

INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN CON NITRÓGENO Y FÓSFORO SOBRE LA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES, EN BOSQUES TROPICALES HÚMEDOS DEL SURESTE PERUANO - PARQUE NACIONAL MANÚ Y RESERVA NACIONAL TAMBOPATA

DOSAGE INFLUENCE OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ON TREE GROWTH RATE IN MOIST TROPICAL FORESTS IN SOUTHEASTERN PERU - MANU NATIONAL PARK AND TAMBOPATA NATIONAL RESERVE

CUBA T. I., BENJAMÍN F. J. & CHACÓN C. A.

Resumen

La sedimentación de nitrógeno (N) y fósforo (P) atmosférico, en forma de óxido nitroso (N₂O) y partículas (aerosoles y polvo atmosférico), respectivamente, sobre los bosques tropicales húmedos, sumado al acelerado incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, como es el caso del dióxido de carbono (CO₂), provenientes de las actividades humanas, podría generar cambios a largo plazo en la estructura, composición y dinámica de los bosques húmedos tropicales, poniendo en peligro los servicios ambientales que estos ecosistemas brindan. La presente investigación intentó demostrar a corto plazo, cómo podrían estar siendo afectados o no el crecimiento de los árboles debido a la disponibilidad de nitrógeno y fósforo en cuatro diferentes tipos de bosques tropicales húmedos, diferenciados por factores ambientales bióticos y abióticos; los bosques en estudio están ubicados en el flanco oriental de las últimas estribaciones de la cordillera de los Andes y la Amazonía contigua del sureste peruano. La investigación se realizó entre los años 2009 al 2012, y consistió en el monitoreo anual del crecimiento diamétrico a la altura del pecho (DAP = 1.3 m.), de 360 árboles fertilizados con nitrato de amonio y superfosfato triple y 300 árboles testigo (sin ningún tratamiento de fertilización) de diferentes especies, además de verificar cómo este experimento de fertilización podría influir positiva o negativamente en la dinámica de crecimiento de los árboles distribuidos en un gradiente altitudinal que va desde los 208 hasta los 3000 msnm. Los datos obtenidos de las mediciones de diámetros de los árboles, fueron sometidos a la prueba estadística ANOVA, de donde los resultados obtenidos sugieren que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en cuanto a la velocidad de crecimiento del diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles por efecto de la fertilización artificial en comparación a los árboles testigos, en ninguno de los cuatro tipos de bosques, lo cual no es consistente con los resultados obtenidos por otros investigadores en ecosistemas de bosques tropicales, pero que no quiere decir que estos resultados a corto plazo sean definitivos, por la complejidad de estos ecosistemas.

Palabras claves: Nitrógeno, fósforo, fertilización, carbono, bosques, efecto invernadero.

Abstract

The deposition of nitrogen (N) and atmospheric phosphorus (P), as nitrous oxide (N₂O) and particulate matter (aerosols and atmospheric dust) respectively on tropical rainforests, combined with the rapid increase in anthropogenic emissions of greenhouse gases, such as carbon dioxide (CO₂), could generate long-term changes in the structure, composition and dynamics of tropical rain forests and threaten the environmental services these ecosystems provide. The present investigation sought to demonstrate whether or not the tree growth was affected due to nitrogen and phosphorus availability in four different types of tropical rainforests, differentiated by biotic and abiotic environmental factors; forests under study are located on the eastern flank of the last foothills of the Andes and the adjoining southeast Peruvian Amazon. This research was conducted between 2009 and 2012, and included monitoring annual diameter at breast height (DBH = 1.3 m) growth of 360 trees of various species fertilized with ammonium nitrate and triple superphosphate and 300 control trees (no fertilization treatment). In addition the impact of this fertilization experiment, positive or negative, on the DBH growth rate was assessed for trees distributed in an altitudinal gradient ranging from 208 to 3000 masl. The data obtained from tree diameter measurements were subjected to the ANOVA statistical test, where the results suggest that there are no statistically significant differences ($p > 0.05$) in terms of the growth rate of diameter to height breast (DBH) of trees as a result of artificial fertilization compared to control trees in any of the four types of forests. This result is inconsistent with results obtained by other researchers in tropical forest ecosystems, but one cannot say that these short-term results are final, due to the complexity of these ecosystems.

Keywords: Nitrogen, phosphorus fertilization, carbon, forests, greenhouse.

Introducción

Los bosques tropicales húmedos desempeñan un papel importante en la fijación de carbono en la vegetación, por medio de la fotosíntesis. La vegetación y los suelos de los bosques del mundo contienen alrededor del 125% del carbono atmosférico (Alba *et al.*, 2008). El cambio climático es uno de los componentes de lo que en la actualidad se reconoce como el cambio global (Vitousek, 1992), por lo que es importante que investigaciones nos permitan determinar el estado de conservación actual de los ecosistemas, especialmente aquellos ecosistemas frágiles, como lo son los bosques tropicales húmedos de montaña.

Las tendencias en el aumento de la temperatura promedio global del último siglo, así como el aumento concomitante en la concentración atmosférica de diversos gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) además del fósforo atmosférico en forma de partículas, han provocado inquietud sobre las implicaciones de un cambio climático tanto en los ecosistemas naturales como los bosques tropicales del sureste peruano. Una evidencia del calentamiento reciente del planeta radica en que diez de los años más calientes de que se tiene registro, han ocurrido en las décadas de los años ochenta y noventa (Jones, 1994).

El aumento de la temperatura puede afectar procesos biológico-ecológicos importantes. Por ejemplo, puede incrementar las tasas de respiración y las tasas de mineralización de N (por ejemplo: la transformación de N orgánico a inorgánico). Ambos procesos, sin embargo, tienen consecuencias contrastantes sobre el almacenamiento de C (Houghton *et al.*, 1998). El primero provoca una pérdida mientras que el segundo aumenta el almacén de C terrestre. El balance final depende de diversos factores tales como los cocientes C:N de la materia viva y del suelo, el destino final del N mineralizado, la capacidad de crecimiento de las plantas y la respuesta de los microorganismos del suelo. Aunque se ha postulado que el aumento en la temperatura provocará un secuestro de C en la madera de los bosques mayor que lo que se perderá a la atmósfera por la mineralización de la materia orgánica del suelo (Melillo *et al.* 1993), existen cuestionamientos serios sobre los resultados de los modelos que los han producido (Houghton *et al.*, 1998).

La relación detectada entre los cambios de temperatura y la concentración de CO₂ atmosférico (Keeling *et al.* 1995), han puesto de manifiesto un interés marcado en el balance de C del planeta, lo que ha provocado un esfuerzo internacional sobre el ciclo global de C como punto focal de investigación (ver Houghton y Meira Filho, 1995, IGBP Global Change Newsletter, marzo, 1999).

Las consecuencias del cambio climático no solo implican variaciones globales en la temperatura sino tam-

bién cambios regionales en los patrones de precipitación y por lo tanto, en los procesos dependientes de la disponibilidad de agua como la productividad primaria y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Existe aún incertidumbre con respecto a los cambios en precipitación a nivel global, aunque existe evidencia que fenómenos como El Niño, que afectan la lluvia a escala continental, ya están presentando anomalías. Las predicciones de los modelos sobre los cambios a nivel regional son aún más variables (Liverman y O'Brien, 1991).

El flanco oriental de los Andes tropicales y las tierras amazónicas bajas adyacentes, son las regiones de mayor diversidad biológica del planeta (Myers *et al.*, 2000). Los Andes son las únicas montañas tropicales de su tipo en el planeta que han sido poco estudiados, debido a las difíciles condiciones de trabajo y topografía, por lo que la presente investigación está enfocada a observar la respuesta a la fertilización artificial de los suelos, sobre la velocidad de crecimiento (captura de carbono) y la mortandad o no de los árboles, por efectos de la fertilización, en cuatro tipos de bosques tropicales húmedos del sureste peruano, desde el flanco oriental de la Cordillera de los Andes hasta la Amazonía contigua a esta, los cuales a su vez están diferenciados por una gradiente altitudinal.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en cuatro tipos de bosques tropicales húmedos andino-amazónicos del sureste peruano (diferenciados por una combinación de factores abióticos y bióticos, como la latitud, longitud, altitud, temperatura, precipitación, humedad, características edáficas, flora y fauna entre las más importantes), la cual, consistió en un experimento de adición de nitrógeno y fósforo comercial (en forma de nitrato de amonio y superfosfato triple respectivamente), a fin de poder determinar la respuesta a la influencia o no de la fertilización artificial sobre la velocidad de crecimiento del diámetro de los árboles, para lo cual se instalaron dendrómetros en los árboles en observación. Dichos árboles se distribuyeron en cuatro tipos de bosques tropicales (un bosque nublado de montaña, dos bosques de tierras bajas o lluviosos y un bosque de transición), al sureste de los Andes peruanos comprendidos dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado -el Parque Nacional Manú y la Reserva Nacional Tambopata- diferenciados por una gradiente altitudinal marcada que empieza sobre los 3,000 msnm. para el bosque montano (bosque nublado), seguido del bosque de transición a 1,500 msnm; estos dos bosques están ubicados en la cuenca del río Kosñipata que viene a ser la parte alta de la cuenca del río Madre de Dios, en la Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Manú; seguidamente un tercer bosque ubicado en la

Zona Núcleo del Parque Nacional Manú, en la parte media de la cuenca del río Tono sobre los 1,000 msnm, que a su vez constituye la parte media de la cuenca del río Madre de Dios y un cuarto bosque ubicado en la parte baja de la cuenca del río Tambopata que es tributario del río Madre de Dios y que a su vez constituye la parte baja de la cuenca del río Madre de Dios, está ubicado sobre los 208 msnm en la Reserva Nacional Tambopata (véase tablas 1 y 2).

Diseño experimental. El presente trabajo de investigación científica tiene un diseño experimental del tipo cuasi experimental y está constituido por dos niveles de investigación, el explicativo y el correlacional, donde el indicador a ser tomado en cuenta es el diámetro a la altura del pecho (DAP= 1.30 m.) de los árboles, además de la concentración de nutrientes en el suelos de los diferentes sitios. Para el diseño metodológico del presente trabajo de investigación científica se tuvo en cuenta la gradiente altitudinal existente entre los bosques húmedos tropicales orientales del sureste peruano y para lo cual se dispusieron de tres fases de trabajo: en campo, laboratorio y gabinete, los que se describen a continuación.

a. *Fase de campo:* Consistió en la instalación de tres Parcelas Permanentes de Muestreo (ppm) de 10 m × 110 m, en cada uno de los cuatro lugares de estudio, que abarca una gradiente altitudinal que comprende las alturas de 208, 1,000, 1,500 y 3,000 msnm, cada parcela dividida en once cuadrantes de 10 m × 10 m, cada una de las cuales contienen cinco árboles elegidos al azar.

Los 132 cuadrantes de 10 m × 10 m resultantes contienen un total de 660 árboles bajo observación y tienen cuatro grupos de árboles bajo observación, a saber: un grupo de árboles (300 individuos arbóreos) sin fertilización artificial, ubicados en cuadrantes Control o Testigo y otros tres grupos de árboles (360 individuos arbóreos) con fertilización artificial, ubicados en cuadrantes de Fertilización o Tratamiento, diferenciados de acuerdo al tipo de fertilización que recibirán: solo nitrato de amonio (120 individuos arbóreos), nitrato de amonio más superfosfato triple (120 individuos arbóreos) y solo superfosfato triple (120 individuos arbóreos).

El seguimiento de las Parcelas Permanentes de Muestreo con un total de 660 individuos arbóreos se realizó cada año en forma periódica, desde abril del 2009 hasta abril del 2012, haciéndose un total de cuatro mediciones.

TABLA 1
TIPOS DE BOSQUE HÚMEDO TROPICAL
CORRESPONDIENTE A CADA SITIO DE ESTUDIO.

| Sitio de estudio | COORDENADAS UTM | | ELEVACIÓN (MSNM) | TIPO DE BOSQUE PLUVIAL (*) |
|------------------|-----------------|---------|------------------|----------------------------|
| | E | N | | |
| Wayquecha | 19S 218992 | 8549454 | 3,000 | Montano |
| San Pedro | 19S 224863 | 8556052 | 1,500 | Montano bajo |
| Tono | 19S 225215 | 8567314 | 1,000 | Premontano y subtropical |
| Tambopata | 19S 564132 | 7944149 | 208 | Tropical |

Elaboración propia. (*) En base a la revisión bibliográfica de Holdridge, 1978.

TABLA 2
CARACTERÍSTICAS DE LOS SITOS DE ESTUDIO

| | Wayquecha | San Pedro | tono | tamboPata |
|--------------------------------|---|--|--|---|
| Elevación (msnm) | 3,000 | 1,500 | 1,000 | 208 |
| Temperatura media anual (°C) | 8.93 | 16.12 | 22.11 | 25.73 |
| Precipitación media anual (mm) | 1808.71 | 4387.8 | 5,243.15 | 2222.97 |
| Pendiente (%) | 55-75 | 60-80 | 0-5 | 0-2 |
| Orientación | Sur-este | Nor-este | Este | Este |
| Sustrato geológico | Esquistos del Paleozoico-Pizarras | Granito | Terraza aluvial | Terraza aluvial del pleistoceno |
| Tipo de suelo | Lito-cambisólica | Acrisólica | Acrisólica | Ferralsólica |
| Perfil de suelo | Pozsol | Ferralsol | Ferralsol | Ferralsol |
| pH del suelo | 4.1 | 5.85 | 4.8 | 4.0 |
| Sistema ecológico | Bosque altimontano pluvial de yungas (CES409.043) | Bosque y palmar basimontano pluvial de yungas (CES409.048) | Bosque siempreverde del suroeste de la Amazonía (CES408.543) | Bosque siempreverde de la penillanura del oeste de la Amazonía (CES408.523) |
| Familias de árboles dominantes | <i>Cunoniaceae, Clusiaceae</i> | <i>Lauraceae, Rubiaceae, Melastomataceae</i> | <i>Moraceae, Fabaceae, Rubiaceae</i> | <i>Bombacaceae, Moraceae, Annonaceae, Fabaceae</i> |
| Latitud | 219593 | 224886 | 220951 | 470056 |
| Longitud | 8540485 | 8556064 | 8565633 | 8581305 |

Fuente. Elaboración propia, en base a los datos de campo.

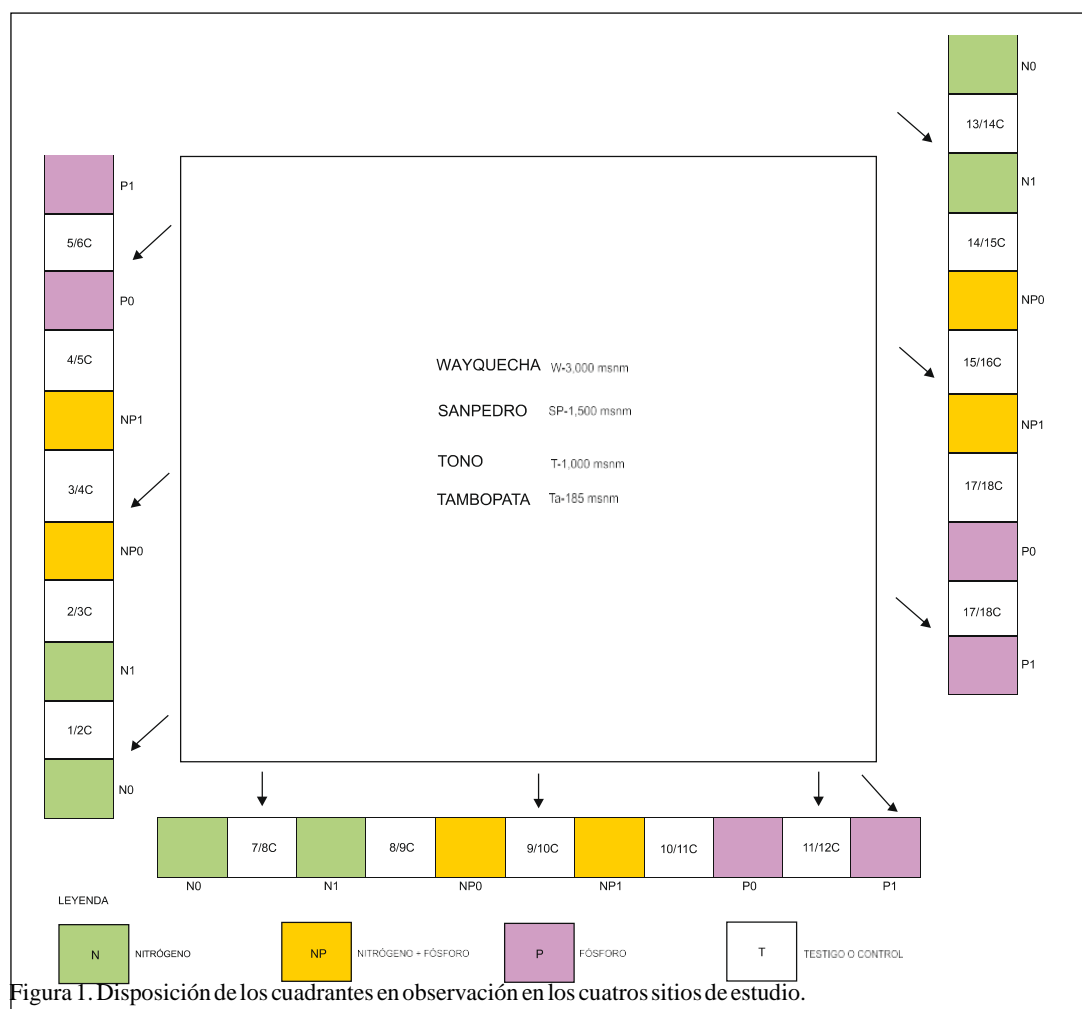


Figura 1. Disposición de los cuadrantes en observación en los cuatro sitios de estudio.

El seguimiento periódico a las Parcelas Permanentes de Muestreo estuvo constituido por las siguientes actividades:

- i. La toma de muestras de suelos inicial por horizontes A y B, de cada uno de los cuadrantes, para el análisis químico correspondiente.
- ii. Medición del diámetro a la altura de 1.3 m (dap= diámetro a la altura del pecho), de cada uno de los árboles en observación que tienen diámetros que van desde 1.6 cm. hasta 98.32 cm. (árboles sin aletas o perturbancias naturales) en forma semestral durante los dos primeros años de desarrollo del trabajo de investigación científica y anualmente los dos siguientes años. Los errores de medidas fueron corregidos al comparar las medidas múltiples del mismo árbol sobre el tiempo.
- iii. Fertilización artificial con abonos comerciales; de los 360 árboles correspondientes a la experimentación, con nitrato de amonio (100 g cada uno), 120 individuos arbóreos; nitrato de amonio más superfosfato triple (100 g + 50 g cada uno respectivamente), 120 individuos arbóreos y superfosfato triple (50 g cada uno), también 120 individuos arbóreos. Semestralmente durante el desarrollo del trabajo de investigación científica.

iv. Medición de la altura inicial (inicio del trabajo de investigación), y de la altura final (final del trabajo de investigación), de los individuos arbóreos en observación.

v. Colecta y observación continua de muestras botánicas de todos los árboles (660 individuos arbóreos), en observación para su correspondiente determinación, taxonómica con el apoyo de claves dicotómicas y fitofenología de todos los individuos arbóreos en observación.

b. *Fase de laboratorio.* Se restringió a dos actividades principales como son la determinación taxonómica de las muestras botánicas de los árboles comprendidos dentro del estudio, con el apoyo de claves dicotómicas.

También se contempla al análisis químico de las muestras de suelos, para la determinación de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en forma de nitratos y fosfatos respectivamente, los cuales fueron depositados en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

c. *Fase de gabinete.* Se remitió a la búsqueda de información, de preferencia material científico, como textos, revistas, pdf, y otros relacionados con el trabajo de investigación.

También se realizó el tratamiento estadístico, mediante la aplicación de un Análisis de Varianza (anova) de efectos mixtos, de los datos numéricos generados en campo y de los resultados de los análisis químicos correspondientes para su análisis e interpretación correspondiente. Lo que se traducirá en los resultados y conclusiones del informe final del proyecto de investigación científica.

Resultados

a. Para Wayquecha: 3,000 msnm

Como se puede apreciar en la figura 2, los árboles que se encuentran en la clase diamétrica 15-20 cm de diámetro y una altura media de 7.5 m, son los árboles que presentan mejor crecimiento, independientemente de la fertilización.

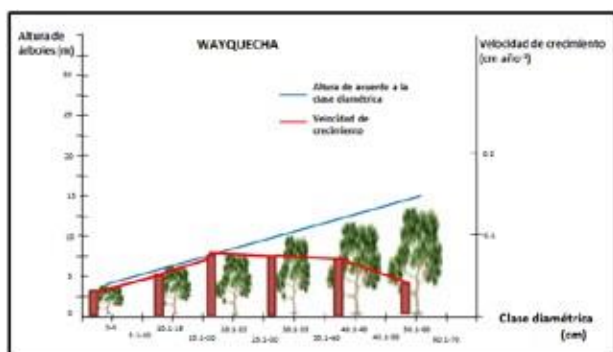


Figura 2. Altura y velocidad de crecimiento, por clase diamétrica para Wayquecha.
Fuente. Obtenido a partir de los resultados.

Sometidos estos resultados al test estadístico ANOVA para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas al comparar la media de los diámetros de los árboles sometidos a distintos tratamientos en cada año respectivamente ella nos indica de que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) esto nos sugiere que sea cual sea el tratamiento estimado este no produce un aumento significativo en el diámetro de los árboles durante el experimento.

c. Para Tono: 1,000 msnm

Como se puede apreciar en la figura 04, los árboles que se encuentran en la clase diamétrica 35-40 cm de diámetro y una altura media de 15 m, son los árboles que presentan mejor crecimiento, independientemente de la fertilización.

Sometidos estos resultados al test estadístico ANOVA para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas al comparar la media de los diámetros de los árboles sometidos a distintos tratamientos en cada año respectivamente, ello nos indica que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), lo nos sugiere que sea cual sea el tratamiento estimado este no produce un aumento significativo en el diámetro de los árboles durante el experimento.

b. Para San Pedro: 1,500 msnm

Como se puede apreciar en la figura 3, los árboles que se encuentran en la clase diamétrica 25-30 cm de diámetro y una altura media de 13.5 m, son los árboles que presentan mejor crecimiento, independientemente de la fertilización.

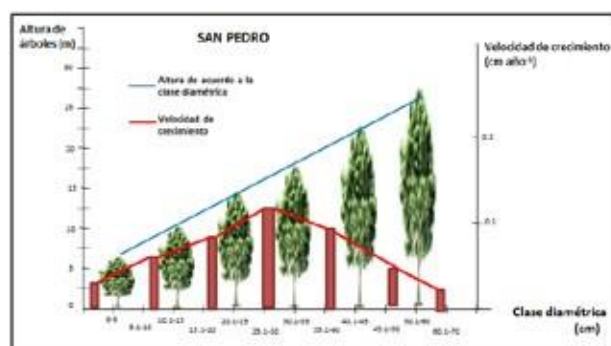


Figura 3. Altura y velocidad de crecimiento, por clase diamétrica para San Pedro.
Fuente. Obtenido a partir de los resultados.

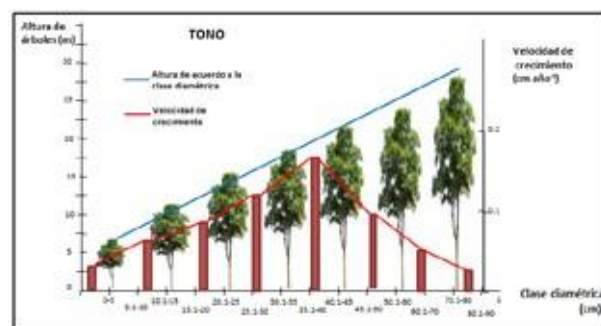


Figura 4. Altura y velocidad de crecimiento, por clase diamétrica para Tono.
Fuente. Obtenido a partir de los resultados.

TABLA 3
DISTRIBUCIÓN NUMÉRICA Y PORCENTUAL DE LAS MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN DEL
DIÁMETRO DE LOS ÁRBOLES SOMETIDOS A DISTINTOS TIPOS DE FERTILIZACIÓN Y GRUPO CONTROL
EN EL SITIO DE ESTUDIO DENOMINADO WAYQUECHA A 3000 MSNM

| FECHA DE LA MEDICIÓN | GRUPOS EN COMPARACIÓN | N | MEDIA | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA AL 95% | |
|----------------------|-----------------------|----|---------|---------------------|---|----------|
| | | | | | LIM. INF | LIM. SUP |
| Abril-09 | Grupo control | 74 | 11,2724 | 7,75057 | 9,4768 | 13,0681 |
| | Nitrógeno | 29 | 10,6614 | 8,27249 | 7,5147 | 13,8081 |
| | Nitrógeno + Fosforo | 29 | 10,9459 | 8,29154 | 7,7919 | 14,0998 |
| | Fosforo | 26 | 9,8162 | 6,91564 | 7,0229 | 12,6094 |
| Abril-10 | Grupo control | 74 | 11,3924 | 7,7824 | 9,5894 | 13,1955 |
| | Nitrógeno | 29 | 10,7955 | 8,25193 | 7,6567 | 13,9344 |
| | Nitrógeno + Fosforo | 29 | 13,4114 | 7,86176 | 10,4209 | 16,4018 |
| | Fosforo | 26 | 9,945 | 6,94089 | 7,1415 | 12,7485 |
| Abril-11 | Grupo control | 74 | 11,5112 | 7,82339 | 9,6987 | 13,3237 |
| | Nitrógeno | 29 | 10,9131 | 8,25297 | 7,7738 | 14,0524 |
| | Nitrógeno + Fosforo | 29 | 13,5245 | 7,87488 | 10,529 | 16,5199 |
| | Fosforo | 26 | 10,0565 | 6,98778 | 7,2341 | 12,879 |
| Abril-12 | Grupo control | 74 | 11,7673 | 7,92623 | 9,9309 | 13,6037 |
| | Nitrógeno | 29 | 11,1697 | 8,2528 | 8,0305 | 14,3089 |
| | Nitrógeno + Fosforo | 29 | 13,5766 | 7,94096 | 10,556 | 16,5971 |
| | Fosforo | 26 | 10,3135 | 7,06054 | 7,4616 | 13,1653 |

Fuente. Elaboración propia en base al análisis estadístico de los datos obtenidos de la presente investigación.

TABLA 4
DISTRIBUCIÓN NUMÉRICA Y PORCENTUAL DE LAS MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN
DEL DIÁMETRO DE LOS ÁRBOLES SOMETIDOS A DISTINTOS FERTILIZANTES Y GRUPO CONTROL EN LA
LOCALIDAD DE SAN PEDRO A 1500 MSNM

| FECHA DE LA MEDICIÓN | GRUPOS EN COMPARACIÓN | N | MEDIA | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA AL 95% | |
|----------------------|-----------------------|----|---------|---------------------|---|----------|
| | | | | | LIM. INF | LIM. SUP |
| Abril-09 | Grupo control | 62 | 12,2944 | 8,88495 | 10,038 | 14,5507 |
| | Nitrógeno | 25 | 13,1084 | 12,18385 | 8,0792 | 18,1376 |
| | Nitrógeno + Fosforo | 29 | 12,6179 | 8,68231 | 9,3154 | 15,9205 |
| | Fosforo | 21 | 13,7243 | 10,60909 | 8,8951 | 18,5535 |
| Abril-10 | Grupo control | 62 | 12,4598 | 8,89113 | 10,2019 | 14,7178 |
| | Nitrógeno | 25 | 13,2788 | 12,19868 | 8,2434 | 18,3142 |
| | Nitrógeno + Fosforo | 29 | 12,8066 | 8,7021 | 9,4965 | 16,1167 |
| | Fosforo | 21 | 13,9262 | 10,64959 | 9,0786 | 18,7738 |
| Abril-11 | Grupo control | 62 | 12,6142 | 8,89738 | 10,3547 | 14,8737 |
| | Nitrógeno | 25 | 13,43 | 12,24019 | 8,3775 | 18,4825 |
| | Nitrógeno + Fosforo | 29 | 12,9679 | 8,73464 | 9,6455 | 16,2904 |
| | Fosforo | 21 | 14,1343 | 10,66403 | 9,2801 | 18,9885 |
| Abril-12 | Grupo control | 62 | 12,8903 | 8,92027 | 10,625 | 15,1556 |
| | Nitrógeno | 25 | 13,7732 | 12,27318 | 8,7071 | 18,8393 |
| | Nitrógeno + Fosforo | 29 | 13,2724 | 8,75536 | 9,9421 | 16,6028 |
| | Fosforo | 21 | 14,5348 | 10,71392 | 9,6578 | 19,4117 |

Fuente. Elaboración propia en base al análisis estadístico de los datos obtenidos de la presente investigación.

TABLA 5
DISTRIBUCIÓN NUMÉRICA Y PORCENTUAL DE LAS MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN DEL DIÁMETRO DE LOS ÁRBOLES SOMETIDOS A DISTINTOS FERTILIZANTES Y GRUPO CONTROL EN LA LOCALIDAD DE TONO A 1000 MSNM

| FECHA DE LA MEDICIÓN | GRUPOS EN COMPARACIÓN | N | MEDIA | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA AL 95% | |
|----------------------|-----------------------|----|---------|---------------------|---|----------|
| | | | | | LIM. INF | LIM. SUP |
| Abril-09 | Grupo control | 49 | 14,3647 | 17,07605 | 9,4599 | 19,2695 |
| | Nitrógeno | 19 | 14,2547 | 13,45039 | 7,7719 | 20,7376 |
| | Nitrógeno + fosforo | 19 | 14,3532 | 10,35494 | 9,3622 | 19,3441 |
| | Fosforo | 20 | 13,7525 | 7,77818 | 10,1122 | 17,3928 |
| Abril-10 | Grupo control | 49 | 14,5953 | 17,16276 | 9,6656 | 19,525 |
| | Nitrógeno | 19 | 14,2547 | 13,450 | 7,771 | 20,7376 |
| | Nitrógeno + fosforo | 19 | 14,5989 | 10,37783 | 9,597 | 19,6009 |
| | Fosforo | 20 | 14,0625 | 7,9503 | 10,3416 | 17,7834 |
| Abril-11 | Grupo control | 49 | 13,7663 | 13,343 | 9,9338 | 17,5989 |
| | Nitrógeno | 19 | 12,6958 | 6,54097 | 9,5431 | 15,8484 |
| | Nitrógeno + fosforo | 19 | 12,5511 | 7,73083 | 8,8249 | 16,2772 |
| | Fosforo | 20 | 12,846 | 6,72177 | 9,7001 | 15,9919 |
| Abril-12 | Grupo control | 49 | 14,1863 | 13,43239 | 10,3281 | 18,0446 |
| | Nitrógeno | 19 | 13,0795 | 6,73859 | 9,8316 | 16,3274 |
| | Nitrógeno + fosforo | 19 | 13,1363 | 8,22057 | 9,1741 | 17,0985 |
| | Fosforo | 20 | 13,182 | 6,83663 | 9,9824 | 16,3816 |

Fuente. Elaboración propia en base al análisis estadístico de los datos obtenidos de la presente investigación.

Sometidos estos resultados al test estadístico ANOVA para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas al comparar la media de los diámetros de los árboles sometidos a distintos tratamientos en cada año respectivamente ello nos indica de que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) lo que nos sugiere que sea cual sea el tratamiento estimado este no produce un aumento significativo en el diámetro de los árboles durante el experimento.

d. Para Tambopata: 208msnm

Como se puede apreciar en la figura 5, los árboles que se encuentran en la clase diamétrica 35-40 cm de diámetro y una altura media de 20 m, son los árboles que presentan mejor crecimiento, independientemente de la fertilización.

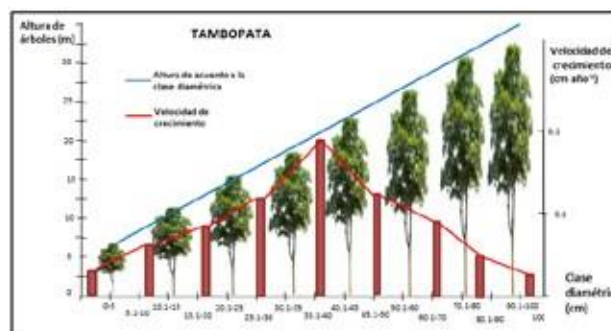


Figura 5. Altura y velocidad de crecimiento, por clase diamétrica para Tambopata.

Fuente. Obtenido a partir de los resultados.

Sometidos estos resultados al test estadístico ANOVA para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas al comparar la media de los diámetros de los árboles sometidos a distintos tratamientos en cada año respectivamente ella nos indica de que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) lo que nos sugiere que sea cual sea el tratamiento estimado este no produce un aumento significativo en el diámetro de los árboles durante el experimento.

TABLA 6
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

| Sitios de estudio | ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|------|------------------|-------------|---|------------------------------|----------------|-----------|----------------------------------|----------|-------------|
| | Características químicas | | | | | | | | Características físicas /textura | | |
| | pH | C.E. | Materia orgánica | Nitrógeno % | Fósforo ppm P ₂ O ₅ | Potasio ppm K ₂ O | C.I.C. meq/100 | d.a. g/cc | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) |
| Wayquecha | 4.1 | 0.29 | 23.1 | 1,120 | 1142.96 | 108.9 | 22.2 | 0.893 | 22 | 76 | 2 |
| San Pedro | 5.85 | 1.07 | 18.6 | 0.86 | 816.8 | 382.4 | 20.5 | 0.926 | 18 | 80 | 2 |
| Tono | 4.8 | 0.58 | 22.3 | 1,096 | 936.2 | 152.9 | 19.4 | 0.825 | 24 | 74 | 2 |
| Tambopata | 4 | 0.68 | 7.9 | 0.332 | 482.9 | 188.5 | 14.9 | 1,017 | 39 | 60 | 1 |

Fuente. Resultados de los análisis físico químico de las muestras de suelo. Laboratorio de Química-UNSAAC, 2012. Véase Anexos.

Discusión

La mayoría de nuestros resultados no sostienen predominantemente las hipótesis planteadas sobre la influencia de la dosificación con nutrientes en una gradiente altitudinal, sobre la tasa de crecimiento de los árboles sometidos a tratamientos de fertilización, en comparación a la tasa de crecimiento de los árboles control de los bosques tropicales húmedos del sur este peruano, a pesar de que los resultados de los análisis químicos de las muestras de suelo muestran que el nitrógeno (N) se incrementa con la altitud, y el fósforo (P) se limita conforme desciende la altitud. Estos valores N:P guardan relación con los resultados obtenidos por Vitousek (1999). En cuanto a las concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo en los suelos de los sitios de estudio no se presentan diferencias significativas entre un inicio y un final del proceso de investigación ($p > 0.05$), probablemente debido a que los bosques intervenidos son bosques naturales en buen estado de conservación, por lo que probablemente estos tengan un equilibrio interno en cuanto a la dinámica de los diferentes ciclos que se presentan dentro de estos ecosistemas, o tal vez tenga que ver mucho el alto grado de precipitación anual que se presenta durante todo el año, la que podría lixiviar los nutrientes antes de que puedan ser absorbidos por las raíces de las plantas, aunque otro factor poco analizado pero que también podría tener influencia sobre la dosificación con fertilizantes lo constituyen la diversidad de organismos presentes en el suelo (hongos, bacterias, invertebrados), como se pudo observar con el traslado del superfosfato triple por parte de las hormigas (Formicidae) en el sitio de estudio denominado Tambopata. Por lo que se hace necesario hacer investigaciones sobre cuán importante es el rol de los organismos del suelo en los ciclos biogeoquímicos. Las condiciones naturales de acidez de los suelos de los cuatro sitios de estudio (ver tabla 4) también determinan el grado de limitación para la absorción de nutrientes por parte de las plantas, debido a que los fertilizantes reaccionan con los iones de Fe y Al presentes en el suelo.

Los resultados de la fertilización experimental tam-

bién dejan sin prevalencia nuestras hipótesis, referidas al crecimiento diamétrico (DAP) de los árboles en observación, debido a que los resultados estadísticos no muestran un incremento significativo ($p > 0.05$) como respuesta a los diferentes tratamientos en ninguno de los cuatro sitios de estudio, en comparación a sus correspondientes grupos control. Aunque una comparación de los crecimientos diamétricos entre los mismos grupos de observación (N, P, N+P, C) a diferentes alturas (3000, 1500, 1000, 208 m), muestra que los árboles presentan un mayor crecimiento diamétrico en razón inversa a la gradiente altitudinal, lo que no necesariamente tendría que estar referido a la riqueza o pobreza de nutrientes, de los sitios de estudio, sino más bien a la influencia de los factores ambientales, tanto bióticos como abióticos, como la fenología y fisiología de las plantas, la temperatura del ambiente, la humedad atmosférica, la radiación solar, la topografía, los vientos, la altitud y latitud, entre los más influyentes. Aunque la presente investigación presenta resultados en sentido general, sobre los árboles, sin hacer diferenciaciones de las especies ni los diámetros de estos, cabe la posibilidad de efectuar otras investigaciones más específicas que ayuden a comprender el comportamiento de los nutrientes en los diferentes bosques tropicales.

De las otras limitaciones posibles en los bosques montanos tropicales, la baja temperatura y baja irradiación es probable que sean importantes, pero la presencia de bosques altos con pendientes y barrancos adyacentes a nuestros sitios de estudio indican que no pueden ser los factores principales que limitan el crecimiento de la parte alta de los sitios. Aunque no hay evidencia de formación de vientos fuertes en este bosque, es posible que las tormentas de viento ocasionales a intervalos de varias décadas sean un factor importante (y sin estudiar) en la limitación de la estatura de los bosques. *Es poco probable que sea falta o exceso de agua lo que limita el crecimiento del árbol, la disponibilidad de agua es adecuada como lo demuestra la correlación positiva entre la hojarasca y las precipitaciones, donde no hay evidencia de saturación del suelo.*

Este estudio muestra los resultados de comparación de las respuestas de los procesos biológicos de los árboles sometidos a un experimento de deposición simulada (fertilización) con nitrógeno (N) y fósforo (P) en los bosques tropicales húmedos de la Reserva de Biósfera del Manu y la Reserva Nacional Tambopata. Empleando para dicha experimentación fertilizantes artificiales comerciales utilizados en la agricultura.

El presente estudio se propuso determinar el efecto de la fertilización artificial sobre la dinámica de crecimiento de los árboles y la concentración de nutrientes en el suelo, en bosques naturales con buen estado de conservación. Para el logro de los mencionados propósitos se utilizó un enfoque de investigación experimental del tipo cuantitativo y de nivel cuasi experimental.

El estudio se realizó a través de una gradiente altitudinal (3,000, 1,500, 1,000, 208 msnm), en el flanco oriental de los Andes hasta la Amazonía contigua del sureste peruano, donde se instalaron tres parcelas permanentes por cada sitio de estudio, las que se diferenciaron entre, parcelas *no fertilizadas* o control (C) y las parcelas *fertilizadas* o con tratamiento, diferenciándose estas últimas en; parcelas con árboles fertilizados, con nitrógeno (N), con fósforo (P) y con nitrógeno más fósforo (N+P). La dosificación para cada árbol se realizó semestralmente, en una proporción de cien gramos de nitrógeno, cincuenta gramos de fósforo y cien gramos de nitrógeno más cincuenta gramos de fósforo, para cada tipo de árbol fertilizado.

La etapa de experimentación en campo duró 48 meses (2009-2012), con una frecuencia de visita semestral, para el monitoreo y evaluación de las parcelas permanentes instaladas, que contienen un total de 660 individuos arbóreos en observación, que no necesariamente son de las mismas especies o familias botánicas, dada la alta diversidad biológica que caracteriza a los diferentes niveles altitudinales.

Se realizó un seguimiento permanente a parámetros tales como crecimiento diamétrico (DAP), altura total (H) y concentración de nutrientes (solo N y P), que no variaron de manera significativa ($p > 0.05$) de acuerdo con el proceso correspondiente a cada unidad de tratamiento, salvo el crecimiento de los árboles que mostró una tendencia positiva, pero no significativa, tanto para los árboles con tratamiento versus los árboles sin tratamiento, lo que demuestra un efecto mínimo o nulo del proceso de fertilización.

Entre años, la acumulación de biomasa aérea de las comparaciones de los árboles testigo o control se correlaciono fuertemente para los sitios ubicados en la parte baja (menor a 1,000 msnm) del área de estudio, en contraposición a la parte alta (mayor a 1,500 msnm) del área de estudio. Lo que nos permite aseverar que la acumulación de biomasa aérea en los bosques es inversamente proporcional a la altura geográfica en que se encuentran los diferentes bosques. Esto sugiere que las

variaciones de acumulación de biomasa aérea entre cada tipo de bosque en estudio son análogos a los tipos de variaciones climáticas que se han encontrado.

Estos resultados necesitan ser confirmados por un experimento mejor replicado, lo que podría eliminar la posibilidad de que algún factor no detectado sea el responsable de las diferencias no significativas entre las parcelas.

Relevancia del resultado y su aporte a la realidad nacional, regional o local

- La aplicabilidad de los resultados, adquiere importancia principalmente en la toma de decisiones, en cuanto a la conservación y protección de los ecosistemas en estudio, vale decir, de los bosques tropicales húmedos del país. Debido a que si bien, estos resultados no muestran cambios significativos en la estructura de los árboles y el funcionamiento de estos ecosistemas, a corto plazo, por la influencia de algunos nutrientes, estos resultados nos indican que hasta el momento los ecosistemas en estudio mantienen un equilibrio natural. Lo cual no quiere decir que las situaciones se mantengan estables en situaciones futuras a mediano y largo plazo.
- Estos resultados nos permiten valorizar de mejor manera la importancia que tienen los bosques tropicales húmedos al mantener los servicios ambientales que estos ecosistemas prestan a todos los seres que habitan el planeta.

Conclusiones

- Las diferentes respuestas de los árboles en observación a corto plazo, sugieren que, el esperado aumento en los factores dasométricos de los árboles evaluados debido a las fertilizaciones artificiales, no presenta incrementos significativos que indiquen influencia negativa o positiva sobre la tasa de crecimiento de los árboles, en ninguno de los cuatro sitios de estudio.
- Los incrementos de urea (nitrógeno), no muestran influencia significativa positiva o negativa sobre la tasa de crecimiento de los árboles en los bosques húmedos del sureste peruano.
- Los incrementos de superfosfato triple (fósforo), no muestran influencia significativa positiva o negativa sobre la tasa de crecimiento de los árboles en los bosques húmedos del sureste peruano.
- Los incrementos de urea (nitrógeno) más superfos-

fato triple (fósforo), no muestran influencia significativa positiva o negativa sobre la tasa de crecimiento de los árboles en los bosques húmedos del sureste peruano.

Agradecimientos

A todos mis estimados docentes de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a los docentes de la Facultad de Ciencias Biológicas, en especial a mi asesor magíster Américo Chacón Campana, por su confianza y apoyo en la realización de mi tesis y al decano M. Sc. Luciano Cruz Miranda, por facilitar la firma del Convenio con el Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES) para el acceso a fondos para la realización de la presente tesis.

A mi asesor el doctor Joshua B. Fisher, quien promovió el desarrollo de la presente Investigación dentro de la comunidad científica del Environmental Change Institute (ECI) de la Universidad de Oxford.

Agradezco mucho la gestión de fondos a Yadvinder Malhi y Patrick Meir. La primera parte de este trabajo de investigación fue apoyado por los fondos NERC (NE/D014174/1) y la Gordon and Betty Moore foundation, y es un resultado de Andes Biodiversity and Ecosystem Research Group (ABERG).

Agradezco también al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP-Manu) por los permisos para trabajar en parte del área de estudio, al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI-Cusco) por la data meteorológica brindada, a la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA) con su estación para la investigación Wayquecha, a la Asociación Perú Verde con su estación para la investigación Gallito de las Rocas y al Explores's Inn de Tambopata por apoyar y albergarnos durante nuestro trabajo de campo.

También agradezco mucho la participación de María I. Aparicio Soto, José A. Quintano Loayza, Percy O. Chambi Porroa, Sven Inhumá Torres, Juan Suma Quispe, Adams Cahuana Quispe, Félix F. Farfán Amezquita, José Kala Mamani, Efraín López Choque, Robin McDaniel, Ana Lombardero Morán y otros Reservistas Naturales de Tambopata, quienes trabajaron arduamente en campo. También agradezco a la Blga. Norma Salinas Revilla quien encabezando el grupo ABERG me dio la oportunidad de participar en el mundo de la investigación científica, a William Farfán Ríos por la invitación a formar parte de este grupo. Agradecer a Mireya N. Raurau Quisiyupanqui, Karina Cabrera García, Tatiana Boza Espinoza, Erickson Urquiaga Flores, Javier Silva Espejo, Walter Huaraca Huasco y todos los demás integrantes del grupo ABERG por el apoyo durante el desarrollo de la investigación.

A Miles R. Silman, Aline Howard, Harald Beck,

Imma Olivares, Gregory Asner y todos los demás investigadores por la amistad e información compartida. A William Farfán Ríos, Marleni Mamani Solorzano, Raúl Tupayachi Trujillo, Nestor Jaramillo Jarama, Felipe Sinca Cansino y Juan A. Escudero Vega, por la determinación de las muestras botánicas y por las lecciones de Taxonomía Vegetal en campo. A todos mis compañeros de aula, quienes me motivaron en todo momento y todos aquellos que no menciono, pero que formaron parte importante para el desarrollo de esta investigación y mi formación académica. A Elizabeth Alegre Duarte, Eloy Ochoa y todo el personal de apoyo de los albergues y transportistas que colaboraron de alguna manera en el desarrollo del trabajo de campo. Al personal del Ministerio del Ambiente, del Fondo de las Américas y del Consorcio de Investigación Económica y Social por su trabajo en pro de la investigación. A Vanessa Uscapi Pacheco, por la amistad y las sugerencias constructivas. A Billy Tito Jordan y Rubén Sierra Tintaya por compartir continuamente sus conocimientos. A Fidel Covarrubias Figueroa, Armando Yucra Soto, Alcides Huamán Aparicio, Yuri Romero Huayhua, Carlos Luna Ortiz, Karl Valdivia Silva, Francisco Lozano Pérez, Wendy Huamán Vasquez, Danny Zegarra Arias, Beto Canal Farfán, Bitia Chavéz Bermudez e Ivonne Alzamora Taype, por su amistad y apoyo. A mi amigo Aljurado que revisó e hizo sus aportes en el proceso de evaluación de la presente Tesis.

Referencias

- ALBA, E., ZUÑIGA, J. Y RAMÍREZ-CORSO, M. (2008). Measurement and transfer of catastrophic risks. A simulation analysis. Enviado a *ASTIN Bulletin*.
- ABER J. D., GOODALE C. L., OLLINGER S. V., SMITH M. L., MAGILL A. H., MARTIN M. E., HALLETT R. A. Y STODDARD J. L. (2003). Is nitrogen deposition altering the nitrogen status of northeastern forests?. *BioScience*, vol. 53 n.º 4, pp. 375-389.
- ABER J. D., NADELHOFFER K. J., STEUDLER P. & MELLIDO M. M., (1989). Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *BioScience*, 39(6):378-386.
- CECCON E., HUANTE P., CAMPO J. (2003). Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the survival and recruitment of seedlings of dominant tree species in two abandoned tropical dry forests in Yucatán, Mexico. *Forest Ecology and Management* 182:387-402.
- DA ROCHA, G.O., ALLEN, A.G., CARDOSO, A. A. (2005). Influence of agricultural biomass burning on aerosol size distribution and dry deposition in southeastern Brazil. *Environmental Science & Technology* 39:5293-5301.
- DAVIDSON E.A., HOWARTH R.W. (2007). Nutrients in synergy. *Nature* 449:1000-1001.

- EVA, H. D. *et al.* (1999). Vegetation Map of South America, Scale 1: 5 M, *trees Publications Series D*, N.º 2, eur en 18658, EC, Luxembourg.
- E. V. J. TANNER; V. KAPOS; W. FRANCO. (1990). *Nitrogen and Phosphorus Fertilization Effects on Jamaican Montane Forest Trunk Growth and Litterfall*. Cambridge University Press.
- E.V.J. TANNER; V. KAPOS; W. FRANCO. (1992). *Nitrogen and Phosphorus Fertilization Effects on Venezuela Montane Forest Trunk Growth and Litterfall*. The Ecological Society of America.
- FABIAN, P., KOHLPAINTNER, M., ROLLENBECK, R. (2005). Biomass burning in the Amazon fertilizer for the mountaineous rain forest in Ecuador. *Environmental-Science and Pollution Research*, 12:290- 296.
- FASSBENDER, H. W. Y BORNEMISZA. (1994). *Química de suelos. Con énfasis en los suelos de América Latina*. San José, Costa Rica: iica.
- FITZPATRICK E. A., (1985). *Soils, Their Formation, Classification and Distribution*. Compañía Editorial Continental S. A. México.
- GALLOWAY, J. N., DENTENER, F. J., CAPONE, D. G., BOYER, E. W., HOWARTH, R. W., SEITZINGER, S. P., ASNER, G. P., CLEVELAND, C. C., GREEN, P. A., HOLLAND, E. A., KARL, D. M., MICHAELS, A. F., PORTER, J. H., TOWNSEND, A. R., VÖRÖSMARTY, C. J. (2004). Nitro- gen cycles: past, present and future. *Biogeochemistry* 70: 123-226.
- GALLOWAY, J. N., TOWNSEND, A. R., ERISMAN, J. W., BEKUN- DA, M., CAI, Z. C., FRENEY, J. R., MARTINELLI, L. A., SEITZINGER, S. P., SUTTON, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions and potential solutions. *Science* 320, 889- 892.
- GLOBAL CHANGE NEWSLETTE (1999). *International Geosphere-Biosphere Programme-IGBP*, 37:2-3.
- HIETZ P., TURNER B. L., WANEK W., RICHTER A., NOCK CH. A. Y WRIGHT J. (2011). Long-Term Change in the Nitrogen Cycle of Tropical Forests. *Science* 334:664.
- HOUGHTON, R. A., E. A. DAVIDSON, Y G. M. WOODWELL. (1998). Missing sinks, feedbacks, and understanding the role of terrestrial ecosystems in the global carbon balance. *Biogeochemical Cycles*, 12:25-34.
- HOUGHTON, J. T. Y MEIRA F., L. G. (1996). Climate Change (1995). The Science of Climate Change. Contribution of Working Group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. xii + 572 pp. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney: Cambridge University Press for the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- JONES, P. D. (1998). Observations from the surface- Projections from traditional meteorological observations.. Future climates of the world. A. Henderson- Sellers, ED. Elsevier, im press.
- KEELING, C. D., T. P. WHORF, M. WAHLEN, Y J. VAN DER PLICHT. (1995). Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. *Nature* 375:666-670.
- KOEHLER, B., CORRE, M. D., VELDKAMP, E., WULLAERT, S. J. (2009). Immediate and long- term nitrogen oxide emissions from tropical forest soils exposed to elevated nitrogen input. *Global Change Biology*, 15:2049-2066.
- LARCHER, W. (2003). *Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. Germany.
- LIVERMAN, D. M. AND KAREN O'BRIEN, (1991). The impacts of global warming on Mexico. *Global Environmental Change*, 2: 351-364.
- LOVETT G. M., WEATHLEEN K. C. Y SOBCHAK W. V. (2000). Nitrogen saturation and retention in forested watersheds of the catskill mountains, New York. *Ecological Applications*, 10(1):73- 84.
- MATSON, P. A., MCDOWELL, W. H., TOWNSEND, A. R., VITOUSEK, P. M. (1999). The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments. *Biogeochemistry*. 46:67-83.
- MELILLO, J. M., A. D. MCGUIRE, D. W. KICKLIGHTER, B. MOORE, C. J. VOROSMARTY Y A. L. SCHLOSS. (1993). Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*, 363:234-240.
- Mergalef R. (2002). *Teoría de los Sistemas Ecológicos*. Publicacions Universitat de Barcelona, Barcelona, España.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2009). Política Nacional del Ambiente. Decreto Supremo N.º 012-2009-minam de 23 de mayo de 2009, Perú.
- MYERS, N., R. A. MITTERMEIER, C. G. MITTERMEIER, G. A. B. DAFONSECA Y J. KENT. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403:853-858.
- NAMBIAR E. K. S. Y FIFE D. N. (1987). Growth and Nutrient Retranslocation in Needles of Radiata Pine in Relation to Nitrogen Supply. *Annals of Botany* 60:147-156.
- NOMURA N. & KIHACHIRO K. (2003). Productive phenology of tropical montane forests: Fertilization experiments along a moisture gradient. *Ecological Research* 18:573-586.
- PACHECO, V. (2002). Protección de la biodiversidad en bosques montanos fragmentados y propuesta para bosque de Carpish. Huánuco. Reporte I y II. Lima, Perú: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (concytec).

- PHILLIPS, O. L. *et al.* (2004). Pattern and process in Amazon forest dynamics, 1971-2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Series B, 359:381-407.
- PHOENIX, G. K., HICKS, W. K., CINDERBY, S., KUYLENSTIERNA, J. C. I., STOCK, W. D., DENTENER F. J., GILLER, K. E., AUSTIN, A. T., LEFROY, R. D. B., GIMENO, B. S., ASHMORE, M. R., INESON, P. (2006). Atmospheric nitrogen deposition in world biodiversity hotspots: the need for a greater global perspective in assessing N deposition impacts. *Global Change Biology*, 12:70-476.
- ROBIN A., HARRINGTON, JAMES H., FOWNES, PETER, VI-TOUSEK M. (2001). Production and Resource Use Efficiencies in Nitrogen and Phosphorus Limited Tropical Forest: A Comparison of Responses to Long-Term Fertilization. Springer.
- RODRÍGUEZ, L. (ed.) (1996). *Diversidad biológica del Perú, Zonas prioritarias para su conservación*. Lima, Perú: fanpe-gtz, inrena.
- SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL. (1982). *Lehrbuch der Bodenkunde*. 11^o ed. Stuttgart: Enke Verlag.
- SCHLESINGER, W. H. (1991). *Biogeochemistry. An analysis of Global Change*. San Diego, California: Academic Press, p. 443.
- TERBORGH, J. (1992). *Diversity and the Rain Forest*. Oxford, England: Scientific American Library.
- TORO, J. A. (2008). Efecto del suministro de gallinazo sobre el proceso de nitrificación en suelos agrícolas de los páramos de Mérida. Tesis para optar al título de licenciada en Biología. Mérida, Venezuela.
- VITOUSEK, P.M., HOWARTH, R. W. (1992). Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur?. *Biogeochemistry*, 13:87-115.
- WALLACE, Z. P., LOVETT, G. M., HART, J. E., Y MACHONA, B. (2007). Effects of nitrogen saturation on tree growth and dead in a mixed-oak forest. *Forest Ecology and Management*, 243:210-218.
- WALTER, H. Y S.W. BRECKLE. (1984). *Ökologie der Erde. Spezielle Ökologie der tropischen und subtropischen Zonen*. Band II. utb- Fischer Verlag Stuttgart Jena.
- WEBER, M. G. Y VANCELEVE, K. (1981). Nitrogen dynamics in the floor of interior Alaska black spruce ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 11:743-751.
- WULLAERT, H., HOMEIER, J., VALAREZO, C., WILCKE, W. (2010). Response of the N and P cycles of an old-growth montane forest in Ecuador to experimental low-level N and P amendments. *Forest Ecology and Management* 260:1434-1445.
- YOUNG, K., LEÓN B. (1999). Peru's humid Eastern montane forest: An overview of their physical setting, biological diversity, human use settlement, and conservation needs. *diva Technical reports*, 5:1-97.