre los años 1997 y 2002 y la

plantación en los tres sitios de estudio fue en el período 2003-2006, en algunos de los sitios de estudio, la plantación se realizó inmediatamente luego del desmonte y en otros, la plantación se realizó pasando de dos a tres años. La IIVN de C5 a partir del período 2003-2004 se incrementa hasta el último ciclo analizado.

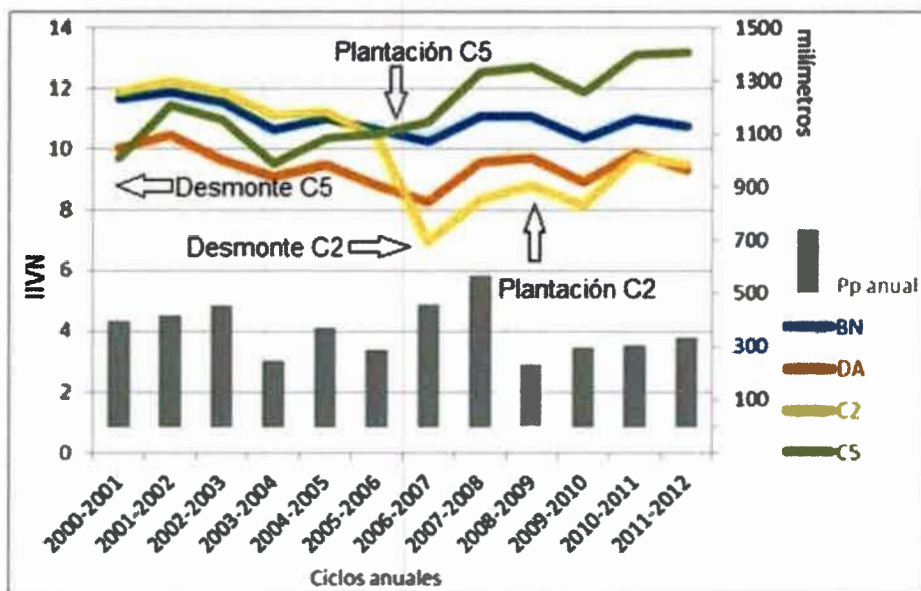


Figura 3-3: Variación de la IIVN desde los ciclos anuales 2000 - 2001 hasta 2011-2012. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivos de olivos de 5 años; Pp anual = precipitación anual.

3.1.4. Distribución espacial y temporal del IIVN

Las figura 3-4 a 3-6 muestran la evolución temporal durante los ciclos anuales 2000-2001, 2006-2007 y 2011-2012 y la distribución espacial de la IIVN en los sitios norte, centro y sur, para las áreas comprendidas en las situaciones de uso estudiadas en este trabajo.

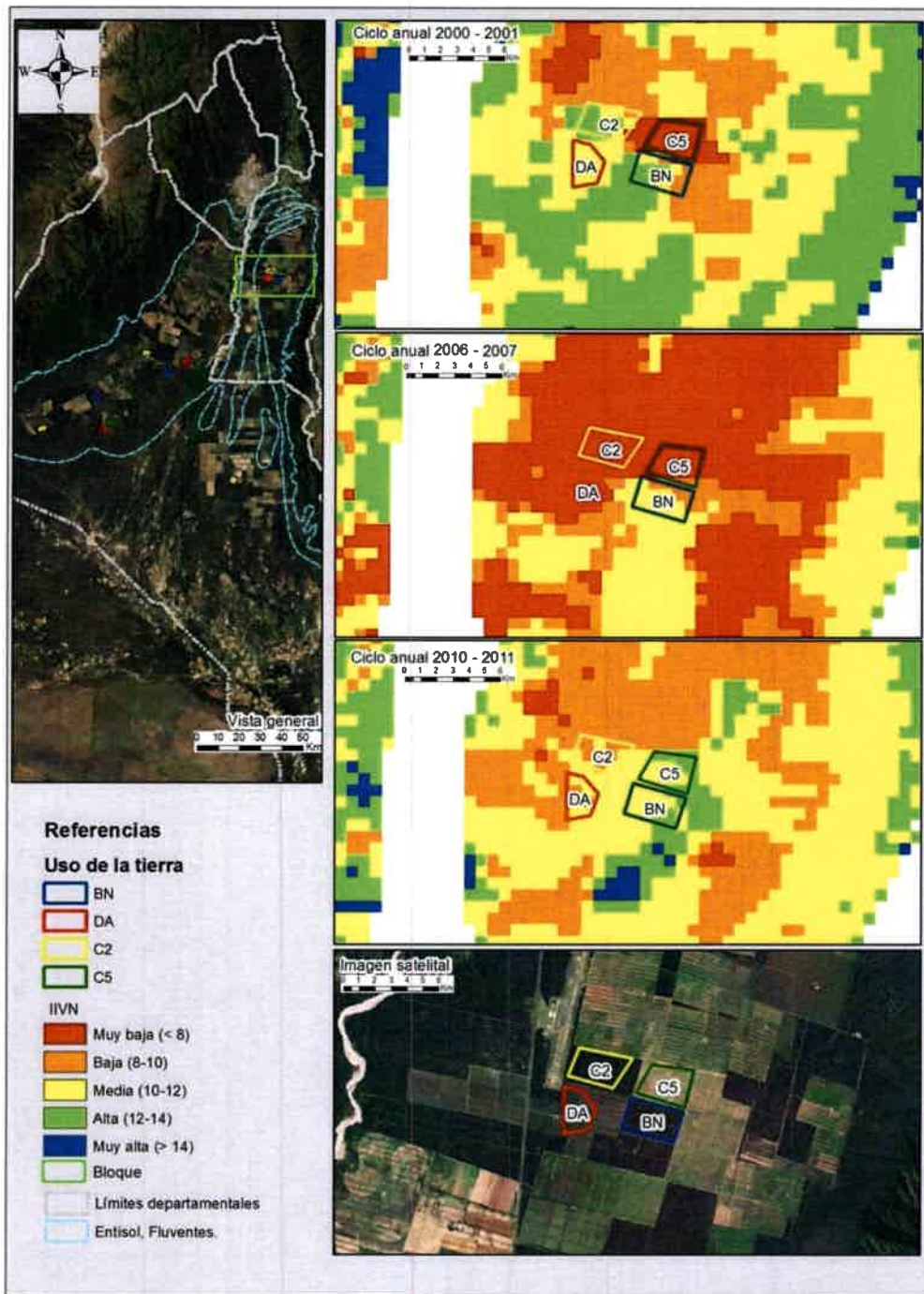


Figura 3-4: Integral del índice verde normalizado bloque norte en tres ciclos anuales. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.

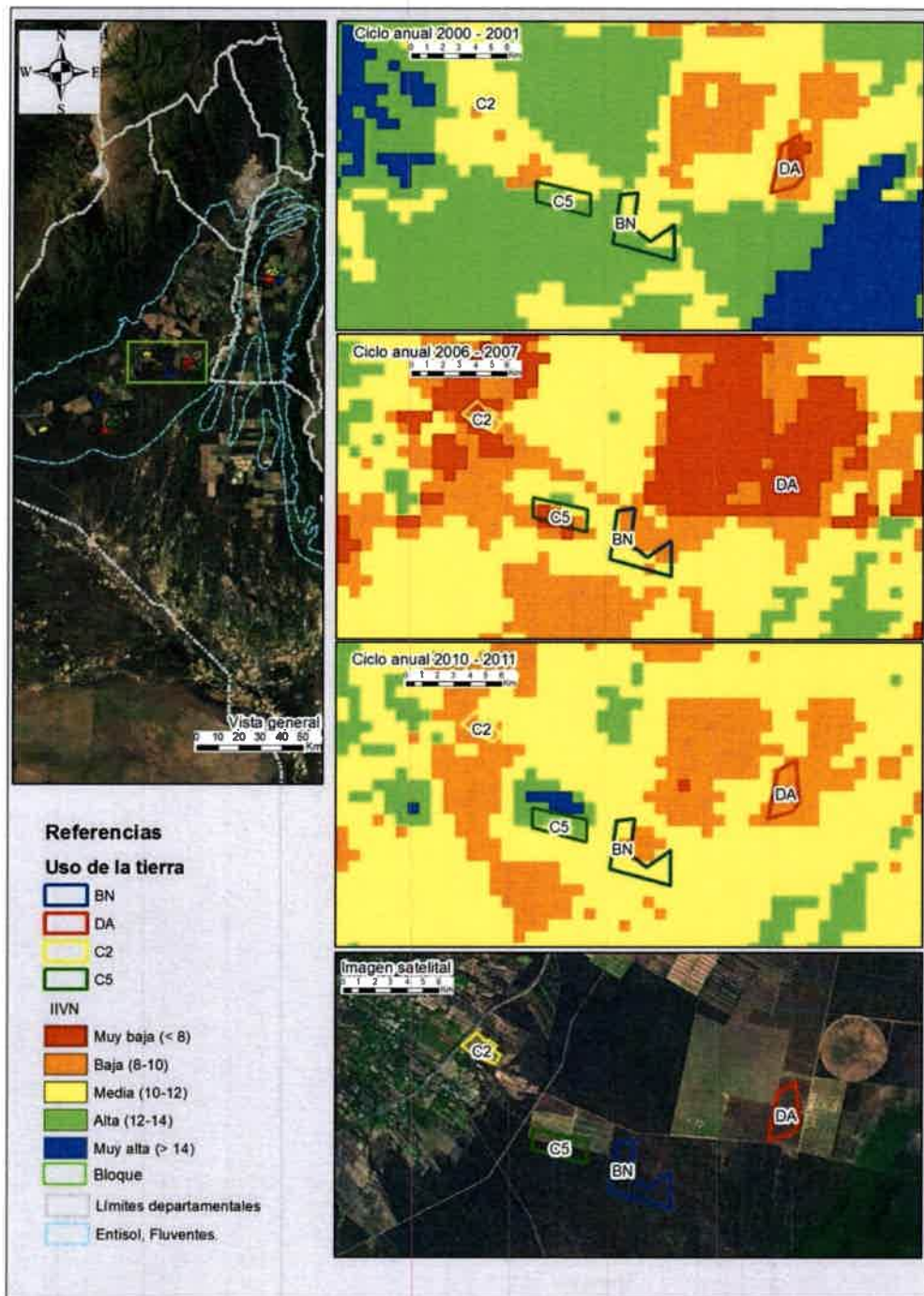


Figura 3-5: Integral del índice verde normalizado bloque centro en tres ciclos anuales. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.

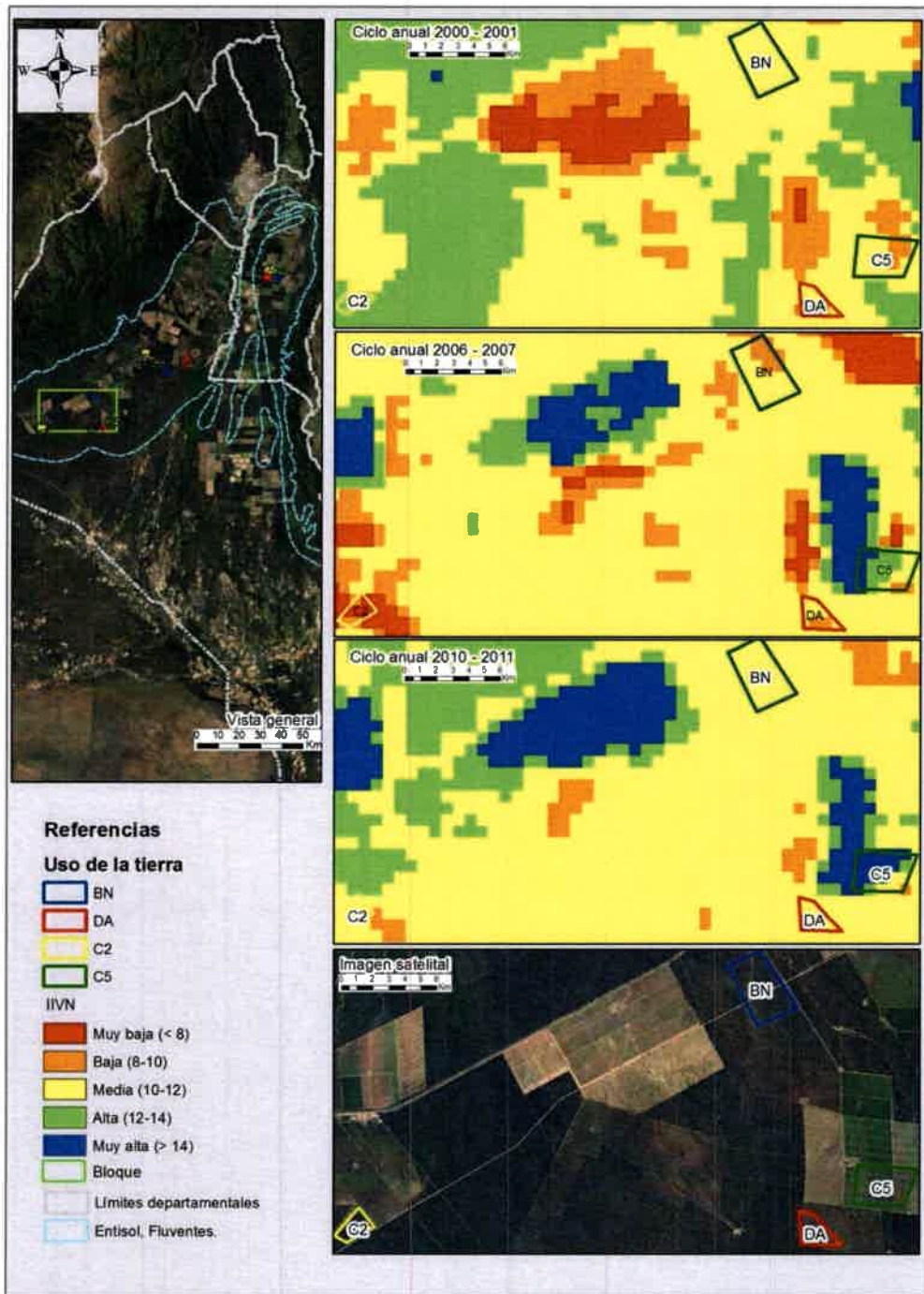


Figura 3-6: Integral del índice verde normalizado bloque sur en tres ciclos anuales. BN = Bosque nativo; DA = Desmote abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.

3.1.4.1. Mapa de distribución de la IIVN 2010-2011

En la figura 3-7 se muestra el mapa de distribución de la IIVN para el área de estudio y en la tabla 3-2, se resumen la superficie que ocupa cada clase de IIVN 2010-2011 y su proporción respecto de toda el área de estudio.

Tabla 3-2: Proporción de clases de IIVN 2010 -2011 y superficie ocupada por cada una de ellas en el área de estudio.

Clases	Superficie (ha)	Proporción (%)
Muy baja	622,56	0,5
Baja	14479,73	11,1
Media	72097,89	55,4
Alta	34751,36	26,7
Muy alta	8240,16	6,3
TOTAL	130191,70	100,0

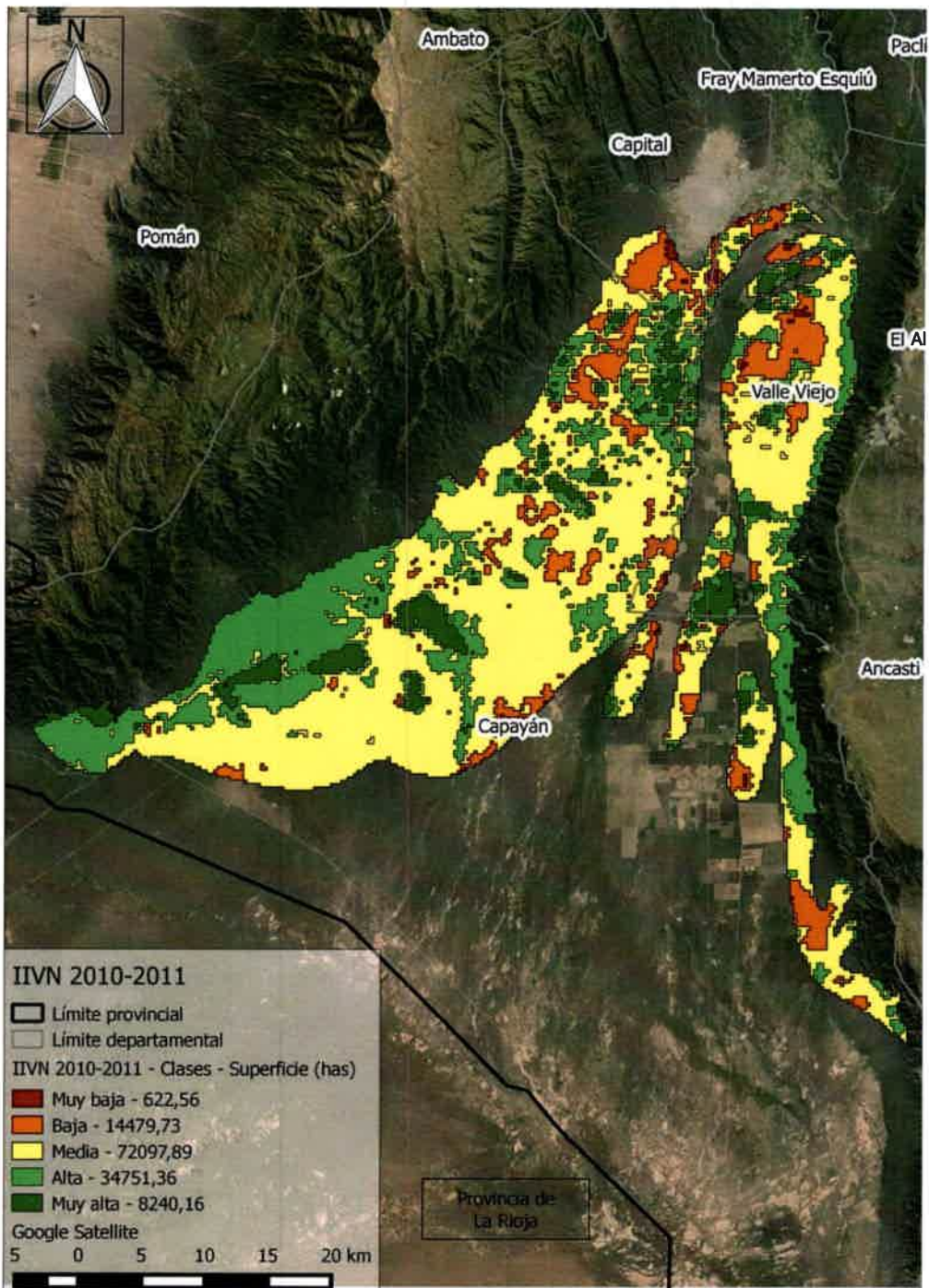


Figura 3-7: Mapa de distribución de la IIVN 2010-2011 en el área bajo estudio.

3.2. Caracterización estructural

3.2.1. Granulometría:

En las diferentes observaciones analizadas las clases texturales variaron dentro del rango del franco arenoso a franco y a franco limoso para el bloque sur (tabla 3-3).

Tabla 3-3: Análisis granulométrico.

Bloque	UT	% arena		%limo		%arcilla		Textura	
		0-5 cm	5-30 cm	0-5 cm	5-30 cm	0-5 cm	5-30 cm	0-5 cm	5-30 cm
Norte	BN	57,7	64,9	34,3	28,2	7,5	5,6	Franco arenosa	Franco arenosa
	DA	58,6	63,3	32,1	27,0	8,3	7	Franco arenosa	Franco arenosa
	C2	71,6	70,4	20,6	21,3	4,8	5	Franco arenosa	Franco arenosa
	C5	67,8	69,7	22,7	23,0	6,3	5,8	Franco arenosa	Franco arenosa
Centro	BN	42,6	45,8	46,3	44,5	9,1	8,6	Franco	Franco
	DA	55,5	55,4	36,3	35,5	6,6	7,6	Franco arenosa	Franco arenosa
	C2	49,0	46,2	41,9	43,5	8,2	8,5	Franco	Franco
	C5	62,7	61,8	31,5	32,0	5,7	5,9	Franco arenosa	Franco arenosa
Sur	BN	50,5	46,1	42,7	46,6	6,5	7,3	Franco	Franco
	DA	37,9	23,0	51,4	63,7	9,7	12,9	Franco limosa	Franco limosa
	C2	56,0	56,2	38,7	36,6	5,3	4,9	Franco arenosa	Franco arenosa
	C5	39,2	39,5	49,3	49,7	10,7	10,8	Franco limoso	Franco limoso

UT = Uso de la tierra; BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.

3.2.2. Variables indicadoras de calidad de suelo:

En general, las variables de suelo fueron estadísticamente sensibles al efecto del uso de la tierra (tabla 3-4).

Tabla 3-4: Valores medios de las variables indicadoras de calidad de suelo analizadas para los diferentes usos de la tierra y resultados estadísticos.

Variabes	p value	BN	DA	C2	C5	E.E.
Índice de estructura (IE)	0,05	A	AB	B	A	
Medias		2,95	2,50	2,12	3,24	0,23
Fracción erodible (%) (FE)	0,0124	BC	AB	A	C	
Medias		65,36	70,94	82,44	58,69	3,36
pH 0-5 cm	0,0084	BC	C	AB	A	
Medias		6,03	5,68	6,67	7,24	0,26
pH 5-30 cm	0,2175	A	A	A	A	
Medias		7,04	6,30	7,60	7,60	0,44
CE 0-5 (dS/m)	0,0071	B	B	A	A	
Medias		1,02	0,84	3,13	3,64	0,43
CE 5-30 (dS/m)	0,2445	A	A	A	A	
Medias		1,50	2,15	2,62	4,74	1,15
Carbono orgánico total (%C) (COT) 0-5 cm	0,0437	A	B	B	B	
Medias		2,68	1,41	1,21	1,62	0,29
Carbono orgánico total(%C) (COT) 5-30 cm	0,2622	A	A	A	A	
Medias		0,79	0,74	0,62	0,91	0,09
Carbono orgánico particulado (%C) 0-5cm	0,0121	A	B	B	B	
Medias		1,40	0,62	0,36	0,61	0,15
Carbono orgánico particulado (%C) 5-30 cm	0,4239	A	A	A	A	
Medias		0,17	0,13	0,09	0,23	0,06
Mantillo (gr/m ²)	0,0237	AB	B	C	A	
Medias		658,37	422,87	25	1291,61	209,04
Espesor mantillo (cm)	<0,0001	B	C	C	A	
Medias		4,42	0,42	0,17	12,83	0,48

Letras distintas para cada variable corresponden a diferencias estadísticamente significativas entre las observaciones, según test LSD de Fisher ($p < 0,05$). BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.

3.2.3. Variables de vegetación:

Los resultados del análisis estadístico de las variables de vegetación se muestran en la tabla 3-5

Tabla 3-5: Valores medios y resultados estadísticos de las variables indicadoras de calidad de vegetación analizadas en función de los diferentes usos de la tierra.

Variables	p value	BN	DA	C2	C5	E.E.
Cobertura total	0,0001	A	B	C	AB	
medias (%)		85,04	68,80	15,30	74,43	5,22
Cobertura arbórea	0,0004	B	C	D	A	
medias (%)		48,74	31,67	15,33	74,44	6,62
Cobertura arbustiva	0,8597	A	A	---	---	
medias (%)		62,50	60,54	---	---	8,06
Cobertura herbácea	0,010	B	B	B	A	
medias (%)		5,00	10,36	0,71	46,43	4,31
Cobertura de mantillo	0,0391	AB	B	C	A	
medias (%)		67,38	48,24	0,83	70,71	5,08
Suelo desnudo	0,0005	B	AB	A	AB	
medias(%)		9,95	21,97	37,74	25	4,93
Índice de diversidad biológica Shannon-Wiener	0,0005	A	A	B	B	
Medias	<0,0001	1,95	1,91	0,24	0,50	0,10

Letras diferentes dentro de un período significan diferencias estadísticamente significativas entre usos de la tierra según test LSD Fisher ($p < 0,05$). BN=Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivo de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.

3.2.3.1. Estructura de la vegetación arbórea:

Esta variable se analiza sólo para las situaciones de BN y DA debido a que en los sistemas de cultivos la estructura de la vegetación está compuesta solamente por olivos y un estrato herbáceo (figura 3-8).

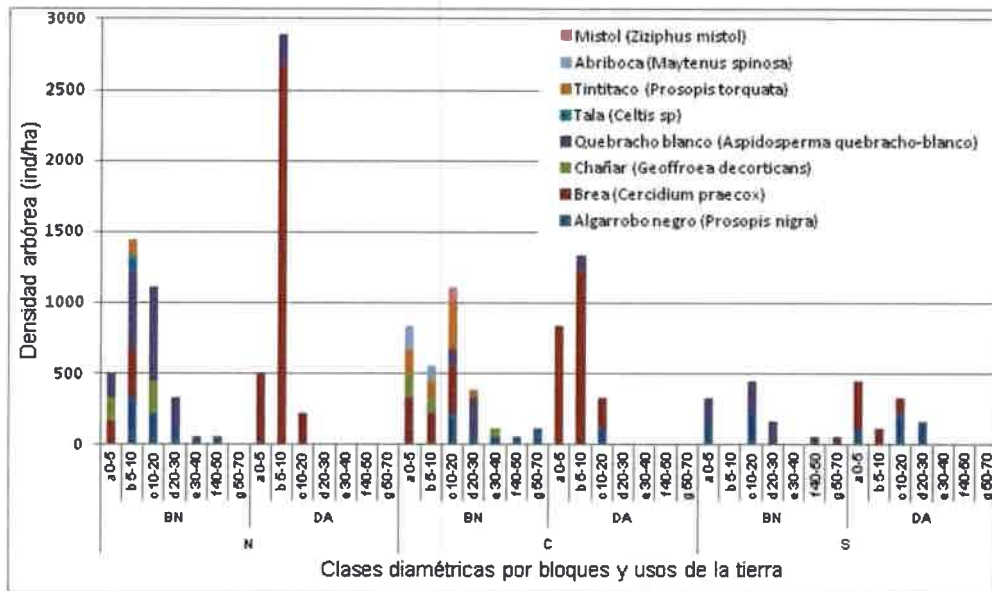


Figura 3-8: Estructura de la vegetación. Números de individuos arbóreos por unidad de superficie para cada uso de la tierra y bloques clasificados por diámetro a la altura del pecho. N=Norte; C=Centro; S=Sur; BN = Bosque nativo; DA = Desmorte abandonado

3.3. Análisis de correlación

El análisis de correlación entre todas las variables estudiadas mostraron relaciones estadísticamente significativas entre algunas de ellas (tabla 3-6).

Tabla 3-6: Análisis de correlación lineal de Pearson

Variable(1)	Variable(2)	Coficiente de Pearson	p-valor
IIVN 2010-2011	Espesor mantillo	0,94	p<0,0001
IIVN 2010-2011	Mantillo	0,90	0,0001
IIVN 2010-2011	Cobertura arbórea	0,78	0,0029
IIVN 2010-2011	IE	0,76	0,0042
IIVN 2010-2011	FE	-0,76	0,0044
IIVN 2010-2011	Cobertura de mantillo	0,63	0,0291
IIVN 2010-2011	pH 0-5	0,62	0,0301
Cobertura arbórea	FE	-0,89	0,0001
Cobertura arbórea	Espesor mantillo	0,84	0,0007
Cobertura arbórea	Mantillo	0,82	0,0011
Cobertura arbórea	IE	0,70	0,0118
Cobertura de mantillo	FE	-0,86	0,0003
Cobertura de mantillo	Cobertura arbórea	0,79	0,0021
Cobertura de mantillo	IE	0,75	0,0054
Cobertura de mantillo	Mantillo	0,72	0,0084
Cobertura de mantillo	Espesor mantillo	0,64	0,0260

Cobertura de mantillo	COP 0-5	0,59	0,0449
Cobertura de mantillo	COT 0-5	0,58	0,0492
Cobertura herbáceas	Espesor mantillo	0,86	0,0004
Cobertura herbáceas	Cobertura arbórea	0,74	0,0056
Cobertura herbáceas	Mantillo	0,64	0,0239
Cobertura herbáceas	FE	-0,62	0,0303
Cobertura herbáceas	Cobertura de mantillo	0,58	0,0471
Cobertura total	Cobertura de mantillo	0,87	0,0002
Cobertura total	FE	-0,70	0,0120
Cobertura total	Cobertura arbórea	0,69	0,0126
Cobertura total	COP 0-5	0,59	0,0433
Espesor mantillo	Mantillo	0,82	0,0012
Espesor mantillo	IE	0,71	0,0097
IDB	CE 0-5	-0,83	0,0009
IDB	pH 0-5	-0,74	0,0057
IDB	Cobertura total	0,67	0,0164
IDB	COP 0-5	0,64	0,0236
COP 0-5	COT 0-5	0,97	p<0,0001
FE	Mantillo	-0,83	0,0008
FE	IE	-0,77	0,0037
FE	Espesor mantillo	-0,73	0,0071
IE	Mantillo	0,86	0,0004
pH 0-5	CE 0-5	0,72	0,0077
pH 0-5	Espesor mantillo	0,63	0,0290
Suelo desnudo	Cobertura de mantillos	-0,69	0,0127
Suelo desnudo	COP 0-5	-0,65	0,0234
Suelo desnudo	FE	0,63	0,0272
Suelo desnudo	IDB	-0,63	0,0292
Suelo desnudo	Cobertura total	-0,61	0,0334
Suelo desnudo	IE	-0,58	0,0474
Suelo desnudo	COT 0-5	-0,58	0,0496

Correlación lineal de Pearson, p<0,05, n=12. IE= índice de estructura; FE= Fracción erodible; COT = materia orgánica total; COP = Carbono orgánico particulado; IIVN= integral del índice verde; IDB = índice de biodiversidad vegetal.

3.4. Índice edáfico:

En la tabla 3-7 se muestran las variables de suelo, el valor de la variable, el criterio de ponderación, el valor normalizado y el índice edáfico promedio para cada situación evaluada.

Tabla 3-7: Valores reales y normalizados de las variables estudiadas e índice edáfico para las diferentes situaciones de uso de la tierra.

Variables	Valor real				Criterio	Valor normalizado			
	BN	DA	C2	C5		BN	DA	C2	C5
Índice de estructura	3,08	2,40	2,11	3,21	más es mejor	0,88	0,264	0,00	1,00
Fracción erodible (%)	65,35	70,94	82,44	58,69	más es peor	0,72	0,48	0,00	1,00
pH 0-5	6,03	5,68	6,67	7,24	criterio óptimo	1	0,66	0,64	0,44
CE 0-5 (dS/m)	1,02	0,84	3,13	3,64	más es peor	0,94	1,00	0,18	0,00
Carbono orgánico total(%C) 0-5	2,68	1,41	1,21	1,62	más es mejor	1,00	0,14	0,00	0,28
Carbono orgánico particulado (%C) 0-5cm	1,40	0,61	0,61	0,36	más es mejor	1,00	0,24	0,24	0,00
Mantillo (gr/m ²)	658,37	422,87	25,00	1291,61	más es mejor	0,50	0,31	0,00	1,00
Espesor mantillo (cm)	4,42	0,42	0,17	12,83	más es mejor	0,34	0,02	0,00	1,00
Total índice edáfico promedio						0,79	0,34	0,13	0,59

BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.

En la tabla 3-8 se establece una clasificación del índice edáfico

Tabla 3-8: Clasificación según valor del índice edáfico

Clasificación	Valor índice edáfico
Muy alta calidad	0,80 - 1,00
Alta Calidad	0,60 - 0,79
Moderada calidad	0,40 - 0,59
Baja calidad	0,20 - 0,39
Muy baja calidad	0,00 - 0,19

El sistema que presentó un mayor valor de índice edáfico promedio fue el de BN, seguido por C5 y DA y por último C2, clasificándose como de alta calidad, moderada calidad, baja calidad y muy baja calidad respectivamente. En la figura 3-9, se muestra para cada sistema evaluado el aporte de cada variable al índice edáfico.

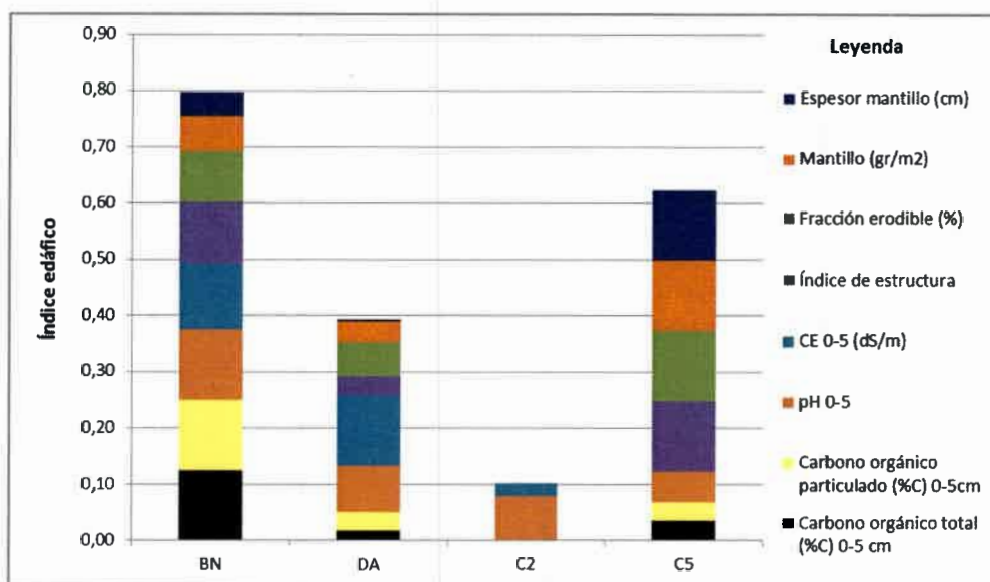


Figura 3-9: Representación gráfica de los aportes de cada variable al índice edáfico. FE = Fracción erodible, IE = Índice de estructura, CE = Conductividad eléctrica, COP = Carbono orgánico particulado, COT = Carbono orgánico total, BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos.

Capítulo 4. DISCUSIÓN:

4.1. Caracterización funcional

4.1.1. Marcha del IVN en el ciclo anual 2010 - 2011

En el análisis dentro del período 2010-2011 del índice de vegetación normalizado (IVN) todos los sitios evaluados incrementan sus valores de IVN en el período húmedo y particularmente el sistema de cultivos de olivo de cinco años fue superior al resto de los sistemas analizados, debido al aporte extra y continuo de agua de riego y el suministro de fertilizantes. El riego favorece el desarrollo vegetativo del cultivo de olivos particularmente para la región del Chaco árido argentino, tal como lo demuestran Searles et al. (2011) quienes comparando el consumo del agua de cultivos de olivo entre una región árida del monte argentino y otra región árida de la cuenca del mediterráneo de España, dónde estos sitios difieren principalmente por el régimen de ocurrencia de precipitaciones, siendo para el primer sitio las lluvias concentradas en verano y el segundo sitio en invierno. Estos autores concluyeron que la combinación de riego y la época que se dan las precipitaciones favorecen el desarrollo vegetativo de mejor manera para la región árida del monte argentino que para la región española. Por otra parte, se puede destacar que los sistemas de manejo del cultivo de olivos busca maximizar la intercepción de la radiación solar a través del desarrollo del canopeo, aumentando la cubierta vegetal del suelo (Cherbiy Hoffmann, 2013). Por su parte Vasallo et al. (2008) quienes evaluando el impacto de la forestación sobre pastizales y sabanas de Argentina y Uruguay demuestran que el estrato arbóreo intercepta un 22% de mayor radiación fotosintéticamente activa que el estrato herbáceo, esto también justifican los mayores valores de IVN en BN y C5.

En el caso particular de C2, el comportamiento a lo largo del ciclo anual analizado se pudo observar que al comienzo del ciclo durante el período seco, el desarrollo del IVN son muy bajos lo que se asocia al escaso desarrollo vegetativo y la baja cubierta vegetal presente, pero a medida que avanza en el tiempo y durante el período húmedo los valores de IVN de este sistema aumentan, inclusive llegando a superar a BN, lo que probablemente se deba, además del desarrollo propio del cultivo de olivo, al incremento de la cobertura herbácea interfilar favorecido por el agua de lluvia, aunque posteriormente este estrato sea eliminado por acción del desmalezamiento. En la etapa final del ciclo anual 2010-2011, dentro del período seco el valor de IVN de C2 es

superior respecto al inicio del ciclo, significando una ganancia en biomasa que es detectada por los sensores remotos.

Por otra parte en BN y DA durante todo el ciclo se pudo observar que ambas incrementaron sus valores de IVN durante el período húmedo pero con la particularidad que DA iguala en valores de IVN a BN en dos momentos, que a la vez son coincidentes con los valores más altos de precipitación acumulada. La disminución de la cobertura arbórea en DA permite diferenciarse con BN por la respuesta del IVN durante el período seco. Esto se debe a que los estratos arbustivos y herbáceos durante el período seco son más susceptibles a la escasez de agua que el estrato arbóreo. Resultados similares fueron observados por Gasparri et al. (2007) quienes realizando un análisis multitemporal con imágenes satelitales y datos de biomasa estimados a campo para la región del bosque seco del Chaco argentino, determinaron que los diferentes estratos vegetales que componen el ecosistema nativo pueden diferenciarse entre sí durante la estación invernal, debido a que la escasa disponibilidad de agua repercute con mayor intensidad en los estratos arbustivos y herbáceos que en el estrato arbóreo, quien presenta la ventaja de poder explorar napas subterráneas gracias a su sistema radicular. Por su parte Iglesias et al. (2010) analizando el comportamiento del IVN y las precipitaciones para bosques del chaco árido con diferentes regímenes hídricos, determinaron que existe relación entre el IVN y la precipitación pero que además hay un retraso de la respuesta del IVN a las precipitaciones, es por ello que los valores de IVN de BN y DA muestran un incremento luego de la ocurrencia de las lluvias llegando a igualarse ambos valores al final del período húmedo, por efecto del desarrollo vegetativo del estrato arbustivo y herbáceo principalmente. El estrato herbáceo debido a su sistema radicular superficial aprovecha de manera inmediata el agua de lluvia incrementando positivamente los valores de IVN durante el período húmedo, tal como lo demuestran Zerda y Tiedemann (2010) en su estudio sobre la dinámica temporal del IVN en el Chaco seco de la provincia de Santiago del Estero.

4.1.2. Integral del índice verde normalizado 2010-2011

La Integral del índice verde normalizado (IIVN) tuvo un comportamiento coincidente con lo planteado por diversos autores que utilizan este índice como estimador de condición y tendencia de los ecosistemas en zonas áridas y semiáridas del mundo, permitiendo diferenciar BN y C5 de DA y C2, con valores medios y altos los primeros y bajos los segundos, correspondiendo en este último caso a los sistemas que han sufrido algún proceso de degradación (Holm, et al., 2003; Prince, 2004; Blanco, et al., 2005; Helldén & Tottrup, 2008; Crabtree, et al., 2009).

En el ciclo 2010-2011 el proceso de desmonte y posterior abandono (DA), así como la situación de cultivo de olivo de dos años (C2), produjeron una reducción promedio de la IIVN del 22% respecto a la situación de referencia (BN), mientras que en el cultivo desarrollado (C5) este indicador aumentó un 12% respecto a dicho valor referencial. Estos bajos valores de IIVN que presenta DA se relacionan con la disminución en los componentes vegetales y la baja cobertura presente en este sistema. Esto último también fue encontrado por Crabtree et al. (2009) quienes evaluando y monitoreando el Parque Nacional Yellowstone en Estados Unidos mediante sensores remotos y utilizando el IIVN como estimador de la productividad primaria neta aérea determinaron que la PPNA varía sustancialmente según el tipo funcional de vegetación predominante, dónde ecosistemas más complejos y más diversos son los que presentan mayores niveles de productividad frente a ecosistemas de menor biodiversidad o que hayan sufrido algún tipo de perturbación antrópica. Por otra parte Wessels et al. (2008) enfatizan que los bajos valores de IIVN tienen relación con áreas degradadas por efecto antrópico, pero también puede relacionarse con largos períodos de sequías, dónde la productividad primaria neta aérea se ve afectada negativamente.

El incremento de IIVN en C5 se debe a los aportes de riego y fertilizantes, tal como lo explicado en el apartado anterior, en cuyo sistema de manejo, en los primeros cinco años de desarrollo del cultivo de olivos se prioriza el crecimiento vegetativo, esto ocasiona que durante todo el ciclo anual la planta se encuentre con una fuerte actividad fotosintética aumentando su biomasa y esto es captado por la IIVN. De manera similar Baldi et al. (2008) determinaron que los cultivos relacionados con reforestación analizados en diferentes ecosistemas sudamericanos, han incrementado sus valores de IIVN y asumen que los cultivos de especies arbóreas tienen la capacidad de ser más eficiente en la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa ocasionando un incremento en los valores de IIVN. Este incremento en el índice IIVN no siempre está relacionado con mejores condiciones de sitio, Vilche et al. (2006) plantean para sistemas agropecuarios pampeanos, que los sistemas agrícolas de alta productividad son demandantes en insumos energéticos, tales como fertilizantes y la energía necesaria para suministrar agua a los sistemas de cultivos de manera similar a la situación de los cultivos de olivos planteados en la presente tesis y que para detectar procesos de degradación es necesario realizar análisis de mayor detalle.

4.1.3. Variación temporal de la IIVN 2000-2012

La variación temporal del IIVN en los 12 ciclos anuales analizados muestra para los distintos sistemas evaluados el comportamiento y la evolución de los ecosistemas. Es

importante destacar que para cada sitio analizado temporalmente le corresponde el mismo espacio territorial dónde se realizaron los muestreos.

En el caso de los sistemas de cultivos de 2 años de implantado (C2), para el período comprendido desde el año 2000 al 2005 el comportamiento del IIVN es similar al del bosque nativo, luego desciende en los dos ciclos anuales sucesivos 2005-2007, indicando claramente el efecto del desmonte. En los siguientes ciclos los valores de IIVN tienden a incrementarse por el manejo propio del cultivo y el suministro constante de agua de riego, lo que ocasiona un incremento paulatino en la cobertura vegetal aumentando la producción de biomasa a lo largo del año. Otros autores, tales como Gallego et al. (2011), Alatorre et al. (2010) y Holm et al. (2003) relacionan las tendencias negativas del índice IIVN con el incremento de superficies con suelo desnudo por efectos de sobrepastoreo, áreas quemadas o formaciones de cárcavas, convirtiéndolas en zonas con alto riesgo de erosión, mientras que las tendencias positivas en este índice se asocian con el incremento de cultivos forestales. Particularmente Gallego et al. (2011) relacionaron el incremento positivo de los valores de IVN en un período de tiempo de 23 años en áreas protegidas de Uruguay con el desarrollo de cultivos forestales y por su parte Alatorre et al. (2010) atañeron las tendencias positivas a áreas naturales y cultivadas con buena cobertura vegetal en suelos de la región española de los Pirineos.

En los sistemas BN y DA, la variación del índice IIVN se rige principalmente por las precipitaciones y la diferencia en los valores de IIVN entre BN y DA esta dado principalmente por la ausencia en DA del estrato arbóreo. Vicente Serrano et al. (2003) analizaron la producción de biomasa estimada mediante sensores remotos por un período de 7 años para la cuenca alta de Aragón en España, dónde el régimen hídrico varía entre 800 y 1500 mm anuales, encontrando que los antiguos campos agrícolas abandonados evolucionan favorablemente aumentando su biomasa, a diferencia de DA que a lo largo de 12 ciclos anuales no presenta un incremento en los valores de IIVN probablemente asociado a cuestiones climáticas, dónde el ecosistema local el régimen pluviométrico es inferior al de la cuenca española y esta diferencia pluviométrica no permite el rápido desarrollo de los estratos vegetativos.

4.1.4. Distribución espacial y temporal del IIVN

En los tres sitios (norte, centro y sur) se puede observar una tendencia estable de los valores de IIVN en las áreas que corresponden a BN y DA para los tres ciclos anuales seleccionados (2000-2001, 2006-2007, 2010-2011), tal como se observan en las figura 3-4, figura 3-5 y figura 3-6, pudiéndolas asociar a la evolución natural de estos

ecosistemas. En cambio en las situaciones correspondientes a C2 en el ciclo de estudio 2010-2011, se puede observar que en el primer ciclo anual analizado, el comportamiento del IIVN era similar a la de BN, luego decayó fuertemente para el segundo ciclo y para el tercero mostró una tendencia creciente. Las categorías de "Muy baja" y "Baja", particularmente para el ciclo 2006-2007 estarían asociadas al desmonte para la implementación de cultivos. Para C5, en el primer ciclo, los valores de IIVN se encontraban en el rango de "Baja" y "Media" para luego en el segundo y tercer ciclo incrementarse hasta alcanzar valores de "Alta" y "Muy alta". Las zonas de valores "Muy alta", corresponden, en general, a olivares de mayor edad o zonas de cultivos bajo riego. Los valores "Muy baja" a "Baja" podrían asociarse a sitios en los que por efecto antrópico, como tala de árboles y/o limpieza de potreros, cultivos abandonados y sobrepastoreo el IIVN disminuyó.

En el ciclo anual 2010-2011, el cual corresponde a la época de muestreo, para toda el área analizada la clase "media" de IIVN ocupó el 55,4 % de la superficie de estudio y correspondería principalmente a áreas de bosque nativo y a situaciones de cultivos bajo riego con menor cobertura total o en los primeros estadios de crecimiento. Las clases "Baja" y "Muy baja" representan un 12 % de la superficie y corresponderían a áreas de bosques nativos degradados o a zonas de cultivos donde el desmonte es reciente, representado zonas vulnerables y susceptibles a erosionarse, por la baja cobertura vegetal (alrededor del 15%) (tabla 3-2).

Diversos trabajos han utilizado herramientas de teledetección con el objetivo de detectar y cuantificar áreas degradadas, como por ejemplo el mapa de estimación de la degradación ambiental para la provincia de Limpopo en Sudáfrica realizado por Wessels et al. (2008) quienes utilizando una metodología denominada Escala Local de Productividad Primaria Neta Aérea o Local NPP Scaling (LNS) que utiliza el índice IIVN como estimador de la PPNA asigna a partir del conocimiento del lugar, el mayor valor de LNS al sitio que presente la mejor condición, para luego establecer una relación entre los valores de IIVN de los otros sitios restantes y el LNS máximo. De esta relación se desprende que todo aquel resultado menor al LNS máximo se encuentra en algún proceso de degradación. Otro trabajo que permitió detectar áreas degradadas por sobrepastoreo es el trabajo de Blanco et al. (2005) quienes lo determinaron para la región del Chaco árido argentino utilizando el índice IIVN como indicador. Por su parte Prince (2004) realizando un mapa de degradación ambiental para Sudáfrica, identificó los sitios donde existen procesos de desertificación y las causas encontrando relación con el uso intensivo de la tierra, sequías excesivas o por la combinación de ambas situaciones. En función de lo observado para el ecosistema

local, se pudo determinar que los valores más bajos de IIVN se relacionaron principalmente con los desmontes para la implantación de cultivos.

Por otra parte a escala global, Helldén y Tottrup (2008) sugieren que en diversas áreas semiáridas y áridas del mundo existe una tendencia en aumento del IIVN que podría estar dada por el incremento en la temperatura global, el incremento en el uso de los fertilizantes y expansión de los sistemas irrigados. En el presente trabajo y en el área bajo estudio, existen áreas donde el índice IIVN disminuyó producto, entre otras causas, del desmonte para la instalación de cultivos, mientras que en otras áreas el valor de la IIVN se incrementó pudiéndolo asociar con el establecimiento de los sistemas de cultivos bajo riego, aportando al reverdecimiento planteado por Helldén y Tottrup (2008).

4.2. Caracterización estructural

4.2.1. **Granulometría:**

Del análisis granulométrico y textural de los suelos correspondientes a los sitios analizados, se puede sostener que no existen diferencias marcadas entre ellos que puedan influenciar en los resultados de las variables analizadas como indicadores de calidad edáfica.

En relación a esto, la proporción de las diferentes fracciones granulométricas de los suelos de cada sitio puede tener efecto sobre algunos indicadores de calidad edáfica, especialmente sobre la estructura y contenidos de materia orgánica (MO), es decir estas variables son sitio dependientes y por lo tanto variaciones en las proporciones granulométricas pueden ofrecer dificultad para interpretar efectos del uso y manejo de los suelos sobre estos indicadores (Campbell & Souster, 1982; Quiroga, et al., 2006). Al respecto, Campbell y Souster (1982) compararon el contenido de materia orgánica de situaciones vírgenes y agrícolas, encontrando disminuciones en estos últimos casos con un efecto diferencial de la textura, siendo mayores las pérdidas en suelos de granulometrías más gruesas. Por su parte Quiroga et al. (2006) evaluaron el contenido de materia orgánica en Molisoles de la región semiárida pampeana y comprobaron una interacción significativa entre la granulometría de los suelos y el manejo, concluyendo que los efectos de distintos manejos no pueden generalizarse en la medida que no se consideren suelos de similar granulometría.

Del análisis granulométrico y textural de los suelos correspondientes a los sitios analizados, se puede sostener que no existen diferencias marcadas entre ellos que puedan influir en los resultados de las variables analizadas como indicadores de calidad edáfica.

4.2.2. **Variables de suelo:**

En cuanto a las variables indicadoras de calidad de suelo, el desmonte abandonado así como los primeros años de agroecosistemas con cultivo de olivo (C2), en general han evidenciado procesos de degradación edáfica, situación que en el último uso mencionado se revierte parcialmente con el incremento de los indicadores físicos FE e IE a partir del desarrollo del cultivo de oliv, tal como se aprecia en C5.

El índice de calidad estructural propuesto, a diferencia del método de calidad visual estructural planteado por Ball et al. (2007), que a su vez es una modificación del método de Peerlkamp, descrito en Muller et al. (2009), presenta la característica de

que el resultado obtenido es propio para el suelo y uso al que está sometido, es decir cuantifica en un solo valor varias cualidades de la estructura.

El tipo de estructura y la estabilidad que esta presenta juegan un rol fundamental en la relación suelo-planta al influir en el flujo de agua y aire, en la resistencia a la exploración radicular y en la dinámica de los procesos erosivos por el agua y el viento (Castiglioni, 2007). La estructura edáfica del ecosistema original se vio afectado por el cambio de uso de la tierra, ocasionando que las situaciones de abandono e inicio de desarrollo del cultivo de olivos tuvieran los valores más bajos de IE y luego en etapas más desarrolladas del cultivo de olivos estos valores de IE fueran mejorando, incluso aún superando a BN. Esta mejora en C5 se encuentra asociada a la gran presencia de raicillas en el espesor de suelo extraído lo que favorece a la agregación entre partículas del suelo, además en la superficie se presenta una cobertura vegetal importante que permite, disminuir el impacto de la gota de agua, retener humedad del suelo y aportar residuos vegetales que luego de su descomposición se incorporarán al suelo para ser parte de la materia orgánica edáfica, favoreciendo de esta manera no sólo la fertilidad física, sino también química y físico-química del sustrato. Esta situación fue observada por Bronik y Lal (2005) quienes afirman que una estructura favorable y estable incide en el mejoramiento de la fertilidad edáfica y de la productividad agronómica al incrementar la porosidad y disminuir la erodabilidad del suelo o susceptibilidad a la erosión. Sasal et al. (2012) también indican que la simplificación de los agroecosistemas afecta la estructura del suelo y la dinámica del agua afectando a la productividad y la fertilidad. Balaerzo Giarola et. al. (2010) determinaron que la mejor condición estructural se encuentra en sistemas naturales respecto a suelos en siembra directa y a su vez también las texturas arcillosas presentan mayores ventajas de estabilidad estructural que sobre las francas en Oxisoles de Paraná, Brasil. Por su parte Ashagrie et al. (2007) estudiaron la relación entre la estructura del suelo y el carbono orgánico total y particulado en bosques nativos y cultivos en la región sudoeste de Etiopía, encontrando una pérdida en la estabilidad de los agregados y una disminución en la materia orgánica en la situación de cultivo. Esta pérdida de estabilidad lleva a agregados de menor tamaño fácilmente erodibles por el agua o el viento, tal como lo demuestran Buschiazzo et al. (2001; 2007) y Colazo y Buschiazzo (2010) quienes observan que en suelos cultivados la pérdida de nutrientes por efecto de la erosión eólica es mayor que en suelos no cultivados, independientemente si son de textura gruesa o fina. Estas aseveraciones se encuentran estrechamente relacionadas con lo observado en el presente trabajo en los sistemas de cultivos de olivos de 2 años y desmonte abandonado dónde se

encontraron las mayores pérdidas de CO y la mayor proporción del material erodible, respecto a la situación de referencia BN.

En los sistemas de cultivos de olivos establecidos y en producción el aporte de los residuos de cosecha y poda, el riego continuo y la alta cobertura herbácea que provee la pastura implantada de buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) generan en el suelo una protección mecánica contra los agentes erosivos, situación que se refleja en el índice de estructura y la fracción erodible del cultivo de 5 años, como así también es un importante ingreso de residuo vegetal al suelo que luego de su transformación será parte de la materia orgánica del mismo. En las condiciones de DA y C2 la fracción erodible se incrementa en 8% y 26%, respectivamente respecto de BN indicando que estas situaciones, especialmente la de cultivos en desarrollo son las de mayor susceptibilidad a la degradación, por lo que propuestas referidas a las tecnologías de manejo del suelo y del cultivo deberían poner especial atención en el período de transición desde el desmonte hacia el C5.

Es importante resaltar la relación lineal y negativa existente entre FE (fracción erodible) y cobertura arbórea, herbácea y de mantillo, así como con el espesor y peso de mantillo, siendo los componentes de la vegetación fundamentales para la protección de la superficie edáfica si se considera la elevada susceptibilidad natural a la desestabilización estructural y a la erosión del suelo que presentan estos ecosistemas áridos. En este sentido Chepil (1954) sostienen que si bien la materia orgánica favorece la estructuración del suelo, en ecosistemas áridos es importante generar protección mecánica a través de la cubierta vegetal, ya que los agregados que se forman debido a la escasa cohesión del material y las partículas de suelo son de tamaño inferior a 0,84 mm y debajo de este límite el riesgo a ser erosionado por el viento aumenta.

En relación a lo anteriormente planteado, la protección que genera la cobertura superficial respecto de la erosión eólica se asocia a la altura de la vegetación que yace erecta sobre la superficie del suelo y al mantillo de restos vegetales, ocasionando en el primer caso una elevación en el perfil aerodinámico del viento respecto a la superficie del suelo con lo cual disminuye el impacto de la energía del viento a ras de la superficie edáfica (Bilbro & Fryrear, 1994; Nordstrom & Hotta, 2004). En igual sentido Gómez et al. (2009) evaluaron en sistemas de cultivo de olivos de España la pérdida de suelo por erosión hídrica a lo largo de 7 años y determinaron que la menor pérdida de suelo se dio donde queda una cobertura vegetal debajo del cultivo lo cual estuvo asociado también a un incremento en la materia orgánica. Michels et al. (1995), Gómez et al. (2003) y Guimarães et al. (2013) determinaron que prácticas de manejo como dejar residuos de cosecha, cultivar pasturas debajo de los montes frutales y

realizar plantaciones siguiendo curvas de nivel incrementan los valores de materia orgánica y disminuyen la pérdida de suelo por erosión.

Mohammad y Adam (2010) en una región montañosa de Palestina, evaluaron el efecto de la cobertura vegetal sobre propiedades físicas, químicas, escurrimiento y erosión del suelo, observando que las mayores pérdidas de los atributos medidos se presentaban en sistemas de cultivos y en sitios deforestados contrariamente a lo observado en los sitios de bosque nativo o de reforestaciones. Estos resultados serían coincidentes con los hallados en el presente trabajo si se considera que la mayoría de las variables físicas estudiadas se han visto afectadas negativamente al pasar de una situación de BN a los primeros años del cultivo de olivo y también en el cultivo de 5 años si se consideran las variables químicas y físico-químicas (CE y pH).

Carrera et al. (2009) estudiaron la influencia que tiene la calidad y cantidad de material orgánico que ingresa al suelo en ecosistemas de la región fitogeográfica del Monte, Argentina y determinaron que el principal ingreso de carbono orgánico al suelo es a través de la descomposición del mantillo y que a su vez se relaciona con el tipo de cubierta vegetal, coincidiendo con lo observado en BN, que es la situación con mayor COT y COP en los primeros centímetros del suelo y además presenta un elevado valor de espesor y peso seco de mantillo en superficie. Si bien en C5 los valores de COT y COP son menores que BN y difieren estadísticamente de DA y C2, evidencian una tendencia hacia el crecimiento, posiblemente asociados con las variables peso y espesor de la cobertura vegetal y mantillo que en C5 resultan superiores al resto de las situaciones de estudio. De acuerdo a Aranda et al. (2011) y Gargouri (2012) esta tendencia hacia el incremento observada en el coloide orgánico en C5 podría deberse también al aporte de residuos de cosecha y poda, que gradualmente se van incorporando a la fracción lábil del suelo. En este sentido Salton y Tomazi (2014) sostienen que los sistemas de producción que producen un aumento en los niveles de materia orgánica del suelo son los más sostenibles ya que este componente se relaciona positivamente con la calidad y salud edáfica.

En el presente trabajo se encontró una estrecha correlación positiva entre el COT y el COP de los primeros cm de suelo, variable esta última que se asoció también positivamente con la cobertura vegetal total y con la generada por el mantillo, indicando que los aportes producidos por la vegetación contribuyen al aporte de las fracciones lábiles de la materia orgánica, siendo el tipo de uso de la tierra y el manejo del suelo los que influyen en la calidad de la materia orgánica. Aranda et al. (2011) en un ambiente semiárido de España, compararon dos tipos de manejo de cultivo de olivos (orgánico y convencional) y lo contrastaron con vegetación nativa (situación sin

disturbios), concluyendo que el manejo orgánico donde no existió remoción de suelo, ni aplicación de fertilizantes y el control de malezas fue mecánico, la calidad y cantidad de materia orgánica fue superior al manejo tradicional en donde si existió remoción de suelo, aplicación de fertilizantes y control de malezas químico, como es el caso de C5 y los valores fueron similares a los de la situación de vegetación nativa.

El pH de los primeros 5 cm de suelo en los usos de la tierra de BN y DA, resultó ser levemente ácido, posiblemente asociado, de acuerdo a Alvarez y Rubio (2010) a procesos de respiración de las raíces de plantas y microorganismos y ácidos húmicos liberados, a partir de lo cual se incrementa la concentración de CO_2 que al combinarse con agua produce liberación de protones. Si bien las situaciones de uso BN y DA no difirieron estadísticamente en sus valores de pH y CE, se puede ver que existe una leve acidificación del pH en DA, esto puede estar asociado a que el pH luego del desmonte se haya producido procesos de oxidación de la materia orgánica, pérdida de nutrientes por oxidación dado el descenso drástico de la biomasa, de manera similar a lo encontrado por Fernández (1987) en su trabajo sobre el efecto del desmonte para forestación en suelos pampeanos. Por otro lado, la mineralización de la materia orgánica presente en este espesor es otro factor que puede afectar la condición de pH del suelo ya que en suelos con adecuada aireación este proceso produce NH_4^+ , el que se oxida a NO_3^- , liberando H^+ (Lavado & Taboada, 2009).

En el mismo espesor en C2 se aprecia un pH levemente inferior a la neutralidad mientras que en C5 el pH presentó valores levemente superiores a la neutralidad y la conductividad eléctrica en ambas situaciones mostró un incremento significativo respecto a BN y DA, indicando un aumento en la salinización de los primeros 30 cm del suelo, especialmente en C5. Esta condición podría asociarse a la tecnología de riego, específicamente a la calidad del agua de irrigación, concordando con lo hallado por Alderetes Salas (2011), quien determinó para suelos del Valle Central de Catamarca un proceso de sodificación en sistemas de cultivos de olivos por efecto de la calidad del agua de riego, lo que provoca un incremento en los valores de pH y CE.

En este sentido Lavado y Taboada (2009) y Gonzáles et al. (2005) plantean que generalmente los sistemas de cultivos que son irrigados, en zonas áridas y semiáridas, el riego implica un aporte de sales al suelo.

4.2.3. Variables de vegetación:

Las variables de vegetación han demostrado ser sensibles a los cambios en el uso de la tierra analizados y han mostrado relación con las variables de suelo y el índice IIVN. Los agroecosistemas evaluados en el presente trabajo han disminuido sus valores de cobertura total respecto de BN, en un 20% para DA, 82% en C2 y un 12% en C5. Esta disminución en la cobertura total provocó una pérdida de calidad ambiental disminuyendo la cobertura arbórea e influyó en la pérdida de carbono orgánico total y particulado; además de incrementar la fracción erodible. Según Oosterheld (2008) la calidad y la estabilidad ambiental de un ecosistema aumentan con su biodiversidad, relación que puede verse reflejada en la relación positiva hallada entre el índice de biodiversidad (IDB), cobertura total, cobertura arbustiva y la variable de suelo COP de 0-5 cm.

Por otra parte, la disminución de la cobertura total a partir del desmonte y su posterior abandono se puede asociar con un cambio en la composición del tipo de cobertura, donde el estrato arbóreo presenta una disminución del 35%, el estrato herbáceo se incrementó en un 107 % y el estrato arbustivo no registró un cambio significativo respecto de BN, lo que ocasionó una transformación de los bosques nativos en arbustales abiertos con un estrato herbáceo presente y con árboles emergentes según clasificación FAO de uso y cobertura de la tierra (Di Gregorio & Jansen, 1998; INTA-CONAE, 2009). Esta situación fue observada también por Bolleta et al. (2006) quienes al realizar una evaluación temporal del cambio de uso de la tierra a través de una clasificación de imágenes satelitales en el Chaco argentino concluyeron, que existió una importante transformación de los bosques nativos en arbustales, siendo este cambio consecuencia del abandono de las superficies que originalmente fueron desmontadas para destinarlas a cultivos de granos. Por su parte Britos y Barchuk (2008) quienes evaluando las consecuencias de la deforestación en la región chaqueña del norte de Córdoba y utilizando el IVN como estimador de la condición ambiental concluyeron que las continuas perturbaciones al ecosistema, los períodos de sequías y los tipos de suelos afectaron la resiliencia del ecosistema local, comprometiendo la estabilidad del mismo, siendo esto reflejado en la disminución del IVN durante un período de 15 años. En base a esto es posible que DA disminuya su calidad ambiental de manera permanente, si no se realizan tareas de manejo adecuadas, logrando establecer un nuevo punto de equilibrio, debido a la modificación negativa de las variables edáficas y de IIVN. Britos y Barchuk (2013) afirman que el cambio de uso de la tierra puede provocar un cambio irreversible en el ecosistema local logrando un

nuevo punto de equilibrio, es decir que los bosques nativos luego del desmonte y por condiciones ambientales y edáficas propias del sistema no puedan volver a su condición original.

Por su parte Bonino y Araujo (2005) investigando sobre la estructura de la vegetación en un bosque primario y de sucesión secundaria en el Chaco seco de Córdoba, encontraron que la secuencia de desarrollo de la vegetación luego de una perturbación se encuentra marcada por el establecimiento en primer lugar del estrato herbáceo, luego el arbustivo y finalmente el arbóreo, siendo este último el de más lento desarrollo; además el disturbio también ocasionó un cambio en la composición de dominancia florística donde dejó de ser dominante el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) para pasar a ser dominante algarrobo negro (*Prosopis flexuosa*). En el presente trabajo, en la situación de desmonte abandonado también existe un cambio en la composición florística donde brea (*Cercidium praecox*) se presenta con una mayor densidad de individuos y además una mayor cantidad de renovales y en menor medida se encuentran especies de algarrobo negro (*Prosopis flexuosa*) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*). Además, otra característica encontrada es que la distribución de las clases diamétricas están concentradas principalmente en el rango de los 5 a 10 cm de diámetro y además existe una ausencia de clases diamétricas mayores (ver anexo tabla 7-1). Es importante remarcar que el bosque nativo para la situación del bloque sur se encontraba con evidencias de tala y pastoreo y con una muy baja densidad de individuos de la especie quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), situación asociada al uso extractivo de material leñoso del bosque.

El incremento en la cobertura herbácea en el desmonte abandonado (DA) se puede asociar a un aprovechamiento mayor de la luz debido a la disminución del estrato arbóreo y en C5 su incremento se debe a la implantación de Buffel (*Cenchrus ciliaris*) entre las hileras de árboles de olivo y la remoción total del estrato arbustivo. En el caso de DA la relación que existe entre la disminución de la cobertura arbórea y el incremento de la cobertura herbácea fue observado también por Diaz (2003) quien evaluando el rendimiento de la materia seca digestible y calidad de forraje en diferentes coberturas arbóreas de un algarrobal con predominio de *Prosopis flexuosa* (algarrobo negro) con control de leñosas, encontró que la mejor calidad de pastizal se asocia con valores de cobertura arbórea mayor al 50 % y que el mayor rendimiento de materia seca digestible se obtuvo cuando la cobertura arbórea fue menor al 40%. Por su parte Bregaglio et al. (1999) observaron para situaciones de desmonte selectivo un aumento en la diversidad de especies del estrato herbáceo y que esto se encuentra

asociado a la mayor disponibilidad lumínica por la disminución de la cobertura arbórea y arbustiva.

El estrato arbustivo además de incrementar los valores de IVN frente a los eventos de precipitación también genera un efecto de planta nodriza para el estrato arbóreo facilitando el establecimiento y el desarrollo de los árboles lo cual aumenta la capacidad de resiliencia en el sistema DA, tal como lo demostraron Britos y Barchuk (2013) en su estudio sobre la dinámica de la cobertura vegetal y los usos de la tierra en una porción del Chaco Árido de la cuenca de las salinas.

Esta modificación en los valores de cobertura en general y en la estructura de la vegetación tienen alto impacto en las propiedades edáficas. En este sentido, tanto la cobertura arbórea como la herbácea se relacionaron negativamente con la FE del suelo y el aporte de residuos vegetales por parte de los tres estratos de vegetación estudiados favoreció a la estructuración y a la protección de la superficie edáfica contra agentes erosivos por la cobertura generada, quedando esto evidenciado por la correlación positiva entre las variables de cobertura de mantillo, espesor de mantillo y peso de mantillo con las variables de cobertura arbórea, cobertura arbustiva, cobertura herbácea y COT 0-5 cm e IE y por la correlación lineal negativa con FE. Toda esta contribución de material vegetal hacia el suelo incrementa la fracción orgánica especialmente la lábil (COP) que es la más sensible al aporte o ausencia del residuo vegetal tal como se puede apreciar en este último caso con la correlación negativa entre COT 0-5 cm y suelo desnudo.

La situación de desmonte abandonado sigue los procesos ecológicos de sucesión secundaria y se encuentra en una situación de baja calidad ambiental y solamente con el manejo adecuado y tiempo pueda volver a establecerse en una condición similar a la inicial (BN). En función del tiempo, Lesschen et al. (2008) investigando la heterogeneidad espacial de la vegetación y su relación con las propiedades del suelo en distintos tiempos de abandono de tierras de cultivos para una región semiárida de España, determinaron que en zonas de parches de vegetación los valores de materia orgánica, estabilidad de los agregados y conductividad eléctrica fueron mayores en suelos desnudos y que estos parches de vegetación, a través del tiempo, se van uniendo entre sí, lo que les permitió estimar un tiempo de recuperación, en función de la precipitación y el tipo de suelos de aproximadamente 40 años para alcanzar valores similares a la de inicio. También Guo (2004), estimó que podría tomar más de 50 años recuperar la vegetación perenne de un ecosistema desértico de Arizona, que fue alterado por el hombre en Estados Unidos, pero esta recuperación presentará nuevas relaciones en la composición florística y en la riqueza de especies, siendo esta última de menor valor.

En el ecosistema DA el estrato arbustivo aporta residuos vegetales que favorece el almacenamiento de carbono y la conservación de los suelos, tal como lo determinaron Iglesias et al. (2012) para el ecosistemas disturbados en las regiones del Chaco Árido y monte de Argentina, donde además estos autores remarcan que la importancia del estrato arbustivo en ecosistemas con riesgo de desertificación ya que es capaz de soportar embates climáticos y antrópicos. En igual sentido, son los resultados reportados por Lesschen et al. (2008), quienes encontraron que el número de especies y la cobertura de arbustivas es mayor en sitios abandonados que en vegetación nativa. Por su parte, Tálamo y Caziani (2003) también remarcan la dominancia del estrato arbustivo en ecosistemas degradados por el hombre en el Chaco argentino, observando que en el comportamiento de la estructura de la vegetación en situaciones de bosque nativo fue dominante el estrato arbóreo y que contrariamente el estrato arbustivo dominó en situaciones de bosque de rehache o pastoreado, bosque quemado y caminos abandonados, pudiendo asemejar esta última situación a la de DA.

La baja cubierta vegetal total, herbácea y de mantillo presentes en C2, lo convierte en un ecosistema frágil con alto riesgo de degradación por erosión eólica e hídrica, con una reducida capacidad de ciclar nutrientes y un aumento de la amplitud térmica y favoreciendo el desecamiento del suelo (Buschiazzo, et al., 2001; Aranda, et al., 2011).

En los sistemas de cultivo el estrato dominante es el arbóreo ya que en estos sistemas se prioriza el crecimiento vegetativo en función de producción y toda especie vegetal que se desarrolle es removida mediante desmalezado químico o mecánico (Gómez, et al., 2003). No obstante los altos valores de cobertura herbácea encontrados en los cultivos de mayor tiempo de desarrollo como es el caso de C5 respecto de C2, generan protección mecánica al suelo amortiguando los procesos erosivos y de desecamiento del mismo.

4.3. Índice edáfico

El índice edáfico resume en un único valor el estado de los suelos en los ecosistemas en estudio, permitiendo cuantificar y comparar los ecosistemas analizados.

Tal como se mostró la situación de Bosque nativo presenta el mejor estado, siendo seguido por el cultivo de olivos de 5 años, desmonte abandonado y cultivo de olivo de olivos de 2 años, con una pérdida de calidad edáfica del 26%, 51% y 83% respectivamente con relación a BN.

BN presentó el valor más alto de condición edáfica, favorecido por la contribución de todas las variables estudiadas (ver tabla 3-8 y figura 3-9), especialmente por la COT, COP y CE 0-5, seguidas por el IE y FE. En C5 las variables espesor del mantillo, peso seco del mantillo, IE y FE fueron las que mayor peso tuvieron en el índice de calidad edáfica mientras que las variables que contrarrestaron fueron CE, COT y COP. La elevada contribución que realiza la cobertura superficial, el IE y la FE al Índice Edáfico pueden asociarse al efecto de protección mecánica de la superficie del suelo por los restos de poda, corte y malezas y de agregación por el entramado de raíces de la pastura de buffel grass (*Cenchrus ciliaris*), mientras que la escasa contribución de COT y COP estaría indicando que si bien ellas presentan una mejoría con respecto a DA y C2, el aporte por restos orgánicos de poda y malezas, así como por raíces de la pastura entre líneas de árboles, aún debe sufrir diversos procesos de transformación para pasar a enriquecer la materia orgánica del suelo. La marcada disminución del índice edáfico en DA se debió principalmente al deterioro de COP, COT, IE y espesor del mantillo superficial que había en BN, mientras que las variables que aportaron fueron CE, pH y en menor medida FE y el peso del mantillo y en C2 fue la situación con menor índice edáfico, en donde el nivel que presentan la mayoría de las variables edáficas estudiadas limitan su calidad. La ventaja que presenta DA respecto a C2 estuvo en los valores bajos de CE evidenciando ausencia de salinidad en la capa superficial del perfil.

De acuerdo a lo planteado por Paz-Kagana et al., (2014) quienes evaluaron la respuesta al cambio del uso de la tierra en la región semiárida de Israel, utilizando la productividad primaria neta aérea (PPNA) y variables de suelos, resumidas en un índice de calidad de suelos (ICS), determinaron que existe una relación entre la calidad del suelo y la PPNA en función de la dirección de cambio que el ecosistema tome. Por ejemplo, al pasar de un manejo de pastoreo hacia un ecosistema natural se incrementaron los valores de PPNA e ICS, siendo el incremento de la PPNA mayor

que el ICS, debido a que al evitar el ingreso de ganado se desarrollaron especies anuales de gran desarrollo de biomasa, mientras que en el caso de pasar de sistemas agrícolas hacia sistemas de pastoreo la relación entre PPNA e ICS fue negativa debido a que especies que elevaban la PPNA fueron reemplazadas por especies de baja productividad y además por acción del ganado existió una densificación del horizonte superficial.

Para el caso de los ecosistemas locales, el paso de BN a sistemas de cultivos de olivos no existió un incremento del índice edáfico siendo esto asociado a la pérdida y el escaso recupero del carbono orgánico del suelo, contrariamente como sucede con el IIVN de C5 que supera en valores del índice IIVN a BN debiéndose a la manejo propio del sistema de cultivo.

Vettorello et al. (2014) utilizando una metodología similar al índice edáfico, realizaron un índice de calidad de suelos que les permitió encontrar diferencias entre los diferentes manejos en los sistemas de cultivos analizados y concluyen que los indicadores que más favorecieron a detectar el cambio fueron: densidad aparente, estabilidad estructural, cobertura total y carbono oxidable. Además, estos autores indican que la mejor calidad de suelos la presentaron aquellos sistemas de manejo que favorecen una cubierta vegetal y la rotación de cultivos, mientras que la peor condición la presentan las situaciones bajo monocultivo.

Toledo et al. (2013) utilizaron índices de calidad de suelo vinculados con la materia orgánica en las relaciones: materia orgánica particulada / materia orgánica total (MOP/MO), nitrógeno potencialmente mineralizable / nitrógeno total (NPM/Nt), nitrógeno potencialmente mineralizable / materia orgánica particulada (NPM/MOP), materia orgánica / limo + arcilla (MO/Li+Arc) y otras variables como ser densidad aparente, textura y pH como estimadores de degradación para tres situaciones de uso: Selva, cultivo de Té (*Camellia sinensis*) y cultivo de maíz (*Zea mays*) bajo labranza convencional en suelos Oxisoles de Oberá en la provincia de Misiones. Los diversos índices utilizados permitieron encontrar diferencias entre los sistemas naturales de los intervenidos y marcaron que los cultivos anuales presentan un mayor riesgo de degradación que los perennes. Particularmente la disminución de la MOP en los suelos cultivados respecto de los suelos bajo condición original fueron de magnitud proporcionalmente semejante a la disminución de la MO, esta situación es similar a lo sucedido en la presente tesis, donde tanto la MOP y MOT también disminuyen en los diferentes usos analizados.

Por su parte Prieto-Méndez et al. (2013) utilizaron un índice de calidad de suelos compuesto por 8 variables que fue elaborado para suelos con cultivos de cebada en

México, con el objetivo de poder realizar evaluaciones y estimaciones rápidas de calidad del suelo. Este índice de calidad de suelos estima para cada variable en un rango de 0 a 1, la peor y mejor condición respectivamente, encontrando que la materia orgánica, el espesor del horizonte A y los agregados estables en agua fueron los que registraron los menores valores de calidad edáfica, luego la mejor condición la representaron las variables: porcentaje de saturación de bases y el potencial zeta (pZ), y en situación intermedia se encontraron los indicadores pH, velocidad de infiltración y densidad aparente. En condiciones generales para las tres zonas cebaderas analizadas el índice de calidad de suelo logró diferenciarse entre los sitios para cada variable, encontrando relaciones entre la disminución de la materia orgánica y la estabilidad de los agregados e infiltración y en menor medida con la densidad aparente, valorando de esta forma el alto riesgo a la degradación por erosión eólica, situación que se refleja parcialmente con los resultados presentados en la presente tesis del índice edáfico, particularmente con la disminución de la materia orgánica, el incremento de la fracción erodible y la disminución del índice de estructura en DA y C2, presentando ambas, los valores de índice edáfico más bajos y por lo tanto también presentan un alto riesgo a erosionarse.

4.4. Síntesis

En la figura 4-1 se esquematizan a modo de síntesis los distintos sitios analizados y las principales relaciones encontradas con las variables indicadoras evaluadas.

De los resultados de vegetación, suelos e IIVN se puede sostener que la modificación del ecosistema original derivó en ecosistemas de baja productividad y de alta productividad. En el primer caso se ubican las situaciones de DA y C2, en donde se han alterado drásticamente las propiedades estructurales relacionadas al suelo y la vegetación y en el segundo caso el sistema de cultivo (C5), cuya función de producción no depende sólo de la energía solar, sino también del aporte constante de recursos fósiles y agua, generando producción primaria y desechos (Ferraro, 2010).

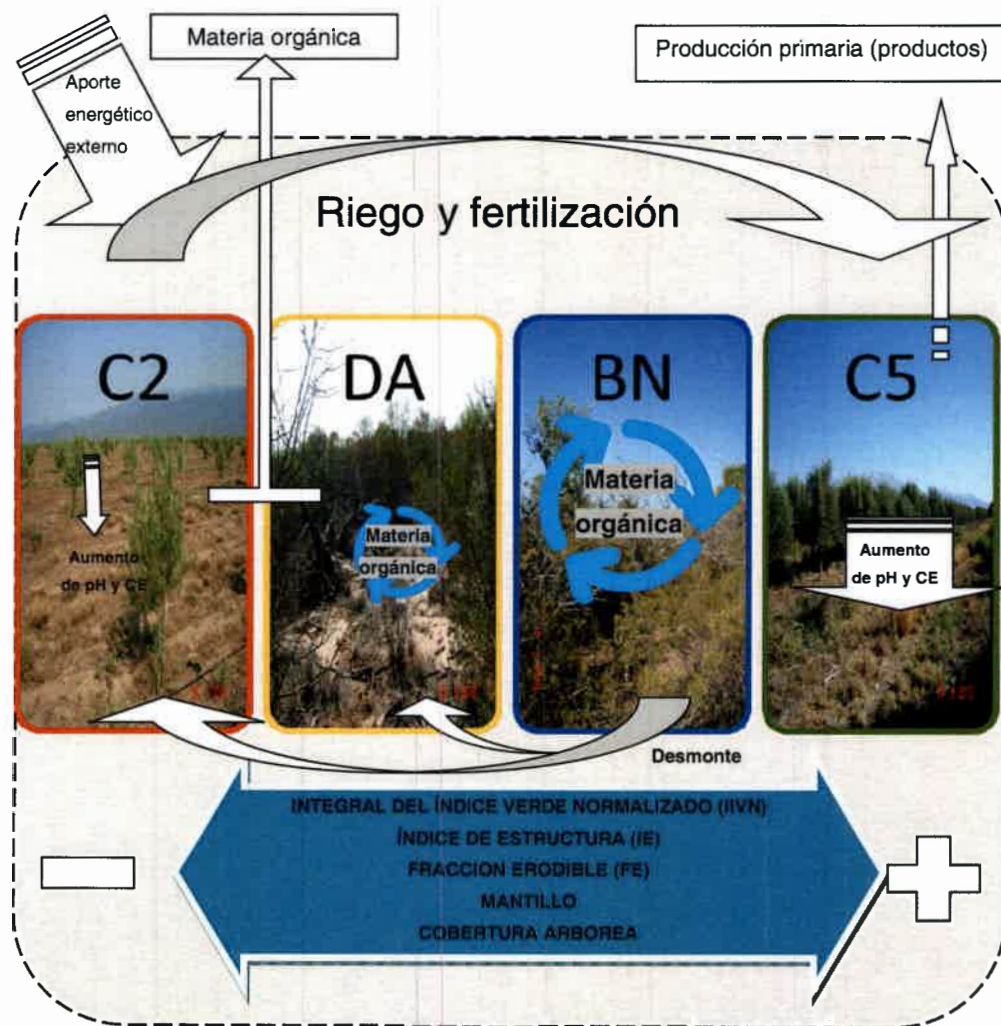


Figura 4-1: Esquema de los distintos ecosistemas evaluados en función de la IIVN y las variables de suelo y vegetación. BN = Bosque nativo; DA = Desmonte abandonado; C2 = Cultivos de olivo de 2 años; C5 = Cultivo de olivos de 5 años.

En las situaciones de cultivo de olivos, se establece una transición entre un estado altamente degradado hacia un sistema de mejor calidad, quedando demostrado que C2 es la más susceptible a degradarse por acción del agua o del aire, ya que sus propiedades estructurales y funcionales han sido modificadas de manera negativa, tal como lo indican los bajos valores obtenidos en las variables analizadas. C2 se encuentra en una etapa inicial de desarrollo de cultivo, en donde a medida que el cultivo se desarrolle algunas variables edáficas y de IIVN deberían mejorar, ya que este tipo de cultivo prioriza el desarrollo vegetativo y el desarrollo de un estrato herbáceo entre líneas, lo que favorece a la protección mecánica por la cobertura vegetal de los agentes erosivos. En cambio, C5 presenta el mayor valor de IIVN, situación que se favorece por el agua de riego, los fertilizantes y la mayor eficiencia en el uso de la radicación fotosintéticamente activa por el cultivo. Sin embargo, otras variables asociadas con cobertura vegetal y el carbono orgánico disminuyen mientras se incrementan el pH y la conductividad eléctrica y en relación al estado inicial (BN) resultando estos factores negativos ya que ponen en riesgo al ecosistema si no son monitoreados continuamente y se establecen prácticas de remediación como el lavado de sales, enmienda químicas, enmiendas orgánicas y el mantenimiento la cobertura vegetal.

En el sistema natural y el sistema de desmonte abandonado, los mecanismos de desarrollo están vinculados a procesos naturales de sucesión vegetal los cuales están regulados por las condiciones edáficas y climáticas del lugar.

El ecosistema de desmonte abandonado es una situación intermedia entre BN y C2, donde si bien no se encuentran valores de calidad edáfica e IIVN tan bajos como C2, tampoco logra alcanzar los valores de BN. Esta situación se caracterizó por presentar bajos niveles de: coloide orgánico, baja estabilidad estructural, escasa cobertura del suelo, baja cobertura arbórea y escasa diversidad de especies arbóreas, dando como resultado un sistema ecológico de baja resiliencia y alta susceptibilidad a la erosión, además de existir un cambio en las relaciones ecológicas de dominancia, donde la especie brea (*Cercidium praecox*) pasa a ser dominante para el estrato arbóreo. En este ecosistema si no se realizan prácticas de manejo adecuadas, consistentes en evitar el ingreso de animales y la extracción del escaso material maderable, corre serios riesgos de decaer su calidad ambiental de manera permanente pudiendo encontrar un nuevo punto de equilibrio de baja resiliencia.

El bosque nativo presentó el mayor índice edáfico en comparación con el resto de las situaciones de estudio y un IIVN, menor que C5 pero mayor que C2 y DA, siendo el coloide orgánico y el estrato arbóreo componentes fundamentales que contribuyen a la estabilidad del ecosistema, favoreciendo el ciclado de nutrientes, la estabilidad del suelo y la recirculación del agua.

Capítulo 5. CONCLUSIONES

El uso de la tierra ha generado modificaciones en los componentes estructurales y funcionales del ecosistema de referencia, en algunos casos lo ha convertido en sistemas más productivos a expensas del agregado de insumos energéticos y en otros en sistemas de baja productividad primaria y de baja resiliencia, y en ambos casos existen procesos de degradación. El ecosistema de bosque nativo, sin insumos energéticos externos, es un sistema más complejo y más estable que los ecosistemas modificados, siendo la presencia de la materia orgánica del suelo y el estrato arbóreo componentes importantes que brindan estabilidad a este tipo de sistema.

El desmonte y posterior abandono se puede definir como un sistema degradado respecto de su condición original (bosque nativo), encontrándose afectado en sus propiedades estructurales y funcionales. Este ecosistema presenta una importante disminución en la calidad edáfica y las variables de vegetación, convirtiéndose en un sistema frágil y vulnerable a los agentes de erosión hídrica y eólica. En el sistema desmonte abandonado, uno de los principales componentes es el estrato arbustivo, el cual genera protección mecánica a los agentes de erosión eólica e hídrica y además sus residuos vegetales aportan a la cobertura de mantillo. La reducción del estrato arbóreo benefició el desarrollo del estrato herbáceo, probablemente por una mayor disponibilidad lumínica. Por otra parte existió un cambio en la composición florística respecto del bosque nativo donde se brea (*Cercidium praecox*) se encuentra con mayor densidad de especies que quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y el algarrobo (*Prosopis flexuosa*).

Los desmontes abandonados al encontrarse en una situación de degradación, si no se establecen prácticas y políticas de conservación y recuperación, podrían encontrar un nuevo punto de equilibrio el cual será de menor calidad ambiental ocasionando una pérdida permanente en la producción de bienes y servicios ecosistémicos. Además los procesos de recuperación de estos sistemas degradados suelen demandar tiempo y dinero.

En los sistemas de cultivos, los primeros años de desarrollo del cultivo es el más crítico y frágil, donde las propiedades estructurales y funcionales han mostrado sus niveles más bajos de calidad ambiental, presentando una alta susceptibilidad del ambiente a sufrir procesos de degradación por erosión eólica y/o hídrica. A medida que el cultivo se desarrolla algunas propiedades edáficas mejoran debido al aporte continuo de riego, el aporte de residuos vegetales y el desarrollo de la pastura

implantada entre líneas pero otras variables edáficas relacionadas con las propiedades químicas del suelo incrementan sus valores lo que indican un proceso de salinización del suelo.

Los índices tanto funcionales como estructurales se pueden complementar entre sí para detectar los cambios de uso de la tierra y su efecto entre ellos. Los indicadores obtenidos a través de los sensores remotos facilitan el estudio temporal del comportamiento de los ecosistemas, permitiendo datar sucesos tales como el desmonte, además de permitir conocer el estado o condición de los sitios, clasificarlos y cuantificarlos, obteniendo un producto de fácil interpretación, alta confiabilidad y con importante información respecto de la calidad ambiental. Pero esta información debe ser complementada con datos relevados en terreno a través de variables que permitan detectar el cambio de uso de la tierra y su efecto.

Este trabajo de tesis pretende ser un aporte para la ordenación y la planificación de los territorios siendo insumo de información necesaria para la gestión de nuevas políticas públicas territoriales.

Por otra parte, a partir de los conocimientos generados, se abren nuevas líneas de investigación sobre:

- El estudio de la evolución de las tendencias en la vegetación nativa a partir de sensores remotos.
- El desarrollo y la validación de indicadores ecosistémicos y de índices edáficos.
- Estudios sobre rentabilidad económica y estabilidad de los ecosistemas.
- Seguimiento de los cultivos de olivo analizados en el presente trabajo y la inclusión en el estudio de cultivos de olivos desarrollados que se encuentran en proceso de abandono (cultivos de olivos abandonados).

Capítulo 6. BIBLIOGRAFÍA

Abril, A. & Bucher, E. H., 2001. Overgrazing and soil carbon dynamics in the western Chaco of Argentina. *Applied Soil Ecology*, Volumen 16, pp. 243-249.

Alatorre, L. C., Beguería, S. & Vicente-Serrano, S. M., 2010. Análisis de la evolución espacio temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el pirineo central. *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña*, Volumen 165, pp. 7-27.

Alcaraz-Segura, D., Baldi, G., Durante, P. & Garbulsky, M. F., 2009. Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*, Volumen 17, p. 9.

Alderetes Salas, S., 2011. *Producción de Olivos en el Valle Central de Catamarca, determinación y valoración económica sobre el recurso suelo, por efecto de las prácticas de producción.* s.l.:Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela para Graduados.

Alurralde, A. L. & Agüero, J., 2012. Características del suelo en la localidad de Chumbicha - Departamento Capayán - Catamarca (Argentina). *Revista de divulgación técnica agrícola y agroindustrial*, Issue 22, p. 9 pp..

Álvarez, C. & Rubio, G., 2009. Acidez del suelo. En: M. A. Taboada & R. S. Lavado, edits. *Alteraciones de la Fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. ed. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, p. 163.

Álvarez, C. & Rubio, G., 2010. Acidez: parámetros, efectos sobre los cultivos y manejo. En: C. Álvarez, G. Rubio & R. Lavado, edits. *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana*. s.l.:Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires, Argentina, p. 496.

Aranda, V. y otros, 2011. Effect of soil type and management (organic vs conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (S. Spain). *Geoderma*, Volumen 164, pp. 54-63.

Ashagrie, Y., Zech, W., Guggenberger, G. & Mamo, T., 2007. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forest to continuous cultivation in Ethiopia. *Soil and Tillage Research*, Mayo, 94(1), pp. 101-108.

Balaerzo Giarola, N. F. y otros, 2010. Visual soil structure quality assessment on Oxisols under no-tillage system. *Sci. Agric.*, Julio, 67(4), pp. 479-482.

Baldi, G., Guerschman, J. P. & Paruelo, J. M., 2006. Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. *Agriculture Ecosystem and Environment*, pp. 197-208.

Baldi, G., Nosetto, M. & Jobbágy, E., 2008. El efecto de las plantaciones forestales sobre el funcionamiento de los ecosistemas sudamericanos. *Ambiência*, Volumen 4, pp. 23-34.

Baldi, G. & Paruelo, J. M., 2008. Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands. *Ecology and Society*, Volumen 13, p. 6.

Ball, B. C., Batey, T. & Munkholm, L. J., 2007. Field assessment of soil structural quality - a development of the Peerkamp test. *Soil Use and Management*, Volumen 23, pp. 329-337.

Barchuk, A. H. & del Pilar, D. M., 1999. Regeneration and structure of *Aspidosperma quebracho-blanco* Schl. in the Arid Chaco (Córdoba, Argentina). *Forest Ecology and Management*, Volumen 118, pp. 31-36.

Benyon, R. G. y otros, 2000. Trees, Water and Salt: an Australian guide to using trees for healthy catchments and productive farms. *Rural Industries Research and Development*, Issue 170, p. 22.

Bilbro, J. D. & Fryrear, D. W., 1994. Wind erosion losses as related to plant silhouette and soil cover. *Agronomy Journal*, Volumen 86, pp. 550-553.

Blanco, L., Biurrun, F. & Ferrando, C., 2005. Niveles de degradación de la vegetación del Chaco Árido. Una aproximación cuantitativa a partir de imágenes satelitales. *Serie de publicaciones del área de investigación del INTA. EEA La Rioja.*, p. 11.

Blanco, L. J., Aguilera, M. O., Paruelo, J. M. & Biurrun, F. M., 2008. Grazing effect on NDVI across an aridity gradient in Argentina.. *Journal of Arid Environments*, Issue 72, pp. 764-776.

Boletta, P. E., Ravelo, A. C. & Grilli, M., 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, Issue 228, pp. 108-114.

Bonino, E. E. & Araujo, P., 2005. Structural differences between a primary and a secondary forest in the Argentine Dry Chaco and management implications. *Forest Ecology and management*, Volumen 206, pp. 407-412.

Braun-Blanquet, J., 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales.* Madrid: Ed. Blume.

Bregaglio, M. N., Karlin, U. & Coirini, R., 1999. Respuesta de especies arbustivas forrajeras a tratamientos de desmonte selectivo en el Chaco árido, Argentina. *Multequina*, Volumen 8, pp. 101-109.

Britos, A. H. & Barchuk, A. H., 2008. Cambios en la cobertura y en el uso de la tierra en dos sitios del Chaco Árido del noroeste de Córdoba, Argentina. XXV(2), pp. 97-110.

Britos, A. H. & Barchuk, A. H., 2013. Dinámica de la cobertura vegetal y los usos de la tierra a través de modelos de no-equilibrio. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, Julio, Volumen 4, pp. 13-38.

- Bronik, C. J. & Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review.. *Geoderma*, Issue 124, pp. 3-22.
- Buschiazzo, D. E. y otros, 2001. Organic C, N and P in size fraction of virgin and cultivated soils of the semi-arid pampa of Argentina. Volumen 48, pp. 501-508.
- Buschiazzo, D. E., Zobeck, T. M. & Abasacal, S. A., 2007. Wind erosion quantity and quality of an Entic Haplustoll of the semi-arid pampas of Argentina. *Journal of Arid Environments*, Volumen 69, pp. 29-39.
- Cabrera, A. L., 1976. *Regiones fitogeográficas argentinas*. s.l.:Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería 2.
- Caeiro, R., 2009. *Análisis de las transformaciones del sector agropecuario de la provincia de Catamarca (Argentina) a raíz de la implementación de la ley 22.702 de desarrollo económico: efectos territoriales e institucionales en el sistema olivar*.. s.l.:Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. España.
- Campbell, C. & Souster, W., 1982. Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. *Soil Sci*, Issue 62, pp. 651-656.
- Campitelli, P. y otros, 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ci. Suelo*, 28(2), pp. 223-231.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C. & Schiavo, H. F., 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ci. Suelo*, 25(2), pp. 173-178.
- Carrera, A. L. y otros, 2009. Plant impacts on nitrogen and carbon cycling in the Monte Phytogeographical Province, Argentina. *Journal of Arid Environments*, Issue 73, pp. 192-201.
- Castiglioni, M. G., 2007. La estructura del suelo. *Conciencia rural. Facultad de Agronomía. UBA*.
- Chapin III, S. F., Matson, P. A. & Mooney, H. A., 2002. *Principles of Terrestrial ecosystem ecology*. New York: Springer Verlag.
- Chapin III, S. F. y otros, 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature*, Volumen 405, pp. 234-242.
- Chepil, S. W., 1954. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: III Calcium carbonate and decomposed organic matter. *Soil Science*, 77(6), pp. 473-480.
- Cherbiy Hoffmann, S. U., 2013. El ambiente lumínico en plantaciones intensivas de olivo (*Olea europaea* L.) y su efecto sobre los determinantes y componentes del rendimiento en aceite. *Tesis doctoral. Escuela para graduados Ing. Agr. Alberto Soriano. Facultad de Agronomía-Universidad Nacional de Buenos Aires.* , Abril.p. 166.

- Cingolani, A. M., Noy-Meir, I., Renison, D. D. & Cabido, M., 2008. La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos?. *Ecología Austral*, Diciembre, Volumen 18, pp. 253-271.
- Colazo, J. D. & Buschiazzo, D. E., 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina.
- Conti, M. E., 2005. Materia orgánica del suelo. En: *Principios de edafología*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía. UBA.
- Crabtree, R. y otros, 2009. A modeling and spatio-temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator. *Remote Sensing of Environment*.
- Daubenmire, R., 1959. A canopy-coverage method of vegetation analysis. *Northwest Science*, Volumen 33, pp. 43-65.
- Di Gregorio, A. & Jansen, L., 1998. Land Cover Classification System: Classification concepts and User Manual. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Di Leo, N. C., Montico, S., Bonel, B. A. & Denoia, J. A., 2007. Estimación de la APAR y la NPP mediante sensoramiento remoto en tres sectores de la Pampa Húmeda, Argentina. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, Volumen 35, pp. 221-242.
- Dí Rienzo, J. A. y otros, 2008. *Estadística para las ciencias agropecuarias*. s.l.:Editorial Brujas.
- Dí Rienzo, J. A., Machiavelli, R. & Casanoves, F., 2009. *Modelos mixtos en Infostat*. s.l.:Electrónica.
- Díaz, R. O., 2003. Efectos de diferentes niveles de cobertura arbórea sobre la producción acumulada, digestibilidad y composición botánica del pastizal natural del Chaco Árido (Argentina). *AGRISCIENTIA*, Volumen XX, pp. 61-68.
- Escribano, P., Palacios-Orueta, A. & Oyonarte, C., 2008. Cuantificación y distribución espacial de los tipos de cubierta en los ecosistemas semiáridos con imágenes hiperespectrales, caso práctico en el parque natural Cabo de Gata Níjar (Almería). *Ecosistemas*, Issue 17, pp. 1-10.
- Etchevere, P. H., 1976. *Normas de reconocimiento de suelos*. Segunda edición actualizada ed. Castelar: Suelos - Publicación N°1 52.
- Eva, H. D. y otros, 2002. Mapa de la vegetación de América del Sur. *European Commission Joint Research Centre*, pp. 1-48.
- FAO, 1992. *Manual de sistemas de labranza para América Latina*. s.l.:s.n.
- Feddema, J. J., 1998. Estimated impacts of soil degradation on the African water balance and climate. *Climate research*, Issue 10, pp. 127-141.
- Fernandez, J. M., Britos, A. H. & Barchuk, A. H., 2012. Cambios y tendencias de la cobertura/uso de la tierra en zonas áridas: Expansión de la frontera agrícola en una

cuenca del Chaco árido. *Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, Volumen 3, pp. 1-12.

Fernández, R., 1987. Influencia del sistema desmonte-reforestación con *Pinus* spp sobre algunas características químicas de los suelos. *Ciencia del suelo*, 5(2).

Ferraro, D. O., 2010. Eficiencia Energética y servicios ecosistémicos. En: P. Laterra, E. G. Jobbágy & J. M. Paruelo, eds. *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. s.l.:INTA.

Foley, J. A. y otros, 2003. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Front Ecol Environ*, Issue 1, pp. 38-44.

Fristch GmbH, 1994. *Operating Manual Laser Particle Sizer analysette 22" Economy*. s.l.:s.n.

Fullen, M. A. & Brandsma, R. T., 1995. Property changes by erosion of loamy sand soils in east Shropshire UK.. *Soil Technology*, Issue 8, pp. 1-15.

Galantini, J. A., 2008. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. En: J. A. Galantini, ed. *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur, p. 309.

Gallego, F. y otros, 2011. *Tendencias temporales y anomalías espaciales del funcionamiento ecosistémico en dos áreas protegidas de Uruguay*. Curitiba, PR, Brasil., s.n., p. 3127.

Gargouri, K., Rigane, H., Arous, I. & Touil, F., 2012. Evolution of soil organic carbon in an olive orchard under arid climate. Volumen Article in Press.

Gasparri, N. I. & Grau, R. H., 2009. Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1927-2007). *Forest Ecology and Management*, 258(6), pp. 913-921.

Gasparri, N. I. y otros, 2007. Utilidad de imágenes Landsat 7 ETM+ de diferentes fechas para la estimación de biomasa aérea en bosques subtropicales secos de Argentina. *Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, Abril, p. 9.

Gobbi, J., 2011. Capítulo 12: Pago por servicios ambientales: ¿qué son y cómo funcionan?. En: P. Laterra, E. G. Jobbágy & J. M. Paruelo, eds. *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: INTA, p. 740.

Gómez Orea, D., 1992. *Ordenación rural*. s.l.:Ed. Agrícola Española-Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 3ª edición.

Gómez-Baggeth, E. & Groot, R., 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía.. *Ecosistemas*, Issue 3, pp. 4-14.

- Gómez, J. A., Battany, M., Renschler, C. S. & Fereres, E., 2003. Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. *Soil Use and Management*, 19(127-134).
- Gómez, J. A., Sobrinho, T. A., Giráldez, J. V. & Fereres, E., 2009. Soil Management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil & Tillage Research*, Volumen 102, pp. 5-13.
- González, M., Segat, A. & Conti, M. E., 2005. Reacción del suelo. En: *Principios de Edafología*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía. UBA..
- Gucci, R. y otros, 2012. Changes of soil properties and tree performance induced by soil management in a high-density olive orchard. *European Journal of Agronomy*, Volumen 41, pp. 18-27.
- Guerschman, J. P. & Paruelo, J. M., 2005. Agricultural impacts on ecosystem functioning in temperate areas of North and South America. *Global and Planetary Change*, Volumen 47, pp. 170-180.
- Guerschman, J. P., Paruelo, J. M. & Burke, I. C., 2003. Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. *Ecological Applications*, Issue 13, pp. 3381-3402.
- Guimarães, D. V. y otros, 2013. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil & Tillage Research*, Issue 126, pp. 177-182.
- Gunderson, L. H., 2000. Ecological Resilience - In Theory and Application. *Review of Ecology and Systematics*, Volumen 31, pp. 425-439.
- Guo, Q., 2004. Slow recovery in desert perennial vegetation following prolonged human disturbance. *Journal of Vegetation Science*, Volumen 15, pp. 757-762.
- Hang, S., Mazzarino, M. J., Nuñez, G. & Oliva, L., 1995. Influencia del desmonte selectivo sobre la disponibilidad de nitrógeno en años húmedos y secos en sistemas silvopastoriles en el Chaco Arido argentino.. *Agroforestería en las Américas*, 2(6), pp. 9-14.
- Helldén, U. & Tottrup, C., 2008. Regional desertification: A global synthesis. *Global and Planetary Change*, pp. 169-176.
- Holm, A. M., Cridland, S. W. & Roderick, M. L., 2003. The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia. *Remote Sensing of Environment*, Volumen 85, pp. 145-158.
- Iglesias, M. d. R., Barchuk, A. & Grilli, P. M., 2012. Carbon storage, community structure and canopy cover: A comparison along a precipitation gradient. *Forest Ecology and Management*, Issue 265, pp. 218-229.

Iglesias, M. R., Barchuk, A. & Grilli, M. P., 2010. Dinámica estacional e interanual del NDVI en bosques nativos de zonas áridas argentinas. *Revista de Teledetección*, Issue 34, pp. 44-54.

INFOSTAT, 2008. *Manual del usuario. Grupo Infostat*. Universidad Nacional de Córdoba. Págs 334: s.n.

INTA-CONAE, 2009. Monitoreo de la cobertura y uso del suelo a partir de sensores remotos. Anexo II: Descripción de las categorías de Cobertura u ocupación del Suelo de la República Argentina de acuerdo al sistema "Land Cover Classification System-FAO". *Programa Nacional de Ecorregiones (2006-2009)*, 02 de Octubre.

Jackson, M. L., 1964. Análisis químico de suelo. *Omega. Barcelona*. 3^oed., p. 622.

Jobbagy, E. G. & Santoni, C. S., 2006. La (nueva) agricultura y la hidrología en la llanura chaco-pampeana: Desafíos para las próximas décadas. *Reunión Ciencia y Técnica*, p. 8 pp.

Karlin, M. S., 2013. Clima. En: M. S. Karlin, ed. *El Chaco Árido*. Primera edición ed. Córdoba: s.n., p. 424.

Lavado, R. S. & Taboada, M. A., 2009. Alteraciones de la fertilidad del suelo causadas por halomorfismo. En: M. A. Taboada & R. S. Lavado, edits. *Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía. UBA..

LECO, 2008. Organic applications notes.

Lesschen, J. P., Cammeraat, L. H., Kooijman, A. M. & van Wesemael, B., 2008. Development of spatial heterogeneity in vegetation and soil properties after land abandonment in a semi-arid ecosystem. *Journal of Arid Environments*, Issue 72, pp. 2082-2092.

Littel, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W. & Wolfinger, R. D., 1996. SAS for mixed model. *SAS institute, Cary, NC, USA*.

Liu, X., Li, F.-M., Liu, D.-Q. & Sun, G.-J., 2010. Soil Organic Carbon, Carbon Fractions and Nutrients as Affected by Land Use in Semi-Arid Region of Loess Plateau of China. *Pedosphere*, 20(2), pp. 146-152.

López, M. V. y otros, 2007. Determination of wind-erodible fraction of soils using different methodologies. Volumen 39, pp. 407-411.

Matteucci, S. & Colma, A., 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. *Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico*, p. 168.

Michels, K., Silvakumar, M. V. K. & Allison, B. E., 1995. Wind erosion control using crop residue I. Effects on soil flux and soil properties. *Field Crops Research*, Volumen 40, pp. 101-110.

- Mohammad, A. G. & Adam, M. A., 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena*, Issue 81, pp. 97-108.
- Montenegro, C. y otros, 2004. Informe sobre deforestación en Argentina. *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Dirección de Bosques, Ministerio de Salud y Ambiente*, p. 8 pp.
- Montserrat, P. & Villar, L., 1995. Los agroecosistemas. *Historia natural'93*, pp. 157-168.
- Morlans, M. C., 1995. Regiones naturales de Catamarca: provincias geológicas y provincias fitogeográficas.. *Revista Ciencia y Técnica UNCA.*, Volumen 2.
- Muller, L. y otros, 2009. Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. *Soil & Tillage Research*, Volumen 103, pp. 178-187.
- Navonne, S. M., Massad, W. & Puentes, M. I., 2008. Sistema de información geográfico aplicado a la detección de la erosión hídrica. En: L. Giuffre, ed. *Agrosistemas: impacto ambiental y sustentabilidad*. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Nordstrom, K. F. & Hotta, S., 2004. Wind erosion from cropland in the USA: a review of problems, solutions and prospects. Issue 121.
- Noy Meir, I., 1973. Desert ecosystems: environment and producers.. *Annual Review of Ecology and Systematic*, Volumen 4, pp. 25-52.
- Odum, E. P., 1997. *El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales*. México: Compañía editorial CONTINENTAL, S.A. de C.V. México.
- Oesterheld, M., 2008. Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas. Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. *Ecología Austral*, Diciembre, Issue 18, pp. 337-346.
- Palma, M., 2000. Estructura. En: M. Conti, ed. *Principios de Edafología*. Buenos Aires: Facultad Agronomía, pp. 136-156.
- Paruelo, J. M., 2008. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas*, Issue 17, p. 19.
- Paruelo, J. M., Garbulsky, M. F., Guerschman, J. P. & Jobbagy, E. G., 2004. Two decades of normalized difference vegetation index changes in south america: identifying the imprint of global change. *Remote sensing*, Issue 25, pp. 2793-2806.
- Paruelo, J. M. & Oesterheld, M., 2004. Patrones espaciales y temporales de la expansión de Soja en Argentina. Relación con factores socio-económicos y ambientales. *Laboratorio de análisis regional y teledetección. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires*.

- Paruelo, J. M. y otros, 2000. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science*, Issue 3, pp. 189-195.
- Paz-Kagana, T., Shachaka, M., Zaadyb, E. & Karnielia, A., 2014. Evaluation of ecosystem responses to land-use change using soil quality and primary productivity in a semi-arid area, Israel. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Issue 193, pp. 9-24.
- Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O. A. & Méndez-Marzo, M. A., 2013. Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), pp. 83-91.
- Prince, S. D., 2004. Mapping desertification in southern Africa. *Land Change Science*, pp. 163-184.
- Prince, S. D., Becker-Reshef, L. & Rishmawi, K., 2009. Detection and mapping of long-term land degradation using local net production scaling: Application to Zimbabwe. *Remote Sensing of Environment*, Volumen 113, pp. 1046-1057.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E. & Peinemann, N., 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Till*, Issue 90, pp. 63-68.
- Ricotta, C., Avena, G. & De Palma, A., 1999. Mapping and monitoring net primary productivity with AVHRR NDVI time-series: statistical equivalence of cumulative vegetation indices. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Volumen 54, pp. 325-331.
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Eldridge, D. J. & Marques, M. J., 2012. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. *Catena*, p. 8 pp.
- Sala, O. E. & Paruelo, J. M., 1997. Ecosystems Services in grasslands. En: *Nature's services: societal dependence on natural ecosystem*. s.l.:s.n.
- Salton, J. C. & Tomazi, M., 2014. *Fracciones de la materia orgánica y calidad de suelos en sistemas integrados de producción (Cultivos y ganadería) en el cerrado brasileño*. Bahía Blanca, 5 al 9 de Mayo de 2014., s.n.
- Sarandón, S. J., 2002. El agroecosistema: un sistema natural modificado. En: S. J. Sarandón, ed. *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. La Plata: Ediciones Científicas Americanas.
- Sasal, M. C., Andriulo, A. E., Leonard, J. & Wilson, M. G., 2012. *El estado estructural como indicador de calidad del suelo bajo siembra directa*. Mar del Plata. Argentina, s.n.
- Searles, P. S., Agüero Alcarás, M. & Rousseaux, M. C., 2011. El consumo del agua por el cultivo de olivo (*Olea europea* L.) en el noroeste de Argentina: una comparación con la Cuenca Mediterránea. *Ecología Austral*, Abril, 21(15), pp. 15-28.

- Sherwood, S. & Uphoff, N., 2000. Soil health: research, practice and policy for a more regenerative agriculture. *Applied Soil Ecology*, Issue 15, pp. 85-97.
- Tálamo, A. & Caziani, S. M., 2003. Variation in woody vegetation among sites with different disturbance histories in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, Volumen 184, pp. 79-92.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), pp. 55-94.
- Thren, M., 1993. Dasometría. En: *Serie Técnica Forestal Vol 1. Proyecto UNSE/GTZ. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Págs 182.* s.l.:s.n.
- Tighe, M., Reid, N., Wilson, B. & Briggs, S. V., 2009. Invasive native scrub and soil condition in semi-arid south-eastern Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volumen 132, pp. 212-222.
- Toledo, D. M. y otros, 2013. Indicadores e índices de calidad de suelos en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ciencia del suelo*, Marzo, 31(2), pp. 201-212.
- USDA, 1973. *Laboratorio de salinidad del USDA. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.* México: Editorial Limusa.
- Vargas Gil, J., 1990. Provincia de Catamarca. En: *Atlas de suelos de la República Argentina.* s.l.:s.n., pp. 207-247.
- Vasallo, M. M., Garbulsky, M. F. & Paruelo, J. M., 2008. Impacto de la reforestación sobre el funcionamiento de los pastizales y sabanas de Argentina y Uruguay. *XXIII Reunión Argentina de Ecología. Investigación ecológica: Avances y Desafíos.*
- Verzino, G. y otros, 2005. Impacto de los incendios sobre la diversidad vegetal, sierras de Córdoba, Argentina. *Ecología aplicada*, Issue 4, pp. 25-34.
- Vettorello, C. I. y otros, 2014. Índice de calidad de suelo en un área de Córdoba Argentina. *XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas"*, 5 al 9 de Mayo. pp. 1-6.
- Vicente Serrano, S. M., Lasanta, T. & Romo, A., 2003. Diferencias espaciales en la evolución del NDVI en la cuenca alta del Aragón: efectos de los cambios de uso del suelo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, Issue 29, pp. 51-66.
- Vilche, M. S. y otros, 2006. El uso de la energía en los sistemas agropecuarios del distrito Zavalla (Santa Fe). 10(1), pp. 7-19.
- Volante, J. N. y otros, 2005. Análisis de la dinámica del uso del suelo agrícola del noroeste argentino mediante teledetección y sistemas de información geográfica, período 2000 - 2005. *Ediciones INTA.*
- Wessels, K. J. y otros, 2007. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. *Journal of arid environments* , Issue 68, pp. 271-297.

Wessels, K. J., Prince, S. D. & Reshef, I., 2008. Mapping land degradation by comparison o vegetation production to spatially derived estimates of potential production. *Journal of Arid Environments*, Volumen 72, pp. 1940-1949.

Yan, H., Liu, J., Huang, H. Q. & Cao, T. B. H. Q. H., 2009. Assessing the consequence of land use change on agricultural productivity in China. *Global and Planetary Change*, Issue 67, pp. 13-19.

Zerda, H. R. & Tiedemann, J. L., 2010. Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco Seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Ambiência*, Jan/abr, 6(1), pp. 13-24.

Capítulo 7. ANEXOS:

Tabla 7-1: Tabla fitosociológica densidad de especies/has.

Especies	Bosque Nativo			Desmonte abandonado			Cultivo de olivo 2 años			Cultivo de olivo 5 años		
	Norte	Centro	Sur	Norte	Centro	Sur	Norte	Centro	Sur	Norte	Centro	Sur
<i>Aboutilon parvifolia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5
<i>Cenchrus echinatus</i>	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	666	832,5	0	166,5
<i>Acacia aroma</i>	0	0	0	55,5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Altherantera pungens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5
<i>Altherantera nodifera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5
<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	1609,5	4162,5	0	1110	333	55,5	0	0	0	0	0	0
<i>Atamisquea emarginata</i>	3441	2053,5	0	499,5	1665	1332	0	0	0	0	0	0
<i>Berberis sp</i>	11433	0	0	12820,5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bulnesia bonariensis</i>	3496,5	55,5	0	2941,5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bulnesia foliosa</i>	111	8103	3219	0	1942,5	222	0	0	0	0	0	0
<i>Bulnesia retama</i>	0	166,5	0	0	222	666	0	0	0	0	0	0
<i>Capsela nabillo</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	111	111
<i>Cassia aphylla</i>	888	277,5	0	1942,5	610,5	222	0	0	0	0	0	0
<i>Castela coccinea</i>	111	0	1110	0	277,5	1054,5	0	0	0	0	0	0
<i>Celtis pallida</i>	222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Celtis tala</i>	1332	4551	166,5	0	111	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cenchrus ciliaris</i>	0	0	0	0	0	0	11433	5716,5	5161,5	51393	68487	62770,5
<i>Cercidium praecox</i>	1165,5	1998	166,5	6549	4662	1387,5	0	0	0	0	0	0
<i>Cereus validus</i>	0	0	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Conium bonariensis</i>	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5
<i>Cordobia argentea</i>	0	0	0	277,5	0	0	0	0	0	111	111	111
<i>Taraxacum officinale</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5

<i>Diplachne dibue</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5
<i>Echinopsis sp</i>	0	0	55,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Geoffroea decorticans</i>	666	333	0	277,5	55,5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Harrisia pomanensis</i>	0	0	499,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Larrea cuneifolia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5
<i>Justicia gilliesii</i>	0	1887	0	3441	2164,5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Larrea cuneifolia</i>	0	0	4884	1443	5772	2553	0	0	0	0	0	0
<i>Larrea divaricata</i>	6937,5	10156,5	18259,5	6937,5	6216	18592,5	0	0	0	0	0	0
<i>Lycium sp</i>	0	0	0	55,5	111	0	0	0	0	0	0	0
<i>Maytenus spinosa</i>	721,5	1443	166,5	721,5	333	111	0	0	0	0	0	0
<i>Mimozyanthus carinatus</i>	277,5	1720,5	5106	444	3607,5	166,5	0	0	0	0	0	0
<i>Brassica napus</i>	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	166,5	55,5	55,5	55,5
<i>Olea europea</i>	0	0	0	0	0	0	2664	2664	2664	2664	2664	2664
<i>Opuntia sulphurea</i>	55,5	0	832,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Parteniun sp</i>	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5
<i>Mentha pulegium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	166,5
<i>Prosopis alpataco</i>	333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Prosopis nigra</i>	777	555	277,5	0	999	666	0	0	0	0	0	0
<i>Prosopis torquata</i>	666	1720,5	0	0	999	111	0	0	0	0	0	0
<i>Chenopodium sp</i>	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5
<i>Salsola kali</i>	0	0	0	55,5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Schinus molle</i>	0	166,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Setaria sp.</i>	5716,5	0	28527	17149,5	0	34243,5	0	0	0	0	0	0
<i>Sida argentea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5
<i>Sorghum</i>	0	0	0	0	0	0	111	111	111	111	111	111
<i>Sporobolus</i>	0	0	0	51393	0	5716,5	0	0	0	0	0	0
<i>Tala churqui</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,5	55,5	55,5
<i>Trichocereus pasacana</i>	0	0	277,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tricloris sp</i>	34243,5	45676,5	28527	38517	5661	5716,5	0	0	0	111	55,5	333

Tesis: Uso de la tierra en el Valle Central de Catamarca: efectos sobre el suelo y la vegetación

<i>Tricomaria usillo</i>	11155,5	8991	5827,5	1221	18259,5	555	0	0	0	0	0	0
<i>Ximenea americana</i>	0	55,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ziziphus mistol</i>	5494,5	721,5	111	0	499,5	111	0	0	0	0	0	0

75060

tg