Zeitschrift: Bericht über das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Forschungsinstitut Zürich

Band: - (1958)

Artikel: Über den Wasserhaushalt tropischer Nebeloasen in der Küstenwüste Perus

Autor: Ellenberg, Heinz

Kapitel: 4: Der Nebel als Wasserquelle der Lomavegetation

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-377574

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

an Waldrändern unter Nadelbäumen aufgestellten Regenmesser wiesen in Nebelzeiten beträchtlich höhere Niederschläge auf als ausserhalb oder tiefer im Walde stehende Geräte. Wie Geiger (1956) betont, handelt es sich hier aber um eine ausgesprochene „Randwirkung", die nicht dem ganzen Walde zugute kommt, während das Loma-Phänomen offensichtlich nicht auf den Rand der Kräuterfluren oder Baumbestände beschränkt bleibt. In Marloths (1908) viel zitiertem Beispiel andererseits sowie bei den von Grunow'schen Nebelniederschlagsmessern (1952) zusätzlich aufgefangenen Wassermengen war sicher die starke Luftbewegung ausschlaggebend. An der peruanischen Küste bleiben aber die Winde fast immer sehr schwach, wenn sie auch ziemlich stetig landeinwärts wehen.

4. Der Nebel als Wasserquelle der Lomavegetation

Um abzuklären, ob ein beträchtlicher und anhaltender, nicht nur randlich, sondern auch in ausgedehnten Pflanzenbeständen flächenhaft wirksamer Nebelniederschlag unter den Bedingungen der peruanischen Pazifikküste überhaupt denkbar ist, sei die folgende Überlegung gestattet.

Sie geht davon aus, dass (nach Hann-Süring, S. 221) in einem Kubikmeter Nebelluft bei normalem Druck und 15° C, d.h. ungefähr bei der in den Lomas herrschenden Temperatur, zwar 12.9 g Wasserdampf, aber nach Geiger (1956) durchschnittlich nur etwa 0.4 bis 0.8 g (0.01 bis 5 g) Tröpfchenwasser enthalten sind. Der Einfachheit halber sei mit 0.5 g gerechnet. Wenn

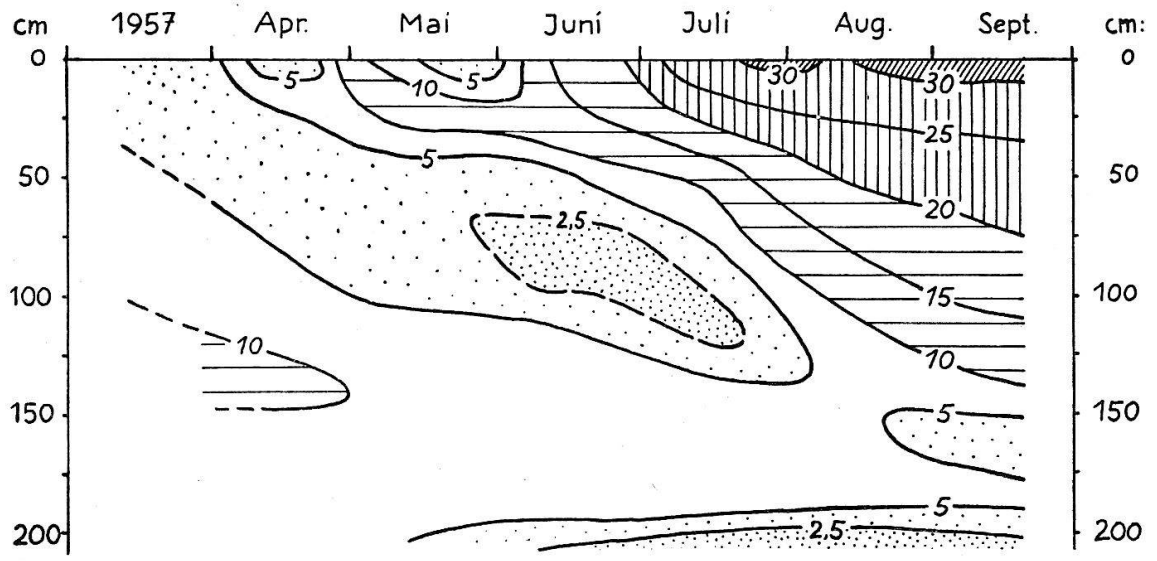

Abb. 7. Änderungen der Bodenfeuchtigkeit unter lockerem *Eucalyptus*-Bestand in den Lomas von Lachay. Im Jahre 1957 begann die nebelreiche Zeit ausnahmsweise erst im Juni.

dieses schwebende Tröpfchenwasser vollständig zu „Regen" kondensiert werden könnte, ergäbe es nicht mehr als 0.0005 mm Niederschlag. Erst 2000 m³ Luft würden nach dieser Berechnung 1 mm messbaren Niederschlag liefern.

Ruhende Nebelluft kommt also für die Wasserversorgung der Lomavegetation nicht in Frage. Denn selbst wenn auch alles dampfförmige Wasser kondensiert werden könnte (was in Wirklichkeit nicht möglich ist), würden sich aus einem m³ Luft höchstens 0.013 mm Tröpfchenwasser gewinnen lassen. Tatsächlich herrscht nun aber in den Lomas fast immer ein leichter Süd- bis Südwestwind, der allerdings nur selten Geschwindigkeiten über 4 m/sec erreicht (vgl. Tab. 4). Rechnet man mit einem Durchschnittswert von 1 m/sec, der sicher nicht zu hoch angenommen ist, so bewegen sich in einer Stunde 3600 m Luft an einem ruhenden Punkte vorbei. In den Höhenlagen mit dichter Loma-Vegetation, d.h. bei etwa 400–800 m Meereshöhe (vgl. Abb. 1), herrscht während der Wintermonate täglich schätzungsweise 15 bis 20 Stunden lang Nebel. Denn nur in den späten Vormittagsstunden hebt sich die Untergrenze der Stratuswolken bis auf grössere Höhe, um schon im Laufe des Nachmittags wieder bis zur Bodenoberfläche herabzusinken. Rechnet man mit nur 15 Stunden, so können sich also im Laufe eines Tages rund 50 km Nebelluft mit 1 m/sec an festen Hindernissen entlang bewegen. Während der durchschnittlich 120 Nebeltage eines Jahres wären das insgesamt nicht weniger als 6000 km.

Ein 1 m hohes Hindernis könnte in dieser Zeit maximal 3000 mm (6000 : 2, vgl. den zweiten Absatz dieses Kapitels) Tröpfchenwasser abfangen, ein 10 m hohes 30000 mm, ein 10 cm hohes aber nur 300 mm. Aus diesem Zahlenverhältnis wird ohne weiteres klar, dass der Wassergewinn aus bewegtem Nebel entscheidend von der Höhe des Hindernisses abhängt, wenn man in allen Fällen die gleiche, hoch wirksame Dichte voraussetzt. Niederschlags-Unterschiede bei ungleich hohem Bewuchs, wie sie in Abb. 6 dargestellt sind, erscheinen also verständlich.

Tab. 4. Mittlere Windgeschwindigkeiten an peruanischen Küstenstationen (m/sec)

Station	Sommer			Wintermonate						Sommer		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lima	2,2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	4,1	2,3	2,4	2,6
Pisco	4,3	4,3	4,3	3,9	3,2	3,1	3,3	3,3	3,7	3,9	4,1	4,3
Lomas	1,1	1,4	1,6	1,8	2,1	2,9	2,9	3,1	2,3	2,1	1,5	1,1

In der Grössenordnung führt unsere Überlegung zu einem Vielfachen der tatsächlich festgestellten Werte. Denn unter dem etwa 9 m hohen *Eucalyptus*-Baum ergab sich eine durchschnittliche Kondensation von rund 500 mm (nämlich 679 — 165, dem im Freiland gemessenen Niederschlag). Unter der etwa 50 cm hohen Kräuterflur dagegen betrug die Kondensation rund 30 mm. Beide Werte sind nur etwa ein Fünfzigstel von den berechneten, die allerdings auf der unwirklichen Voraussetzung beruhen, dass das Tröpfchenwasser restlos aus dem Nebel ausgekämmt werden könne. Auch in nebelreicheren Jahren als 1957 würde jedenfalls die tatsächlich von pflanzlichen Hindernissen abtropfende Kondenswasser-Menge weit unter der maximal möglichen liegen.

Alle bisherigen Überlegungen gelten jedoch nur für den Rand von Pflanzenbeständen. Denn nur dieser käme in den Genuss des aus dem Nebel herausgekämmten Tröpfchenwassers, falls dieses nicht rasch wieder regeneriert würde. An den Hängen der Lomas besteht nun tatsächlich eine solche Regenerationsmöglichkeit, indem das in der Nebelluft dampfförmig enthaltene Wasser infolge Druckabnahme beim Aufsteigen zur Kondensation gezwungen wird. Diese Dampfdruck-Verminderung ist recht gross, beträgt sie doch nach Hann-Süring (S. 229) in Gebirgen etwa 3.5 % auf 100 m Steigung. Bei 15° C müssten demnach aus einem m^3 Nebelluft infolge Aufsteigens um 100 m rund 0.45 g (3.5 % von 12.9) Wasserdampf in Tröpfchen übergehen, d.h. ungefähr so viel, wie im Nebel durchschnittlich an Tröpfchenwasser enthalten ist.

An steilen Hängen kommen ausserdem fast alle Pflanzen in den Genuss der „Randwirkung", weil wenigstens ihre oberen Blätter direkt von der heranströmenden Nebelluft berührt werden. Beide Gründe führen dazu, dass die Umwandlung von windbewegtem Nebel in tropfenden Niederschlag an Berghängen auf viel grösseren Flächen wirksam ist als in ebenem Gelände. Die Gestalt der Lomas ist mithin von entscheidender Bedeutung für das Zustandekommen des „Loma-Phänomens", und der Unterschied zwischen der wüstenhaften afrikanischen Namib und den kräuterreichen Nebeloasen Perus dürfte in erster Linie durch das Fehlen oder Vorhandensein küstennaher Berge zu erklären sein.

Wie unsere Überlegungen zeigen, machen die ständige Bewegung und das Aufsteigen am Hang eine Tröpfchen-Kondensation aus tropischem Hochnebel möglich, die den in Lachay gemessenen Werten durchaus entspricht. Nur unter diesen Voraussetzungen kann der Nebel zur hauptsächlichen Wasserquelle für die Vegetation werden. Beide Voraussetzungen allein würden aber noch nicht ausreichen, um so raschwüchsige und üppige Pflanzenbestände zu erzeugen, wie sie für die peruanischen Nebeloasen charakteri-

stisch sind. Als dritter Faktor spielt die Lufttemperatur eine wesentliche Rolle, und zwar vor allem als direkt wirkende Umweltsbedingung, aber auch in ihrem Einfluss auf die Wasserversorgung durch den Nebel.

Das Fassungsvermögen der Nebelluft an Wasserdampf und an Tröpfchen ist natürlich stark von ihrer Temperatur abhängig. Bei 760 mm Druck enthält 1 m^3 Nebelluft:

bei 30° C	30.7 g Wasserdampf
bei 25° C	23.2 g Wasserdampf
bei 20° C	17.3 g Wasserdampf
bei 15° C	12.9 g Wasserdampf
bei 10° C	9.4 g Wasserdampf
bei 5° C	6.8 g Wasserdampf
bei 0° C	4.9 g Wasserdampf

Demnach ist schon bei 15° C, der mittleren Temperatur in den Lomas, etwa doppelt so viel Wasser nachlieferbar wie bei 5° C, d. h. bei Temperaturen, wie sie den winterlichen Hochnebeln europäischer Gebirge eigen sind.

Ohnehin bleiben diese Hochnebel der gemässigten Zone für das Pflanzenleben ziemlich bedeutungslos, weil sie sich vorwiegend in einer Jahreszeit bilden, deren geringe Wärme eine Vegetationsruhe erzwingt. In Peru dagegen herrschen während des Südwinters bei den denkbar besten Bedingungen für die Wasserversorgung aus dem Nebel und dauernd geringer Wasserabgabe infolge der hohen Luftfeuchtigkeit zugleich recht vorteilhafte Temperaturen für Assimilation und Wachstum. Es handelt sich hier also um eine einzigartig günstige Kombination von Voraussetzungen für das Entstehen von Nebeloasen, die auf der Erde nirgends als an der Küste Perus und Nordchiles gegeben sind.

Der afrikanischen Westküste fehlen sowohl südlich als auch nördlich des Äquators die küstennahen Berge, an denen die Luft wie an den Hängen der Lomas emporsteigen könnte. Der Nebel ist hier deshalb nach Walter nahezu ohne Einfluss auf die Wasserversorgung der Vegetation.

An der kalifornischen Westküste sind die Temperaturen niedriger, und ausserdem lösen sich die Hochnebel nach Byers meistens schon vormittags auf, bieten also in den Stunden der stärksten Sonnenstrahlung keinen Verdunstungsschutz. An anderen tropischen und subtropischen Küsten fehlt die kühle Meeresströmung, die das Ausgangsglied der Ursachenkette für das Zustandekommen der peruanischen Lomavegetation ist.

Lediglich an einigen Stellen der Ostküste des Roten Meeres kommt noch einmal eine mit den peruanischen Verhältnissen vergleichbare Konstellation von Bedingungen vor. Troll (1935) hat sie von Erkowit beschrieben, wo am Rande des Hochlandes von Erythräa üppige Kräuterfluren gedeihen, die im trockenen Sommer wieder verschwinden, und wo auch immergrüne Bäume

wachsen, obwohl die gemessenen Niederschläge 200 bis 300 mm im Jahr nicht übersteigen. Er erwähnt ausserdem, dass sich in den Randzonen dieser Nebeloase der Tropfbereich von Akazien stärker begrünt habe als die Umgebung der Bäume, eine Beobachtung, die man jedes Jahr ebenso in Lachay und anderen peruanischen Lomas machen kann. Es wäre interessant, die Ausdehnung dieser altweltlichen Nebeloasen und ihren Wasserhaushalt näher zu untersuchen und sie mit den heute besser bekannten südamerikanischen Lomas zu vergleichen.

5. Wasserabgabe und Wärmegenuss der Lomapflanzen

Wie günstig und gleichmässig die Wachstumsbedingungen in den tropischen Nebeloasen an der peruanischen Küste während der Winterzeit sind, wird dem Besucher deutlich, wenn er den Gang der Temperaturen sowie der Evaporation und Transpiration vom Tagesminimum bis zum Tagesmaximum verfolgt.

An einem nebelreichen Tage ist mit dem Piche-Evaporimeter keine Verdunstung feststellbar. Es findet im Gegenteil eine starke Tröpfchenkondensation an den aufgestellten Geräten statt. Die Transpiration dürfte ebenfalls gleich Null oder doch sehr gering sein, denn während des ganzen Tages bleiben die Blattspreiten äusserlich feucht, und von ihren Rändern und Spitzen tropft unaufhörlich Wasser herab. Unter solchen Umständen ist es sinnlos, die Transpiration abgeschnittener Blätter oder Sprosse durch kurzfristig wiederholte Wägungen bestimmen zu wollen. Nur die Temperaturen zeigen einen deutlichen Tagesgang, schwanken allerdings sogar an nackten Erdoberflächen nur um wenige Grade (Abb. 8a). Niemals sinkt die Temperatur unter 5° C, geschweige denn unter 0° C. In der Höhenstufe der üppigen Kräuterfluren bleibt die Wärme in der Regel über 10° C, aber unter 20° C, d.h. in einem Bereich, der hohe Assimilationsgewinne zulässt.

Hebt sich tagsüber die Wolkendecke oder reisst sie gar für einige Stunden auf, so macht sich sogleich die starke Einstrahlung tropischer Breiten bemerkbar (Abb. 8b). Die Bodenoberfläche und die unteren Luftschichten erwärmen sich rasch, die Evaporation wird messbar und die Transpiration der Pflanzen steigt an, sobald sie oberflächlich abgetrocknet sind. Allerdings erhält man mit der Methode kurzfristiger Wägungen niemals extreme Werte. Solche Tage mit mehr oder minder grossem Wasserverlust sind in normalen, nebelreichen Jahren und besonders in den höher gelegenen Teilen der Lomas jedoch selten (vgl. Abb. 1).

Um neben der Gunst der Lebensbedingungen im Südwinter auch ihre Ungunst im Sommer zu kennzeichnen, sind in Abb. 8c Messungen aus der Trockenzeit zusammengestellt. Aus ihnen geht hervor, dass die immergrünen